

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР. ІІ - 79.00.00.000 ІЗ

Група ІІ-22-3

Павлик Сергій

2026

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Факультет інформаційних технологій

Кафедра інженерії програмного забезпечення

Павлик Сергій Георгійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 004.942

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Програмування систем змішаної реальності для промислового дизайну

(назва роботи)

Інженерія програмного забезпечення

(назва освітньої програми)

121 - Інженерія програмного забезпечення

(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело:

Здобувач освітнього ступеня Павлик С.Г.
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник Процюк Галина Ярославівна, асистент
(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту
Завідувач кафедри

доц. Бандура В.В.
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут, факультет інформаційних технологій
Кафедра інженерії програмного забезпечення
Ступінь вищої освіти бакалавр
Спеціальність 121 – Інженерія програмного забезпечення

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою _____ ІПЗ
доцент. _____ В.В. Бандура

“ _____ ” _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Павлик Сергію Георгійовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема проекту (роботи) "Програмування систем змішаної реальності для промислового дизайну"

керівник проекту (роботи) Процюк Галина Ярославівна, асистент

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ 21 ” квітня 2026 р. № 179/7

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 10 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Результати і матеріали отримані під час проходження перекваліфікаційної практики

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

1. Аналіз вимог до програмного забезпечення

2. Аналіз вимог і постановка задачі

3. Проектування системи

4. Реалізація проекту

5. Тестування та впровадження

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

1 Ескізи промислового дизайну (рис. 1.1, ст. 15)

2 Ручний малюнок, доповнений креслярським планшетом (рис. 1.4, ст. 17)

3 Континуум реальності-віртуальності (рис. 2.1, ст. 30)

4 Рекламне зображення для VR-версії відеогри Minecraft (рис. 2.12, ст. 37)

5 Візуалізація сценарію використання на презентаційній дошці проекту міських автобусів (рис. 3.5, ст. 64)

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

2. Дата видачі завдання 2026 р.

Керівник

_____ (підпис)

Завдання прийняв до виконання

_____ (підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Визначення та обґрунтування теми роботи	17.01.2026	виконано
2	Огляд існуючих концепцій, рішень та сервісів в даній області	21.02.2026	виконано
3	Побудова моделі або алгоритму власного рішення	01.03.2026	виконано
4	Документування реалізації власного оригінального рішення вибраними засобами	21.04.2026	виконано
5	Оформлення пояснювальної записки бакалаврської роботи	02.05.2026	виконано

Студент

_____ Павлик С.Г.
(підпис)

Керівник роботи

_____ Процюк Г.Я
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота містить 84 сторінки, 37 рисунків, 4 таблиці, список використаних джерел із 40 найменувань.

Метою роботи є дослідження методів і технологій програмування систем змішаної реальності та розробка програмного рішення.

Об'єкт дослідження: системи змішаної реальності в процесах промислового дизайну.

Предмет дослідження: методи, технології та інструменти програмування інтерактивних систем змішаної реальності, включаючи засоби візуалізації, взаємодії користувача та інтеграції 3D-моделей.

Результати дослідження: досліджено принципи створення цифрових прототипів, розглянуто інструменти розробки додатків змішаної реальності та реалізовано програмну систему.

У першому розділі розглянуто теоретичні основи змішаної реальності, особливості її застосування у промисловому дизайні, а також роль цифрового прототипування у процесі створення виробів.

У другому розділі досліджено методи та інструменти програмування систем змішаної реальності, зокрема архітектуру систем, технології забезпечення занурення та присутності, а також сценарії їх застосування.

У третьому розділі розглянуто процес проєктування та реалізації MR-системи, організацію взаємодії користувача з 3D-моделями, а також проведено оцінку ефективності використання розробленого рішення.

Висновок: використання систем змішаної реальності у промисловому дизайні дозволяє підвищити якість візуалізації, скоротити час розробки прототипів, покращити взаємодію користувача.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЗМІШАНА РЕАЛЬНІСТЬ, MR, ПРОМИСЛОВИЙ ДИЗАЙН, 3D-МОДЕЛЮВАННЯ, ІНТЕРАКТИВНІ СИСТЕМИ, ВІЗУАЛІЗАЦІЯ, ЦИФРОВЕ ПРОТОТИПУВАННЯ, XR, UNITY, ВЗАЄМОДІЯ КОРИСТУВАЧА.

ANNOTATION

Bachelor's thesis of 84 pages, 37 figures, 4 table, and a reference list with 40 sources.

The aim of the work is to study methods and technologies for programming mixed reality systems and to develop a software solution for their application in industrial design.

Research object: mixed reality systems in industrial design processes.

Research subject: methods, technologies, and tools for programming interactive MR systems, including visualization techniques, user interaction, and 3D model integration.

Research results: an analysis of modern approaches to the use of mixed reality in industrial design was conducted, principles of digital prototyping were studied, development tools for MR applications were reviewed, and an interactive software system was implemented.

The first section describes the theoretical foundations of mixed reality, its application in industrial design, and the role of digital prototyping in product development.

The second section analyzes methods and tools for programming mixed reality systems, including MR system architecture, immersion and presence technologies, and practical use cases.

The third section covers the design and implementation of an MR system, user interaction with 3D models, and evaluation of the effectiveness of the developed solution in industrial design tasks.

Conclusion: the use of mixed reality systems in industrial design improves visualization quality, reduces prototyping time, enhances user interaction with products, and optimizes the decision-making process.

KEY WORDS: MIXED REALITY, MR, INDUSTRIAL DESIGN, 3D MODELING, INTERACTIVE SYSTEMS, VISUALIZATION, DIGITAL PROTOTYPING, XR, UNITY, USER INTERACTION.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
-------------------	----------

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СИСТЕМ ЗМІШАНОЇ РЕАЛЬНОСТІ В ПРОМИСЛОВОМУ ДИЗАЙНІ

10

1.1. Основи змішаної реальності та застосування у промисловому дизайні	10
1.2. Візуалізація та цифрові представлення об'єктів у промисловому дизайні..	13
1.3. Цифрове прототипування та його роль у процесі проєктування виробів ...	20
1.4 Висновок по розділу	27

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ТА ІНСТРУМЕНТИ ПРОГРАМУВАННЯ СИСТЕМ ЗМІШАНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

28

2.1. Основні поняття, термінологія та архітектура систем змішаної реальності	28
2.2. Методи забезпечення занурення та присутності у MR-системах	38
2.3. Практичне застосування систем змішаної реальності у промисловому дизайні	44
2.4 Висновок по розділу	53

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТА ІНТЕГРАЦІЯ MR-СИСТЕМИ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО ДИЗАЙНУ

54

3.1. Проєктування та методологія розробки системи змішаної реальності	54
3.2. Реалізація взаємодії користувача з 3D-моделями у MR-середовищі	61
3.3. Оцінка ефективності та аналіз результатів використання MR у дизайнерському проєкті	68
3.4 Висновок по розділу	82

ВИСНОВКИ	83
-----------------------	-----------

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	84
---	-----------

					БР.ІП –79.00.00.000 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Павлик С.Г.			Програмування систем змішаної реальності для промислового дизайну Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Акрушів	
Перевір.		Процюк Г.Я.					7		
Реценз.		Крихівський М.В.				ІФНТУНГ ІП-22-3			
Н. Контр.		Піх М.М.							
Затверд.		Бандура В. В.							

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку цифрових технологій особливого значення набуває впровадження інноваційних підходів до проектування та розробки промислових виробів. Традиційні методи створення та візуалізації дизайнерських рішень поступово доповнюються або замінюються цифровими інструментами, що забезпечують більш високу точність, наочність і швидкість розробки. Одним із перспективних напрямів є використання систем змішаної реальності, які поєднують реальне та віртуальне середовище, дозволяючи взаємодіяти з цифровими об'єктами у фізичному просторі. Це відкриває нові можливості для промислового дизайну, зокрема у сфері візуалізації, прототипування та тестування продуктів.

Актуальність теми зумовлена необхідністю підвищення ефективності процесів проектування у промисловому дизайні за рахунок використання сучасних технологій змішаної реальності. Існуючі підходи до створення цифрових прототипів часто мають обмеження, пов'язані з недостатнім рівнем інтерактивності, складністю оцінки просторових характеристик виробів та відсутністю можливості повноцінної взаємодії користувача з моделлю. Використання MR-систем дозволяє вирішити ці проблеми шляхом забезпечення інтерактивного середовища, у якому дизайнер або користувач може взаємодіяти з тривимірними моделями у реальному масштабі. Це сприяє підвищенню якості дизайнерських рішень, скороченню часу розробки та зменшенню витрат на створення фізичних прототипів.

Метою роботи є дослідження методів і технологій програмування систем змішаної реальності та розробка програмного рішення для їх застосування у сфері промислового дизайну.

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання: проаналізувати предметну область та сучасні підходи до використання змішаної реальності у промисловому дизайні; дослідити теоретичні основи MR-технологій і їх роль у візуалізації та прототипуванні; розглянути методи та інструменти програмування систем змішаної реальності; визначити функціональні та нефункціональні

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимоги до програмної системи; спроектувати архітектуру MR-додатку; реалізувати систему взаємодії користувача з 3D-моделями; провести оцінку ефективності розробленого рішення.

Об’єктом дослідження є системи змішаної реальності у процесах промислового дизайну.

Предметом дослідження є методи, технології та інструменти програмування інтерактивних систем змішаної реальності, зокрема засоби візуалізації, цифрового прототипування та взаємодії користувача з тривимірними об’єктами.

Методи дослідження включають аналіз наукових джерел для вивчення сучасних підходів до використання змішаної реальності, порівняльний аналіз інструментів розробки, моделювання архітектури програмної системи, експериментальні методи реалізації та тестування програмного забезпечення, а також оцінювання ефективності використання MR-технологій у промисловому дизайні.

Практичне значення роботи полягає у створенні програмної системи змішаної реальності, яка дозволяє здійснювати інтерактивну візуалізацію та дослідження 3D-моделей у реальному середовищі. Розроблене рішення може бути використане у процесах проєктування, демонстрації та тестування промислових виробів, що сприятиме підвищенню ефективності роботи дизайнерів і зменшенню витрат на створення фізичних прототипів.

Структура роботи відповідає поставленій меті та завданням. У першому розділі розглянуто теоретичні основи змішаної реальності та її застосування у промисловому дизайні. У другому розділі досліджено методи та інструменти програмування MR-систем. У третьому розділі описано процес розробки, інтеграції та оцінки ефективності створеного програмного рішення.

Бакалаврська робота містить 84 сторінки, 37 рисунків, 4 таблиці, 3 розділи, список використаних джерел із 40 найменувань.

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СИСТЕМ ЗМІШАНОЇ РЕАЛЬНОСТІ В ПРОМИСЛОВОМУ ДИЗАЙНІ

1.1 Основи змішаної реальності та проблеми її застосування у промисловому дизайні

Навчання промисловому дизайну зазвичай відбувається в студії, формат, який популяризувався для професій, пов'язаних з дизайном, протягом останніх кількох десятиліть і це типово для практичного характеру професії в середовищі, де викладачі беруть на себе роль клієнта для майбутнього дизайнера [1]. Основними педагогічними заходами під час навчання в дизайн-студіях є критичні заняття за столом, де викладач і студент обговорюють вибір дизайну та уявляють його наслідки, та журі, які використовуються для критики та оцінки. Для своїх критичних сесій та журі студенти-промислові дизайнери повинні представити результати дизайнерської діяльності, такі як дослідження проекту та профілю користувача, вправи з генерування ідей та початкові ескізи, ітерації ідей, створення 3D-макетів, розробка та вдосконалення ідей, створення прототипів та тестування користувачами. Студенти-промислові дизайнери використовують різноманітні інструменти та методи для створення моделей та представлень своїх ідей. Ці моделі та представлення служать двом цілям: підтримці комунікації з іншими людьми та підтримці процесу проектування. Здатність доносити свої ідеї до викладачів є життєво важливою для прогресу студентів-промислових дизайнерів. Однак, є моменти в розробці освітнього проекту промислового дизайну, коли студенти стикаються з труднощами у представленні своїх ідей, особливо у складних проектах, що розробляються командами.

Основною мовою комунікації дизайнера є візуальні засоби. Візуальна комунікація освітнього дизайнерського проекту, залежно від етапів проектування, може бути ручними ескізами, цифровими 2D-ескізами та 3D-рендерингом моделей, фізичними макетами та прототипами. Кожен із цих методів презентації має своє місце в процесі проектування. Наприклад, ручні ескізи використовуються

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на початкових етапах проектування, коли від студента-дизайнера очікується створення великої кількості ідей для короткого викладу на папері. За допомогою ескізів студенти-дизайнери генерують концепції, екстерналізують та візуалізують проблеми, організовують пізнавальну діяльність, сприяють вирішенню проблем та творчим зусиллям, полегшують сприйняття та переклад ідей, виражають невербальне мислення та забезпечують перехід між баченням та артефактом, зберігають геометричну форму дизайну та зберігають ідеї для повторного використання на пізніших етапах проектування [2]. Використання альбомів для малювання у творчому процесі було задокументовано. Однак швидкі ескізи, зроблені від руки, неструктуровані та неоднозначні, що означає, що вони неприйнятні після початкових етапів проектування, коли очікується більше деталей від візуального представлення ідеї. Більше того, здатність працювати в цифровому середовищі для скасування, повторення, розповсюдження, об'єднання в мережу та доступу з кількох пристроїв може бути більш можливою, ніж ручне створення ескізів. У остаточних версіях дизайнерського проекту можна використовувати більш детальні креслення або навіть 3D-рендеринг комп'ютерних моделей. На жаль, якими б детальними не були креслення або рендеринг, 2D-зображення 3D-об'єкта неможливо візуалізувати точно або адекватно. Люди сприймають світ у трьох вимірах, а без z-виміру неможливо отримати справжнє уявлення про продукт.

Ще одним візуальним засобом для дизайн-проекту є фізичні макети. Хоча фізичні макети мають z-вимір та більший обсяг можливостей взаємодії, вони часто не втілюють справжні властивості матеріалу, не показують аудіовізуальний зворотний зв'язок чи графічні інтерфейси користувача. Робочий прототип, можливо, є найкращим представленням дизайн-проекту в його остаточному вигляді; проте не завжди можливо створити повномасштабні прототипи. Потрібно багато часу та ресурсів, щоб створити робочий прототип, який демонструє повний розмір, робочі цифрові компоненти, рухомі частини, матеріал та текстуру тощо. Хоча ескізи, детальні креслення, 3D-рендеринг та фізичні макети призначені для створення симуляції розробленого продукту, прототип – це сам продукт. Ця проблема ще більш виражена в проектах з високою складністю щодо масштабу та

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інтерфейсів. Дуже складні освітні дизайн-проекти, такі як продукти з графічними інтерфейсами користувача та великомасштабні інтер'єри автомобілів, підготовлені командою студентів-дизайнерів, важко представити та протестувати з прототипами низької точності. Динаміка в командних проектах, що передбачає розподіл завдань, відкриває можливості для створення прототипів кращої якості, яка ще не була достатньо досліджена.

Ці потенційні проблеми в презентації освітнього дизайнерського проекту можуть призвести до непорозумінь між студентами-промисловими дизайнерами та їхніми викладачами. Студенти або команди студентів можуть мати труднощі з донесенням своїх ідей до викладачів, що ускладнює для викладачів надання зворотного зв'язку під час критичних зауважень та оцінок. Яким може бути крок між поточними симуляціями продукту, який не може передати ні тривимірність, ні деталі, та повноцінним робочим прототипом? Крім того, яким чином проміжна симуляція між реальним продуктом та двовимірним представленням продукту може покращити комунікацію між студентами-промисловими дизайнерами та їхніми викладачами?

Професія промислового дизайну пов'язана з технологічним прогресом і допомагає покращити життя людей [3]. У цьому сенсі цілком логічно, що така нещодавно популяризована технологія, як змішана реальність (MR), що є загальним терміном для доповненої реальності (AR) та віртуальної реальності (VR), використовується для доповнення процесу проектування. Дизайнери не зобов'язані використовувати лише традиційні інструменти та методи, але можуть використовувати допомогу технологій, щоб зробити свій робочий процес та результати збагаченими, яскравим прикладом чого є планшети для малювання. Починаючи з кінця 2000-х років, можна відзначити велику кількість досліджень щодо розробки та оцінки систем ескізування на основі планшетів та майже повністю цифрових систем. Освітні проекти в студіях промислового дизайну дуже підходять для інтеграції нових технологій у розробку продукту, оскільки студенти-промислові дизайнери, можливо, більш відкриті до експериментів з технологіями. Крім того, стверджується, що новітні інформаційно-комунікаційні

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технології можуть значною мірою покращити освіту в галузі дизайну. «Нові медіа та їхні форми репрезентації кидають виклик традиційним навичкам комунікації та репрезентації. Зміни в практиці, а також в освіті в галузі дизайну повинні бути спрямовані на нові медіа з можливістю подальшого дослідження дизайнерських ідей, створення нових форм та нових дизайнерських термінів».

Змішана реальність – це спектр, який поєднує віртуальні елементи з реальним світом, найпопулярнішими застосуваннями яких є доповнена реальність та віртуальна реальність. За останні кілька років спостерігається швидкий розвиток цих технологій, і обладнання з підтримкою змішаної реальності стає все більш доступним та доступним за ціною, виходячи за межі великих бюджетів та інфраструктури. Кілька великих компаній з виробництва електроніки випустили апаратні системи та контролери змішаної реальності для використання клієнтами. У попередньому дослідженні було виявлено, що використання AR допомогло на етапах презентації та створення фізичних макетів у процесі проектування, а також виявилось, що воно має потенціал для доповнення таких проектних заходів, як створення сценаріїв, тестування користувачів та інструкції з використання, дослідження проектів, врахування матеріалів, механічні та структурні врахування, інтерфейси відображення та зворотного зв'язку, віртуальна взаємодія в реальному часі, створення поверхні виробу та 3D-візуалізація 2D-креслень [4]. Освітнє середовище, де студенти-промислові дизайнери можуть досліджувати можливості змішаної реальності на основі своїх потреб, було б ідеальним для того, щоб визначити, як вони можуть збагатити процес та результати своїх проектів за допомогою змішаної реальності, а також для розробки стратегії педагогічного підходу.

1.2 Візуалізація та цифрові представлення об'єктів у промисловому дизайні

Вкрай важливо ефективно екстерналізувати дизайнерські концепції, щоб запобігти переробці кінцевого продукту та скоротити час розробки. Візуальні

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дизайнерські представлення повинні достатньою мірою екстерналізувати дизайнерську концепцію та бути легкими для розуміння учасниками проекту. Візуальні дизайнерські представлення в промисловому дизайні є прототипами. Слово «прототип» походить від грецького слова *prototupos*, що означає «перший приклад». Виходячи з цього визначення, все, що робить ідею видимою для людей, окрім власника, можна визначити як прототип. У цьому сенсі прототип – це дизайнерська концепція, яка втілюється на ранніх стадіях проектування перед виробництвом, а прототип знаходиться в діапазоні між простими 2D-ескізами та 3D-моделями. У цьому підрозділі будуть пояснені двовимірні, тривимірні та цифрові прототипи дизайну.

Прототипування цінне, оскільки прототипи допомагають дизайнеру зрозуміти продукт, донести свої ідеї, протестувати та вдосконалити свої проекти, а також відстоювати свої дизайнерські рішення. Цілі та типи фізичних моделей – це візуалізація, функціональне тестування, фізичне тестування, маркетинг, підтвердження концепції, редагування та комунікація. Щоб адаптуватися до етапів процесу проектування, пояснених на рисунку 1.1, прототипи мають своє місце на етапах синтезу та оцінки проектування.

Двовимірні прототипи дизайну

Початкові етапи дизайну починаються з ескізів. До появи цифрових медіа дизайнери покладалися виключно на ручні малюнки для дизайнерської діяльності. Навіть після популяризації інструментів цифрового дизайну, створення ескізів залишається важливою частиною будь-якого дизайнерського проекту. Під час створення ескізів дизайнери не використовують жодних інструментів і залишають неформальні позначки на папері, які можуть складатися з ліній чернетки, тексту, розмірів та розрахунків для пояснення контексту, деталей та розміру дизайну. Ескіз може мати такі атрибути, як різна товщина ліній, перекреслення, перемальовування та штрихування з метою створення глибини та привернення уваги до певних частин. Різні типи ескізів як 2D-візуальних представлень дизайну – це особисті ескізи, спільні ескізи, переконливі ескізи та ескізи передачі. Ключовими характеристиками ескізів є те, що вони готуються у великій

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кількості за короткий проміжок часу, тому є одноразовими та недорогими.

Промислові дизайнери використовують ескізи для візуального представлення своїх проектів, щоб доносити концепції до інших, створювати відкриті рішення та виводити концепцію дизайну назовні для оцінки. Багато досліджень показали, що ескізування, як мова дизайну, виражає дизайнерське мислення та перетворює ідеї від бачення до артефакту. Ескізування допомагає дизайнеру розробляти характеристики дизайну, такі як форма, з мінімальними витратами та гнучким способом, а також швидко досліджувати альтернативи дизайну та зберігати ідеї для повторного перегляду та вдосконалення на пізніших етапах. Його також можна використовувати для розбиття кожного компонента дизайну на частини та їх окремої розробки (див. рис. 1.1).

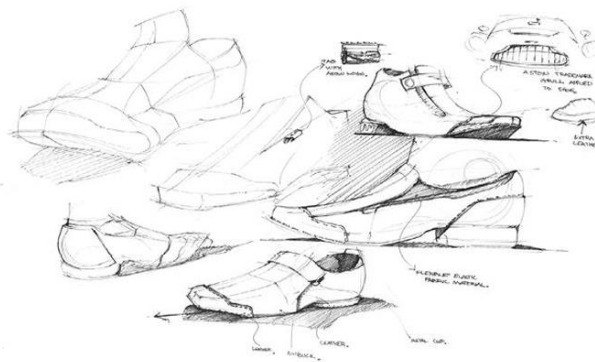


Рисунок 1.1 - Ескізи промислового дизайну

Дизайнери використовують ескізи для створення концепцій, візуального представлення проблем, організації своїх когнітивних зусиль, заохочення до вирішення проблем та творчої діяльності, виконання візуальних перекладів своїх ідей та зберігання геометричної форми дизайну. Також було виявлено, що дизайнери малюють для розвитку своєї візуальної обізнаності, пошуку натхнення, збору візуальних орієнтирів, генерування ідей та пропонування концепцій, запису та передачі ідей, реагування на візуальні джерела, перевірки доцільності своїх ідей, а також вирішення та вдосконалення ідей.

Швидкі ескізи, хоча й корисні на проміжних етапах проектування,

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зазвичай недостатньо для пізніших етапів проектування. На пізніших етапах, коли ідеї більш розроблені, презентація стає важливішою. Ескізи уточнюються, застосовується більше деталей, інтегруються такі якості, як матеріал, колір і текстура (див. рис. 1.2).



Рисунок 1.2 - Приклади креслень деталей виробу з різних матеріалів

У деяких випадках необхідно надати технічні деталі, такі як ізометричні та розгорнуті зображення компонентів виробу (див. рис. 1.3). Це досягається за допомогою кольорових маркерів і різних видів олівців на папері різної щільності, текстури та кольору та/або альбомів для малювання.

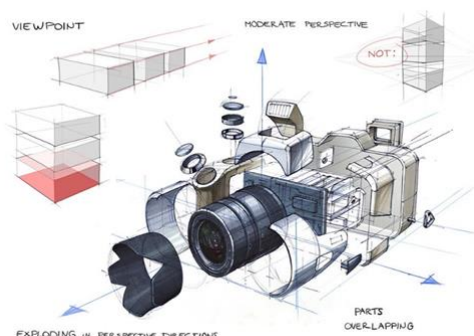


Рисунок 1.3 - Розгорнуте зображення камери

У деяких випадках ручні креслення можна покращити за допомогою інструментів 2D-автоматизованого проектування та креслярських планшетів (див. рис. 1.4).

					БР.ІП - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



Рисунок 1.4 - Ручний малюнок, доповнений креслярським планшетом

Здебільшого професійні 2D-проектні зображення готуються здебільшого за допомогою інструментів автоматизованого проектування та представляють на дошках (див. рис. 1.5). Однак, використання креслень у процесі проектування має деякі недоліки [5]. Виявили, що проблема зі студентами-дизайнерами, які занадто рано зосереджуються на проектному рішенні, виникала через те, що вони вже мали під рукою розроблені креслення. Незважаючи на те, що ескізи відіграють ключову роль у дизайні, стверджується, що програми САПР можуть зробити креслярську діяльність ще потужнішою.

Ескізи та креслення – це різні види візуального представлення дизайну у 2D. Креслення – це формальна компіляція ліній для візуалізації певної форми. Порівняно з ескізами, креслення мають більшу структуру та спрямовані на формалізацію та уточнення аспектів дизайну.

Креслення «виконуються відповідно до набору правил і оформлюються за допомогою механічних інструментів або систем автоматизованого проектування в масштабі»; тоді як ескізи створюються від руки і часто не в масштабі [6].



Рисунок 1.5 -. Презентаційна дошка студента промислового дизайну з фотографією, 3D-рендерингом та намальованими від руки людськими фігурами

					БР.ІП - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Формалізують креслення як змодельовані властивості конструкції (наприклад, структура, форма, матеріал, розмір, поверхня) та закодовані за допомогою символів (наприклад, координати, графічні символи, типи проекцій). Метою креслень є аналіз та контроль деталей, а також передача ідей дизайнера виробнику. Креслення можуть містити текст та колір для надання детальної інформації про концепцію.

Тривимірні прототипи дизайну

Фізичні прототипи, моделі або макети можна описати як попереднє тривимірне представлення дизайнерського проекту [7]. Так само, як промислові дизайнери проводять час за столом, працюючи над кресленнями, вони проводять час у майстернях, створюючи свої тривимірні моделі. Створення моделей та фізичне прототипування вважається життєво важливою вимогою для успішного процесу проектування. Навіть кажуть, що базування процесу розробки продукту на фізичному прототипі – це те, що породжує інновації.

Моделі необхідні для пояснення тривимірних атрибутів об'єкта, оскільки двовимірні представлення мають брак деталізації. Виготовлення фізичних прототипів дозволяє дизайнеру уточнити питання, пов'язані з виробництвом та технічними деталями, таким чином, який неможливо передбачити за допомогою ескізів чи креслень. Мета 3D-прототипів полягає в тому, щоб надати необхідну інформацію під час процесу проектування для прийняття рішень, а також повідомляти та перевіряти остаточне завершення концепції.

Фізичні представлення дизайнерської концепції можуть дозволити акціонерам взаємодіяти та завершувати аспекти дизайну, водночас залучаючи членів багатопрофільної команди до прийняття рішень щодо вдосконалення безпечним та недорогим способом. Моделі можуть бути нефункціональними об'єктами, що використовуються для зображення візуального вигляду концепції продукту, а також частково функціонуючими для відтворення візуальної оцінки запланованого продукту [8]. Представляючи тривимірні властивості моделі, промислові дизайнери можуть пояснювати функції, продуктивність та естетичні атрибути дизайну, щоб описати, візуалізувати та формувати думки, а також розвивати,

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відображати та повідомляти дизайнерські ідеї іншим. Було зазначено, що моделі можна диференціювати за їхнім призначенням для передачі інформації та тестування ідей. Зменшений або повнорозмірний 3D-прототип дозволяє зацікавленим сторонам надати відгуки про концепцію з питань дизайну перед початком виробництва, щоб уникнути помилок у майбутньому. Крім того, моделі можуть демонструвати тактильні якості продукту, допомагаючи дизайнерам думати руками.

Чорнові моделі, подібно до чорнових ескізів, підходять для творчої роботи, щоб створити низку альтернатив за короткий проміжок часу, навіть якщо вони можуть не містити детальної інформації.

Стверджується, що вони є повномасштабними фізичними представленнями, тоді як, 3D-прототипи містять лише функціональні частини та не є схожими на кінцевий продукт. Також зазначалося, що прототипи можуть бути фізичними та віртуальними. 3D-прототипи можна класифікувати як рольові прототипи, прототипи зовнішнього вигляду та відчуття, прототипи реалізації та прототипи інтеграції, і вибір цих категорій залежить від передбачуваної функції та вимог до характеристик продукту. Точність, коротше кажучи, – це рівень реалізму прототипу, а такі фактори, як час, зусилля та вартість, є обов'язковими для точності прототипу. Дослідницькі моделі зазвичай мають низьку точність (див. рис. 1.6),



Рисунок 1.6 - Низькоточна фізична модель фена для волосся, виготовлена з пінопласту та паперу

					БР.ІП - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

а презентаційні моделі – вищу точність (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 - Низькоточна фізична модель фена для волосся, виготовлена з пінопласту та паперу

Протягом розробки продукту створюються фізичні моделі від низької до високої точності (див. рис. 1.8). Існує чотири види фізичних моделей залежно від їхньої точності та місця в процесі проектування: *Навчальні моделі* призначені для самих дизайнерів, щоб зробити свої ідеї конкретними, і рідко вдосконалюються. *Презентаційні моделі* – це більш визначені моделі, які дизайнери використовують для вираження своїх ідей зацікавленим сторонам, і вони зазвичай мають певний масштаб. *Макети* – це повнорозмірні моделі, які мають виглядати точно як готовий продукт і призначені для тестування людьми. Нарешті, *прототипи* – це повномасштабні робочі моделі продукту.



Рисунок 1.8 - Шлях розвитку зубної щітки Oral-B CrossAction®.

Для побудови фізичних моделей можна використовувати такі матеріали, як папір, пінопласт, глина, тканина, дерево, пластик та метал. Кожен матеріал має свої відповідні інструменти та методи обробки, яких конструктор досягає за допомогою електроінструментів та загального обладнання майстерні (див рис. 1.9).

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.9 - Оздоблення деревини на шліфувальному верстаті

1.3 Цифрове прототипування та його роль у процесі проєктування виробів

Цифрові прототипи дизайну – це прототипи, створені за допомогою або візуалізовані на цифрових пристроях, таких як комп'ютери чи мобільні пристрої [9]. Системи автоматизованого проєктування (САПР) є життєво важливою частиною будь-якого процесу проєктування та йде пліч-о-пліч з 2D та 3D прототипами дизайну. Створення 3D-моделей дизайну в системах САПР корисне для дизайнерів, оскільки люди мислять у трьох вимірах і демонструють підвищену зацікавленість під час перегляду тривимірних моделей. Було доведено, що системи САПР підтримують процес проєктування, перетворюючи 2D-ескізи на тривимірні моделі, допомагають у аналітичній розробці та виробництві дизайну та забезпечують кращу якість представлення дизайну, вказуючи такі деталі, як розмір, колір, візуалізація в середовищах використання відносно людського розміру; разом з технічними деталями, такими як компоненти, складання тощо (див. рис. 1.10). Також можливо створювати 3D-фізичні моделі за допомогою швидкого прототипування (див. рис. 1.10). Машини для швидкого прототипування – це відносно нова технологія, яка перетворює 3D-моделі автоматизованого проєктування на фізичні моделі.

					БР.ІП - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

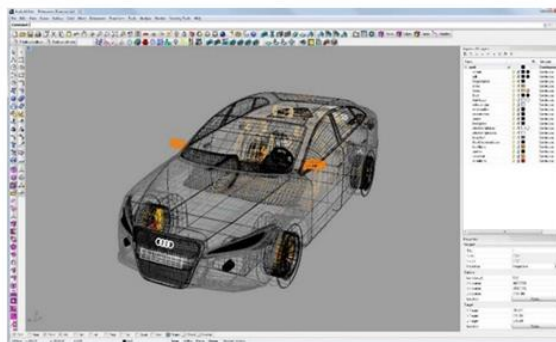


Рисунок 1.10 - CAD-модель автомобіля

Важливо враховувати потреби в комунікації під час представлення результатів процесу проектування, особливо для складних дизайнерських проектів. Освітні проекти промислового дизайну розробляються та контролюються в умовах студії. Студійна модель вважається *проектним навчанням*, навчальною програмою, що базується на науках про навчання. П'ять ключових особливостей навчальних середовищ, що базуються на проектах:

1. Викладачі починають проект із проблемного питання.
2. Питання досліджується, застосовуючи існуючі знання з їхньої дисципліни.
3. Студенти, викладачі та співробітники шукають відповіді на це питання.
4. Студенти отримують допомогу з технологіями, які виходять за межі їхніх можливостей.
5. Учні представляють продукти, які відповідають на головне питання.

Еволюція проблем, що ставляться викладачами, корелює зі складністю освітніх проектів промислового дизайну. Оскільки теоретичні курси продовжуються поряд зі студійними курсами, рівень знань та навичок студентів підвищується, що призводить до підвищення майстерності у вирішенні дедалі складніших дизайнерських проблем, що пропонуються викладачами.

Під час розробки дизайнерських проектів викладачі несуть відповідальність за ретельне ініціювання та керівництво роботою студентів, ставлячи відкриті проблеми, які були описані як погано визначені або складні. Кожен студент

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

створює власні відповіді на ці відкриті проблеми [10]. У чотирирічній програмі бакалаврату з промислового дизайну останні два роки навчального плану ставлять дедалі більше відкритих питань, і студенти мають довші періоди підготовки до остаточного оцінювання.



Рисунок 1.11 - Моделювання CAD, 3D-друк та використання динаміка iPad

Щоб допомогти студентам-промисловим дизайнерам, дизайнерські проекти зазвичай мають набір обмежень для обмежування процесу, навіть якщо

проекти є відкритими, і кожен студент має свій власний шлях до рішення. Мета параметрів у проекті полягає в обмеженні творчих можливостей студентів, щоб можна було досягти конкретних результатів навчання [11]. Крім того, студентам потрібні обмеження, щоб розвіяти хибні уявлення про проект і спрямувати їх до більш розвиненої концепції, даючи їм чіткий напрямок щодо дослідження відповідей на конкретні проблеми. Ряд когнітивних досліджень показує, що невдачі під час навчання призводять до більш ефективного навчання. Було зазначено, що недостатнє встановлення обмежень призводить до того, що студенти генерують занадто очевидні рішення, а це означає, що їхні хибні уявлення не були оскаржені. Навпаки, встановлення занадто великої кількості обмежень призводить до того, що студенти генерують занадто схожі рішення.

У студійній освіті з промислового дизайну існує постійна потреба в комунікації між студентами, викладачами та іншими співробітниками, де це необхідно. Під час спроби відобразити складність та деталі освітнього проекту промислового дизайну необхідно враховувати такі фактори, як точність презентацій [12]. Питання точності презентацій промислового дизайну залежить, серед

іншого, від успішного відображення масштабу та аудіовізуальної інтерактивності.

Роль САПР-проекування у просторовому представленні

Мова дизайну складається з таких інструментів представлення, як креслення та моделі. Здатність візуально представити дизайнерську проблему дозволяє дизайнеру побачити її з нової перспективи, а на просунутих стадіях – переосмислити проблему. Переосмислення дизайнерської проблеми допомагає дизайнеру побачити проблему з різних точок зору та знайти нові рішення, щоб вибрати найзручніше. Використання різних інструментів представлення означає, що дизайнер має широкий спектр точок зору на дизайнерську проблему, а отже, матиме більше способів її вирішення. Як згадувалося в попередньому розділі, типи прототипів, що розробляються промисловими дизайнерами, є двовимірними, тривимірними або цифровими. Презентації промислового дизайну зазвичай включають двовимірні матеріали у вигляді

плакатів, включаючи цифрові рендери продукту. Дизайн продукту зображується за допомогою CAD-рендерів у різних ракурсах, збільшення або зменшення масштабу або вирізи для відображення розрізів. Можна включити додаткові деталі, такі як оточення продукту та його зв'язок з простором, а також взаємодія користувача з продуктом. Сценарії використання, зображені в наративній формі, можуть добре продемонструвати, як дизайн продукту відповідає брифінгу з дизайну. Щоб отримати повне уявлення про продукт і вийти за межі 2D-презентаційних матеріалів, для доповнення презентації використовуються 3D-макети. Зі зростанням точності макетів презентації для проектів дизайну продукту стають більш інтерактивними, забезпечуючи динамічну реструктуризацію візуальних матеріалів, таким чином краще імітуючи реальність. Можна обговорити потреби візуальної комунікації щодо проектів промислового дизайну великомасштабних продуктів, таких як автомобільний дизайн, де користувач повинен ходити в замкнутому просторі, та проектів, таких як велика кухонна техніка, де середовище навколо продукту стає частиною дизайнерської проблеми, спираючись на потреби візуальної комунікації таких галузей, як дизайн інтер'єру, архітектура та

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ландшафтний дизайн, де просторове представлення має першорядне значення. Зв'язок між просторовим розумінням та креативністю був зазначений: дизайнер інтер'єру може генерувати кілька інноваційних ідей для дизайнерського рішення, візуалізуючи тривимірне зображення та подумки обертаючи та трансформуючи його, створюючи ментальний зсув, який допомагає досягти тонкого балансу між реальністю та уявою для генерування більшої кількості ідей, тим самим підвищуючи шанси на створення унікального дизайнерського рішення [13].

В архітектурному проектуванні використовується статичне поняття масштабу, яке визначається як пропорційне співвідношення між середовищем моделей та зовнішнім реальним світом, або метричне співвідношення, недостатньо для розуміння архітектурного масштабування. Було виявлено, що використання зменшених фізичних моделей в архітектурному проектуванні впливає з нелінійного процесу проектування: переходячи від

дрібномасштабних моделей до великомасштабних моделей, можна працювати над ітераціями проектування, що включають різні сценарії використання, можливості покращення та проблеми, які потрібно вирішити. Кидаючи виклик обмеженням завдяки дрібномасштабній фізичній моделі та маніпулюванню конфліктами масштабу, команда дизайнерів змогла вирішити проблеми вписування дизайну фасаду в історичний фон навколишнього міста. Вважається, що вирішення проблемних ситуацій, пов'язаних з масштабом, забезпечує переговори щодо взаємодії людського масштабу з будівлями та навколишніми територіями.

У ландшафтному дизайні користувачеві необхідно встановити просторову орієнтацію, щоб мати змогу інтерпретувати 3D-інформацію з 2D-зображення, а здатність користувача орієнтуватися відносно навколишнього середовища можлива завдяки просторовій обізнаності. За даними дослідження просторових навичок виявили два фактори: просторову орієнтацію та просторову візуалізацію (здатність маніпулювати компонентами візуальних вхідних даних). Такі фактори, як просторові відносини в сенсі уявного обертання об'єктів, просторова орієнтація як розпізнавання того, як об'єкт виглядатиме з певної точки зору, та

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

візуалізація з контексту створення поверхні. Акцент робиться на трьох змінних: просторова орієнтація, яка визначає, як об'єкт виглядатиме з певної точки зору; просторове представлення, яке включає уявне перетворення об'єкта; та прискорене обертання, яке є уявним обертанням об'єктів. Просторова орієнтація стала можливою завдяки двовимірному зображенню топографії у вигляді форм рельєфу, що зображують пагорби, долини, гори тощо, як це видно на картах, що дозволяє орієнтувати користувача відносно навколишнього середовища [14]. Однак, було відзначено труднощі у студентів з інтерпретацією тривимірної топографічної інформації з двовимірних зображень і було визнано необхідним подальше дослідження стратегій вирішення проблем перемикання між двовимірним та тривимірним режимами представлення.

Тривимірні просторові навички привернули багато уваги в останні роки. У кількох експериментах використовувалися різні інтерфейси, щоб спробувати маніпулювати сприйняттям людиною тривимірного простору. У дослідженні використовувалися візуальні підказки, такі як тіні, освітлення та масштаб, для створення ілюзії тривимірного об'єкта, щоб побачити, чи можуть люди запам'ятовувати тривимірні об'єкти краще, ніж їхні двовимірні аналоги. Багато досліджень показали, що комп'ютерні тривимірні візуалізації можуть забезпечити учням достатню просторову взаємодію, щоб допомогти їм покращити свої просторові здібності. Крім того, деякі дослідження розглядали вплив двовимірних та тривимірних медіа-зображень на просторові здібності студентів. З попередніх досліджень можна зробити висновок, що за допомогою програмного та апаратного забезпечення студенти можуть краще розуміти тривимірний простір, і слід заохочувати майбутні дослідження, щоб знайти найуспішніші інструменти для зміцнення навичок тривимірного просторового усвідомлення та візуалізації.

В освіті з дизайну однією з найважливіших цілей є оснащення студентів найсучаснішими технологіями, щоб вони могли візуально представляти свої ідеї та результати своїх проектів з рівнем якості, що відповідає професійній практиці. Акцент на важливості репрезентативних навичок у студентів-дизайнерів був встановлений низкою інших досліджень [15]. Було продемонстровано, що

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

навчання використанню нових інструментів репрезентації, за умови, що вони були вивчені шляхом повторення, дозволяє студенту-дизайнеру легко інтерпретувати, маніпулювати та оцінювати контент, а студент стає професіоналом, коли він може продемонструвати те, чого він навчився, за допомогою своїх репрезентацій. Близьче до завершення проекту промислового дизайну необхідно створити високоякісні тривимірні фізичні моделі, щоб відобразити текстуру, форму, матеріал, взаємодію з користувачем тощо. Однак, як і при створенні високоточних прототипів у професійній практиці, студенти-дизайнери стикаються з такими проблемами, як грошові витрати та обмеження в часі під час розробки фізичних моделей [16]. У професійній практиці поява віртуальної реальності призвела до підвищення якості дизайнерської продукції. Можна сказати, що засоби автоматизованого проектування (САПР) та цифрового прототипування спричинили різкий зсув у культурі дизайну. Впровадження інструментів автоматизованого проектування в освіті вивчалось з огляду на характер їх впровадження, сприйняття вчителями та вплив, який САПР мало на діяльність з проектування в освітньому контексті. Це означає, що змінилися й очікування від дизайнера щодо навичок репрезентативності, що покладає відповідальність на викладачів дизайну за розширення сфери того, чого вони навчають своїх студентів.

1 4 Висновок по розділу

У першому розділі було розглянуто теоретичні основи систем змішаної реальності та їх застосування у промисловому дизайні. Проаналізовано базові поняття змішаної реальності та визначено її роль у візуалізації, проектуванні та оцінці виробів. Досліджено методи цифрового представлення об'єктів, що забезпечують точність і наочність моделей у процесі дизайнерської розробки. Також розглянуто концепцію цифрового прототипування та його значення для скорочення циклу проектування та підвищення якості промислових виробів. Отримані результати формують теоретичну основу для подальшого дослідження програмування систем змішаної реальності.

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ТА ІНСТРУМЕНТИ ПРОГРАМУВАННЯ СИСТЕМ ЗМІШАНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

2.1 Основні поняття, термінологія та архітектура систем змішаної реальності

Необхідно розглянути літературу з технологій змішаної реальності, щоб навести приклади використання змішаної реальності у галузях, пов'язаних з дизайном технології змішаної реальності будуть представлені для подальшого дослідження того, як їх можна використовувати в процесі проектування для збагачення процесу та результатів освітніх дизайнерських проектів, а також які навички студенти-промислові дизайнери повинні розвивати у своїй освіті для цього [17]. У цьому розділі буде запропоновано огляд технологій віртуальної реальності, пояснивши термінологію та визначення, пов'язані зі змішаною реальністю, коротко описавши змішаної реальності, компоненти системи змішаної реальності, галузі, що використовують змішану реальність, та дослідження використання змішаної реальності у діяльності з промислового дизайну.

Термін «змішана реальність» (MR) був введений для опису спектру реальності та віртуальності, як похідного від доповненої реальності (AR), для пропозиції таксономії різноманітності технологій. Автори використовують систему, яка розділяє реальне середовище від віртуального у два кроки (рис. 2.1). Ще одним кроком у континуумі змішаної реальності від реального середовища, яке люди сприймають фізично через свої сенсорні здібності, є AR, де згенеровані комп'ютером дані вбудовуються в реальне середовище з метою покращення людського сприйняття. Ще одним кроком є доповнена віртуальність, яка включає реальні об'єкти, вбудовані у віртуальне середовище. На іншому кінці спектру знаходиться віртуальне середовище, де середовище повністю складається з згенерованих комп'ютером елементів, не пов'язаних законами фізики. Основна відмінність між VR та AR полягає в тому, наскільки складними є проєктовані графічні об'єкти: в AR створення світу або реалістичних середовищ не є метою, на відміну від VR.

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

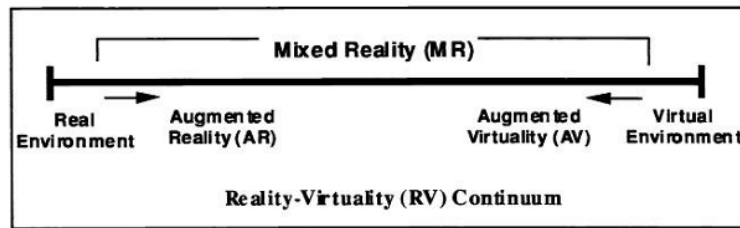


Рисунок 2.1 - Континуум реальності-віртуальності

Пропонується два визначення віртуальної реальності: функціональне визначення стверджує, що віртуальна реальність – це засіб, за допомогою якого людина може змінювати час, місце та взаємодію середовища, імітуючи реальність; технічне визначення пропонує використання *інформатики, поведінкових інтерфейсів, віртуальних світів, взаємодії в реальному часі та псевдоприродного занурення* – п'яти елементів, що характеризують віртуальні середовища.

- *Інформатика*, галузь, яка втілює віртуальну реальність у життя, дозволяє поєднувати апаратне та програмне забезпечення для створення системи, в якій симуляції об'єктів, персонажів діють в рамках фізичних законів, таких як механіка, оптика та акустика, а також законів поведінки, таких як психологія, емоції та соціологія.
- *Поведінкові інтерфейси* складаються з сенсорних інтерфейсів, використання п'яти органів чуття людини у віртуальному світі, рухових інтерфейсів, здатності людини рухатися та діяти за допомогою м'язів у віртуальному світі, та сенсомоторних інтерфейсів, які є способом взаємодії, що залучає обидва напрямки.
- *Віртуальні світи* – це комп'ютерно-генеровані середовища, які взаємодіють у режимі реального часу.
- *Взаємодія в реальному часі*, яка є життєво важливою частиною будь-якої системи віртуальної реальності, досягається, коли немає затримки між діями користувача в реальному світі та віртуальним світом. Іншими словами, якщо користувач піднімає руку в реальному житті, його віртуальна рука має бути піднята в потрібний момент.

віртуальної реальності створюють під час використання системи. Занурення у системи віртуальної реальності залежить від таких факторів, як інтерфейси, програмне забезпечення тощо.

Компоненти змішаної реальності

Система змішаної реальності має більше компонентів, ніж просто гарнітура. Перш за все, кожна система змішаної реальності має дві сторони: апаратну та програмну [18]. З програмної сторони є додаток або програма, яка складає основу віртуального середовища або елементів, а також база даних, яка містить ресурси цього віртуального світу. Іншими словами, елементи, які користувач бачить у віртуальному середовищі, зберігаються в програмі, яка запускає симуляцію. З апаратної сторони є комп'ютер або механізм, який запускає програму, а також пристрої введення та виведення, які відповідно збирають дані від користувача за допомогою датчиків і повертають їх користувачеві у вигляді візуальних ефектів, аудіо або тактильних відчуттів.

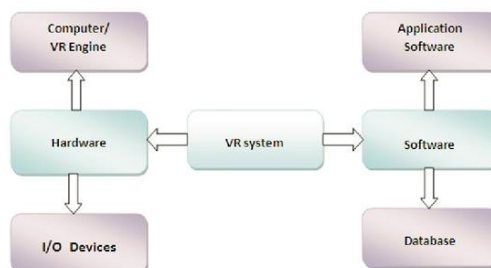


Рисунок 2.2 - Компоненти системи віртуальної реальності

Якщо говорити конкретніше, комп'ютер запускає програму, візуальні ефекти програмного забезпечення відображаються на моніторі в гарнітурі або на фізичній поверхні за допомогою проекторів, динаміки забезпечують звук, а деякі системи змішаної реальності мають контролери, які дозволяють користувачеві взаємодіяти з системою.

Коротка історія системи змішаної реальності

Згадки про концепцію того, що сьогодні називають віртуальною реальністю, можна побачити в науковій фантастиці, і вони вважаються попередниками цієї технології. Цитуючи автора наукової фантастики Дугласа Адамса,

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

«комп'ютерний термінал - це не якийсь незграбний старий телевізор з друкарською машинкою перед ним. Це інтерфейс, за допомогою якого розум і тіло можуть з'єднуватися з всесвітом і переміщувати його частини»

Історія системи змішаної реальності сягає 1960-х років, зокрема таких прикладів, як головні дисплеї та симулятори. Videoplace був першим прикладом системи, де користувачі взаємодіяли з віртуальними об'єктами, відеокамерами, проекторами, спеціалізованим обладнанням та силуетами людей (див. рис. 2.3).



Рисунок 2.3 - Videoplace

Метою було створити систему віртуальної реальності, яка дозволила б користувачеві відчувати віртуальне середовище без прив'язки до гарнітур чи будь-якого іншого носимого обладнання, і досягла цієї мети, використовуючи камери, які відстежували рухи користувача та проектували віртуальне середовище на екран для безпосередньої взаємодії користувача [19].

Перші комерційні зразки VR-систем були виготовлені компанією VPL, а саме Data Glove (див. рис. 2.4). Ця рукавичка була виготовлена з неопренової тканини з двома волоконно-оптичними кільцями на кожному пальці, які були з'єднані з кісточками пальців для відстеження рухів. Рукавичка мала такі проблеми, як необхідність постійного калібрування, тому не досягла широкого проникнення на ринок.

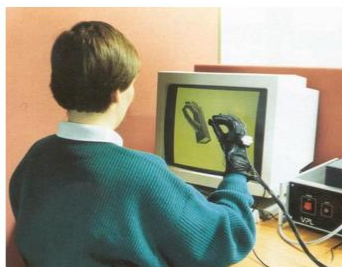


Рисунок 2.4 - VPL's Data Glove

Віртуальний візуальний дисплей навколишнього середовища на початку 80-х років. Після створення прототипу РК-дисплея, встановленого на голові, цей проект у 1989 році став віртуальною робочою станцією інтерфейсу середовища. Ця система складалася з великих симуляцій у рамках відносно невеликого бюджету та відповідала потребам у навчанні [20].

Інші системи віртуальної реальності, створені в 90-х роках, - це WorldToolKit від Sense8 Co., тепер Engineering Animation Inc., VCToolkit від Division Ltd. у Великій Британії, Virtual Reality Toolkit VRT2 від Dimension Ltd./Superscape у Великій Британії, Cyberspace Developer Kit від Autodesk, W Industries/Virtualiy у Великій Британії (рис. 2.5), а пізніше Nintendo, Atari, Philips та IBM. Ці системи включали шлемові дисплеї, рукавички та аркадні кіоски, а основною комерційною сферою, яка використовувала ці системи, були аркадні центри для відеоігор.

У цей час друковані плати все ще були дуже повільними, і почали з'являтися архітектури графічного рендерингу. Ближче до середини 90-х років очікування щодо якості апаратного забезпечення VR не відповідали технологічному прогресу, призвели до того, що дослідження VR зупинилися, затьмарені новою та набагато більш досяжною революцією Інтернету. Більше того, оскільки ці комерціалізовані VR-системи використовувалися в аркадах для відеоігор, у громадськості виникло занепокоєння щодо небезпеки втрати себе у віртуальному світі [21]. В результаті, популярність віртуальної реальності знизилася.

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.5 - Система NASA VIEW

Представлено Oculus Rift, гарнітуру віртуальної реальності. На той час проблеми з апаратним забезпеченням були вирішені завдяки збільшенню обчислювальної потужності та вдосконаленню технології відображення. Проект був зібраний за допомогою краудфандингу на Kickstarter, і комплект розробки здобув світове визнання (див. рис. 2.6). Технологія віртуальної реальності розпочалася з того місця, де вона зупинилася, – з індустрії розваг. Ентузіасти відеоігор з усього світу показали, що віртуальна реальність все ще має великий потенціал.



Рисунок 2.6 - Гарнітура віртуальної реальності Oculus Rift

Компанію віртуальної реальності Oculus придбала соціальна мережа Facebook. Це привернуло ще більше уваги до технології VR-гарнітур. Був розроблений Google Cardboard для кріплення смартфонів, щоб перетворити їх на VR-гарнітуру (див. рис. 2.7).



Рисунок 2.7 - Google Cardboard

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Samsung розробив Gear VR у співпраці з Oculus. Пристрій мав схожі наміри з Google Cardboard: дисплей був сумісним смартфоном Samsung, який підключався до гарнітури (див. рис. 2.8).



Рисунок 2.8 - Samsung Gear VR

VR-гарнітури стали «наступним великим хитом». У березні Oculus Rift випустила свій перший офіційний комерційний продукт (див. рис. 2.9). У квітні HTC у співпраці з компанією-розробником відеоігор Valve випустила HTC Vive, гарнітуру та контролери (рис. 2.10). У жовтні компанія-розробник відеоігрового обладнання Sony PlayStation випустила свою VR-гарнітуру, яка раніше називалася Morpheus (див. рис. 2.10)



Рисунок 2.9 - Oculus Rift

Facebook анонсував VR-гарнітуру Half Dome. На цей час, особливо завдяки технологіям смартфонів, які роблять її доступнішою, VR широко використовується в різних сферах, таких як ігри, охорона здоров'я та освіта.

					БР.ІП - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.10 - PlayStation VR

Фінальна версія гарнітури Facebook під назвою Oculus Quest (див. рис. 2.11) була розпродана в багатьох місцях і викликала величезний інтерес. Доведено, що автономна гарнітура є кращою для пересічного користувача, ніж прив'язані системи. Nintendo представила Labo: VR Kit для розробки VR-досвіду для Nintendo Switch.



Рисунок 2.11 - Гарнітура віртуальної реальності Oculus Quest

Галузі застосування змішаної реальності

Деякі з сфер застосування змішаної реальності - це відеоігри, охорона здоров'я, автомобільна промисловість, туризм та космічні дослідження.

Віртуальна реальність (VR) з'явилася разом з індустрією розваг і досі сильно залежить від ігрових компаній у своєму розвитку. Підвищене занурення у відеогру – це те, чого прагне кожна компанія, що займається відеоіграми, і VR, здається, є ідеальним засобом для досягнення цієї мети. Розробники VR-гарнітур об'єднуються з фірмами в індустрії відеоігор, такими як Valve та PlayStation, що означає зростання кількості VR-відеоігор [22]. Наприклад, популярна відеогра Minecraft, розроблена Mojang, була адаптована для VR за допомогою Samsung Gear VR (рис. 2.12). Іншим прикладом VR-відеоігри є Keep Talking and Nobody

					БР.ІП - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Explodes, розроблена Steel Crate Games, у якій команда гравців допомагає користувачеві VR-гарнітури демонтувати бомбу.



Рисунок 2.12 - Рекламне зображення для VR-версії відеогри Minecraft

Окрім розваг, віртуальна реальність (VR) використовується в багатьох інших галузях. Одним із прикладів є охорона здоров'я. VR застосовується в психотерапії для лікування таких розладів, як панічний розлад, посттравматичний стресовий розлад, акрофобія (страх висоти), арахнофобія (страх павуків), страх польотів, розлади сприйняття тіла та розлади харчової поведінки. Ще одне застосування VR для медичних працівників полягає в навчанні, зокрема для операцій, протоколів невідкладної допомоги та взаємин між клініцистом і пацієнтом (рис. 2.13). Було доведено, що навчання VR для хірургічних втручань покращує продуктивність операційної.



Рисунок 2.13 - Навчання операціям на мозку на системі віртуальної реальності

Автомобільна промисловість також використовує VR, здебільшого у складанні та виробництві, що Ong та Nee називають віртуальним виробництвом [23]. VR-дослідження в автомобільному виробництві може бути корисним для

					БР.ІП - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

створення цифрових моделей, тестування ергономіки та концепцій, віртуального складання деталей, виявлення зіткнень та віртуального прототипування

Автомобільна компанія Ford має VR-лабораторію, спеціально створену для процесу проектування продукту, під назвою FIVE, скорочення від Ford Immersive Vehicle Environment lab, в якій створюється віртуальний прототип продукту, щоб інженери, дизайнери та дослідники могли випробувати концепцію перед фактичним виробництвом (див. рис. 2.14). Було заявлено, що міждисциплінарна співпраця на багатьох континентах стала можливою завдяки VR.



Рисунок 2.14 - Віртуальний завод Ford для створення більш продуктивних складальних ліній

NASA відіграло важливу роль у розвитку віртуальної реальності (VR) і досі використовує цю технологію для підготовки своїх астронавтів до місій (див. рис. 2.15). Астронавти NASA з досвідом участі в космічних місіях повідомляли, що симуляції невагомості за допомогою системи тренувань VR дуже схожі на те, як це відбувається в реальному житті.



Рисунок 2.15 - Система віртуальної реальності NASA для підготовки астронавтів до місій.

					БР.ІП - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Використання віртуальної реальності (VR) в освіті також поширене. Стверджується, що VR – це хороший спосіб привернути увагу та залучити студентів завдяки своєму зв'язку з іграми, і вже неодноразово довів свою успішність у викладанні таких тем, як математика, геометрія та анатомія



Рисунок 2.16 - Студенти експериментують з програмою віртуальної реальності для викладання анатомії

Більше того, було виявлено, що віртуальні навчальні середовища мотивують студентів та покращують їхній навчальний досвід, а подальші дослідження щодо того, як слід застосовувати змішану реальність, спрямовані на вивчення того, як вона може доповнювати освіту [24]. Стверджується, що хоча віртуальну реальність можна використовувати для навчання концепціям, контент, який потрібно викладати, має бути спочатку згенерований та легкодоступний, щоб системи віртуальної реальності, які можуть навчати, були більш поширеними. Іншими проблемами інтеграції змішаної реальності в навчальні середовища є вартість, зручність використання та страх перед технологією.

2.2 Методи забезпечення занурення та присутності у MR-системах

Інтерактивна структура змішаної реальності складається з занурення та присутності. Ці характеристики технології, можливо, є причиною постійного інтересу як у комерційній, так і в академічній сферах до розробки нових систем для людей. Визначення та переваги занурення та присутності у віртуальних середовищах стали джерелом натхнення для ключових досліджень на цю тему. Занурення – це об'єктивне явище, яке залежить від точності сенсорних даних, що

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

надаються системою змішаної реальності, тоді як присутність – це суб'єктивна психологічна реакція користувача на систему змішаної реальності. Занурення та присутність іноді використовуються як взаємозамінні в літературі, що стосується змішаної реальності [25]. Важливо охопити літературу щодо занурення та присутності, щоб дійти висновків щодо їхньої ролі та оцінки у представленнях промислового дизайну.

Просторова усвідомленість та мультимедійні стимули

Переваги занурення у віртуальне середовище, найбільш інтуїтивно, пов'язані з просторовим розумінням. Люди сприймають світ як стабільне 3D-середовище, використовуючи такі підказки, як паралакс руху, оклюзія, перспектива та стереопсис, які в змішаній реальності аналогічні стереоскопічним зображенням та відстеженню голови, а це означає, що високий рівень занурення призводить до вищого рівня просторового розуміння. Ще однією перевагою є рівень контролю над деталями середовища. У реальному середовищі інформаційне захащення може бути перешкодою для досягнення концентрації, тоді як зрозумілість віртуального середовища залежить від людини, яка розробляє цей досвід.

Занурення – це концепція, яку можна пояснити як багатогранний досвід. Бути зануреним означає перебувати всередині реального або симульованого досвіду, що включає фізичну та розумову присутність, щоб відійти від реального світу та взяти на себе нові ролі чи ідентичності. Визначають занурення як «форму просторово-часової приналежності до світу, яка характеризується глибокою залученістю до теперішнього моменту». Можна стверджувати, що занурення та присутність – це фактори, які слід враховувати для оцінки правдоподібності не лише згенерованих комп'ютером даних у віртуальних середовищах, але й інших відтворень реальності, наприклад, перспективного малюнка: люди можуть миттєво сприймати перспективу в реальному середовищі за допомогою тривимірних сигналів глибини, що спостерігаються двома очима, але перспективний малюнок – це двовимірне «симуляція» реального середовища, яке нам потрібно уявити у 3D. Для порівняння медіа, представлених у віртуальному чи іншому середовищі, візуальні матеріали забезпечують більше занурення, ніж текст, оскільки розуміння візуального матеріалу займає лише кілька секунд і реєструється в мозку

					БР.ІП - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

миттєво, на відміну від тексту, який вимагає більшої концентрації, оскільки залежить від перетворення на репрезентацію. Запис з камери забезпечить більше занурення, ніж статичні зображення, охоплюючи як зір, так і слух, а також додаючи фактор часу, створюючи наратив. Якщо не враховувати фізичне сприйняття світу у 3D, найбільш захопливе представлення медіа відбувається у віртуальному середовищі.

Люди сприймають світ за допомогою п'яти органів чуття: зору, слуху, дотику, нюху та смаку [26]. У віртуальному середовищі занурення створюється шляхом занурення сенсорного сприйняття користувача в комп'ютерну систему з віртуальними заміниками органів чуття. Сильне відчуття присутності досягається шляхом зіставлення вихідних пристроїв комп'ютера з органами чуття людини для створення реалістичної та легкої для повір'я симуляції візуальних образів та звуків віртуального середовища. Рмішана реальність працює шляхом заповнення прогалин у сприйнятті людини переважно візуальними та слуховими сигналами, дозволяючи розуму пов'язати решту, щоб сприймати симуляцію як близьку до реальної. Рівень занурення у віртуальну систему залежить від таких факторів, як широке поле зору, стереоскопічний зір, відстеження голови, низька затримка у зіставленні рухів користувача з відображеною симуляцією та зображення з високою роздільною здатністю.

Людина у віртуальному середовищі може рухати очима, рухати головою, щоб дивитися вгору або вниз, або з боку в бік, тягнутися та виконувати завдання руками (або віртуальною заміною рук), перетворюючи концепцію перебування *там* на активність усього тіла. Такі дії, як пригинання, щоб побачити об'єкт під ним, тягнутися та озиратися навколо, означають більше занурення, ніж просто дивитися на екран, де ви втрачаєте відчуття перебування в симуляції, коли відводите погляд від екрана. Аналогічно, узгодження швидкості руху користувача на дисплеї пристрою, що кріпиться на голові, покращує занурення, оскільки імітує рух ока, щоб миттєво забезпечити широке поле зору [27]. Занурення підкреслюється, коли користувач може сприймати симуляцію власного тіла у віртуальному середовищі. Ще одним фактором, який посилює присутність у віртуальному середовищі, є звук. Було виявлено, що просторово утворений звук

БР.ІП - 79.00.00.000 ПЗ					Арк.
					40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

призводить до вищої заявленої присутності порівняно з віртуальними середовищами без звуку або непросторово утвореним звуком.

Командна робота та дистанційна освіта з змішаної реальності

Промислові дизайнери рідко працюють самотійно над проектами. У випадку проектів розробки продукту з високою складністю може бути життєво важливим налагодити співпрацю між дизайнерами різних галузей знань. Коли команда дизайнерів співпрацює над проектом, доцільність співпраці між ними залежить від кількох факторів. Наприклад, дизайнери в команді часто розподіляють ролі для виконання різних завдань, і їхні стосунки один з одним відрізняються залежно від рангу в організації. У будь-якому новому дизайнерському проекті дизайнери використовують цифрові інструменти, такі як Інтернет, програмне забезпечення для редагування зображень та різні засоби автоматизованого проектування, для розробки своїх проектів. Відомо, що деякі інноваційні технології, що заохочують командну роботу, допомагають промисловим дизайнерам. Наприклад, було доведено, що потреби дизайнерських команд, такі як пошук інформації для проектів, можна покращити за допомогою технологій, що дозволяють командну роботу. Крім того, було виявлено, що для дизайнерів, які хочуть співпрацювати над проектом, цифрове середовище для ескізів, яке імітує традиційне ескізування, буде таким же ефективним; а дистанційна співпраця виявилася можливою на етапах попереднього проектування.

У процесі проектування неминуче виникнуть проблеми, можливо, навіть більше, коли в розробці проекту бере участь більше одного дизайнера. Для подолання проблем у процесі проектування життєво важливим є аналіз власного мислення; а в освіті в галузі дизайну слід наголошувати на важливості постійної саморефлексії. Нові технології також можуть бути корисними у вирішенні проблем у спільних дизайнерських проектах. У дослідженні, проведеному щодо он-лайн-співпраці в освітніх проектах дизайну інтер'єру, було виявлено, що сприяння співпраці шляхом призначення ролей студентам є корисним. Приклади розподіленої дизайнерської співпраці можна знайти в таких галузях, як веб-дизайн, проектування механічних виробів, проектування програмного інтерфейсу або у викладанні дизайну. Синхронна та асинхронна співпраця в дизайнерських

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проектах на різних етапах проектування може вирішити проблеми, пов'язані з описом фізичних елементів та дизайнерських ідей. Виявлено, що співпраця між студентами біомедичної інженерії та промислового дизайну в старших командах дизайнерських проектів має такі переваги, як навчання студентів спілкуванню з людьми з інших дисциплін, формування у них розуміння додаткових навичок, які кожен учасник привносить у проект, та розуміння того, що існує більше одного способу вирішення проблеми [28].

Складність освітніх проектів промислового дизайну зростає завдяки співпраці з промисловістю, де студентів відвідують професійні партнери з галузі, щоб отримати їхній відгук, а після завершення проекту вони представляють клієнтам готові дизайнерські концепції як продукти. Для підготовки студентів до професійної практики наголошується на автентичній практиці, заохочуючи їх до діяльності, яку виконують професіонали. Успішне поєднання сфери бізнесу та дизайну призводить до «широкого розуміння цінності стратегічного мислення для дизайнерської практики». Було показано, що співпраця між промисловістю та університетами у формі оновленого університетського навчання щодо нових доступних технологій та практики фахівців, які отримують користь від досліджень університетів, а також перевіряють свої ідеї на практиці, сприятиме результатам обох сторін.

Інтерактивність у реальному часі та віддалена співпраця

Інтерактивність у реальному часі – це ще один фактор, який посилює занурення у віртуальні середовища. Стверджується, що присутність «рівнозначна успішно підтримуваним діям у середовищі». Ця точка зору стверджує, що дії людей та функціональність системи створюють більш реалістичний досвід, ніж просто видимість. Іншими словами, можливості, що пропонуються у віртуальному середовищі, створюють відчуття перебування *там*, виходячи з того, що користувач може там робити. Інші дослідження підкреслювали необхідність тісної відповідності між кінестезією та сенсорними даними, що пропонуються у віртуальній системі.

Переваги посиленого занурення в системи змішаної реальності стають ще більш помітними, особливо в часи, коли дистанційна онлайн-освіта є єдиним

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

варіантом через кризи в галузі охорони здоров'я, такі як пандемія COVID-19. Дослідження дистанційної співпраці з віртуальною реальністю в освітніх закладах стали зростаючою тенденцією. Розробили середовище віртуальної реальності для вивчення впливу спілкування студентів на спільний дизайнерський проект: студенти могли працювати онлайн у віртуальному класі, щоб розробляти креслення та описувати свої рішення [29]. Наголосили на необхідності систем дистанційної співпраці з більш ніж двома учасниками та розробили систему змішаної реальності на основі жестів, яка дозволяє фізично віддаленому користувачеві виконувати ручні завдання для перевірки просторової орієнтації. Запропоновано нові типи співпраці в системі змішаної реальності CoVAR для спільної роботи користувачів над просторовими завданнями у спільному середовищі. Подібні експерименти зі співпраці у віртуальних середовищах проводилися в таких галузях, як міське планування, навчання працівників, конструкція транспортних засобів, тренування з фізичної активності, а також імерсивна та спільна візуалізація даних. Деякі дослідники наголошують, що дисплеї, що кріпляться на голові, не є єдиним способом досягнення занурення, і веб-системи віртуальної реальності можуть забезпечити розумове та емоційне занурення.

Стверджується, що веб-орієнтована віртуальна реальність (VR) може сприяти навчальним процесам, надаючи учням реалістичні 3D-симуляції та взаємодії, а також переносячи освітнє середовище з фізичних класів до онлайн-мереж, щоб полегшити доступ до інформації навіть з дому. Веб-орієнтовані системи віртуальної реальності дистанційного навчання досліджувалися для віртуальних екскурсій бібліотеками на основі панорам, кореляції точності та зручності використання взаємодій в освіті, імерсивного навчального середовища з природничих наук, а також розробки контенту та вирішення проблем в архітектурному проектуванні в освітньому середовищі. Щодо теми дистанційного онлайн-навчання, системи VR на мобільних пристроях мають перевагу портативності, окрім забезпечення спільного середовища для освіти та розробки проектів.

2.3 Практичне застосування систем змішаної реальності у промисловому дизайні

					БР.ІП - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Окрім вищезгаданих областей застосування змішаної реальності, ця технологія використовувалася для промислового дизайну як у комерційній, так і в освітній сфері [30]. Література, що документує використання змішаної реальності в освіті з промислового дизайну, обмежена, але є приклади використання змішаної реальності у розробці нових продуктів як в академічній сфері, так і в промисловості. Незважаючи на те, що раніше змішаної реальності брали участь у розробці інвестиційно важливих продуктів, таких як автомобільний дизайн, ці інструменти стають доступнішими, а отже, і більш доступними для освітнього контексту.

Комерційне використання змішаної реальності для дизайну продукції

У промисловості технологія змішаної реальності використовується для сприяння процесу проектування в багатьох аспектах, таких як компонування виробничих та складальних ліній та навчальні симуляції для складальників, а також візуалізація варіантів налаштування в консультації з клієнтом для складних продуктів, таких як індивідуальне облаштування громадського транспорту. Таким чином, користувачі мають можливість частіше знайомитися з продуктами протягом усього процесу проектування. Ще однією перевагою є візуалізація продуктів у їхньому передбачуваному середовищі для імітації повного досвіду використання, що дозволяє відтворювати неможливі або дуже важкі для відображення середовища, особливо доповнені анімацією зі звуками для додаткового реалізму, якого інакше важко досягти за допомогою фізичного прототипу. Зростаючий інтерес до віртуальних взаємодій та ігор, можливо, підвищить потребу в методах проектування віртуальної реальності.

Як зазначено в підрозділі, дизайнери повинні підготувати високоточні фізичні прототипи для зацікавлених сторін проекту, оскільки презентація дизайнерської ідеї найлегше сприймається, коли фізичний прототип наближається до кінцевого продукту. Більше того, високоточні фізичні прототипи є кращими під час тестування користувачами для збору більш детальних та глибоких даних [31]. Створення кількох високоточних фізичних прототипів створює деякі затримки в розробці дизайну, і саме тут змішаної реальності може подолати розрив

					БР.ІП - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Віртуальний прототип - це модель продукту, яка імітує його фізичну форму, внутрішні компоненти та характеристики роботи, і підходить для тестування користувачами. Використання віртуальних прототипів має багато переваг порівняно з просторовими:

Зменшення часу та витрат у виробництві

- Синхронізований процес проектування та створення прототипів
- Спільний дизайн з різних місць
- Жодних втрат часу та коштів на повторні ітерації

Інтегруючи інструменти віртуальної реальності з процесом САПР, дизайнери можуть вийти за межі інструментів 2D-візуалізації, покращити якість кінцевого продукту завдяки легкості дослідження, візуалізації, тестування та перевірки дизайну, а також пришвидшити вихід на ринок. Прискорення виходу на ринок є обов'язковим для проектування продукту в середовищі, де спостерігається зростаюча конкуренція, а інтеграція нових технологій у процес проектування є життєво важливою для успіху. Найдорожчим і найповільнішим атрибутом процесу проектування, на який припадає 70% загальної вартості продукту, є ітеративний аспект: постійно створюються численні рішення проблеми, які порівнюються з іншими варіантами. Віртуальні прототипи можуть допомогти дизайнерам заощадити гроші та час, замінивши фізичні прототипи, а також спростити процес ітерації, оскільки віртуальні прототипи не потребують фізичного виробництва чи модифікації. Дизайнери можуть скористатися перевагами простоти повторення в програмах САПР, щоб приймати рішення, що реагують на проблеми, що виникають під час тестування користувачами з віртуальними прототипами, щоб у кінцевому фізичному прототипі було менше помилок, що було б фінансово вигідніше для компанії. У дослідженні, спрямованому на використання VR для оцінки дизайну, 3D-дисплей та функція тактильного зворотного зв'язку виявилися простими у використанні, схожими на реальні, мають хорошу продуктивність та надійність. Щоб бути придатним для тестування користувачами, віртуальний прототип повинен відповідати деяким вимогам, найголовніше – бути інтерактивним. Для найкращої оцінки та повторного використання дизайну віртуальний прототип повинен характеризувати та імітувати технічні

					БР.ІП - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

деталі продукту, забезпечувати співпрацю шляхом можливості спільного використання між зацікавленими сторонами, бути модифікованим та систематизованим, чутливим до контексту та забезпечувати мультисенсорний та мультимодальний зворотний зв'язок у режимі реального часу для повного занурення.

Віртуальні прототипи мають більшу перевагу порівняно з системами САПР, оскільки, хоча 3D-системи САПР корисні для розуміння форми, матеріалів та рухомих частин конструкції, вони не забезпечують можливості редагування в режимі реального часу та занурення так, як це можуть VR-прототипи. Ця характеристика занурення у VR-середовища особливо зручна для тестування та оцінки користувачами, дозволяючи дизайнеру відстежувати такі дані, як захоплення рухів користувачів, щоб перевірити відповідність ергономічним стандартам. Було доведено, що використання VR для тестування взаємодії людини з продуктом може бути використане для розробки зовнішніх функцій та функціональних властивостей.

Переваги віртуального прототипування були доведені за допомогою низки тематичних досліджень. Афективні якості мобільних телефонів були протестовані для оцінки задоволення щодо текстури, привабливості, зернистості, гармонійності, простоти та жорсткості. Інше тематичне дослідження було проведено щодо розробки ергономічного випробувального стенду для електронних карток з акцентом на міждисциплінарну співпрацю між стилем, ергономічною життєздатністю та механічними вимогами. У цьому тематичному дослідженні промисловий дизайнер зміг перевірити форму та об'єм стенду набагато точніше, ніж уявна проекція поверхонь, таким чином запобігаючи пропорційним та ергономічним помилкам та отримуючи схвалення інших зацікавлених сторін. Крім того, провели експерименти, в яких оцінка зручності використання віртуальної реальності порівнювалася з тестуванням реальних продуктів, а саме мікрохвильової печі та пральної машини [32]. Експерименти проводилися за допомогою системи віртуальної реальності під назвою VP4PaD (Віртуальне прототипування для партисипативного дизайну) та надали уявлення як про тестування користувачами, так і про партисипативний дизайн. Результати цього дослідження показали, що VR є життєздатним інструментом для тестування зручності використання

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інтерфейсу продукту, і віртуальний інтерфейс не заважає ефективному проведенню тестування користувачами, а кінцеві користувачі можуть брати участь у заходах з партисипативного дизайну одночасно з тестуванням користувачів. Крім того, VR можна адаптувати до дій зі створення сценаріїв у розробці продукту. Під час тестування користувачами за допомогою VR дизайнер може створити реалістичне середовище та взяти глядача у подорож використання прототипу. За допомогою VR можна розповідати історії, які подобаються всім і змушують їх відкласти переконання про те, що вони не перебувають у реальному середовищі. Використовуючи VR для імітації використання продукту, дизайнери можуть розповідати та оцінювати історії, а також супроводжувати людей через цей досвід.

Ще одне дослідження було проведено для створення UnitBathRoom, сантехнічної установки, виготовленої на заводі та зібраної у ванній кімнаті замовника. Система віртуальної реальності для проектування цієї сантехнічної установки, яка складається з таких елементів, як раковини, ванни, дзеркальні панелі, вентилятори, вішалки для рушників, вішалки для туалетного паперу тощо, враховує такі фактори, як вартість, гармонія, екологічні фактори, графік доставки, безпека продукції, зручність розміщення та доступність (див. рис. 2.16).

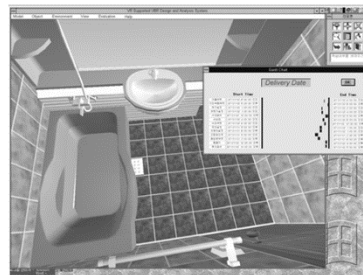


Рисунок 2.16 - Ванна кімната, спроектована з використанням системи віртуальної реальності UnitBathRoom

Система віртуальної/доповненої реальності Spacedesign, , закладає основи для досягнення мети – надання потужності інструменту для створення тривимірно модифікованих поверхонь для моделювання вільної форми (див. рис. 2.17).

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

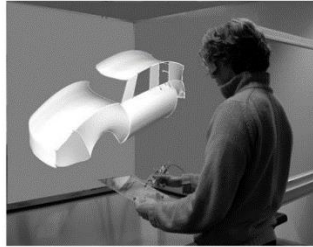


Рисунок 2.17 - Проектування кузова автомобіля за допомогою VR/AR візуалізації

Взаємодія з програмою CAD у системі віртуальної реальності (VR) виявилася більш природною та інтуїтивно зрозумілою, ніж у традиційних системах. Завдяки двовимірному екрану, миші та клавіатурі, дизайнер має двовимірну взаємодію. З іншого боку, система концептуального проектування на основі VR під назвою LUCID (скорочення від Loughborough University Conceptual Interactive Design) має інтерфейс керування двома руками, інтерфейс стереоскопічного дисплея, інтерфейс тактильної взаємодії та інтерфейс звукового зворотного зв'язку (див. рис. 2.18), що забезпечує дизайнеру швидку та природну роботу.

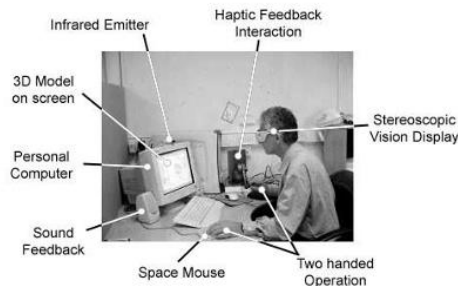


Рисунок 2.18 - Структура інтерфейсу людини-комп'ютера LUCID

розробили систему віртуальної реальності CAVE для масштабу кімнати, щоб аналізувати та оновлювати дизайн продукту без витрат на виготовлення прототипу [33]. Система складалася з проекторів та відбиваючих екранів, що оточували простір (див. рис. 2.19).

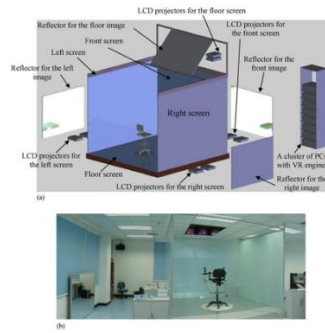


Рисунок 2.19 - Повна схема CAVE

Дизайнери могли обертати, масштабувати вгору та вниз, перемикати видимість компонентів для вивчення та оцінки дизайну (див. рис. 2.20).

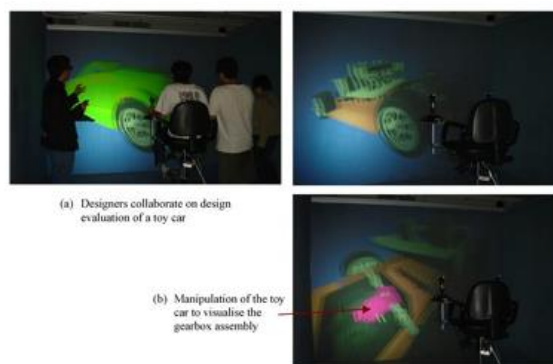


Рисунок 2.20 - Оцінювання дизайну продукту у віртуальному середовищі CAVE

Ця система була використана в розробці багат шарового ергономічного взуття (див. рис. 2.21).

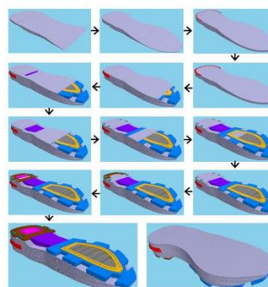


Рисунок 2.21 - Процес проектування прототипу взуття з кількох матеріалів у CAVE

					БР.ІП - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Створено систему віртуальної реальності, яка дозволяє автомобільним дизайнерам проводити огляди дизайну за допомогою віртуальних прототипів, щоб пришвидшити процес проектування, усунувши зусилля та витрати на фізичні прототипи. Система включає гарнітуру, контролер та проекцію, а також використовує такі інструменти, як віртуальна рука, віртуальний поворотний стіл, динамічна взаємодія, виявлення зіткнень, 3D-вказівник та альтернативи матеріалів і текстур для оцінки дизайну (див. рис. 2.22).

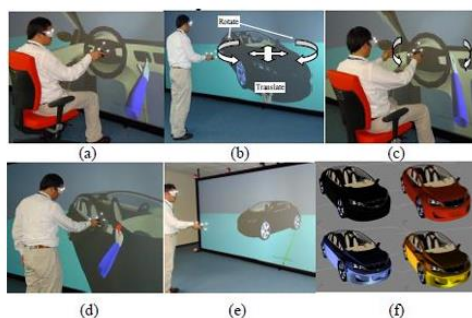


Рисунок 2.22 - Віртуальні інструменти для перевірки проекту

(a) віртуальна рука, (b) віртуальний поворотний стіл, (c) динамічна взаємодія, (d) інспекційна картка, (e) 3D-вказівник, (f) бібліотека матеріалів та текстур

Розроблено метод проектування з використанням технології віртуальної реальності для складних взаємодій людини з продуктом. Система відстежує рухи рук користувача під час використання елементів керування кабіною літака, щоб користувач міг оцінити складність взаємодії (див. рис. 2.23).

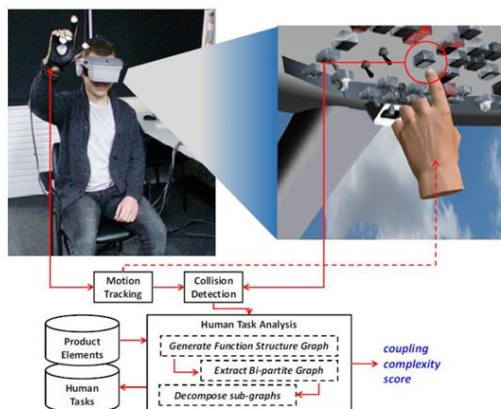


Рисунок 2.23 - Компоненти системи віртуальної реальності для симуляції кабіни пілотів літака

Інтеграція змішаної реальності в освіту з дизайну

У дослідженні, проведеному за участю студентів-промислових дизайнерів, попри передбачувані труднощі з навчанням використанню цієї техніки, студенти були зацікавлені у використанні віртуальної реальності (VR) у дизайнерському проекті. Інтеграція цифрових навчальних інструментів у традиційний контекст, змішане навчання, значно зросла за останні роки. VR може дозволити студентам навчатися, залучаючись до реалістичних симуляцій та середовищ для розробки та оцінки своїх проектів, як вдома на своїх персональних комп'ютерах, так і у віртуальних класах.

Виявлено, що дизайнери можуть зменшити кількість помилок, маючи більш прямий зв'язок з віртуальним 3D-середовищем та маючи можливість редагувати в режимі реального часу, і запропонували методологію для вивчення методів дизайну та оцінки рівня креативності студентів-промислових дизайнерів за допомогою віртуальної реальності. Автори використовували систему віртуальної реальності, що складається з набору Google Cardboard для зручності використання зі смартфоном та програмного забезпечення Sketchfab (див. рис. 2.24).

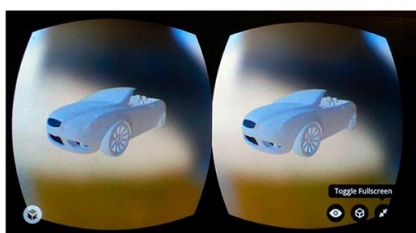


Рисунок 2.24 - VR-сцена, згенерована за допомогою Sketchfab, для відображення на смартфоні за допомогою Google

Відповідно до експериментів з VR серед студентів-промислових дизайнерів, використовували VR, щоб продемонструвати здатність технології збагачувати презентації та симуляції серед студентів, дотримуючись студентоорієнтованого спільного підходу до створення інтегративного та об'єднуючого досвіду.

БР.ІІ - 79.00.00.000 ПЗ					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	51

Завдяки тестам, проведеним з VR-системою, що складається з Google Cardboard, смартфона Android з розширенням VR Unity та контролера Bluetooth що, взаємодіючи з віртуальним середовищем, студенти мають більш інтуїтивне та природне сприйняття масштабу та просторового розташування порівняно з 2D-екраном.

Досліджували успіх малювання у віртуальній реальності (VR) в освіті з промислового дизайну та виявили, що VR може покращити розуміння простору у студентів та підвищити точність представлення взаємодії між людьми та відповідними компонентами. Автори використали Gravity Sketch, щоб попросити студентів-промислових дизайнерів спроектувати стіл, стілець та кухню.

За допомогою трьох тематичних досліджень виявили, що VR використовувалася студентами-дизайнерами для ранніх ітерацій, оцінки зручності використання та спільного проектування, і наголосили на перевагах і проблемах. Для тестування вони використовували VR-гарнітуру з контролером і середовище, побудоване в Unity (див. рис. 2.25). Перевагами були розробка та тестування дизайну в масштабі 1:1, можливість швидкої модифікації дизайну, легке перенесення файлів CAD, варіанти недорогої VR-системи, легкодоступне програмне забезпечення та адаптація до нових технологій для покращення дизайн-мислення. Обмеженнями були зазначені труднощі зі сприйняттям глибини, обмеження реального спілкування, заколисування та крива навчання.



Рисунок 2.25 - VR-досвід, розроблений для перевірки зручності використання та взаємодії

Для аналізу та прогнозування оптимальних систем віртуальної реальності (VR) для студентів-промислових дизайнерів було проведено дослідження побажань студентів-дизайнерів щодо дизайнерської діяльності у віртуальній

БР.ІІ - 79.00.00.000 ПЗ					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	52

реальності, а також зібрано думки студентів-дизайнерів та викладачів щодо використання технології VR у курсах промислового дизайну.

2.4 Висновок по розділу

У другому розділі було досліджено методи та інструменти програмування систем змішаної реальності в контексті промислового дизайну. Розглянуто основні поняття, термінологію та архітектуру MR-систем, що визначають принципи їх побудови та функціонування. Проаналізовано методи забезпечення занурення та відчуття присутності користувача у змішаному середовищі, що є ключовим для ефективної взаємодії з цифровими моделями. Також досліджено практичне застосування систем змішаної реальності у промисловому дизайні, зокрема для візуалізації та оцінки прототипів. У результаті визначено ефективні технологічні підходи до розробки MR-рішень для дизайнерських задач.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ТА ІНТЕГРАЦІЯ MR-СИСТЕМИ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО ДИЗАЙНУ

3.1 Проектування та методологія розробки системи змішаної реальності

Дослідження дій, у поєднанні з даними з тематичних досліджень, було визнано особливо доцільним для досягнення цілей дослідження як визнаний підхід до підтримки покращення виконання та розуміння практики. Збір та аналіз даних тематичних досліджень також включає збір неструктурованих даних, а також якісну інтерпретацію таких даних. Визначають дослідження дій як один зі специфічних підходів, що використовуються в дослідженнях тематичних досліджень.

Дослідження в дії прагне подолати розрив між теорією та практикою, поєднуючи діяльність та дослідження. Дослідження в дії полягає у визначенні мети, яку прагне досягти дослідник, шляхом вивчення існуючих практик для проблематизації та вжиття заходів для покращення виявлених аспектів, а також шляхом

					БР.ІП - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

визначення причин для дії стосовно цінностей дослідника, а також збору та оцінки даних, щоб продемонструвати, що причини та цінності були виправданими та задоволеними [34]. Циклічний характер дослідження в дії був відзначений Бірлі, який описав його як проведення професією, яка досліджує власну діяльність з метою покращення практики.

У традиційних дослідженнях для оцінки якості дослідження використовуються традиційні критерії, такі як «Чи є результати дослідження узагальнюваними та відтворюваними?», та традиційні стандарти, такі як «Наскільки добре враховані критерії?». В екшн-дослідженні цінності дослідника стають його критеріями, а якість визначається тим, наскільки добре дослідник може продемонструвати, що він намагається покращити практику на основі цих критеріїв. Розглядаючи результати розділів, ми можемо визначити, що при представленні складності в освітніх проектах промислового дизайну, необхідність високоточних презентацій, а також необхідність цифрової співпраці між дизайнерами є факторами, які слід враховувати, і занурення, що забезпечується технологією змішаної реальності, може бути відповіддю. Переваги збільшення занурення за допомогою змішаної реальності у формі забезпечення просторової усвідомленості, мультимедійних стимулів та інтерактивності в реальному часі допомагають вирішити труднощі представлення в проектах промислового дизайну великомасштабної та складної інтерактивності за допомогою мультимедійних презентацій та віддаленої співпраці. Виходячи з порівняння труднощів представлення складності в проектах промислового дизайну в розділі 2 з можливостями занурення в системи змішаної реальності, презентаційний матеріал було оцінено за критеріями контексту використання, аудіовізуального зворотного зв'язку та тривимірної точності. Представлення контексту використання стосуються презентаційних дощок, критерії 3D-точності стосуються макетів, а представлення аудіовізуального зворотного зв'язку стосуються як презентаційних дощок, так і макетів. Під час оцінювання представлення контексту використання на презентаційних дошках основна увага приділялася деталям, що візуалізують продукт у його передбачуваному контексті, взаємодії користувача з продуктом та користувача, який розіграє сценарій використання. Під час оцінювання представлення

БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	54

аудіовізуального зворотного зв'язку основна увага приділялася деталям, що представляють світло, звук, інформаційні екрани та графічні інтерфейси користувача як на презентаційних дошках, так і на макетах. Під час оцінювання 3D-точності макети аналізувалися на основі масштабування моделі, якості матеріалу та поверхні, і, нарешті, деталізації компонентів, таких як рухомі частини, аксесуари, розрізи тощо.

Труднощі з представленням великомасштабних проектів можна вирішити завдяки перевагам просторового уявлення, що виникає завдяки зануренню в систему змішаної реальності. На дошках презентації остаточного дизайну ці труднощі можна побачити в деталях контексту використання, таких як бачення продукту в контексті, користувача та продукту у взаємодії, а також сценарію використання. У макетах презентації остаточного дизайну ці труднощі можна побачити за критеріями 3D-точності, такими як масштаб, якість матеріалів та деталізація компонентів.

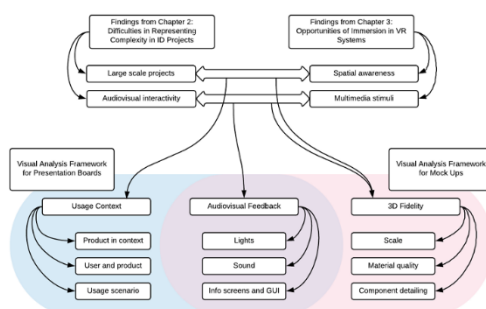


Рисунок 3.1 - Кроки, що ведуть до структури візуального аналізу для презентації

Труднощі з представленням аудіовізуальної інтерактивності в складних проектах промислового дизайну можна вирішити завдяки можливості створення занурення за допомогою мультимедійних стимулів. У остаточних презентаційних дошках дизайну ці труднощі можна побачити в деталях аудіовізуального зворотного зв'язку, таких як світло, звук та графічні інтерфейси [35]. У остаточних макетах презентацій дизайну ці труднощі можна побачити за критеріями 3D-точності деталізації компонентів.

Аналіз, проведений для поєднання недоліків презентаційного матеріалу з можливостями змішаної реальності на основі цих критеріїв, має на меті виявити конкретні аспекти презентації дизайну, в яких інтеграція системи змішаної реальності дасть найефективніші результати. Маючи цю інформацію, можна запропонувати конкретні рішення для інтеграції систем змішаної реальності з презентаціями освітніх проектів промислового дизайну.

Структура візуального аналізу – це унікальна шкала оцінювання, розроблена для того, щоб надати можливість вийти за рамки очікувань щодо традиційних методів представлення в освіті з промислового дизайну. Оскільки представлені обрані проекти були підготовлені з використанням традиційних інструментів та методів презентації, тобто презентаційних дощок та неінтерактивних макетів, найвища оцінка 4 не була досягнута в жодній з категорій оцінювання, оскільки найкращим варіантом, окрім реального робочого прототипу, було прийнято віртуальний робочий прототип. Шкала оцінювання від 0 до 4 буде пояснена в наступних розділах для кожного підкритерію.

Контекст використання

Презентаційні дошки були оцінені за рівнем успішності представлення деталей контексту використання продукту в контексті, користувача та продукту, а також сценарію використання (Таблиця 3.1). Частини поданих робіт, які представляли відповідну інформацію, що стосується критеріїв оцінювання, були оцінені від 4 до 0. Припущення полягало в тому, що повна оцінка 4 буде присвоєна робочому інтерактивному віртуальному прототипу, який буде досяжний за допомогою технології змішаної реальності, як було продемонстровано в попередніх розділах [36]. Віртуальний робочий прототип дозволить глядачеві побачити повну симуляцію продукту в передбачуваному середовищі використання, взаємодіяти з продуктом належним чином та реалізувати повний сценарій використання. Друга найкраща оцінка 3, яка є кінцевим оптимальним результатом, традиційно очікуваним від учасників, була присвоєна результатам, що представляють повне середовище використання з різних ракурсів та конфігурацій, а також представляють користувача, який взаємодіє з продуктом у повністю

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

деталізованому середовищі для виконання кількох послідовностей сценаріїв використання, включаючи екрани інтерфейсу. Третя найкраща оцінка 2 була присвоєна результатам, що представляють продукт у менш деталізованому середовищі з частковою взаємодією з користувачем, що виконує обмежену послідовність використання. Найменш задовільну оцінку 1 було надано результатам, що представляють продукт у мінімально деталізованих середовищах з найменшою кількістю деталізації, виконуючи неповну послідовність сценаріїв використання. Роботи, де не були представлені контекст використання, представлення користувача та деталі сценарію використання, отримували відповідно оцінку 0.

Таблиця 3.1

Структура візуального аналізу для оцінки кінцевих результатів проекту на основі представлення контексту використання

Рівень	Продукт у контексті (Product in context)	Користувач і продукт (User and product)	Сценарій використання (Usage scenario)
4	Робочий віртуальний прототип, що представляє цільове середовище використання.	Інтерактивний віртуальний прототип.	Робочий віртуальний прототип.
3	Представлення повного середовища з різних ракурсів та конфігурацій.	Представлення користувача, що взаємодіє з продуктом у повністю деталізованому середовищі.	Взаємодія користувача з продуктом у декількох послідовностях, включаючи екрани інтерфейсу.
2	Представлення продукту в частковому середовищі.	Представлення користувача, що взаємодіє з продуктом із частковою деталізацією середовища.	Представлення користувача, що взаємодіє з продуктом у частковій послідовності використання.
1	Представлення продукту в мінімальному середовищі, без користувача.	Представлення користувача, що взаємодіє з продуктом із мінімальною деталізацією середовища або без неї.	Представлення часткової послідовності використання або відсутність взаємодії користувача з продуктом.
0	Не представлено.	Не представлено.	Не представлено.

Аудіовізуальний зворотний зв'язок

Презентаційні дошки та макети були оцінені за рівнем успішності представлення аудіовізуального зворотного зв'язку за допомогою світла, звуку,

					БР.ІП - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

інформаційних екранів та інтерфейсів користувача (Таблиця 3.2). За представлення світла найвища оцінка 4 буде надана наявності робочого світла, звуку та графічного інтерфейсу користувача у віртуальному прототипі, де користувач взаємодіятиме з продуктом, щоб отримати зворотний зв'язок у режимі реального часу після завершення сценарію використання.

Таблиця 3.2

Структура візуального аналізу для оцінки кінцевих результатів проекту на основі представлення аудіовізуального зворотного зв'язку

Рі- вень	Світло (Lights)	Звук (Sound)	Інформаційні ек- рани та GUI
4	Робоче освітлення у віртуальному прототипі.	Робочий звук у віртуальному прототипі.	Робочі графічні інтерфейси користувача у віртуальному прототипі.
3	Представлення внутрішнього та/або зовнішнього світла на різних етапах використання.	Робочий звук у фізичному прототипі.	Кілька сценаріїв, представлені всі екрани графічного інтерфейсу.
2	Часткове представлення освітлення.	Опис звуку на презентаційних дошках.	Часткове представлення графічного інтерфейсу користувача.
1	Мінімальне представлення освітлення.	Згадка про звук на презентаційних дошках.	Мінімальне представлення графічного інтерфейсу користувача.
0	Не представлено.	Не представлено.	Не представлено.

Друга найвища оцінка 3 була надана роботам, які представляють внутрішнє та зовнішнє освітлення, а також усі або більшість екранів графічного інтерфейсу користувача на різних етапах використання, щоб отримати повне уявлення про зворотний зв'язок, який користувач отримає під час взаємодії з прототипом без інтерактивності. Третя найкраща оцінка 2 була надана роботам, які представляють лише деякі з освітлення та екранів графічного інтерфейсу користувача, а остання оцінка 1 була надана роботам, які мали мінімальне представлення або згадку про деталі аудіовізуального зворотного зв'язку. Роботи, в яких не були представлені світло, звуки та інформаційні екрани/графічний інтерфейс

користувача, отримали оцінку 0.

3D-точність

Нарешті, макети були оцінені за рівнем успішності представлення тривимірної точності з масштабом, якістю матеріалів та деталізацією компонентів (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3

Структура візуального аналізу для оцінки кінцевих результатів проекту на основі 3D-точності

Рівень	Масштаб (Scale)	Якість матеріалів (Material quality)	Деталізація компонентів
4	Повномасштабний віртуальний прототип.	Віртуальний прототип із цільовими (запланованими) матеріалами.	Повністю інтерактивний віртуальний прототип.
3	Повномасштабний фізичний прототип.	Фізичний прототип із високим рівнем фінішної обробки.	Високодеталізований прототип.
2	Зменшений фізичний прототип.	Фізичний прототип із помірним рівнем фінішної обробки.	Помірно деталізований прототип.
1	Грубий фізичний макет.	Грубий фізичний прототип.	Оболонковий прототип (hollow/shell).
0	Не представлено.	Не представлено.	Не представлено.

За представлення масштабу найвища оцінка 4 була б надана наявності повномасштабного віртуального прототипу, де користувач може отримати справжнє відчуття розміру продукту, обходячи його та маніпулюючи ним. Друга найвища оцінка 3 була надана поданим повномасштабним фізичним моделям, які також забезпечують точне просторове уявлення, але не мають можливості легкого масштабування та маніпулювання. Третя найкраща оцінка 2 була надана поданим роботам зі зменшеними фізичними прототипами. За представлення якості матеріалів найвища оцінка 4 була б надана віртуальному прототипу з запланованими матеріалами. Друга найвища оцінка 3 була надана фізичним прототипам з високим рівнем обробки. Найнижча оцінка 1 була надана грубо завершеним фізичним макетам [37]. За представлення деталізації компонентів найвища оцінка 4 була б надана робочому віртуальному прототипу. Друга за величиною оцінка –

З – була виставлена роботам з високим рівнем деталізації компонентів, включаючи графічні інтерфейси користувача, рухомі частини, аксесуари, розрізи тощо.

Загалом для аналізу було відібрано чотири освітні проекти з промислового дизайну, розроблені в рамках весняного семестру 2016-2017 років, осіннього та весняного семестрів 2017-2018 років, а також осіннього семестру студійних курсів 2018-2019 років у METU. Проаналізовані дані складаються з остаточних заявок журі на 45 проектів, розроблених кожною командою [38]. Джерелом зібраних даних є роздаткові матеріали з детальним описом вимог до подання робіт викладачами студентів третього та четвертого курсів, а також презентаційні дошки та макети, виготовлені командами студентів для цих проектів. Назви цих проектів:

- Переосмислення вбудованої електричної духовки для сталого розвитку у співпраці з Тека (12 поданих проектів);
- Автономний перонний автобус для аеропортів у співпраці з ОТОКАР (12 поданих проектів);
- Переосмислення вбудованої склокерамічної варильної поверхні та інтерфейсу для сталого розвитку у співпраці з Тека (12 поданих проектів);
- Міський автобус майбутнього у співпраці з MAN Turkey (9 поданих проектів).

Обрані проекти підходять для дослідження, оскільки всі вони є проектами великого масштабу та складної інтерактивності. До кінця третього та початку четвертого курсу вважається, що студенти промислового дизайну METU отримали необхідні навички для проектування високоскладних продуктів та створення високоякісних презентаційних матеріалів. Іншими освітніми цілями є командна робота, комунікативні навички, розподіл робочого навантаження, більш складний рівень деталізації, високий рівень прототипування. У кожному з цих проектів студенти пройшли такі етапи, як дослідження дизайну (технічне, літературне, польове та дослідження користувачів), мозковий штурм (для розуміння проблемної області), початкове генерування ідей (для створення альтернативних концепцій дизайну), попереднє журі, тестування користувачів, відгуки експертів,

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

деталізація дизайну та остаточне журі.

3.2 Реалізація взаємодії користувача з 3D-моделями у MR-середовищі

Візуалізацію взаємодії користувача з продуктом у команді було проаналізовано за критеріями зображення користувача та продукту, а також зображення сценаріїв використання. Візуалізація користувача та продукту необхідна для передачі інформації про ергономічну придатність продукту відносно людських пропорцій [39]. Сценарії використання схожі в тому сенсі, що зображується взаємодія користувача з продуктом, але з тією різницею, що вони поєднують кілька зображень разом з текстом, щоб розповісти історію про використання продукту через кроки, що виконуються для виконання завдань. Глядач ідентифікує себе з людською фігурою на дошці, щоб отримати уявлення про форму та функцію дизайну. Команди досягли візуалізації взаємодії користувача з продуктом, розмістивши силует або віртуальні 3D-манекени в кадрі. Це стандартна практика для освітніх дизайнерських презентацій; однак недоліки стають очевидними, враховуючи те, що досвід змішаної реальності може додати до способу передачі інформації про дизайн. Основною проблемою візуалізації користувача з продуктом традиційними методами є невідповідність рівня деталізації між користувачем, продуктом та середовищем. Відсутність деталізації навколишнього середовища створює враження, ніби продукт ширяє в повітрі, і важко зрозуміти висоту продукту відносно людського тіла. Більше того, дуже великий кут огляду, щоб показати взаємодію користувача з продуктом, виглядає неприродним і нав'язливим, і робить людську фігуру спотвореною, що знову ж таки ускладнює розуміння масштабу продукту відносно людського тіла (див.рис. 3.2).

На презентаційній дошці проекту електричної духовки T1 (ліворуч), візуалізація взаємодії користувача з продуктом на презентаційній дошці проекту склокерамічної варильної поверхні T5 (праворуч). Під час використання людських манекенів для представлення взаємодії користувача з продуктом, скутість та безжиттєвість людської фігури можуть бути проблемою.

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.2 - Візуалізація взаємодії користувача з продуктом

Людські фігури можуть виглядати однорідними, пози можуть виглядати неприродно та надумано, відсутність деталей щодо каретки чи аксесуарів робить сцену нереалістичною (див. рис. 3.3). Крім того, можна побачити, що ці манекени не відрізняються за зростом, розміром, статтю чи віком, а такі деталі, як одяг, аксесуари, такі як різні види кареток, тростини для ходьби та коляски, не представлені.

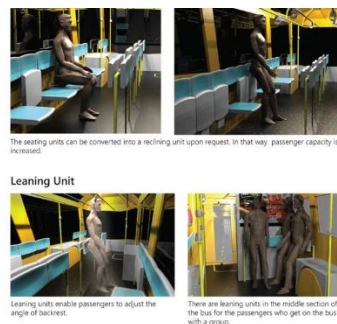


Рисунок 3.3 - Візуалізація взаємодії користувача з продуктом у міському Автобусі

Сценарій використання

Сценарії використання повинні балансувати між відображенням усіх необхідних взаємодій між користувачем і продуктом та складністю відстеження. Існує ризик того, що сценарій буде або занадто віддалений від реального середовища використання, а також від екранів інтерфейсу, де релевантність інтерфейсу користувача до продукту зменшується, оскільки приклади силуетів рук на екранах інтерфейсу не пропорційні інтерфейсу, або ж сценарій буде занадто графічно насиченим і матиме надлишок тексту, що ускладнить читання (див. рис. 3.4).

					БР.ІП - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Якщо користувач не виконує дію від початку до кінця, це створює проблеми зі слідуванням послідовності дій, як це було б у сценарії. Ця проблема більш очевидна у випадках, коли послідовність використання не є лінійною, а радше розгалужується на кілька різних варіантів використання.



Рисунок 3.4 - Візуалізація сценарію використання на презентаційній дошці проекту склокерамічної варильної поверхні

T12 (ліворуч), візуалізація сценарію використання на інтерфейсі презентаційної дошки склокерамічної варильної поверхні T5 (праворуч).

Включення деталей оточення робить сценарії використання більш захопливими порівняно зі студійними налаштуваннями; однак, розбіжність у рівні деталізації зображення оточення та людської фігури порушує занурення (див. рис. 3.5).

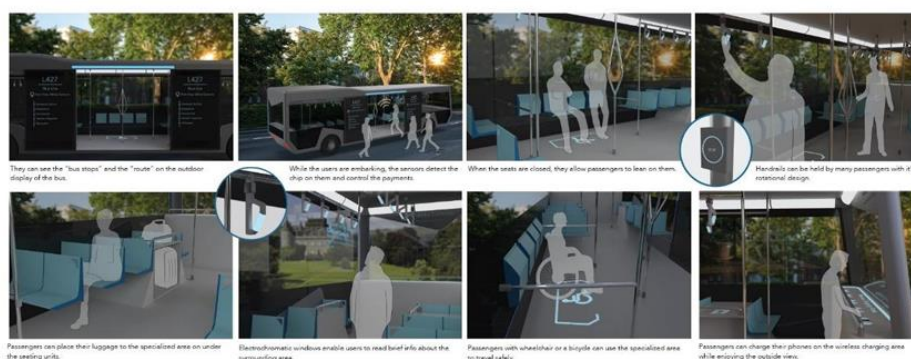


Рисунок 3.5 - Візуалізація сценарію використання на презентаційній дошці проекту міських автобусів

Відсутність занурення у представленні сценаріїв використання на 2D-дошках презентацій ускладнює розуміння того, чи є робочий процес зручним для користувача через відсутність зв'язку зі спробою поставити себе на місце людської фігури. Залучення та занурення були б перевагою системи змішаної реальності, де замість того, щоб бачити людську фігуру, що використовує продукт, глядачі можуть самотійно взаємодіяти з продуктом.

Інформаційні екрани та графічні інтерфейси користувача

Графічні інтерфейси користувача та інформаційні екрани є невід'ємною частиною складного продукту. Керування може здійснюватися через сенсорний інтерфейс або мобільний пристрій [40]. Додаток, а інформація, пов'язана з роботою продукту, може відображатися на екранах. Традиційним способом відображення цих деталей є використання каркасів графічного інтерфейсу, що показують кожен екран під час виконання дії, та накладання кадру екрана *на місце*. Включення багатьох екранів у каркас графічного інтерфейсу може зробити презентаційну дошку дуже перевантаженою.

T8 (зверху), візуалізація графічного інтерфейсу користувача на презентаційній дошці проекту склокерамічної варильної поверхні T7 (знизу). Інтерактивний характер інтерфейсу та зміни на екранах роблять двовимірне представлення нереалістичним. Надані роботи включають каркаси графічних інтерфейсів та інформаційні екрани, розміщені на основній частині дизайну. Є приклади інтерфейсів, показаних окремо від продукту та середовища, а також приклади значків рук, масштаб яких не відповідає кнопкам, що ускладнює здогадки про те, як користувач взаємодіє з екраном (див. рис. 3.6).

Позиціонування та загальне розташування екранів також можуть спричинити проблеми з виконанням кроків використання в інтерфейсах. Навіть коли екрани інтерфейсу відображаються в детальному середовищі з користувачем, можуть виникнути проблеми з масштабуванням.

Точність 3D-відображення

Відображення 3D-точності, як це спостерігається на макетах, може надати детальну тривимірну інформацію щодо розміру відносно користувача та середовища, якостей матеріалу та текстури поверхонь виробу, а також розташування та механічного складання компонентів. Що стосується масштабу, віртуальна система може дозволити глядачеві побачити продукт у повний розмір, що вписується в реальне середовище, усуваючи проблеми масштабування. Аналогічно, у віртуальному прототипі легше отримати краще представлення якостей матеріалу та текстури, оскільки робота виконується за допомогою програмного забезпечення CAD без необхідності витрат на матеріали та виробництво, а також праці, пов'язаної зі створенням високоякісних фізичних прототипів. Віртуальний прототип також може дозволити користувачеві миттєво вносити зміни до продукту, краще взаємодіяти з рухомими компонентами продукту та забезпечувати інтерактивність у вигляді аудіовізуального зворотного зв'язку та робочого графічного інтерфейсу.

Проекти автобуса на пероні та міського автобуса, через масштабний характер транспортного засобу, були представлені у зменшених макетах у масштабі 1/20. Ці зменшені макети позбавляють глядача можливості сприймати значну частину продукту: глядач не може ходити в автобусі, що унеможливорює уявлення про те, як це – повноцінно взаємодіяти з особливостями дизайну. Натомість, макети залежать від уяви, щоб розглянути елементи дизайну. Навіть незважаючи на те, що проекти електричної духовки та склокерамічної варильної поверхні мають макети в повному розмірі, неможливо побачити продукт у його передбачуваній області використання, на кухні, і неможливо миттєво внести зміни в дизайн з точки зору деталізації компонентів. Ці проблеми масштабування можна усунути у віртуальному прототипі, де продукт можна було б випробувати в повному розмірі та в передбачуваному середовищі використання, і ним можна було б легко маніпулювати для досягнення різної конфігурації компонентів.

У макетах, окрім зразків, надрукованих на 3D-принтері, використовувалися такі матеріали, як гофрований картон, картон, пінопласт, папір, ацетатні

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

листи та дріт. Якість обробки макетів різна. Приклади, де макети мають менше обробки поверхонь, не дуже добре відображають якості матеріалу та текстури, особливо у вибраних випадках кухонної техніки та транспортних засобів, де гладкість та відбивна здатність поверхонь є невід'ємною частиною дизайну. Деталізація компонентів – це ще одна сфера, де макети не відповідають дизайну. Як зазначено в аналізі звуку та світла, аудіовізуальну інтерактивність, особливо у складних продуктах з цифровими компонентами, важко відобразити навіть у фізичних макетах. Хоча на деяких презентаційних дошках згадуються звук та світло, жоден з макетів не інтегрував аудіовізуальний зворотний зв'язок. Хоча деякі макети мали можливість знімних та окремих частин для демонстрації різних взаємодій та деталізації компонентів, низька якість матеріалів та відсутність повнорозмірних компонентів ускладнюють повне уявлення про взаємодію з макетом.

3.3 Оцінка ефективності та аналіз результатів використання MR у дизайнерському проєкті

Інтерпретуючи результати дослідження з оцінки дизайн-проекту, можна відповісти на два дослідницькі питання та перейти до наступного розділу, який є експериментальним дослідженням, що досліджує зібрані висновки.

1. Які недоліки традиційних інструментів представлення дизайну під час презентації складних освітніх проєктів промислового дизайну?

Як переваги занурення, що забезпечуються системами змішаної реальності, можуть посилити недоліки традиційних інструментів представлення під час презентації складних освітніх проєктів промислового дизайну?

Аналіз показує, що традиційні презентації в освітніх проєктах промислового дизайну мають деякі недоліки у відображенні звуку, світла, взаємодії користувача та продукту, сценарію використання, продукту в контексті, інформаційних екранів та інтерфейсів користувача, а також у 3D-точності. Під час відображення звуку було виявлено, що презентаціям бракує динамічності та інтерактивності. Інформація щодо тривалості, висоти та гучності звукового зворотного

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зв'язку не відображається. Аналогічно, представленню світла також бракує динамічності та інтерактивності, не надаючи інформації про рух, зміну інтенсивності, миготливі та світіння світлового зворотного зв'язку. Крім того, ефекти світла навколо навколишнього середовища можуть бути відсутніми та мати розмитий або нереалістичний вигляд.

Якість взаємодії користувача та продукту знижується через нестабільність та відсутність різноманітності користувачів за зростом, віком, статтю тощо. Погано деталізоване оточення, а також високі та неприродні кути огляду користувачів також є помітними недоліками традиційних презентацій. Було відзначено невідповідність між масштабом та рівнем деталізації продукту, користувача та оточення.

Сценарії використання виявилось важко відстежувати через графічну та текстову щільність, сценарій відбувається окремо від середовища використання, а рука зображена пропорційно неточно. Користувачам, зображеним у сценарії використання, можуть бракувати аксесуарів, пов'язаних з використанням продукту, а послідовність подій, що відбуваються під час використання, може бути важко прочитати.

Зображення продукту в контексті мають проблеми з масштабом та рівнем деталізації продукту, які не відповідають користувачеві та оточенню, а також кутом огляду та розташуванням продукту, що є непропорційними оточенню

Зображення інформаційних екранів та інтерфейсів користувача у поданих матеріалах виявилися складними для сприйняття через графічну та текстову щільність, видалення інтерфейсів з продукту та пропорційно неточні силуети рук. Крім того, може бути важко прочитати послідовність подій та відобразити більше однієї послідовності.

Аналіз 3D-точності показав відсутність повномасштабних макетів з аудіовізуальною інтерактивністю, а також відсутність інтерактивності щодо додаткових компонентів та аксесуарів. Макети з низькою якістю матеріалів призводили до деформацій, що ускладнювало взаємодію з моделлю.

Виходячи із середніх оцінок за категоріями звук, освітлення,

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

представлення користувача та продукту, представлення сценарію використання, 3D-точність, представлення продукту в контексті та інформаційних екранах та інтерфейсі користувача, недоліки традиційних інструментів представлення складних освітніх проектів промислового дизайну можна розділити на чотири рівні, щоб компенсувати недоліки перевагами занурення, що забезпечуються системами змішаної реальності (Таблиця 3.4).

Таблиця 3.4

Недоліки традиційних презентацій

Категорія	Основні обмеження та недоліки
Звук (Sound)	* Відсутність динамізму та інтерактивності в представленні. * Брак деталізації тривалості, висоти або гучності звукового відгуку.
Світло (Lights)	* Відсутність рухів, зміни інтенсивності, ефектів блимання та світіння. * Брак впливу світла на навколишнє середовище. * "Вимитий" або нереалістичний зовнішній вигляд.
Взаємодія користувача з продуктом	* Скучність і відсутність різноманітності манекенів (зріст, вік, стать). * Брак деталізації навколишнього середовища та неприродні кути огляду. * Масштаб і рівень деталізації продукту не відповідають користувачеві та середовищу.
Сценарій використання	* Важка для сприйняття графічна та текстова щільність. * Сценарій відірваний від реального середовища використання. * Неточні пропорції силуету руки та труднощі в читанні послідовності подій.
Продукт у контексті	* Невідповідність масштабу та деталей продукту оточенню. * Диспропорційне розміщення продукту та кути огляду відносно середовища.
Інфо-екрани та UI	* Інтерфейси відокремлені від самого продукту. * Складність у відображенні більше ніж однієї послідовності подій одночасно.
3D-точність (Fidelity)	* Брак повномасштабних макетів з аудіовізуальною інтерактивністю. * Низька якість матеріалів у макетах, що призводить до їх деформації.

Звук та освітлення всіх поданих робіт з чотирьох проаналізованих проектів отримали оцінки "незадовільно" та "погано" на основі системи оцінювання, далі йде середня оцінка представлення користувача та продукту, сценарію використання та 3D-точності, тоді як представлення продукту в контексті, на інформаційних екранах та в інтерфейсі користувача отримали оцінку "прийнятно". Можна запропонувати трирівневу систему інтеграції технологій змішаної реальності у студентські презентації, а саме: доступні рішення зі швидкою окупністю, інфраструктурні інвестиції з довгостроковою окупністю та додаткова розробка для спеціалізованих презентаційних цілей.

Для представлення звуку та світла в презентаціях використовуються

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

недорогі VR-рішення, де студенти можуть використовувати власні смартфони та Unity 3D для створення аудіовізуальних інтерактивних презентацій, а також покращувати просторове сприйняття презентацій своїх проєктів. Це доступне рішення принесе швидку віддачу та матиме найбільший вплив на презентації через низьку оцінку звуку та світла, отриману в дослідженні з оцінки дизайн-проєктів, оскільки традиційні способи представлення звуку та світла в дизайн-проєктах майже повністю відсутні.

При презентації користувача та продукту, сценарію використання та 3D-точності, інфраструктурні інвестиції в VR-гарнітуру в поєднанні з ПК з високою обчислювальною потужністю та додатковим програмним забезпеченням для редагування принесуть довгострокову окупність, дозволяючи студентам представляти основні віртуальні взаємодії користувача та продукту та інтеграції за допомогою фізичних макетів. Виходячи з результатів дослідження з оцінки дизайн-проєкту, традиційні презентації краще відображають взаємодію користувача та продукту, сценарій використання та 3D-точність, ніж зі звуком та світлом, але VR-рішення приносять довгострокову окупність.

Для представлення продукту в контексті, на інформаційних екранах та в інтерфейсі користувача, VR-рішення можуть бути більш спеціалізованими просторовими VR-системами, додатковими датчиками для картографування навколишнього середовища, що дозволяє здійснювати взаємодію в більшому масштабі, ПК з високою обчислювальною потужністю та додатковим програмним забезпеченням для запуску симуляцій, а також спеціально відведеною кімнатою, що дозволяє студентам пересуватися. Ці більш спеціалізовані дорогі VR-системи можуть допомогти студентам представити взаємодію користувача та продукту у великому масштабі та контексті, у поєднанні з більш детальною інтерактивністю графічного інтерфейсу.

Наступний розділ є практичним дослідженням інтеграції віртуальної реальності (VR) у процес проєктування різноманітних проєктів, розроблених протягом семестру, щоб визначити, як результати дослідження оцінки проєктів дизайну відповідають перевагам занурення, що забезпечуються запропонованими VR-системами.

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У галузі промислового дизайну процес розробки продукту можна узагальнити як триетапну циклічну діяльність, що включає аналіз, синтез та оцінку в кожному циклі, а кінцевим результатом є готовий продукт. Дизайнер використовує бриф на дизайн або будь-яку іншу інформацію про продукт на етапі аналізу, потім переходить до етапу синтезу, щоб застосувати креативні підходи до розробки прототипу продукту, і, нарешті, проводить тестування з користувачами та збирає відгуки на етапі оцінювання. Цей триетапний процес відбувається циклічно, при цьому продукт розвивається від чорнового креслення до повністю готового продукту. В результаті, у міру розвитку розробки, прототипи, що виникають на етапі синтезу, стають все більш і більш високоякісними. Дизайнери оцінюють наявні дані, синтезують їх, генеруючи ідеї та займаючись творчою діяльністю, а потім оцінюють результати свого синтезу, щоб отримати нові дані для аналізу з метою покращення своїх ідей.

Прототипи завжди використовуються для синтезу та оцінки. Будь-що, що є результатом процесів синтезу, можна назвати прототипом, і ідея оцінюється за допомогою цього прототипу. Прототипи можуть бути чим завгодно: від поспішних ескізів до повністю створених фізичних моделей. Фізичні моделі спочатку зазвичай низької якості, але в міру проходження процесів перевірки та вдосконалення дизайну дизайнером, точність моделі зростає. Однак може бути неможливо проілюструвати всі деталі продукту на фізичній моделі, якщо не створено функціонуючий прототип для тестування користувачем.

Як у професійній, так і в освітній практиці промислового дизайну створюються 2D, 3D та цифрові прототипи дизайну для демонстрації деталей дизайну. Було виявлено, що зі збільшенням складності дизайнерських проектів з точки зору масштабу та інтерактивності, представлення стають більш проблематичними. Було показано, що мультимедійні представлення, які пропонують результат з вищою роздільною здатністю, долають ці проблеми. Нові технології представлення можуть пом'якшити обмеження високоточних прототипів, дозволяючи дизайнерам ефективніше співпрацювати.

Труднощі, які можуть виникнути під час вираження аудіовізуальної

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

взаємодії та масштабних проектів з використанням презентаційних дощок та макетів, є прикладами факторів складності в освітніх промислових дизайнерських проектах. Під час оцінки ефективності традиційних методів презентації слід надавати пріоритет інформації, що стосується контексту використання, аудіовізуального зворотного зв'язку та 3D-точності. Дослідження оцінки проекту (див. табл. 3.4) окреслює недоліки традиційних інструментів представлення дизайну. Презентації вважалися слабкими в динамічності та взаємодії, коли йшлося про вираження звуку. Немає інформації про тривалість, висоту тону або гучність звукового зворотного зв'язку. Так само, зображенню світла бракує динамізму та залученості, воно не надає інформації про рух світлового зворотного зв'язку, зміну інтенсивності, мерехтіння або ефекти світіння. Крім того, світлові ефекти навколо середовища можуть бути неадекватними, надаючи їм розмитого або неприродного вигляду. Через жорсткість та відсутність різноманітності користувачів за зростом, віком, статтю та іншими факторами, спостерігається погіршення якості взаємодії користувача та продукту. Традиційні презентації мають низку недоліків, включаючи погано деталізовані налаштування та занадто високі та неприродні кути огляду користувачів. Існує невідповідність між масштабом та рівнем деталізації продукту, користувачем та середовищем.

Через графічну та текстову щільність, сценарій, що відбувається поза межами середовища використання, та пропорційно неточно зображену руку, відстеження сценаріїв використання виявилось складним. Споживачі, зображені у сценарії використання, можуть не мати аксесуарів, пов'язаних з продуктом, а послідовність дій, що відбуваються під час використання, може бути важко відстежити.

Величина та складність представлення продукту в контексті не корелюють з користувачем чи оточенням, а кут огляду та розташування продукту не пропорційні оточенню.

Через графічну та текстову щільність, відокремленість інтерфейсів від продукту та пропорційно неточні силуети рук, відображення інформаційних панелей та інтерфейсів користувача у поданих роботах було визнано важкими для

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ІІЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

розуміння. Крім того, зчитування послідовності подій та відображення багатьох послідовностей може бути складним. Під час перевірки 3D-точності було виявлено брак повномасштабних макетів з аудіовізуальною інтерактивністю, а також додаткових компонентів та аксесуарів, пов'язаних з інтерактивністю. Деформації виникли через низьку якість макетів, що унеможливлювало взаємодію з моделлю.

Після періоду мовчання, який відбувся з моменту його початкового зростання в 1990-х роках, змішаної реальності знову прокинувся в технологічній індустрії та нарешті став доступним для широкої публіки, завдяки тому, що великі компанії, такі як Oculus Rift та HTC, випускають передові гаджети. VR – це тип змішаної реальності, в якій люди сприймають цифрові налаштування так, ніби вони фізично присутні в них. Система змішаної реальності складається з апаратних та програмних компонентів. Гарнітури, які відображають зображення та відтворюють звуки, проектори, які можуть змінювати фізичне розташування, та датчики, які виявляють рухи та звуки користувачів і забезпечують мультимодальний зворотний зв'язок, є прикладами апаратних компонентів. Програмні компоненти – це програми, які збирають дані з датчиків, генерують та керують віртуальними середовищами на апаратних компонентах та зберігають все на сервері або в хмарі. Ці апаратні та програмні компоненти поєднуються в різних комбінаціях та специфікаціях для створення системи змішаної реальності, яку можна використовувати для будь-яких цілей, які бажає користувач. Змішана реальність використовувалася в розвагах та відеоіграх, а також у автомобілебудуванні, охороні здоров'я, освіті, туризмі та космічних дослідженнях.

Оскільки тривимірна модель або навіть робочий прототип є найреалістичнішим представленням продукту, від дизайнерів очікується створення високоточних фізичних прототипів. Високоточна фізична модель не лише є перевагою для зацікавлених сторін проекту, але й дозволяє проводити більш детальне та точне тестування користувачами. З іншого боку, створення високоточних фізичних моделей може бути дорогим та трудомістким. Дизайнери можуть уникнути цих проблем, створюючи віртуальні прототипи та тестуючи їх у середовищі

					БР.ІП - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

віртуальної реальності.

Були проведені дослідження, щоб з'ясувати, чи можна використовувати віртуальну реальність у процесі розробки продукту. Віртуальне прототипування та тестування користувачами – два найпомітніших приклади використання змішаної реальності для завдань проектування. Точність традиційних підходів, що передбачають фізичні прототипи, варіюється від швидких ескізів від руки до комплексних креслень, від чорнових макетів до робочих прототипів. Якість прототипу та увага до деталей є критично важливими для отримання точних даних з тестування користувачами. З іншого боку, робочі фізичні прототипи можуть бути трудомісткими та дорогими. Віртуальні прототипи можуть допомогти вирішити цю проблему, і вони використовувалися в низці досліджень без жодних доказів того, що вони менш ефективні, ніж реальні прототипи.

Змішана реальність також використовувалася для формулювання концепцій та моделювання вільної форми, окрім прототипування та тестування користувачами. Хоча дослідження в галузі концептуального дизайну та створення поверхонь застаріли, покращена точність та простота використання нової технології MR можуть бути корисними для таких завдань у процесі проектування. Також можливо черпати ідеї для практики промислового дизайну з використання MR в інших галузях. Наприклад, здатність системи MR розповідати історію та брати користувача в подорож, взаємодіючи з елементами системи, може бути цінною для візуалізації сценаріїв використання продукту, що може покращити розробку дизайнерських ідей, тестування користувачами та презентаційну діяльність. Можливості візуалізації MR не обмежуються зображеннями та відео; їх також можна застосовувати до тексту для представлення будь-якого типу даних про дизайн. Крім того, можливість ознайомитися з продуктом у будь-якому середовищі може бути потужним інструментом для продажу нового дизайну продукту або заохочення людей.

Заповнюючи прогалини у людському сприйнятті, MR створює занурення, забезпечуючи реалістичні симуляції. Попередні дослідження показали, що MR у навчальних контекстах забезпечує такі переваги, як поглиблене відчуття

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

присутності, подолання обмежень реального світу шляхом забезпечення фізичної, екологічної та соціальної усвідомленості, контекстуалізація навчання та відтворення існуючих компонентів реального світу. Результати дослідження свідчать про те, що просторове усвідомлення та підвищена інтерактивність є двома перевагами занурення в МР-системи, і що мультимедійні стимули посилюють занурення. Ці переваги можуть бути корисними для відображення такої інформації, як контекст використання, аудіовізуальний зворотний зв'язок та 3D-якість у навчальних проектах промислового дизайну, потенційно заповнюючи прогалину в традиційних підходах до презентації шляхом підвищення просторового усвідомлення у великомасштабних проектах та використання мультимедійних стимулів для передачі аудіовізуальної інтерактивності. Результати дослідження учасника-спостереження показують, як студенти-промислові дизайнери використовували МР-системи для посилення недоліків традиційних інструментів представлення в дизайні.

Контекст використання та 3D-точність: Розробка завдання з дизайну середовища забезпечила належне відображення продукту в контексті та масштабі в презентаціях змішаної реальності та відео. Аналогічно, студенти мають цифровий контент для використання у своїх сценаріях змішаної реальності завдяки ранньому створенню 3D-моделей у другому завданні. У сферах продукту в контексті, користувача та продукту, масштабу, якості матеріалів та деталізації компонентів учасники досягли успіху у включенні змішаної реальності у свої підсумкові презентації.

Аудіовізуальний зворотний зв'язок: Деякі учасники змогли зобразити світло у своїх презентаціях змішаної реальності, але не у формі інтерактивного аудіовізуального зворотного зв'язку. Звуковий зворотний зв'язок не був включений до презентацій змішаної реальності жодного з учасників. Той факт, що учасникам вдалося успішніше передавати вищезгадані елементи продукту, ніж світло та звуки, свідчить про те, що аудіовізуальній інтерактивності слід призначити конкретні завдання, демонстрації та сесії зворотного зв'язку.

Просторове сприйняття: Презентації змішаної реальності покращили

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

занурення у зображення середовища, точне масштабування продукту та взаємозв'язок між користувачем та продуктом. Команди змогли відобразити свої дизайни в захопливому режимі, використовуючи Oculus Rift HUD, щоб продемонструвати справжній масштаб продуктів відносно глядача та середовища, створеного в їхніх сценах.

Контекстуалізація: Учасники змогли представити продукт у реалістичних умовах, що імітували середовище цільового використання продуктів, а також показати споживачів, які взаємодіють з продуктами, щоб імітувати повну контекстуалізацію використання у своїх AR-презентаціях. Відчуття реальної присутності продукту було створено завдяки ретельному деталізованому зображенню компонентів та точності матеріалів.

Інтерактивність у реальному часі: Деякі учасники зіткнулися з проблемами розміщення та масштабування, які зрештою були вирішені завдяки інтерактивній природі програмного забезпечення AR, що дозволило їм змінювати розмір та положення 3D-моделей у реальному часі.

Втілення: Інтерактивність презентацій змішаної реальності мала перевагу не лише в ілюструванні взаємозв'язків між користувачем і продуктом, але й у імітації основних характеристик виробів та створенні відчуття безпосередньої присутності в дизайні. Використання змішаної реальності перетворило презентації на інтерактивний досвід, дозволивши аудиторії розташувати продукт і масштабувати його до потрібного розміру, пройти навколо 3D-моделі продукту та детальніше розглянути деталізацію компонентів і якість матеріалів дизайну.

Сценарій використання: Що стосується інтерфейсів продукту, презентаціям змішаної реальності бракувало інтерактивності. Глядачеві дозволено ходити навколо та спостерігати за продуктом, але він не може взаємодіяти з його інтерфейсами.

Результати дослідження, проведеного методом учасника-спостереження, щодо інструктажу, проведення курсу, очікуваних результатів, командної роботи, налаштування апаратного та програмного забезпечення, перспективи та мобільності глядача, документації та доповнень можуть бути використані як стратегії

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

навчання студентів промислового дизайну методу змішаної реальності, щоб вони могли збагатити процес та результати своїх проєктів.

Попередні навички: Було виявлено, що попередній досвід 2D-ескізування, 3D-моделювання, базового редагування відео та звуку допоміг учасникам подолати криву навчання інтеграції змішаної реальності. Оскільки технологічна сфера постійно змінюється, а навички програмного забезпечення для створення та управління контентом є взаємозамінними, специфічні знання програмного забезпечення для інтеграції змішаної реальності не були необхідними. Викладачам рекомендується знайти баланс між програмним забезпеченням, яке найбільш широко використовується серед студентів, та найсучаснішими варіантами.

Інструктаж: У інструктажі про проєкт пропонується описати масштаб та специфікації графічного інтерфейсу проєктів з точки зору того, як змішаної реальності може забезпечити максимальні переваги. Було визнано корисним, щоб тип продукту, який студенти створюватимуть, базувався на їхніх особистих уподобаннях, щоб створити продукт, який є унікальним як за концепцією та виконання. Студентам було надано приклади продуктів, що відповідали критеріям великомасштабності та складної інтерактивності, як орієнтир.

Проведення курсу: Було визнано корисним фрагментувати проміжні кроки та завдання проєкту, щоб кожен крок враховував презентації змішаної реальності. Студенти змогли швидко проходити процеси, змінюючи свій дизайн по ходу роботи, завдяки ранньому початковому створенню цифрового контенту, такого як 3D-модель, дизайн середовища та прототип інтерфейсу користувача, що збагатило кінцеві презентації. Години курсу були інтерактивними, щоб студенти могли звикнути до використання нових технологій вперше, і було корисно покладатися на співпрацю в класі та демонстрації етапів, що ведуть до презентацій змішаної реальності.

Очікувані результати: Було корисно встановити кінцеві цілі для результатів, таких як презентації змішаної реальності та відео, подані в змішаній реальності. Результати попередніх завдань накопичувалися для створення повністю реалізованих презентацій змішаної реальності та додаткових відео, поданих для

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

доповнення досвіду змішаної реальності, де особливості дизайну не могли бути повністю досліджені в змішаній реальності. Ще однією метою результату було перенесення результатів цього курсу на виставку випускних проєктів з промислового дизайну та до журі. Для створення сцен для презентацій змішаної реальності, а також 3D-моделі продукту та гарнітури віртуальної реальності Oculus Rift було використано Unity.

Командна робота: Дослідження показує, що команди були успішнішими, ніж окремі учасники, через багаторівневий характер етапів розробки та загальну трудомісткість. Було б краще інтегрувати презентації змішаної реальності в дизайн-проекти, які розробляються в командах, на відміну від індивідуальної роботи. Окремим учасникам було важко виконати всі завдання, що передували презентаціям змішаної реальності, а великі зміни в дизайні між завданнями означали, що розробки дизайну не встигали накопичуватися для презентацій змішаної реальності. Натомість команди змогли виконати всі завдання. Це, можливо, було пов'язано з розподілом праці та великим робочим навантаженням, розподіленим між кількома людьми, знайомством членів команди один з одним завдяки попередній спільній роботі над проєктами, а також міждисциплінарний характер команд, що дозволило кожному учаснику використовувати різні навички. Порівняно з учасниками, які працювали самотійно, результати команд у сфері командної роботи, прийняття рішень та вирішення проблем, пов'язаних з прототипами інтерфейсу користувача, управлінням цифровим контентом та використанням технологій змішаної реальності, покращили результати їхніх команд.

Налаштування апаратного та програмного забезпечення: Налаштування змішаної реальності щодо апаратного та програмного забезпечення слід було визначати залежно від потреб дизайн-проектів. Команди використовували два типи наборів змішаної реальності. Перший – це AR-налаштування, що складалося з мобільних телефонів та 3D-моделей, створених в Unity. Другим варіантом був HUD Oculus Rift з тими ж 3D-моделями. AR-налаштування залежало від власних пристроїв гравців, і кожна команда могла презентувати одночасно, тоді як у них був лише один HUD, і вони повинні були виступати по черзі.

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						78
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перспектива глядача: Слід враховувати відмінності між доповненою та віртуальною реальністю (AR) щодо досвіду глядача та решти класу й інструкторів. VR-презентації були індивідуальними, коли глядач був відокремлений, а решта групи не могла бачити, через що він чи вона проходить. Оскільки AR-презентації включали реальне середовище та не були прикріплені до безпосереднього поля зору глядача, вони ставали більш спільними, коли інші люди виступали в ролі моделей для імітації взаємодії користувача з продуктом, окрім людини, яка тримала мобільний телефон, щоб показати AR-сцену.

Мобільність глядача: Слід враховувати місце проведення презентацій змішаної реальності та те, чи будуть презентації підключені до комп'ютера, щоб глядачі могли повною мірою насолодитися зануренням у реальний час. Команди могли вільно змінювати місце проведення для покращення своїх презентацій, оскільки презентації AR проводилися на мобільних телефонах. Через те, що для доступу до Unity до комп'ютера був постійно підключений лише один пристрій HUD, глядачі були змушені сидіти близько до комп'ютера та не могли повністю зануритися у віртуальне середовище. Учасники мали змогу створювати 3D-поверхні та фігури в режимі реального часу за допомогою унікального програмного забезпечення для Oculus Rift, такого як Tilt Brush та Gravity Sketch, та відчувати більший ступінь залученості завдяки можливості використовувати більший простір та пересуватися без підключення до комп'ютера.

Документація: Запис вражень змішаної реальності слід планувати відповідно до кількості учасників, порядку презентацій та участі аудиторії в презентаціях. Можливість робити скріншоти та відео на мобільні телефони під час AR-презентацій вирішує проблему збору статичних візуальних образів інтерактивного досвіду для подальшого осмислення та запису. З VR-презентаціями це неможливо було зробити, окрім як бачити точку зору глядача на моніторі комп'ютера, прикріпленому до головного убору. Гарним варіантом для VR-презентацій було б встановлення монітора таким чином, щоб решта аудиторії могла бачити те, що бачить користувач HUD, або запис покрокових інструкцій VR.

Доповнення: Щоб усунути недоліки щодо доступу до технологій та

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

можливість виникнення технічних труднощів, було визнано корисним доповнити презентації змішаної реальності кінцевим результатом у вигляді відео, що пояснює всі характеристики проектів. Команди були проінформовані про наявність програмного та апаратного забезпечення змішаної реальності, і вони змогли подолати недоліки обмеженого доступу, доповнивши свої презентації змішаної реальності відеозавданням/кінцевим результатом.

На цьому етапі дослідження інтеграції змішаної реальності, враховуючи загальні висновки та обмеження дослідження, можна запропонувати рекомендації для майбутніх досліджень. Напрямки майбутніх досліджень можуть включати подальше вивчення, по-перше, шляхом покращення аспектів інтерактивності шляхом додавання більшої кількості етапів розробки в процесі проектування, таких як розробка аудіовізуального зворотного зв'язку у формі світло та звук. Зосереджуючись на критеріях взаємодії освітлення та звуку, можна додати ще один рівень складності до презентацій щодо інтерактивності та забезпечити перевагу характеристики змішаної реальності для відображення послідовності подій. Таким чином, можна додатково вивчити можливості покращення представлення сценарію використання.

Ще одним напрямком майбутніх досліджень може бути визначення окремих критеріїв та стратегій оцінювання для інтеграції AR та VR. Дослідження показує, що можливості AR та VR відрізняються, особливо у способі налаштування програмного та апаратного забезпечення. Можливість кожного студента проводити презентації AR за допомогою власних мобільних пристроїв була великою перевагою над презентаціями VR через відсутність доступу до окремих пристроїв. Індивідуальні демонстрації VR-інтерфейсів перед презентаціями та масштабування налаштувань VR шляхом залучення власного програмного забезпечення для дизайну HUD можуть відкрити можливості для подальшого дослідження того, як можна покращити презентації.

Дослідження було зосереджено на фінальних презентаціях дизайнерських проектів. Подальші дослідження також можуть бути проведені щодо використання змішаної реальності в ітеративних кроках процесу проектування для

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

синтетичних дій. Такі дизайнерські дії, як створення форм, тестування користувачами та презентації для проміжних сесій критики, також можуть отримати користь від інтеграції змішаної реальності, особливо з використанням програмного забезпечення для HUD, такого як Gravity Sketch, яке спеціально розроблено для дизайну продукту. Крім того, замість того, щоб зосереджуватися на повному процесі проектування продукту, можна визначити конкретні завдання для інтеграції змішаної реальності, такі як вибір кольору для тестування колірних уподобань. Оскільки дослідження в цій роботі були зосереджені на складних проектах, це звуження сфери використання змішаної реальності може дати уявлення про простіші проекти.

Майбутні дослідження також можуть отримати користь від переходу від технологічно домінованої перспективи до більш педагогічної. Було виявлено, що хоча існують деякі недоліки традиційних інструментів представлення дизайну, які можна вирішити за допомогою технології змішаної реальності, презентації змішаної реальності також отримали користь від доповнення світло та звук. Зосереджуючись на критеріях взаємодії освітлення та звуку, можна додати ще один рівень складності до презентацій щодо інтерактивності та забезпечити перевагу характеристики змішаної реальності для відображення послідовності подій. Таким чином, можна додатково вивчити можливості покращення представлення сценарію використання.

Ще одним напрямком майбутніх досліджень може бути визначення окремих критеріїв та стратегій оцінювання для інтеграції AR та VR. Дослідження показує, що можливості AR та VR відрізняються, особливо у способі налаштування програмного та апаратного забезпечення. Можливість кожного студента проводити презентації AR за допомогою власних мобільних пристроїв була великою перевагою над презентаціями VR через відсутність доступу до окремих пристроїв. Індивідуальні демонстрації VR-інтерфейсів перед презентаціями та масштабування налаштувань VR шляхом залучення власного програмного забезпечення для дизайну HUD можуть відкрити можливості для подальшого дослідження того, як можна покращити презентації.

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дослідження було зосереджено на фінальних презентаціях дизайнерських проєктів. Подальші дослідження також можуть бути проведені щодо використання змішаної реальності в ітеративних кроках процесу проєктування для синтетичних дій. Такі дизайнерські дії, як створення форм, тестування користувачами та презентації для проміжних сесій критики, також можуть отримати користь від інтеграції змішаної реальності, особливо з використанням програмного забезпечення для HUD, такого як Gravity Sketch, яке спеціально розроблено для дизайну продукту. Крім того, замість того, щоб зосереджуватися на повному процесі проєктування продукту, можна визначити конкретні завдання для інтеграції змішаної реальності, такі як вибір кольору для тестування колірних уподобань. Оскільки дослідження в цій роботі були зосереджені на складних проєктах, це звуження сфери використання змішаної реальності може дати уявлення про простіші проєкти.

Майбутні дослідження також можуть отримати користь від переходу від технологічно домінованої перспективи до більш педагогічної. Було виявлено, що хоча існують деякі недоліки традиційних інструментів представлення дизайну, які можна вирішити за допомогою технології змішаної реальності, презентації змішаної реальності також отримали користь від доповнення.

3.4 Висновок по розділу

У третьому розділі було розглянуто розробку та інтеграцію системи змішаної реальності для задач промислового дизайну. Проведено проєктування та визначено методологію створення MR-системи з урахуванням вимог до інтерактивності та точності відображення 3D-об'єктів. Реалізовано механізми взаємодії користувача з 3D-моделями у змішаному реальному середовищі, що дозволяє ефективно оцінювати дизайнерські рішення. Також виконано оцінку ефективності використання MR у дизайнерському проєкті та проаналізовано отримані результати. Отримані дані підтверджують доцільність застосування змішаної реальності для підвищення якості та ефективності промислового дизайну.

					БР.ІП - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломної роботи було досліджено методи та технології програмування систем змішаної реальності та розроблено програмне рішення для їх застосування у сфері промислового дизайну. Виконана робота є комплексним процесом, спрямованим на створення інтерактивної, наочної та ефективної системи, яка дозволяє здійснювати візуалізацію та аналіз дизайнерських рішень у реальному середовищі. У роботі проаналізовано сучасні підходи до використання змішаної реальності, визначено переваги та обмеження існуючих технологій, а також реалізовано функціональні можливості MR-додатку, що відповідають сучасним вимогам до якості програмного забезпечення.

На початковому етапі було проведено аналіз предметної області, визначено функціональні та нефункціональні вимоги до системи, що враховують специфіку промислового дизайну. Функціональні можливості включають інтерактивну візуалізацію 3D-моделей, масштабування, обертання, позиціонування об'єктів у реальному просторі та взаємодію користувача з ними. Нефункціональні вимоги охоплюють продуктивність, точність відображення, зручність використання та сумісність із сучасними пристроями змішаної реальності. Моделювання архітектури системи дозволило структурувати основні компоненти та визначити взаємозв'язки між ними.

У процесі реалізації було розроблено програмну систему змішаної реальності, яка забезпечує інтеграцію 3D-моделей у фізичне середовище та підтримує природну взаємодію користувача з об'єктами. Реалізація включала створення інтерфейсу користувача, обробку жестів та дій, інтеграцію графічних компонентів і оптимізацію продуктивності. Особливу увагу було приділено забезпеченню стабільності роботи системи та коректному відображенню об'єктів у реальному часі.

Важливим етапом стало тестування програмного забезпечення, яке охоплювало перевірку функціональності, продуктивності та зручності використання системи. Проведене тестування дозволило виявити та усунути потенційні проблеми, пов'язані із затримками відображення, точністю позиціонування

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

об'єктів і взаємодією користувача. Це дало змогу підвищити якість розробленого рішення та забезпечити його відповідність поставленим вимогам.

У результаті дослідження було підтверджено, що використання систем змішаної реальності у промисловому дизайні дозволяє значно підвищити ефективність процесу проєктування. Основними перевагами є покращення візуалізації виробів, можливість взаємодії з цифровими прототипами у реальному масштабі, зменшення витрат на створення фізичних моделей та прискорення прийняття дизайнерських рішень. Запропонований підхід забезпечує гнучкість і можливість адаптації до різних задач у сфері промислового дизайну.

Разом з тим, слід враховувати певні обмеження, зокрема залежність від апаратних можливостей пристроїв, складність розробки високоякісного 3D-контенту та необхідність оптимізації продуктивності системи. У подальшому доцільно зосередити увагу на вдосконаленні алгоритмів відстеження та взаємодії, інтеграції з CAD-системами, використанні хмарних технологій для обробки даних, а також впровадженні елементів штучного інтелекту для автоматизації процесів проєктування.

Загалом, розроблена система відповідає поставленим цілям і може бути ефективно використана у практиці промислового дизайну, сприяючи підвищенню якості проєктування, зменшенню витрат і впровадженню інноваційних технологій у виробничі процеси.

					БР.ІП - 79.00.00.000 ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Unity Documentation. (2025). docs.unity3d.com. <https://docs.unity3d.com/>
2. Unreal Engine Documentation. (2025). docs.unrealengine.com. <https://docs.unrealengine.com/>
3. Microsoft Mixed Reality Documentation. (2025). learn.microsoft.com. <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/>
4. Microsoft HoloLens Development Guide. (2025). learn.microsoft.com. <https://learn.microsoft.com/en-us/hololens/>
5. OpenXR Specification. (2025). khronos.org. <https://www.khronos.org/openxr/>
6. WebXR Device API. (2025). developer.mozilla.org. https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebXR_Device_API
7. Apple RealityKit Documentation. (2025). developer.apple.com. <https://developer.apple.com/documentation/realitykit>
8. Google ARCore Documentation. (2025). developers.google.com. <https://developers.google.com/ar>
9. Apple ARKit Documentation. (2025). developer.apple.com. <https://developer.apple.com/augmented-reality/>
10. Blender Documentation. (2025). docs.blender.org. <https://docs.blender.org/manual/>
11. Autodesk Maya Documentation. (2025). autodesk.com. <https://help.autodesk.com/view/MAYAUL/>
12. Khronos Group. (2025). glTF Specification. <https://www.khronos.org/glTF/>
13. Szeliski, R. (2022). Computer Vision: Algorithms and Applications. Springer.
14. Foley, J., van Dam, A. (2013). Computer Graphics: Principles and Practice. Addison-Wesley.
15. Sherman, W., & Craig, A. (2018). Understanding Virtual Reality. Morgan Kaufmann.
16. LaValle, S. (2020). Virtual Reality. Cambridge University Press.
17. Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. IEICE Transactions.

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ІІЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

18. Azuma, R. (1997). A Survey of Augmented Reality. Presence Journal.
19. Billinghurst, M., Clark, A., & Lee, G. (2015). A Survey of Augmented Reality. Foundations and Trends in HCI.
20. Jerald, J. (2016). The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality. Morgan & Claypool.
21. Norman, D. (2013). The Design of Everyday Things. Basic Books.
22. Nielsen, J. (2020). Usability Engineering. Morgan Kaufmann.
23. Pressman, R. (2020). Software Engineering: A Practitioner's Approach. McGraw-Hill.
24. Sommerville, I. (2019). Software Engineering. Pearson.
25. Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., & Vlissides, J. (1994). Design Patterns. Pearson.
26. Martin, R. C. (2017). Clean Architecture. Pearson.
27. Fowler, M. (2002). Patterns of Enterprise Application Architecture. martinoflower.com.
28. Unity Learn Platform. (2025). learn.unity.com. <https://learn.unity.com/>
29. Unreal Online Learning. (2025). unrealengine.com. <https://www.unrealengine.com/en-US/onlinelearning>
30. NVIDIA Omniverse Platform. (2025). developer.nvidia.com. <https://developer.nvidia.com/omniverse>
31. Siemens NX Software. (2025). siemens.com. <https://www.plm.automation.siemens.com/>
32. Dassault Systèmes SOLIDWORKS. (2025). solidworks.com. <https://www.solidworks.com/>
33. PTC Creo CAD Software. (2025). ptc.com. <https://www.ptc.com/en/products/creo>
34. Autodesk Fusion 360. (2025). autodesk.com. <https://www.autodesk.com/products/fusion-360>
35. Wang, X., & Dunston, P. (2013). Mixed Reality for Construction and Design. Automation in Construction.

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ІІЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

36. Chen, C., & Tsai, Y. (2024). Mixed Reality Applications in Industrial Design. IEEE Access.
37. Zhang, H., & Liu, M. (2024). Immersive Technologies in Product Design. Journal of Design Engineering.
38. Radianti, J., Majchrzak, T. (2020). Immersive VR in Education and Training. Computers & Education.
39. Gartner. (2024). Emerging Technologies: XR and Mixed Reality. gartner.com. <https://www.gartner.com/en>.
40. ISO/IEC 25010:2011. Systems and software quality models. iso.org.

					БР.ІІІ - 79.00.00.000 ІІЗ	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема бакалаврської роботи: " Програмування систем змішаної реальності для промислового дизайну"

"

Обсяг пояснювальної записки: 84 аркушів

Дата закінчення бакалаврської роботи 10 червня 2026р.

Підпис студента _____