

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ
ДЕРЖАВНОГО НЕКОМЕРЦІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА
«ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»
Циклова комісія комп'ютерних систем та мереж
(повна назва циклової комісії)

Допустити до захисту

Голова випускової циклової комісії
комп'ютерних систем та мереж

(повна назва циклової комісії)

Ірина КРАВЧУК

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

« 10 » 06

2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОГО СТУПЕНЯ
ФАХОВИЙ МОЛОДШИЙ БАКАЛАВР

Тема: «Дослідження технологій віртуальної та доповненої реальності»

Група: 3-011 Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Здобувач освіти

zef
(підпис)

Андрій ЗАМОРОЗ

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

[підпис]
(підпис)

Олександр ГРИНЧЕНКО

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Консультант з оформлення
пояснювальної записки

Осадча
(підпис)

Оксана ОСАДЧА

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Кривий Ріг 2025 р.

КРИВОРІЗЬКИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ
ДЕРЖАВНОГО НЕКОМЕРЦІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА
«ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»

Відділення комп'ютерної та програмної інженерії
Циклова комісія комп'ютерних систем та мереж
Освітньо-професійний ступінь фаховий молодший бакалавр
Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова випускової циклової комісії
комп'ютерних систем та мереж

(повна назва циклової комісії)



(підпис)

Ірина КРАВЧУК

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

« 01 » 03

2025 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ОСВІТИ

Замороз Андрій Романович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження технологій віртуальної та доповненої реальності

Керівник роботи Гринченко Олександр Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по коледжу від « 04 » 04 2025 року № 50-ст

2. Строк подання здобувачем освіти роботи з 01.03. по 13.06.2025

3. Вихідні дані до роботи Аналітичні джерела, технічна база, приклади застосування VR/AR

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

1. Аналіз особливостей технологій віртуальної та доповненої реальності

2. Дослідження сфер застосування VR і AR технологій

3. Оцінка перспектив розвитку та викликів впровадження

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

6. Консультанти розділів роботи (проекту)

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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Узгодження технічного завдання з керівником кваліфікаційної роботи</i>	<i>17.03.2025-21.03.2025</i>	<i>Виконано</i>
2	<i>Підбір та вивчення науково-технічної літератури за темою кваліфікаційної роботи</i>	<i>24.03.2025-28.03.2025</i>	<i>Виконано</i>
3	<i>Обґрунтування вибору програмних засобів</i>	<i>31.03.2025-04.04.2025</i>	<i>Виконано</i>
4	<i>Опис компонентів. Обґрунтування їх вибору</i>	<i>07.04.2025-09.04.2025</i>	<i>Виконано</i>
5	<i>Розробка програмного забезпечення</i>	<i>10.04.2025-28.04.2025</i>	<i>Виконано</i>
6	<i>Дослідження ефективності реалізованих методів</i>	<i>29.04.2025-02.05.2025</i>	<i>Виконано</i>
7	<i>Написання пояснювальної записки</i>	<i>12.05.2025-23.05.2025</i>	<i>Виконано</i>
8	<i>Перевірка на плагіат пояснювальної записки</i>	<i>26.05.2025-30.05.2025</i>	<i>Виконано</i>
9	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи</i>	<i>02.06.2025-06.06.2025</i>	<i>Виконано</i>
10	<i>Захист кваліфікаційної роботи</i>		

Здобувач освіти


(підпис)

Андрій ЗАМОРОЗ

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи


(підпис)

Олександр ГРИНЧЕНКО

(ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи:
«Дослідження технологій віртуальної та доповненої реальності»: 49 сторінок, 12
рисуноків, 7 таблиць, 17 використаних джерел.

ВІРТУАЛЬНА РЕАЛЬНІСТЬ, ДОПОВНЕНА РЕАЛЬНІСТЬ,
VR, AR, ІНТЕРАКТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОСВІТА, МЕДИЦИНА,
МОДЕЛЮВАННЯ, ЗАНУРЕННЯ, СЕНСОРНІ СИСТЕМИ.

У кваліфікаційній роботі досліджено сучасні технології
віртуальної та доповненої реальності, визначено їх значення в
інформаційному суспільстві. Робота охоплює технічні аспекти *VR/AR*, включаючи
апаратне програмне забезпечення, підходи до проєктування віртуальних середовищ,
методи візуалізації й трекінгу, а також розглядає порівняльні переваги цих технологій. Окрему
увагу приділено сферам застосування — освіті, медицині, архітектурі, геймінгу,
виробництву, де *VR/AR* забезпечують підвищення ефективності, безпеки й
інформативності взаємодії користувача з цифровим середовищем. Подано аналіз ринку
VR/AR в Україні та світі, виявлено перспективи його розвитку.

У третьому розділі представлено приклади впровадження *VR/AR* у професійній
підготовці, власне дослідження, а також аналіз кейсів застосування в соціальній сфері.

Зроблено висновки щодо ключових викликів, серед яких — технічні обмеження,
етичні аспекти, сумісність платформ і стандартів.

Результати дослідження підтверджують актуальність *VR/AR* для трансформації
цифрового простору та потребу у фахівцях, здатних працювати з цими інноваціями.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І

ТЕРМІНІВ.....	6
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ГАЛУЗІ І	
СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕХНОЛОГІЙ ВІРТУАЛЬНОЇ ТА ДОПОВНЕНОЇ	
РЕАЛЬНОСТІ.....	8

1.1 Загальні відомості про технології віртуальної реальності.....	8
1.2 Доповнена реальність.....	11
1.3 Розвиток технологій віртуальної та доповненої реальності.....	14
1.4 Сучасні	

технічні рішення для реалізації VR та AR.....	22
РОЗДІЛ 2 ВИКЛИКИ ТА ОБМЕЖЕННЯ В ТЕХНОЛОГІЯХ VR та AR.....	
AR.....	222.1
Технічні обмеження та апаратні вимоги.....	262.2
Проблеми ергономіки та взаємодії з користувачем.....	272.3
Етичні, соціальні та юридичні аспекти VR/AR.....	282.4
Виклики сумісності та стандартизації в технологіях VR/AR.....	
30 РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ, ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРАКТИЧНІ ПРИКЛАДИ ЗАСТОСУВАННЯ	
VR/AR.....	343.1
Аналіз ринку VR/AR-технологій у світі та в Україні	343.2
Практичне дослідження використання VR/AR у професійній підготовці.....	363.3
Власне дослідження	383.4
Використання віртуальної реальності для розвитку соціальних навичок у дітей та молоді	38
ВИСНОВКИ.....	
46 ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	
	48

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

VR (Virtual Reality) – віртуальна реальність. Технологія створення штучного тривимірного середовища, з яким користувач взаємодіє через гарнітури, контролери та сенсорні пристрої.

AR (Augmented Reality) – доповнена реальність. Технологія, що накладає віртуальні об'єкти або інформацію на зображення реальної світу в режимі реального часу.

API (Application Programming Interface) – інтерфейс прикладного програмування; набір правил, які дозволяють програмам взаємодіяти між собою. *GPU (Graphics Processing Unit)* – графічний процесор. Відповідає за обробку графіки, важливий елемент продуктивності у VR/AR-додатках. *CPU (Central Processing Unit)* – центральний процесор, основний обчислювальний компонент комп'ютера або мобільного пристрою. *FPS (Frames Per Second)* – кількість кадрів в секунду. Чим вищий показник, тим плавніша анімація та зображення у VR/AR-середовищі. *SDK*

(*Software Development Kit*) – набір інструментів, що дозволяє створювати програмне забезпечення для конкретної платформи або пристрою. *IoT (Internet of Things)* – інтернет речей. Система взаємозв'язаних фізичних пристроїв, які збирають і передають дані через інтернет. *AI (Artificial Intelligence)* – штучний інтелект. Галузь комп'ютерних наук, що займається створенням інтелектуальних систем, здатних до навчання, аналізу та прийняття рішень.

Unity – популярний рушій для створення *VR/AR*-додатків із підтримкою 3D-графіки, фізики, трекінгу тощо.

Unreal Engine – потужний ігровий рушій із високим рівнем візуалізації, також активно використовується у *VR/AR*-розробках.

ARToolKit – бібліотека з відкритим кодом для розробки *AR*-додатків із маркерним трекінгом.

8

ARCore / ARKit – платформи для розробки доповненої реальності відповідно від *Google* і *Apple*.

OpenXR – відкритий стандарт, який уніфікує взаємодію між *VR/AR*-додатками та різними пристроями.

WebXR – стандарт, що дозволяє запускати *VR/AR*-додатки безпосередньо у веб-браузері.

Meta Quest – автономний *VR*-шолом від компанії *Meta*, широко застосовується у навчанні, іграх та симуляціях.

SteamVR – платформа для запуску *VR*-додатків, розроблена

компанією *Valve*. *PlayStation VR* – *VR*-шолом для ігрової консолі *PlayStation*.

9

ВСТУП

В сучасну цифрову епоху інформаційні технології стрімко змінюють спосіб взаємодії людини з навколишнім світом. Однією з найінноваційніших і найдинамічніших галузей ІТ є технології віртуальної та доповненої реальності, які дедалі активніше впроваджуються в різні сфери життя — від розвагі освіти до медицини, промисловості й архітектури. Їх розвиток відкриває нові можливості для створення інтерактивних середовищ, де користувач може не просто спостерігати, а й активно взаємодіяти з віртуальним або доповненим простором.

Потреба у таких рішеннях зростає особливо сильно останніми роками—у зв'язку з діджиталізацією освітніх процесів, дистанційною роботою, розвитком геймінгу, а також підвищеним інтересом до нових форматів презентації інформації. Віртуальна реальність дозволяє зануритися у повністю штучне середовище, тоді як доповнена — збагачує реальний світ цифровими елементами, що відкриває широкі перспективи для практичного застосування цих технологій. Активне використання шоломів *VR*, очок *AR*, смартфонів та спеціалізованого програмного забезпечення забезпечує користувачам безпрецедентний рівень занурення та взаємодії. Компанії-гіганти на кшталт *Meta*, *Apple*, *Microsoft*, *Google* та інші вже інвестують мільярди доларів у створення нових пристроїв і платформ, спрямованих на розвиток метавсесвіту та змішаної реальності. У результаті це створює нові вимоги до розробників, дизайнерів інтерфейсів, педагогів, лікарів і навіть маркетологів, які повинні вміти адаптувати свої підходи до нових умов цифрового середовища.

У контексті переходу до Індустрії 4.0 та зростання попиту на інноваційні інструменти комунікації, дослідження технологій *VR* та *AR* є надзвичайно актуальним. Вони вже сьогодні впливають на способи навчання, діагностики, реклами, виробництва, а їх подальший розвиток обіцяє трансформувати ще більше галузей.

Метою даної дипломної роботи є дослідження сучасних технологій віртуальної та доповненої реальності, аналіз принципів їх функціонування,

10

галузей застосування, інструментів розробки та перспектив розвитку. Об'єктом дослідження є технології віртуальної (*VR*) та доповненої (*AR*) реальності як складова частина сучасних інформаційних систем. Предметом дослідження виступають технічні засоби, програмні платформи, підходи до проектування, а також сфери практичного впровадження *VR/AR*. Основні завдання дослідження включають:

- вивчення історії розвитку *VR* і *AR*-технологій та етапів їх становлення;
- аналіз апаратного та програмного забезпечення, необхідного для створення та використання віртуальних і доповнених середовищ;
- систематизація сфер застосування *VR/AR* у різних галузях (освіта, медицина, промисловість, розваги, реклама тощо);
- порівняння існуючих інструментів і платформ для розробки *VR/AR*-додатків;
- аналіз перспектив розвитку ринку та викликів, які стоять перед впровадженням цих технологій;

- підготовка узагальнених висновків та рекомендацій щодо ефективного використання *VR* та *AR* у майбутньому.

Актуальність обраної теми обумовлена високими темпами розвитку віртуальної та доповненої реальності у світі, їх впливона трансформацію традиційних процесів, а також потребою у підготовці фахівців, здатних працювати з цими інноваційними технологіями. Результати цього дослідження можуть стати підґрунтям для подальших розробок у сфері *VR/AR*, що сприятиме впровадженню ефективних рішень у різні галузі та підвищенню якості цифрових сервісів загалом.

11

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ГАЛУЗІ І СУЧАСНОГО СТАНУ

ТЕХНОЛОГІЙ ВІРТУАЛЬНОЇ ТА ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

1.1 Загальні відомості про технології віртуальної реальності

Віртуальна реальність (*VR*) являє собою інтерфейс між людиною та комп'ютерною системою, що створює враження присутності у симульованому середовищі. Ці технології дозволяють користувачам рухатися в цьому середовищі та взаємодіяти з його елементами, що створює відчуття реальності. Ключовою ідеєю є те, що людська сенсорна система, яка розвивалася для взаємодії з фізичним світом, обробляє та інтерпретує вхідні дані з навколишнього середовища. Чим більше віртуальне середовище здатне імітувати природні сенсорні сигнали, тим переконливіше і реалістичніше сприйняття цього середовища стає для користувача.

Технології *VR* базуються на використанні апаратного та програмного забезпечення, яке генерує інформацію для різних органів чуття, таких як зір, слух і дотик. Це дозволяє створити максимально достовірні відчуття реальності, навіть якщо користувач взаємодіє з повністю віртуальним світом. Важливим аспектом є те, що система *VR* здатна відстежувати дії користувача, оновлюючи середовище відповідно до його рухів, що дозволяє підтримувати високий рівень інтерактивності.

Найважливіший фактор для досягнення реалістичності віртуального середовища — це занурення. Занурення визначається як ступінь, до якої технології віртуальної реальності здатні впливати на різні сенсорні канали користувача, створюючи ілюзію реального фізичного середовища. У контексті *VR*, термін «занурення» також включає психологічну складову — користувач почувається настільки «присутнім» у

віртуальному середовищі, що забуває про своє фізичне оточення. Це явище часто називають «присутністю», і воно має кілька вимірів: телеприсутність — відчуття перебування у віддаленому місці

12

через медіа, і соціальна присутність — взаємодія з іншими людьми в віртуальному просторі.

Сучасні застосування *VR* дозволяють користувачам здійснювати віртуальні подорожі у віддалені або небезпечні місця, наприклад, на атомні електростанції або проводити медичні діагностики, не залишаючи своїх домівок. У таких випадках можуть використовуватися роботизовані пристрої, якими керує користувач, відчуваючи реальний вплив на своє середовище через *VR*.

Рівні занурення та присутності можна описати як шкалу, де з одного боку знаходиться реальний світ, а з іншого — повністю віртуальне середовище. Технології *VR* можуть забезпечити різні рівні занурення, які залежать від поєднання різних сенсорних пристроїв і відображень. Це дає змогу користувачам не тільки бачити і чути, але й взаємодіяти з віртуальними об'єктами, наприклад, ходити по віртуальних світах, чутно реагувати на навколишні звуки, атакувати елементи цього світу через дотик.

Програми віртуальної реальності варіюються від простих вікон на комп'ютерному екрані, які відображають віртуальне середовище, до повних інтерактивних платформ, що дозволяють відчувати повне занурення в середовище. Системи *VR* можна поділити на два основні типи: неіммерсивні та іммерсивні.

Неіммерсивні системи є найпростішими варіантами, коли віртуальний світ просто відображається на екрані комп'ютера. Вони зазвичай вимагають стандартного комп'ютерного обладнання, а взаємодія з середовищем здійснюється через клавіатуру, мишу або інші базові контролери. Такі системи не забезпечують повного занурення в середовище, однак можуть бути ефективними для навчальних або ігрових додатків, де достатньо обмеженої взаємодії з віртуальним світом.

Іммерсивні системи ж створюють повне занурення, коли користувач за допомогою спеціалізованих пристроїв (наприклад, *VR*-окулярів, рукавичок з сенсорами дотику) потрапляє в повністю віртуальний світ, де він може вільно пересуватися і взаємодіяти з об'єктами. У таких системах використовується спеціальне апаратне забезпечення, яке дозволяє створити враження присутності

13

фізично відсутньому середовищі, забезпечуючи користувачеві відчуття реалістичної взаємодії з простором.

У таких системах для взаємодії з віртуальним світом часто використовуються спеціальні джойстики, контролери, або навіть повноцінні маніпулятори, що дозволяють забезпечити більш природну навігацію та управління середовищі, яке імітує реальність. Вибір інтерфейсу залежить від типу програмного забезпечення та вимог до віртуального досвіду, який має бути наданий користувачеві.

Віртуальна та доповнена реальність - це сучасні інформаційні технології, які забезпечують взаємодію людини з цифровими об'єктами у спеціально створеному або реальному середовищі. Вони входять до числа ключових інструментів, що формують нову парадигму взаємодії людини з інформацією, простором і даними. Інтенсивний розвиток обчислювальної техніки, мобільних пристроїв, сенсорів та графічних систем зробив можливим широке впровадження цих технологій у повсякденне життя.

Під поняттям віртуальної реальності (*Virtual Reality, VR*) мається наувазі технологія, яка дозволяє створити повністю змодельоване цифрове середовище, ізольоване від фізичного світу. Користувач за допомогою шолома або гарнітури *VR* занурюється у тривимірний простір, де може взаємодіяти з об'єктами, переміщуватись у просторі, здійснювати дії за допомогою контролерів або навіть жестів. Головною перевагою *VR* є повне занурення, завдяки якому досягається максимальна імітація реального або вигаданого світу.

14



Рисунок 1.1 – Віртуальна реальність (*Virtual Reality, VR*) 1.2

Доповнена реальність

Доповнена реальність (*AR*) — це технологія, яка дозволяє одночасно відображати реальний світ і віртуальні об'єкти, додаючи до реального середовища інформацію, згенеровану комп'ютером. Вона дозволяє користувачеві взаємодіяти з реальним світом, доповнюючи його віртуальними елементами. У порівнянні з віртуальною реальністю (*VR*), яка повністю замінює фізичне оточення користувача, *AR* зберігає фізичну реальність, додаючи лише віртуальні об'єкти. *AR* застосовується для полегшення повсякденних завдань, покращення взаємодії з навколишнім світом, а також може бути використана для збагачення органів чуття, як от покращення зору у сліпих або погано зорих користувачів за допомогою звукових підказок. Крім того, *AR* може мати і розважальне значення, наприклад, у додатках на зразок *Wikitude*.

Пристрої доповненої реальності:

Основні пристрої *AR* включають дисплеї, пристрої введення, засоби відстеження і комп'ютери.

1. Дисплеї

Існує три основні види дисплеїв для *AR*:

- Наголовні дисплеї (*HMD*), що використовуються для накладення віртуальних зображень безпосередньо на зображення реального світу.

15

- Портативні дисплеї, зокрема смартфони, КПК та планшети, що дозволяють використовувати *AR* через камери та сенсори.

- Просторові дисплеї, які використовують проектори або голографічні технології для відображення графіки на реальних об'єктах без необхідності носити пристрій.

2. Пристрої введення:

Для *AR* використовуються різні типи пристроїв введення. Це можуть бути рукавички, бездротові браслети або сенсорні екрани. Вибір пристрою залежить від типу програми.

3. Відстеження

Відстеження в *AR* використовується для визначення місця розташування і орієнтації пристрою або користувача в реальному середовищі. Для цього використовуються різноманітні датчики, такі як камери, *GPS*, акселерометри та інші.

Методи комп'ютерного зору в *AR*:

Комп'ютерне бачення в *AR* дозволяє створювати віртуальні об'єкти, які виглядають так, ніби вони частина реального світу. Процес роботи включає два основні етапи: відстеження зображень і реконструкцію простору. Для відстеження використовуються різні методи, зокрема виявлення маркерів або особливих точок на зображенні. Потім ці дані використовуються для реконструкції тривимірної моделі сцени, що дозволяє коректно відображати віртуальні об'єкти в реальному середовищі.

Різні методи відстеження можуть використовуватися в залежності від умов, наприклад, якщо пристрій використовується в русі чи в статичному положенні. Одним із найпоширеніших інструментів для створення програм *AR* є бібліотека *ARToolKit*, яка дозволяє точно відстежувати позицію камери та накладати на маркери 3D-об'єкти.

16

Таким чином, *AR* значно покращує взаємодію з реальним світом, доповнюючи його віртуальними об'єктами та інформацією, що дозволяє вирішувати широкий спектр завдань у різних сферах, від розваг до науки та техніки.

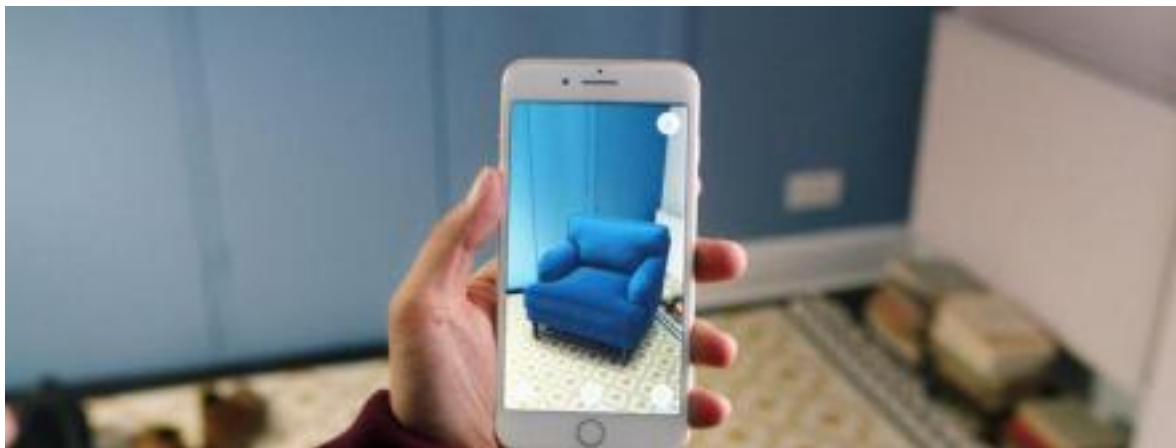


Рисунок 1.2 – Доповнена реальність (*Augmented Reality, AR*)

Віртуальна та доповнена реальність мають спільну мету — розширення можливостей взаємодії людини з цифровими даними, однак реалізуються вони принципово різними способами. *VR* створює повністю цифровий простір, що замінює реальність, тоді як *AR* накладає цифрові об'єкти на реальне середовище. Обидві технології мають унікальні переваги та обмеження, які визначають доцільність їх використання в конкретних сферах.

Переваги *VR*:

1. Повне занурення у віртуальне середовище;
2. Можливість створення будь-яких симуляцій, незалежно від реального світу;
3. Ефективне використання для навчання, тренувань, розваг;
4. Безпечна взаємодія з потенційно небезпечними ситуаціями (аварії, операції тощо);
5. Сильний емоційний ефект та високий рівень присутності. Переваги AR:
 1. Взаємодія з реальним світом без відриву від нього;
 2. Не потребує повного занурення чи спеціального простору;
 3. Широке застосування в логістиці, ремонті, освіті, торгівлі;
 4. Легке впровадження через мобільні пристрої;

17

5. Підвищення зручності сприйняття інформації в реальному часі. Таблиця 1.1 – Порівняння особливостей використання VR і AR

Характеристика	Віртуальна реальність (VR)	Доповнена реальність (AR)
Ступінь занурення	Повне занурення у цифрове середовище	Часткове: реальний світ доповнюється віртуальними елементами
Необхідність обладнання	Потрібні спеціальні шоломи, контролери	Можна використовувати смартфон, планшета або AR-окуляри
Взаємодія з реальністю	Відсутня — повністю	Постійна — цифрові середовища елементи накладаються на реальні об'єкти
Мобільність	Обмежена (часто потрібен потужний ПК, кабелі)	Висока — доступна через мобільні пристрої

Основні сфери застос	Освіта, медицина, тренажери, ігри, симуляції	Навігація, реклама, ремонт, логістика, роздрібна торгівля
Вартість реалізації	Вища (через дорого обладнання)	Зазвичай нижча (можна використовувати наявні пристрої)
Ефект присутності	Високий — середовища	Середній — залежить від повної імітації якості накладених об'єктів

Зростання популярності *VR/AR* сприяє появі нових професій, зміцненню ринку відповідного обладнання, розвитку програмного забезпечення та формуванню цілих екосистем цифрової взаємодії. Це підтверджує актуальність теми дослідження та необхідність системного аналізу сучасного стану галузі, її технічних можливостей, сфер застосування та перспектив розвитку.

1.3 Розвиток технологій віртуальної та доповненої реальності

Сьогодні *VR/AR* знаходять практичне застосування в різноманітних галузях: освіта, медицина, архітектура, машинобудування, маркетинг, культура, розваги, військова справа тощо. Їх впровадження дозволяє покращити ефективність

18

навчання, підвищити точність виробничих операцій, оптимізувати логістику, створити нові формати залучення клієнтів і надання послуг. Упродовж останніх десятиліть технології візуалізації зазнали значного прогресу. Особливо це стосується віртуальної (*VR*) та доповненої реальності (*AR*), які сьогодні відіграють все більш помітну роль у цифровій трансформації суспільства. Їх розвиток є логічним продовженням еволюції комп'ютерної графіки, сенсорних систем, мобільних пристроїв та штучного інтелекту. Починаючи з 60-х років XX століття, коли з'явилися перші прототипи пристроїв для віртуального занурення, *VR/AR*-технології пройшли шлях від експериментальних лабораторних розробок до

комерційно доступних продуктів. Із запуском пристроїв *Oculus Rift*, *HTC Vive*, *Microsoft HoloLens*, *MetaQuest* та аналогів, ці технології стали доступними для масового користувача. Для створення ефекту присутності в такому середовищі використовуються спеціалізовані пристрої — *VR*-шоломи (наприклад, *Oculus Quest*, *HTC Vive*, *PlayStation VR*), контролери рухів, трекери позиції тіла, рукавички з тактильним зворотним зв'язком тощо. У процесі взаємодії з віртуальним простором користувач повністю відділяється від реального світу: його зір, слух, аїнодійдотик залучені виключно до моделювання цифрової реальності. *VR* дозволяє вільно пересуватися в *3D*-просторі, взаємодіяти з віртуальними об'єктами, змінювати навколишнє середовище або спостерігати за ним під різними кутами. Такий підхід активно використовується в ігровій індустрії, архітектурному проектуванні, авіаційних та медичних симуляціях, освіті, військовій підготовці та інших галузях, де важливе безпечне моделювання сценаріїв без ризику для життя або ресурсів.

На відміну від традиційного відео чи *3D*-графіки, *VR* дозволяє створювати ефект повної присутності завдяки тривимірному аудіо, стереоскопічному зображенню та просторовому трекінгу рухів голови та тіла. Цей рівень занурення суттєво підвищує ефективність навчання, емоційне сприйняття контенту та глибину взаємодії, роблячи *VR* не просто візуальним інструментом, а повноцінною платформою для цифрового досвіду.

Доповнена реальність (*Augmented Reality*, *AR*) — це технологія, яка накладає

19

віртуальні об'єкти або інформацію на реальне середовище, створюючи ефект поєднання фізичного та цифрового світів у режимі реального часу. На відміну від *VR*, що замінює реальність, *AR* лише її доповнює. Це означає, що користувач бачить навколишнє середовище без змін, але одночасно — на екрані смартфона, планшета або через *AR*-окуляри — спостерігає додаткові об'єкти: *3D*-моделі, анотації, маршрути, інструкції, інтерфейси або анімовані елементи.

AR широко застосовується у сферах роздрібної торгівлі (віртуальні примірочки), логістики (підказки складування), медицини (візуалізація органів під час операцій), освіти (доповнені підручники), технічного обслуговування (інструкції з ремонту поверх обладнання), а також у рекламі та маркетингу (інтерактивні упаковки товарів, віртуальні шоуруми). Одним із найвідоміших прикладів популяризації *AR* стала гра *Pokemon Go*, що поєднала *GPS*-навігацію та *AR* в інтерактивному форматі.

Для реалізації *AR* необхідні такі компоненти: камера

(для захоплення навколишнього середовища), датчики просторового положення, дисплей (екран мобільного пристрою або прозорі окуляри), програмне забезпечення для трекінгу та рендерингу. Сучасні AR-платформи, такі як *Google ARCore* або *Apple ARKit*, дозволяють створювати високоточні та масштабовані доповнені сцени з урахуванням освітлення, поверхонь і перспективи.

За останніми дослідженнями компаній *IDC* та *Statista*, глобальні інвестиції у сферу *VR/AR* зростають щороку, досягаючи мільярдних обсягів. Очікується, що найближчі роки саме доповнена реальність стане основним драйвером зростання, зважаючи на її зручність інтеграції у повсякденне життя без необхідності повного занурення у віртуальне середовище.

Згідно з даними аналітичних центрів, найбільш динамічноці технології розвиваються у таких секторах:

Освіта: віртуальні лабораторії, симуляції небезпечних ситуацій, 3D-моделі органів і систем. Завдяки *VR/AR* учні можуть взаємодіяти з навчальними об'єктами у новому форматі — наприклад, проходити віртуальні екскурсії до

20

музеїв, досліджувати анатомію людини, відтворювати хімічні реакції без ризику або тренуватися в умовах, наближених до реальності. Доповнена реальність дає змогу накладати інтерактивні підказки на реальні об'єкти, перетворюючи звичайне навчальне середовище на інтелектуальний простір, щонавчаче. Такий підхід підвищує концентрацію, залученість студентів і дозволяє вивчати складні дисципліни через наочність і досвід.



Рисунок 1.3 – Інноваційний майстер-клас із дослідженням *VR* та *AR* Медицина: хірургічні тренажери, візуалізація анатомії пацієнта, терапія фобій і ПТСР.

У галузі охорони здоров'я віртуальні технології використовуються для підготовки майбутніх фахівців через симуляцію клінічних сценаріїв, що наближені до реальних умов. Лікарі можуть тренуватись на віртуальних моделях, виконуючи складні маніпуляції з високою точністю. *AR*-рішення дають змогу в режимі реального часу відображати проєкції внутрішніх органів на тіло пацієнта, допомагаючи хірургам приймати точні рішення під час операцій. У терапевтичній практиці *VR* застосовується для роботи з пацієнтами, які мають тривожні розлади,

21

фантомні болі, страхи чи наслідки травм — занурення у контрольоване цифрове середовище дозволяє поступово адаптувати психіку до стресових ситуацій.



Рисунок 1.4 – Система віртуальної реальності в медицині **Будівництво та архітектура**: перегляд 3D-моделей споруд у реальному масштабі, віртуальні тури. У проектуванні VR/AR-технології стали невід’ємною частиною процесів планування, візуалізації та узгодження рішень. За допомогою віртуальної реальності архітектори можуть «пройтися» запроектованими будівлями ще до їх фізичного створення, оцінити пропорції, освітлення, ергономіку внутрішнього простору та виявити помилки на ранньому етапі. Замовники, у свою чергу, мають змогу побачити результат не у вигляді креслень або 3D-зображень, а відчути його у реальному масштабі через VR-гарнітуру. Доповнена реальність використовується безпосередньо на будівельних майданчиках — AR-додатки дозволяють будівельникам переглядати проектну документацію, інженерні схеми чи інструкції прямо на фізичних об’єктах, не відволікаючись на паперові плани. Такий підхід підвищує точність виконання робіт, скорочує час узгоджень і сприяє зниженню витрат на внесення змін під час реалізації проекту.

22



Рисунок 1.5 – Віртуальна і доповнена реальність в будівництві **Промисловість**: інструктаж персоналу в безпечних умовах, ремонті сервісно обслуговування з підказками в AR. У виробничому секторі VR та AR впроваджуються як інструменти

підвищення безпеки, ефективності й точності виконання робіт. Віртуальна реальність використовується для навчання працівників у складних або небезпечних умовах — наприклад, моделюються аварійні ситуації, запуск складного обладнання чи виконання робіт на висоті. Це дозволяє персоналу отримати практичний досвід без ризику для життя і без потреби зупиняти виробничі процеси. У той час як *VR* створює повністю змодельоване середовище, *AR* надає змогу поєднувати реальні об'єкти з інструктивними елементами: робітник, одягнувши *AR*-окуляри або використовуючи планшет, може бачити підказки щодо порядку дій, послідовності збирання, технічних параметрів прямо на поверхні агрегату чи конструкції. Таке застосування значно знижує ймовірність помилок, оптимізує час виконання завдань і забезпечує оперативну підтримку в складних виробничих ситуаціях.

23



Рисунок 1.6 – Віртуальна реальність в промисловості

Торгівля та реклама: віртуальні примірки товарів, інтерактивні каталоги, брендові *AR*-додатки У сфері торгівлі *AR* і *VR* значно змінюють взаємодію споживачів із продуктами. Завдяки віртуальним примірочним покупці можуть «приміряти» одяг, окуляри або косметику, не виходячи з дому. Інтерактивні *3D*-каталоги дозволяють детально розглянути товари з усіх боків, що підвищує впевненість у виборі. Брендові *AR*-додатки залучають клієнтів через ігрові механіки та доповнену реальність — наприклад, при наведенні смартфона на упаковку з'являються анімовані персонажі або додаткова інформація.



Рисунок 1.7 – Примірка взуття за рахунок доповненої реальності

24

Розваги та ігри: У розважальній індустрії *VR* та *AR* стали новим стандартом взаємодії з контентом. Віртуальні ігри забезпечують повне занурення гравця у вигаданий світ, створюючи унікальні сценарії участі. Тематичні парки використовують *VR*-шоломи для створення атракціонів нового покоління. *AR*-досвід активно застосовується у музеях та виставках — експонати «оживають», а відвідувач отримує додаткову інформацію у зручному форматі. 360-градусне кіно дозволяє глядачеві опинитися всередині сюжету, керуючи кутом огляду та напрямком уваги.



Рисунок 1.8 - Віртуальна та доповнена реальність у геймінгу. Технології *VR* та *AR* активно інтегруються з іншими інноваційними напрямками — такими як штучний інтелект, машинне навчання, хмарні обчислення, *edge computing*. Це дозволяє підвищити точність, швидкість обробки даних, адаптивність і персоналізацію користувацького досвіду. Серед найвідоміших *VR*-платформ сьогодні — *Meta Quest*, *SteamVR*, *PlayStationVR*, а для *AR* — *Microsoft HoloLens*, *Magic Leap*, *ARKit* від *Apple* і *ARCore* від *Google*. Вони забезпечують інструменти для розробки, візуалізації, трекінгу простору, обробки жестів, голосових команд тощо. Таким чином, розвиток технологій віртуальної та доповненої реальності є важливим елементом сучасного

трансформує традиційні галузі та сприяє створенню нових форм взаємодії між людиною і даними.

1.4 Сучасні технічні рішення для реалізації VR та AR

Успішне впровадження віртуальної (VR) та доповненої реальності (AR) в різні сфери життя стало можливим завдяки стрімкому розвитку як апаратних засобів, так і програмного забезпечення. Сучасні технічні рішення охоплюють широкий спектр пристроїв і технологій, що дозволяють користувачам не лише переглядати віртуальний контент, а й активно взаємодіяти з ним у реальному часі. Цей розділ розглядає основні інструменти, що забезпечують роботу VR та AR на сучасному етапі.

Апаратне забезпечення:

До основних апаратних рішень VR відносяться спеціалізовані гарнітури (VR-шоломи), які створюють ефект присутності у віртуальному середовищі. Такі пристрої оснащені високоякісними дисплеями, сенсорами положення голови, системами трекінгу рухів та контролерами для взаємодії з об'єктами.

Таблиця 1.2 – Основні сучасні пристрої для реалізації VR та AR

Пристрій	Тип	Основні характеристики
<i>Oculus Quest 2</i>	VR-шолом (автономний)	6DoF, дисплей 1832×1920 пікселів, контролери, Wi-Fi
<i>HTC Vive Pro</i>	VR-шолом	(ПК) Роздільна здатність 2880×1600, трекінг за базовими станціями
<i>Playstation VR</i>	VR-шолом	(консоль) Працює з PS4, інтеграція з іграми
<i>Microsoft HoloLens 2</i>	AR-окуляри	Просторове сканування, взаємодія жестами, Windows 10

У сфері *AR* частіше застосовуються мобільні пристрої та *AR*-окуляри. Смартфони з *AR*-підтримкою дозволяють запускати додатки, які накладають цифрові об'єкти на реальне середовище, використовуючи камеру, GPS і гіроскоп. *AR*-окуляри, такі як *HoloLens* або *Magic Leap*, дають змогу відображати складні 3D-моделі в просторі та взаємодіяти з ними за допомогою голосу, жестів або контролерів.

Програмне забезпечення:

Сучасні інструменти розробки *VR/AR* додатків базуються на потужних рушіях, фреймворках та *SDK* (*software development kits*), що забезпечують графіку, фізику, трекінг та інтерактивність.

Unity — один із найпопулярніших рушіїв для розробки *VR/AR*.

Його використовують завдяки простоті інтеграції з *VR/AR*-пристроями, великій кількості готових модулів і підтримці *C#*. *Unity* підтримує *HoloLens*, *Oculus*, *Vive* та інші пристрої.

Unreal Engine від *Epic Games* забезпечує фотореалістичну графіку, щоробить його придатним для проектів у сфері архітектури, кінематографу та військових тренажерів. Він використовує візуальне програмування *Blueprints* та підтримує *C++*.

Також активно використовуються такі інструменти, як: *Vuforia* — підтримує маркери, розпізнавання об'єктів, інтегрується з *Unity*. *8th Wall* — *WebAR*-платформа, яка дозволяє запускати *AR* прямо у браузері. *Amazon Sumerian*, *Microsoft Azure Mixed Reality* — хмарні сервіси для розробки *VR/AR*-сцен.

Інтеграція *VR/AR* із новими цифровими технологіями значно розширює можливості їх застосування. Наприклад, використання штучного інтелекту дозволяє адаптувати поведінку віртуальних об'єктів до дій користувача. У поєднанні з Інтернетом речей (*IoT*), *AR* дозволяє відображати дані в режимі реального часу — наприклад, у промислових системах або *smart*-будинках.

Також важливу роль відіграє розвиток 5G-зв'язку, що забезпечує низьку затримку та високу пропускну здатність. Це дозволяє передавати важкий

візуальний контент без втрати якості, що особливо важливо для віддалених тренажерів, онлайн-подій у *VR* та телемедицини.

Це одним важливим напрямом розвитку *VR/AR* є

створення мережевих і багатокористувацьких середовищ, де кілька осіб можуть взаємодіяти спільно у віртуальному просторі. Наприклад, в освіті все більше впроваджуються *VR*-класи, де студенти з різних країн можуть одночасно перебувати у віртуальній лабораторії, спілкуватись з викладачем та виконувати спільні завдання. Такі рішення вимагають не лише якісного графічного рушія, а й стабільної мережевої інфраструктури та продуманої архітектури даних.

Особливої уваги заслуговує концепція метавсесвіту, яка об'єднує *VR*, *AR*, блокчейн та цифрові аватари. Платформи на кшталт *Meta Horizon*, *Decentraland* чи *VRChat* надають користувачам можливість створювати власні віртуальні простори, проводити заходи, здійснювати покупки в цифровій валюті та навіть працювати віртуально. Це відкриває шлях до нових форм бізнесу, мистецтва, а також соціальної взаємодії в цифровому світі.

Крім того, віртуальна реальність починає застосовуватись у психології, урбаністиці, військовій підготовці, навіть у моделюванні надзвичайних ситуацій. Наприклад, рятувальники можуть проходити навчання у змодельованих умовах пожежі чи землетрусу, що неможливо реалізувати у звичайному середовищі. Такий підхід дозволяє не лише покращити навички, а й зменшити ризики під час реального реагування.

Таблиця 1.4 – Етичні та правові проблеми у *VR* і *AR*

		Маніпуляція свідомістю
		Етичні межі контенту
Проблема	Приклад/Коментар	
Конфіденційність	<i>AR</i> -окуляри сканують обличчя людей без їх згоди	
Авторське право	Використання чужих <i>3D</i> -моделей у <i>VR</i> -додатках	

28

РОЗДІЛ 2

ВИКЛИКИ ТА ОБМЕЖЕННЯ В ТЕХНОЛОГІЯХ *VR* ТА *AR*

2.1 Технічні обмеження та апаратні вимоги

Технології віртуальної (*VR*) та доповненої реальності (*AR*) стрімко розвиваються, однак їх ефективне впровадження досі

стикається з низкою технічних проблем. Основними з них є обмеження в продуктивності пристроїв, висока вартість апаратного забезпечення, обмеження в роздільній здатності дисплеїв, а також недостатня автономність гаджетів.

Однією з головних технічних проблем *VR/AR* є обробка та відображення складного тривимірного контенту в режимі реального часу. Для досягнення повноцінного ефекту занурення необхідна частота оновлення зображення не менше 90 Гц. Це означає, що відеокарта та процесор повинні встигати генерувати та передавати нову картинку кожні 11 мілісекунд.

В *AR*-середовищі, де зображення реального світу з камери поєднується з 3D-об'єктами, потрібно обробляти не лише графіку, але й сенсорні дані, *GPS*-координати, інформацію зі сканерів глибини тощо. Це створює додаткове навантаження на пристрої.

Гарнітури для *VR* (наприклад, *Oculus Rift*, *HTC Vive*) зазвичай вимагають підключення до ПК з потужним графічним процесором, що зменшує мобільність системи. Навіть автономні пристрої (*Meta Quest*) мають обмеження в графічній якості, продуктивності та часі автономної роботи.

Іншою важливою проблемою є ефект “*screen-door*” — явище, коли між пікселями екрана видно чорні лінії, що знижує якість зображення. Висока роздільна здатність дисплея значно зменшує цей ефект, але потребує сучасних *OLED*-дисплеїв із щільністю понад 1000 *PPI*.

Ще одним аспектом є затримка (латентність) між рухами користувача та відповіддю системи. В ідеалі вона повинна бути нижчою за 20 мс, щоб уникнути дезорієнтації або нудоти.

29

Також варто відзначити проблеми зі стандартами. Кожен виробник має власне *API*, *SDK*, ігрові рушії або платформи (наприклад, *SteamVR*, *OpenXR*, *WebXR*), що ускладнює сумісність і кросплатформенну розробку.

Таблиця 2.1 – Порівняння характеристик *VR* і *AR*

Параметр	<i>VR</i>	<i>AR</i>
Частота кадрів	90+FPS	30–60FPS

Затримка (<i>latency</i>)	< 20 мс	<30мс
Роздільна здатність дисплею	2160x1200+	на око 1080р і вище (телевізор)
Необхідне обладнання	Потужний процесор	або консоль Смартфон або ПК
Продуктивність <i>CPU/GPU</i>	Висока	Середня–висока

Як видно з таблиці, *VR* і *AR* мають різні вимоги до обладнання та продуктивності. Це необхідно враховувати при виборі платформи для розробки або впровадження проєктів.

2.2 Проблеми ергономіки та взаємодії з користувачем

Окрім технічних труднощів, одним із ключових викликів для *VR/AR* є ергономіка та взаємодія користувача з системою. Надмірне фізичне навантаження, втома очей, дезорієнтація, а також невдало спроектовані інтерфейси можуть істотно впливати на ефективність використання технологій.

Найперше, тривале використання *VR*-гарнітур часто спричиняє фізичний дискомфорт. Пристрої мають певну вагу (більшість — понад 500 грамів), що створює навантаження на шию та голову користувача. При тривалому використанні це може призвести до болю, м'язового напруження та головного болю.

Окрему загрозу становить так званий синдром «кіберхвороби» або *VR motion sickness*. Його симптоми включають нудоту, запаморочення, втому, порушення координації рухів. Причина — розбіжність між візуальним та вестибулярним сприйняттям руху.

30

Іншою проблемою є проектування інтерфейсів. На відміну від традиційного монітора, у *VR/AR* користувач взаємодіє з об'ємним простором. Тому важливо враховувати: природні жести рук, оптимальне поле зору, відстань до віртуальних кнопок, простоту навігації.

Безпека є окремим аспектом. У *VR*-користувач може не бачити реальних об'єктів, що призводить до ризику травм. Психоемоційний вплив *VR/AR* також не варто недооцінювати. Високе занурення у віртуальний світ може викликати стан ізоляції, залежність, емоційне виснаження.

Зорові навантаження та дезорієнтація:

Навантаження на зір є ще однією суттєвою проблемою.

Фокусування очей на екранах, розміщених на відстані лише кількох сантиметрів, викликає зорову втому, особливо якщо система не підтримує адаптивне фокусування або немає налаштувань під особливості зору користувача. Крім того, штучне освітлення, яскравість екранів, або неправильне калібрування призводять до перенапруження зорового апарату.

2.3 Етичні, соціальні та юридичні аспекти *VR/AR*

Зростаюча популярність технологій *VR* і *AR* супроводжується появою етичних, соціальних та юридичних питань. Одним із головних викликів є проблема конфіденційності. *AR*-додатки мають доступ до камер і мікрофонів, що дозволяє зчитувати інформацію з навколишнього середовища. Наприклад, очки з доповненою реальністю можуть сканувати обличчя, реєструвати рухи людей, отримувати дані про розташування.

Конфіденційність та збір персональних даних:

Одна з найбільших загроз — збір та обробка персональних даних.

У контексті *AR*, пристрої (окуляри, смартфони) сканують реальний світ у режимі реального часу, отримуючи доступ до облич, номерів автомобілів, геолокації, об'єктів інтер'єру тощо. У *VR* — хоча користувач ізольований від реального світу — фіксуються рухи тіла, напрямок погляду, міміка, частота серцевих скорочень, що дозволяє створювати детальні психофізіологічні профілі.

31

Наприклад, у дослідженнях *Meta* (колишній *Facebook*), було показано, що лише за допомогою аналізу рухів голови у *VR* можна передбачити емоційний стан людини з точністю понад 70%.

Основні ризики включають:

1. Неконтрольований витік або продаж біометричних даних. 2. Можливість маніпуляцій на основі поведінкової аналітики. 3. Створення «цифрових двійників» без згоди користувача.

Авторське право та власність у віртуальному просторі: У *VR*-середовищі активно створюються 3D-об'єкти, сцени, аватари, інтерактивні елементи. Постає питання: хто є законним власником цього контенту? Чи належить створений аватар

художнику, користувачу чи платформі? Проблеми:

1. Використання чужих 3D-моделей без дозволу.
2. Відсутність чітких механізмів захисту авторських прав у VR-просторах.
3. Наявність нелегального контенту у відкритих віртуальних світах (наприклад, у метавсесвітах).

Таблиця 2.2 – Основні юридичні виклики у VR/AR та можливі шляхи їх вирішення

Юридичні аспекти	Ризики	Можливі рішення
Конфіденційність	Збір біометричних даних без згоди користувача	Встановлення GDPR-даних подібних стандартів для VR/AR
Авторське право	Плагіат віртуального контенту	VR-ліцензування, цифрові водяні знаки
Ідентичність	Крадіжка аватарів, deepfake у віртуальному просторі	Автентифікація користувача за цифровим підписом
Безпека взаємодії у віртуальному просторі	Віртуальні домагання, булінг, насильство	Модерація та звітність, віртуальні «зони безпеки»

Регулювання та правовий вакуум:

Чинне законодавство в більшості країн не встигає за розвитком технологій.

32

VR/AR не мають чітко визначеного правового статусу, а існуючі норми частіше охоплюють нюанси віртуальних середовищ.

Приклади проблемних ситуацій:

Хуліганство у метавсесвіті: чи можна його кваліфікувати як злочин? Віртуальні транзакції: чи підлягають вони оподаткуванню? Медичне використання VR: чи несе провайдер відповідальність за побічні ефекти?

2.4. Виклики сумісності та стандартизації в технологіях VR/AR

Однією з ключових проблем розвитку технологій віртуальної (VR) та доповненої реальності (AR) є відсутність єдиних стандартів і протоколів, що забезпечують

сумісність різних апаратних і програмних рішень. Цестворюєзначні складнощі як для розробників, так і для кінцевих користувачів, уповільнюємасове впровадження VR/AR та ускладнює інтеграціюсистемурізноманітнісфери.

Ринок VR/AR характеризується високим рівнем фрагментації. Наньомуодночасно представлені десятки апаратних платформ: *Oculus Quest*, *HTC Vive*, *Valve Index*, *PlayStation VR*, *Microsoft HoloLens*, *Magic Leap* та інші. Кожназцихсистем має власні апаратні особливості, операційні системи, розробницькісередовища (SDK) та формати даних.

Розробникам контенту доводиться створювати кілька версійодногопродуктудля різних платформ, що значно збільшує час і вартість розробки. Відсутністьєдиного формату також ускладнює сумісність між різними VR/AR-пристроями.

Для користувачів фрагментація означає необхідність виборуплатформи,щонайкраще відповідає їхнім потребам і бюджету. Однак часто виникаєситуація,коли контент, доступний на одній платформі, недоступнийабопрацюєнекоректно на іншій. Це призводить до зниження загального рівнязадоволенняіуповільнює поширення технологій.

33

Сумісність у VR/AR охоплює кілька ключових напрямків: Апаратна сумісність: взаємодія різних пристроїв, сенсорів, контролерівісистем відстеження. Наприклад, контролер, розроблений для *Oculus*, незавжди може бути використаний з *HTC Vive*.

Програмна сумісність: сумісність операційних систем, драйверів, SDK,атакож форматів файлів та API. Середовище розробки *Unity* та *Unreal Engine* підтримують більшість платформ, але специфічні фічі пристроївчасто потребують окремої реалізації.

Контентна сумісність: забезпечення можливості запуску і коректного відображення VR/AR-контенту на різних пристроях без втрат якості. Відсутність загальноприйнятих стандартів породжує ряд проблем:

Зростання витрат на розробку: розробникам доводиться створювати та підтримувати декілька версій одного продукту.

Обмеження масштабування: інтеграція VR/AR-рішень у корпоративні системи і масове поширення ускладнено через технічні

бар'єри. Складність у підтримці та оновленнях: необхідність адаптації оновлень під різні платформи.

Зниження зручності для користувача: користувачі можуть опинитися прив'язаними до конкретної платформи або пристрою. Незважаючи на ці проблеми, індустрія робить кроки у напрямку стандартизації: *OpenXR* – відкритий стандарт від *Khronos Group*, спрямований на уніфікацію *API* для *VR/AR* пристроїв. *OpenXR* дозволяє розробникам створювати додатки, сумісні з різними пристроями, зменшуючи потребу в спеціалізованій адаптації. *WebXR* – стандарт, який дає змогу запускати *VR/AR* контент у веб-браузерах. Це полегшує доступ користувачів до *VR/AR* без необхідності встановлення спеціалізованих додатків.

ISO/IEC стандарти – міжнародні організації працюють над стандартами, що регламентують технічні та безпекові аспекти *VR/AR*.

Таблиця 2.3 – Порівняльна таблиця основних стандартів *VR/AR*

Стандарт	Організація	Опис	Переваги	Недоліки
<i>OpenXR</i>	<i>Khronos Group</i>	Універсальний <i>API</i> для <i>VR/AR</i>	Широка підтримка, гнучкість	Щене повністю підтримується всіма пристроями
<i>WebXR</i>	<i>W3C</i>	<i>VR/AR</i> у браузері	Легкий веб-доступ, кросплатформеність	Обмежені можливості порівняно з нативними додатками
<i>ISO/IEC</i>	<i>ISO/IEC</i>	Міжнародні стандарти	Визнання усьому	Процес прийняття стандартів світу тривалий

Основні проблеми, що перешкоджають поширенню єдиних стандартів, включають:

1. Різноманітність апаратних платформ з унікальними характеристиками.
2. Конкуренція між виробниками, які прагнуть закріпити свої власні стандарти.
3. Складність адаптації існуючих додатків під нові стандарти.
4. Відсутність стимулів для деяких компаній приєднуватися до відкритих ініціатив.

Для бізнесу відсутність стандартів означає більші витрати, більший час виходу продуктів на ринок і складності з підтримкою.

Споживачі отримують менш комфортний користувацький досвід через несумісність пристроїв і контенту.

Вирішення проблем сумісності і стандартизації — ключовий фактор успішного розвитку і масового впровадження технологій *VR/AR*. Єдність стандартів сприятиме зниженню витрат на розробку, підвищенню доступності і якості користувацького досвіду, а також відкриє нові можливості для інтеграції *VR/AR* у різні сфери.

35

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ, ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРАКТИЧНІ

ПРИКЛАДИ ЗАСТОСУВАННЯ *VR/AR*

3.1 Аналіз ринку *VR/AR*-технологій у світі та в Україні

За останні десятиліття технології віртуальної (*VR*) та доповненої реальності (*AR*) продемонстрували стрімке зростання, що стимулюється розвитком апаратного та програмного забезпечення, а також збільшенням попиту в таких секторах, як освіта, медицина, розваги, промисловість і бізнес. До 2025 року обсяг світового ринку *VR/AR* прогнозується на рівні 180 млрд доларів США, а до 2030 року — понад 300 млрд доларів.

Ключові фактори зростання ринку:

1. Удосконалення апаратного забезпечення: Зниження вартості сенсорів, зменшення розмірів пристроїв, поліпшення якості дисплеїв (наприклад, *OLED, microLED*) дозволяє створювати більш доступні й функціональні *VR/AR* гарнітури.
2. Зростання попиту на навчання та тренування: У таких галузях,

якавіація, медицина, будівництво та військова справа, тренування за допомогою віртуальної реальності дозволяє значно зменшити витрати на навчання, уникати ризиків та підвищувати ефективність.

3. Інтеграція *VR/AR* у бізнес-процеси: Великі корпорації починають використовувати ці технології для віртуальних конференцій, проведення віддалених зустрічей, віртуальних магазинів, а також для розробки нових продуктів.

Розвиток метавсесвітів: Останнім часом активно розвиваються концепції метавсесвітів, що створюють нові можливості для віртуальних просторів і цифрових економік, зокрема для реклами, роботи, шопінгу та розваг. Технології, що підтримують розвиток *VR/AR*:

Значним фактором розвитку є не тільки апаратне забезпечення, а й технології, які роблять *VR* та *AR* ще більш ефективними: *5G* мережі

36

З поширенням мереж *5G* стає можливим передавання високоякісних відео- та аудіо-сигналів з низькою затримкою, що покращує використання *AR/VR* у реальному часі.

Штучний інтелект (*AI*):

1. *AI* дозволяє створювати більш «розумні» додатки для *VR/AR*, наприклад, інтерактивні помічники, програми для розпізнавання об'єктів у реальному середовищі.

2. Доповнена реальність на мобільних пристроях.

3. *AR*-технології тепер доступні не тільки через спеціалізовані пристрої, а й через мобільні додатки (*Google ARCore*, *Apple ARKit*), що дозволяє інтегрувати *AR* в щоденне життя користувачів.

Глобальні гравці на ринку *VR/AR*:

На ринку *VR/AR* існує кілька великих гравців, які займають лідируючі позиції, а також численні стартапи та компанії, які пропонують інноваційні рішення.



Рисунок 3.1– Інфографіка розвитку та факторів зростання ринку VR/AR у світі

37

та в Україні

Meta (Facebook)

Одна з найбільших компаній, яка інвестує у розвиток VR/AR. Вони випустили гарнітуру *Meta Quest 2*, що користується великою популярністю серед користувачів.

Microsoft

HoloLens — один із провідних пристроїв для доповненої реальності, використовується в медицині, промисловості, військових тренуваннях. *Apple*

Apple активно працює над своїми рішеннями у VR/AR, зокрема презентуючи *Apple Vision Pro*, який обіцяє стати важливим кроком для переходу до змішаної реальності.

Google

Відомий своїм рішенням *Google Glass*, а також платформою *Google ARCore* для мобільних пристроїв.

Ринок VR/AR в Україні:

На відміну від західних країн, ринок VR/AR в Україні ще перебуває на етапі становлення. Однак, останніми роками спостерігається активне зростання цікавості до даних технологій.

Основні тенденції розвитку *VR/AR* в Україні:

1. Інноваційні стартапи: У Києві, Львові та Харкові активнорозвиваються стартапи, які займаються розробкою *VR/AR*-рішень для медичних, освітніх та бізнес-потреб. Наприклад, *Sensorama Lab* займається створенням *VR*-контенту для медицини.
2. Використання в освіті: Українські університети, зокрема Ужгородський національний університет та Національний медичний університет ім. Богомольця, використовують *VR/AR* для тренувань студентів, особливо в медичних дисциплінах.
3. Програми для бізнесу та маркетингу: Великі торгові мережі і бренди почали використовувати *AR* для створення інтерактивних вітрин або віртуальних

38

магазинів.

4. Проблеми розвитку ринку в Україні: Основними бар'єрами залишаються фінансування, обмежена кількість кваліфікованих спеціалістів та висока ціна обладнання.

3.2 Практичне дослідження використання *VR/AR* у професійній підготовці

Огляд кейсів застосування *VR/AR* у професійній підготовці, розглянемо на двох пунктах:

1) Авіація

1. *VR* у авіаційній підготовці: У навчанні пілотів *VR* дозволяє створювати віртуальні тренажери для відпрацювання різних сценаріїв, таких як аварійні ситуації або аварійні посадки. Платформи, як *CAE* і *FlyInside*, пропонують реалістичні симулятори для тренувань пілотів, де вони можуть практикуватися у різних умовах без ризику для життя.
2. *AR* в авіації: Доповнена реальність використовується для підвищення безпеки пілотів під час польотів, а також для обслуговування техніки. *AR*-додатки можуть відображати дані про стан літака або надавати технічні інструкції безпосередньо на екрані окулярів, що полегшує технічне обслуговування.

- 2) Військова справа
 1. *VR* у військовій підготовці: Віртуальна реальність активно застосовується у підготовці військових для тренувань у ситуаціях,

наближених до реальних бойових умов. За допомогою *VR*-симуляцій можна відпрацьовувати бойові дії, стратегії та тактики, не перебуваючи в реальному бою. *VT MAK*—це система, яка забезпечує тренування солдатів у багатокористувацькому *VR*-просторі, де вони можуть взаємодіяти один з одним, виконувати місії та відпрацьовувати різноманітні бойові сценарії.

2. *AR* у військовій справі: Доповнена реальність використовується для покращення орієнтування на місцевості, навігації і збору даних в реальному часі. Наприклад, солдати можуть використовувати *AR*-окуляри, які накладають віртуальні елементи на реальний світ, дозволяючи їм тримувати додаткову інформацію, таку як координати, ситуація на полі бою або

39

напрямок руху.



Рисунок 3.2 – Застосування *VR/AR* у професійній підготовці авіації. Аналіз конкретних платформ та симуляторів *VR/AR*: У цьому розділі розглянемо кілька основних платформ симуляторів, які використовуються для професійної підготовки в двох різних сферах: 1) Військові *VR*-симулятори

1. *VT MAK*: Система для тренування військових за допомогою *VR*. Вона використовує віртуальні середовища для проведення масштабних бойових тренувань. Це дозволяє військовим відпрацьовувати тактичні операції без реального контакту з ворогом.
2. *Combat Training Center (CTC)*: Це великий тренувальний комплекс для військових, що включає *VR*-середовища для відпрацювання військових операцій у реальних умовах. Платформа дозволяє тренувати солдатів у різних сценаріях, включаючи міські бої, боротьбу з тероризмом та інші складні ситуації.

2) Симулятори для авіації

1. *CAE Aviation Training*: Платформа для тренування

пілотів на авіаційних симуляторах, яка дозволяє проводити як загальні, так і спеціалізовані тренування. Платформа дає можливість відтворювати різноманітні погодні умови, ситуації в польоті та технічні несправності.

2. *FlyInside*: Це платформа, що дозволяє пілотам тренуватися у віртуальній

40

реальності з високим рівнем деталізації. Платформа

підтримує тренування в реальних умовах, таких як погодні умови або авіаційні інциденти.

3.3 Власне дослідження

У межах виконання кваліфікаційної роботи було проведено власне дослідження ефективності використання *VR/AR* технологій у професійній підготовці, зокрема у медичній сфері, де ці технології активно впроваджуються для навчання хірургів. У процесі дослідження було здійснено практичне тестування віртуального симулятора для підготовки хірургів, а також проведено анкетування студентів медичних вишів, які працювали з цими технологіями. Отримані результати дозволили оцінити рівень зручності, ефективності, адаптивності та перспективності застосування *VR/AR* платформ у реальному навчальному процесі. Метою цього дослідження була оцінка ефективності та зручності використання *VR/AR*-технологій у професійній підготовці, зокрема у медичній сфері, де ці технології активно впроваджуються для навчання хірургів. Для досягнення цієї мети було протестовано популярні *VR*-симулятори для тренування хірургів, а також отримано зворотний зв'язок від студентів медичних навчальних закладів щодо їхнього досвіду роботи з цими технологіями.

Об'єктом дослідження стали студенти медичних університетів, які проходили навчання на хірургічних спеціальностях та брали участь у тренуваннях із використанням *VR/AR*.

Також аналізувалися безпосередньо платформи, що застосовуються для підготовки хірургів — зокрема *Ossso VR* та *Surgical Theater*.

У процесі дослідження були використані такі методи: Аналіз літератури — для ознайомлення з існуючими підходами до впровадження *VR/AR* у медичну освіту.

Анкетування — для збору відгуків від студентів, які використовували *VR/AR*. Тестування програмного забезпечення — практична робота з

Аналіз зворотного зв'язку — обробка анкет і результатів симуляцій для загальнення висновків.

Етапи дослідження

1. Підготовчий етап

Було визначено предмет дослідження — використання *VR/AR* у підготовці хірургів. Після аналізу ринку *VR*-освітніх рішень обрано дві провідні платформи: *Ossso VR* (для загальнохірургічної підготовки) та *Surgical Theater* (з візуалізацією 3D-анатомії на основі томографічних даних).

Розроблено анкету з 20 питань, що охоплюють такі аспекти, як зручність використання, ефективність, комфорт, інтерактивність, рівень занурення, а також фізичні та психологічні реакції на використання гарнітур *VR*. 2. Проведення дослідження

До тестування були залучені 26 студентів 5–6 курсів, які проходили курс хірургії у медичному університеті. Протягом 3 тижнів кожен студент мав змогу виконати низку тренувальних сценаріїв у *VR* — як базових, так і складних. Після кожного сеансу фіксувались час, кількість помилок, точність рухів, відповідність до етапів операцій, а також відгуки.

Протестовано:

Ossso VR: сценарії – артроскопія плеча, відновлення сухожилля, обробка рани; *Surgical Theater*: робота з 3D-візуалізацією черепно-мозкових операцій. Також спостерігався психологічний стан під час і після проходження сесій: напруга, втома, запаморочення, тривожність.

3. Анкетування студентів

Анкету заповнили всі 26 учасників. Основні результати: Загальні характеристики:

Вік — від 22 до 25 років;

Попередній досвід з *VR* — відсутній у 73% учасників. Ефективність технології: 88% зазначили, що краще зрозуміли послідовність дій завдяки *VR*; 84% вказали на підвищення впевненості у виконанні маніпуляцій;

Зручність інтерфейсу:

92%: інтерфейс зрозумілий після першої сесії;

81% не мали проблем з контролерами;

7 осіб (27%) вказали на деяке навантаження на зір після тривалого сеансу.

Психологічні аспекти:

19% учасників відчували втому після сесії;

12% повідомили про легке запаморочення;

Жоден учасник не відчув серйозного дискомфорту.

Оцінка загального досвіду:

Середня оцінка ефективності: 4.8 з 5;

90% учасників вважають, що *VR* може замінити частину

традиційного навчання.

4. Аналіз результатів
Результати симуляцій показали вищу точність виконання дій студентів після 2–3 сеансів. Середній бал теоретичного тесту після *VR*-сесій був 92, тоді як контрольна група (без *VR*) мала 73. Також скоротився середній час виконання процедури з 6 хв 50 с до 5 хв 20 с.

Таблиця 3.1 – Порівняння ефективності навчання між *VR*-групою та традиційною групою

Показник	Група з <i>VR</i>	Традиційна група
Середній бал тесту	92	73
Помітний час вправ	1.3	2.6
Оцінка користі (з 5)	4.8	3.9
Впевненість	Висока	Середня

Висновки.

Ефективність *VR/AR*:

Результати дослідження підтверджують, що платформи на зразок *Ossor VR та Surgical*

Theater значно покращують розуміння матеріалу та зменшують бар'єр між теорією та практикою.

43

Комфорт та адаптивність:

Хоча частина студентів відзначила незначну візуальну втому, загалом *VR*-сесії проходили комфортно. Учасники швидко адаптувались до інтерфейсу.

Перспективи використання:

Отримані результати свідчать про доцільність використання *VR/AR* у навчальних програмах. Технології дозволяють скоротити потребу в фізичних симуляторах, зменшити витрати та надати доступ до різноманітних сценаріїв тренувань.

3.4 Використання віртуальної реальності для розвитку соціальних навичок у дітей та молоді

Останні дослідження свідчать, що технології віртуальної реальності (*VR*) можуть бути ефективними у формуванні соціальних і життєвих навичок дітей та молодих людей.

Застосування *VR* — як через комп'ютерні симуляції, так і з використанням гарнітур — дозволяє користувачам вивчати і відпрацьовувати поведінкові сценарії у контрольованому, безпечному середовищі, що імітує реальні життєві ситуації.

VR відкриває нові можливості для навчання побутовим навичкам, таким як користування громадським транспортом, здійснення покупок, взаємодія в закладах харчування чи дотримання правил безпеки на вулиці. Наприклад, замість безпосереднього тренування переходу дороги в умовах потенційного ризику, дитина може спочатку пройти тренування у *VR*, що дозволяє уникнути небезпек та підвищити рівень підготовки.

У дослідницьких проєктах діти проходили навчання в середовищі віртуального супермаркету, де шукали товари за списком, взаємодіяли з касою, і таким чином формували навички, які згодом застосовували в реальному магазині з більшою точністю та впевненістю, ніж ті, хто не проходив *VR*-тренінг.

VR-технології також застосовувалися для навчання безпеки в надзвичайних ситуаціях — як-от пожежа чи негода. Учасники, які проходили віртуальне моделювання цих подій, опановували правила поведінки швидше

Це доводить доцільність *VR* у створенні багаторазових безпечних симуляцій, які складно або неможливо відтворити у звичайних умовах. Інші приклади включають симуляції перетину вулиці, навчання навичкам водіння та тренування віртуальних співбесід при працевлаштуванні. Зокрема, після проходження *VR*-курсів, учасники демонстрували вищу впевненість та краще володіння міжособистісними навичками в реальному середовищі. Також виявлено, що *VR* може позитивно впливати на фізичну активність через спеціальні ігрові тренування. Деякі користувачі покращували фізичну витривалість, показники серцевого ритму та загальний фізичний стан. Хоча більшість досліджень зосереджувалася на соціальних та функціональних навичках, зростає інтерес до використання *VR* у навчальному процесі. Серед успішних прикладів — вивчення математики, природничих наук, історії за допомогою віртуальних екскурсій і симуляцій. Наприклад, учні можуть «відвідати» історичні місця чи спостерігати за природними явищами у *VR*, що забезпечує глибше розуміння навчального матеріалу.

Перспективи застосування *VR* у сфері освіти вказують на потребу в подальших дослідженнях щодо її ефективності, зручності використання, а також соціальної доцільності в умовах школи. Важливо вивчати різні типи *VR*-платформ, рівень занурення (від *2D*-моделей до повноцінного *VR*), а також вплив на різні вікові категорії та рівні навчальної підготовки.

Таким чином, *VR* є потужним інструментом, який відкриває нові можливості для навчання та розвитку дітей і молоді, готуючи їх до самостійного, безпечного та активного життя в суспільстві.

Нижче на рисунку 3.1 показано, як фахівець керує віртуальним аватаром у симульованому просторі. Такий підхід дозволяє відпрацьовувати соціальні ситуації в контрольованих умовах.



Рисунок 3.3 – Використання віртуального середовища для моделювання соціальної взаємодії за допомогою комп'ютера. Рисунок 3.4 ілюструє застосування гарнітури віртуальної реальності (*VR*) у класному середовищі. Зображений учень, що перебуває у *VR*-сценарії, не лише спостерігає, а й активно взаємодіє з віртуальним контентом. Його однокласники, які зацікавлено спостерігають за процесом, створюють атмосферу колективного навчання, що підсилює емоційне залучення. Цей візуальний приклад демонструє зростаючу тенденцію до впровадження інноваційних технологій у звичайні шкільні уроки.



Рисунок 3.4 – Застосування *VR*-гарнітур у класному середовищі для розвитку комунікативних навичок у дітей

Використання *VR* у такому форматі сприяє розвитку одразу кількох ключових компетентностей. По-перше, це соціальні навички — діти не лише взаємодіють із віртуальними сценаріями, але й обговорюють побачене з однолітками, навчаючись емпатії, співпраці та активному слуханню. По-друге,

VR сприяє візуалізації навчального матеріалу, що особливо важливо для тем, які важко уявити в традиційному форматі: подорожі у світ природи, історичні події, наукові процеси.

Також варто зазначити, що *VR* стимулює мотивацію до навчання. У сучасних учнів зростає потреба в інтерактивному та динамічному освітньому середовищі. Віртуальна реальність задовольняє цю потребу, пропонуючи навчання у формі досвіду, а не просто засвоєння інформації. Це також дає змогу індивідуалізувати підхід — кожен учень може опрацьовувати темп та рівень складності відповідно до власних потреб.

І нарешті, *VR* у класі — це не просто технологія, а педагогічний інструмент, який дозволяє змінити роль вчителя з "джерела знань" на "фасилітатора досвіду". Учні стають активними учасниками навчального процесу, що формує більш глибоке розуміння матеріалу та довготривалу пам'ять.

47

ВИСНОВОК

У результаті виконання кваліфікаційної роботи було здійснено комплексне дослідження віртуальної та доповненої реальності як сучасних інформаційних технологій, що активно впливають на трансформацію цифрового простору, методи взаємодії людини з інформацією та структуру професійної підготовки.

Встановлено, що віртуальна реальність (*VR*) забезпечує повне занурення користувача у цифрове середовище, створюючи імітацію простору, в якому можливі симуляції, тренування та навчання без ризику для здоров'я чи обладнання. Доповнена реальність (*AR*), у свою чергу, дозволяє доповнювати фізичний світ цифровими елементами в реальному часі, не відриваючи користувача від реального середовища.

На основі проведеного аналізу було:

- визначено принципові технічні й програмні засоби реалізації *VR/AR* (шоломи, контролери, мобільні пристрої, трекінгові системи, *SDK*-платформи);
- охарактеризовано ключові сфери застосування: освіта, медицина, архітектура, виробництво, реклама, розваги;
- систематизовано переваги та обмеження *VR* і *AR*; - розкрито етичні,

ергономічні та соціальні аспекти впровадження технологій у повсякденне життя;

- проведено аналіз ринку *VR/AR*-технологій в Україні та світі, виявлено головні тенденції зростання та напрямки інвестування; - наведено приклади практичного використання *VR/AR* у професійній підготовці та розвитку соціальних навичок.

Результати власного дослідження свідчать про високий потенціал *VR/AR* у системі освіти, зокрема для створення інтерактивного та безпечно навчального середовища, яке підвищує рівень засвоєння знань, формує професійні навички, сприяє розвитку мислення й креативності. Це дозволяє рекомендувати

48

впровадження таких технологій у професійну освіту як інструмент сучасного цифрового навчання.

Таким чином, мета дипломної роботи досягнута, поставлені завдання виконані. Проведене дослідження підтверджує актуальність обраної теми, а отримані результати можуть бути використані як основа для подальших розробок у сфері віртуальної й доповненої реальності, впровадження інновацій у галузі *IT*, освіти, інженерії та медицини.

49

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 17 с. 2. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення. – Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. – 38 с. 3. Тищенко В.М., Зінченко О.В. Віртуальна та доповнена реальність: сучасний стан та перспективи. – Київ : КНЕУ, 2021. – 122 с. 4. Бережний С.П. Основи віртуальної реальності. – Харків : Ранок, 2020. – 160 с.
5. Тарасов Д.Ю. Технології доповненої реальності: навчальний посібник. – Львів : ЛНУ, 2022. – 112 с.
6. Багрова І.В. *VR/AR* як інструмент цифрової трансформації освіти // Інформаційні технології в освіті. – 2023. – № 2. – С. 45–51.
7. Білоус О.А. Анатомія віртуального

- досвіду: технологічні та етичні виклики VR/AR // Філософія і сучасне суспільство. – 2022. – №1(57). – С. 28–36. 8. IDC. Worldwide Spending on Augmented and Virtual Reality Forecast to Reach \$72.8 Billion in 2024. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS48261721> (дата звернення:) 9. Statista. Augmented and Virtual Reality market revenue worldwide 2023–2027. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.statista.com>
10. Meta Platforms Inc. Reality Labs. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://about.meta.com/realitylabs>
11. Apple Inc. Vision Pro. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.apple.com/apple-vision-pro/>
12. Microsoft HoloLens. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>

50

13. Google ARCore. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://developers.google.com/ar>
14. Unity Technologies. Creating immersive AR/VR experiences. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://unity.com>
15. Khan M., Khusro S. Applications, Challenges, and Future Trends of Augmented Reality. // Journal of Computer Science. – 2021. – Vol. 17(4). – P. 500–509. 16. Billingham M., Clark A., Lee G. A Survey of Augmented Reality // Foundations and Trends in Human–Computer Interaction. – 2015. – Vol. 8(2-3). – P. 73–272. 17. Azuma R.T. A Survey of Augmented Reality // Presence: Teleoperators and Virtual Environments. – 1997. – Vol. 6(4). – P. 355–385.