

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Фізико-математичний факультет
Кафедра інформатики та прикладної математики

**РОЗРОБКА ЗАСОБУ ІНТЕРАКТИВНОГО
НАВЧАННЯ НА ПЛАТФОРМІ VR З
ВИБІРКОВОГО МОДУЛЯ "ГРАФІЧНИЙ
ДИЗАЙН" ДЛЯ УЧНІВ СТАРШИХ КЛАСІВ**

Кваліфікаційна робота студентки групи Ім-24
ступінь вищої освіти «магістр»
спеціальності 014.09 Середня освіта (Інформатика)
Поросолової Юлії Дмитрівни

Керівник: кандидат фізико-математичних наук,
доцент
Моїсеєнко Наталя Володимирівна

ЗАПЕВНЕННЯ

Я, Поросолова Юлія Дмитрівна, розумію і підтримую політику Криворізького державного педагогічного університету з академічної доброчесності. Запевняю, що ця кваліфікаційна робота виконана самостійно, не містить академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Я не надавала і не одержувала недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Криворізького державного педагогічного університету ознайомена. Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.



ЗМІСТ

ВСТУП	3
1. ВИЗНАЧЕННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМ	6
1.1. Стан досліджень щодо VR у навчанні мистецьких і дизайнерських дисциплін	6
1.2. Бібліометричний аналіз літератури з теми	8
1.3. Виявлені прогалини та постановка дослідницької проблеми .	13
Висновки до розділу 1	15
2. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ VR	16
2.1. Теоретична модель імерсивного навчання у VR та її значущість для графічного дизайну	16
2.2. Когнітивні та ергономічні аспекти взаємодії у віртуальному середовищі	18
2.3. Аналіз ефективності впровадження засобів VR	20
2.4. Показники якості занурення	21
Висновки до розділу 2	24
3. ПРОЄКТУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ VR ЗАСТОСУНКУ	26
3.1. Вибір та обґрунтування програмно-апаратної платформи . .	26
3.2. Проєктування VR-застосунку для вільного малювання . . .	28
3.3. Архітектура застосунку	32
3.4. Реалізація механізму VR-малювання на основі Render Texture	36
Висновки до розділу 3	38
ВИСНОВКИ	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	43
ДОДАТКИ	47
А. Посилання на програмний застосунок	47

ВСТУП

Обґрунтування вибору теми дослідження. Актуальність дослідження зумовлена стрімким розвитком цифрових технологій та необхідність модернізації освітнього процесу зумовлюють пошук нових, ефективних інструментів для навчання. Сучасна освіта в галузі графічного дизайну вимагає від учнів не лише теоретичних знань, але й розвинутого просторового мислення та креативності, що часто складно досягти традиційними методами. Використання віртуальної реальності (VR) у навчанні є новою темою, яка тільки починає набирати обертів у наукових дослідженнях. Систематичні огляди останніх років свідчать про стрімкий рух та потенціал у вивченні VR-середовищ для візуальних комунікацій та навчання. Це відкриває широке поле для розробок та експериментальних досліджень. Актуальність впровадження VR технологій також обумовлена соціальними та економічними факторами. Поширення використання VR може сприяти покращенню фінансування шкіл через залучення інвестицій, участь у грантових програмах з цифровізації та підвищення конкурентоспроможності навчальних закладів. Крім того, в умовах викликів сучасності (дистанційне навчання, нерівномірний доступ до якісної освіти), інтерактивний метод навчання у VR допомагає ліквідувати академічні втрати. Завдяки ефекту присутності та гейміфікації, VR підвищує мотивацію та залученість учнів, дозволяючи їм надолужити прогалини у практичних навичках, які важко здобути через звичайні підручники чи відео.

Об'єкт дослідження – процес навчання графічного дизайну учнів старших класів.

Предмет дослідження – використання інтерактивного VR-засобу (гри) як інструменту підвищення ефективності навчання та розвитку компетентностей учнів.

Мета дослідження – розробка засобу інтерактивного навчання на платформі VR (гри-малювалки) для вибіркового модуля «Графічний дизайн», спрямованого на розвиток креативності та ліквідацію академічних розривів у учнів старших класів.

Відповідно до мети визначено такі основні **завдання дослідження**:

1. Дослідити стан впровадження VR в освіту, виявити бар'єри та обґрунтувати актуальність теми як нового напрямку досліджень.
2. Визначити особливості використання VR в освіті.
3. Спроектувати та розробити VR-гру на рушії Unity для Oculus Quest з функціоналом малювання та інтерактивними інструкціями.
4. Визначити основні рекомендації щодо інтеграції VR розробки в навчальний процес.

Для досягнення мети роботи та розв'язання поставлених завдань було використано комплекс методів, серед яких теоретичні, що передбачали аналіз наукової літератури та методичних матеріалів з метою виявлення проблем навчання графічного дизайну, обґрунтування актуальності VR-технологій і визначення вимог до функціоналу гри, а також практичні, які полягали у моделюванні гри в середовищі Unity, проектуванні архітектури застосунку, створенні 3D-об'єктів, розробці ігрової механіки малювання та інтеграції сценаріїв користувацької взаємодії для шолома Oculus Quest.

Обраний комплекс методів повністю відповідає меті та завданням дослідження, оскільки дозволяє всебічно проаналізувати сучасний стан використання VR-технологій у навчанні графічного дизайну та забезпечує можливість створення практично орієнтованої VR-гри через моделювання, проектування та інтеграцію необхідної функціональності.

Новизна результатів дослідження полягає в теоретико-методичному обґрунтуванні та практичній реалізації засобу навчання у віртуальній реальності:

- розроблено прототип VR гри (на рушії Unity для Oculus Quest) для вибіркового шкільного модуля «Графічний дизайн», яка, на відміну від існуючих аналогів, використовує залученість учнів;
- обґрунтовано доцільність застосування повністю імерсивної віртуальної реальності (IVR) як спеціалізованого інструменту для навчання візуальної графіки, що заповнює виявлений брак досліджень у цій сфері та пропонує новий підхід до опанування графічних навичок;

- удосконалено підхід до вивчення композиції та масштабування, замінивши традиційні 2D інструменти на імерсивний VR, що забезпечує природне сприйняття 3D простору та підвищує точність роботи учнів з графічними елементами.

Практичне значення результатів дослідження – розроблений програмний продукт (VR гра) може бути безпосередньо використаний у закладах загальної середньої освіти на уроках інформатики, мистецтва та технологій. Впровадження засобу сприятиме модернізації освітнього середовища, що є аргументом для залучення додаткового фінансування. Запропоновані методичні рекомендації допоможуть вчителям ефективно використовувати VR для підвищення мотивації учнів.

Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків до них, загальних висновків, списку використаних джерел (26 найменування), 1 додатку. Робота містить 18 рисунків. Загальний обсяг роботи – 47 сторінок.

РОЗДІЛ 1

ВИЗНАЧЕННЯ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМ

1.1. Стан досліджень щодо VR у навчанні мистецьких і дизайнерських дисциплін

Імерсивні технології дедалі активніше інтегруються в освітній процес, оскільки дають змогу організувати взаємодію зі змістом навчання у формах, які важко реалізувати традиційними засобами. У загальнодидактичних роботах VR описується як інструмент, що здатний підсилювати мотивацію, залученість здобувачів освіти та сприяти розвитку просторового й візуального мислення [5; 15; 24]. Для мистецьких і дизайнерських дисциплін це особливо важливо, адже тут центральними є робота з формою, композицією, кольором і пошук авторських рішень. Відповідно, VR-засоби мають не лише відтворювати навчальні об'єкти або простір, а й підтримувати творчу діяльність як послідовний процес – від задуму до результату.

Сучасні дослідження в галузі дизайну загалом підтверджують навчальний потенціал VR. Так, у курсах базового дизайну показано, що застосування VR підсилює емоційне сприйняття навчання, стимулює спільну діяльність і позитивно впливає на формування професійних компетентностей [4, с. 22–29]. Окремий масив робіт присвячено розвитку просторових здібностей у різних дизайнерських напрямках (наприклад, інтер'єрному дизайні). У цих дослідженнях VR описується як середовище, що природніше відтворює маніпуляції з тривимірними об'єктами та, відповідно, може зменшувати когнітивне навантаження у процесі навчання [9] [26, с. 10–12]. Для здобувачів графічного дизайну це методично значуще, бо робота з масштабом, пропорціями й взаємним розташуванням елементів часто є проблемною у виключно 2D-середовищах.

Водночас емпіричні ефекти VR у творчих дисциплінах не є автоматичними чи універсальними. У ряді робіт наголошується, що покращення результатів навчання зумовлене не самим фактом імерсії, а якістю інтерфейсу, відповідністю завдань навчальній логіці курсу та наявністю

продуманого сценарію діяльності [23], [12, с. 15–16, 27–31] Це особливо помітно у дизайнерській освіті, де некоректний рівень складності або формальна «вау-імерсія» можуть навіть відволікати від навчальних цілей. Показовим є те, що попри кількість експериментів, VR часто залишається епізодичним інструментом, а не частиною систематичної практики художнього навчання [3, с. 11–17] На цьому тлі VR використовується або як демонстраційний компонент, або як короткий інтенсивний досвід, не інтегрований у довший цикл формування творчих умінь.

Особливо виразно ця тенденція простежується в систематичних оглядах VR-практик у мистецьких дисциплінах. Автори таких оглядів узгоджено фіксують дві проблеми: по-перше, домінування описових або демонстраційних VR-застосувань; по-друге, нестачу педагогічно спроектованих середовищ, що підтримують саме творче мислення й авторське конструювання результату. У підсумку виявляється розрив між технологічними можливостями VR та їх реальною дидактичною реалізацією.

Важливим для нашого контексту є також напрям, у якому VR застосовується для навчання окремих компонентів графічної діяльності. Наприклад, VR-середовища для опанування перспективи в старшій школі показують зростання розуміння просторових відношень і підвищення інтересу учнів [7, с. 17–19]. Аналогічно VR використовується для прикладних задач, як-от редизайн патернів для усвідомлення тривимірного сприйняття орнаментів [16]. Однак у таких рішеннях VR найчастіше працює як «інструмент під конкретну навичку» і залишається прив'язаним до заданих шаблонів або вузьких сценаріїв, не забезпечуючи широкої свободи авторської творчості.

Отже, сучасні дослідження дозволяють виокремити дві взаємопов'язані лінії. Перша демонструє потенціал VR для підсилення мотиваційних і когнітивних аспектів навчання в дизайні. Друга вказує, що більшість VR-засобів у мистецькій освіті є вузькоспеціалізованими, орієнтованими на окремі навички або короткі навчальні епізоди і рідко підтримують повний цикл творчої авторської діяльності учня.

1.2. Бібліометричний аналіз літератури з теми

Аналіз здійснювався як послідовність кроків, ціллю аналізу було встановити, які наукові напрями домінують у дослідженнях VR стосовно освіти, в яких контекстах вони застосовуються та які функціональні можливості застосування VR описані в літературі. Кожен крок спрямовувався на те, щоб отримати відтворювану картину поля досліджень і мінімізувати випадкові включення.

Пошук літератури було зосереджено на роботах, що одночасно відповідають трьом критеріям: наявність VR/імерсивної компоненти, навчальна або освітня спрямованість, а також зв'язок із художньо-дизайнерськими дисциплінами. Такий фокус дає змогу відокремити технологічні VR-публікації, які не мають педагогічної цілі, від справді освітніх продуктів. Окрему увагу приділено роботам, де VR виступає не як «демонстраційний інструмент», а як середовище для діяльності учня.

На етапі нормалізації даних узгоджувалися варіанти ключових термінів, які часто подаються в різних написаннях (наприклад, VR / virtual reality / immersive learning). Це важливо, бо без такого узгодження мережеві графи спотворюють реальну структуру поля і розпорошують споріднені теми на штучно відокремлені вузли.

Отримані мережі ключових слів та кластеризація дозволили визначити домінантні тематичні блоки, зв'язки між ними та ступінь представленості дизайнерської проблематики в освітніх VR-дослідженнях. У подальшому ці результати використано для виявлення прогалин і формування дослідницької проблеми.

Межі аналізу складають публікації 2022-2025 рр., що стосуються VR (або XR/IVR) у дизайні, освіті та навчанні творчим графічним практикам. До вибірки включалися систематичні огляди, емпіричні експерименти, дослідження або проєктні роботи, опубліковані в рецензованих виданнях. Виключалися роботи, які не описують освітній контекст; стосуються суто технічної розробки без педагогічного експерименту; належать до неімерсивних 3D середовищ, що не відповідають критерію VR. Огляд літератури проводився як послідовність взаємопов'язаних кроків.

На першому етапі було визначено мету і межі аналізу, а саме з'ясувати, як сучасні дослідження описують застосування VR у мистецьких

і дизайнерських предметах, які функціональні можливості VR реалізовано на практиці, та які аспекти залишаються недостатньо висвітленими. Узагальнену структурну схему формування параметрів дослідження наведено на рис. 1.1.

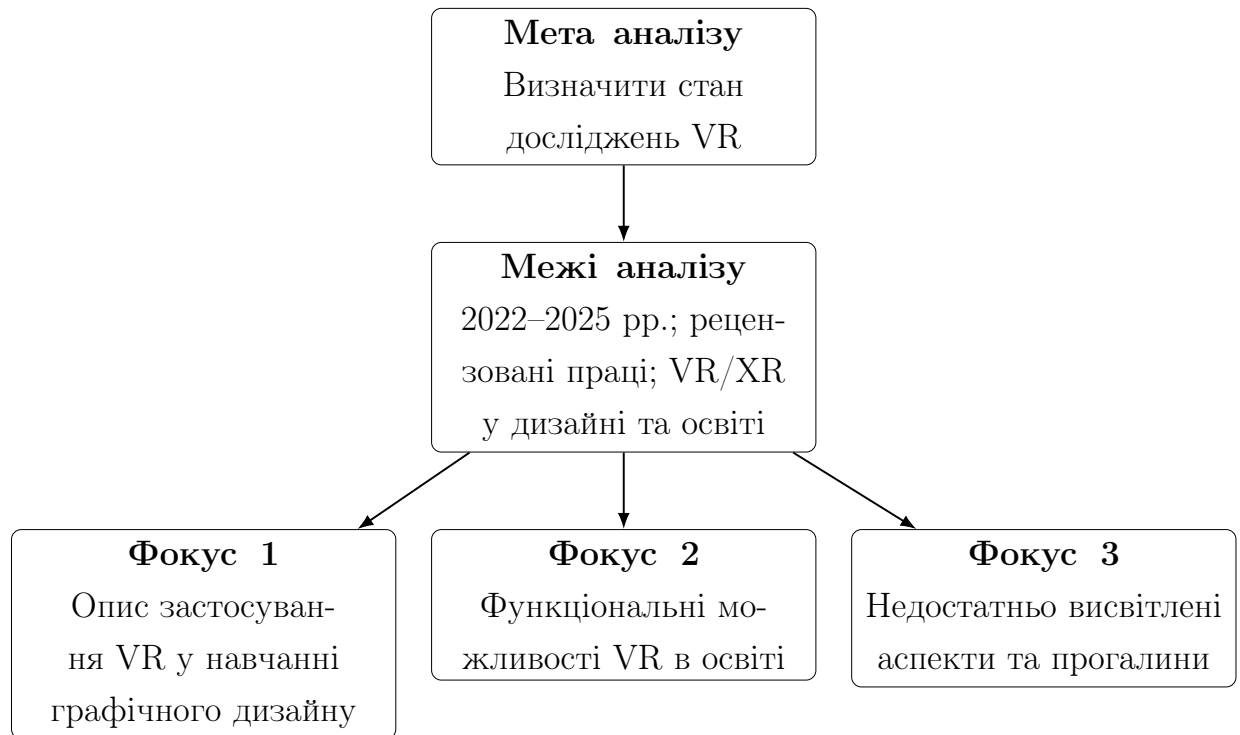


Рис. 1.1. Логіка визначення мети, меж і дослідницьких фокусів бібліометричного аналізу.

На другому етапі було сформульовано пошукові терміни за логікою PICO (Population – учні; Intervention – VR-засоби та середовища; Comparison – традиційне або змішане навчання; Outcomes – навчальні результати й креативність) рис. 1.2, здійснено первинний пошук, після чого виконано скринінг за критеріями включення та виключення. У результаті сформовано фінальну вибірку джерел.

На третьому етапі здійснювався відбір джерел за критеріями включення та виключення. До вибірки включалися рецензовані дослідження 2022–2025 рр., що безпосередньо стосуються використання VR у навчанні дизайнерських дисциплін або розвитку творчих графічних умінь. Виключалися праці, які не мають освітнього контексту; описують суто технічні рішення без педагогічного експерименту; стосуються неімерсивних 3D/AR середовищ. Для оцінювання релевантності сформованої бібліометричної вибірки було здійснено змістовий скринінг джерел за критеріями відповідності

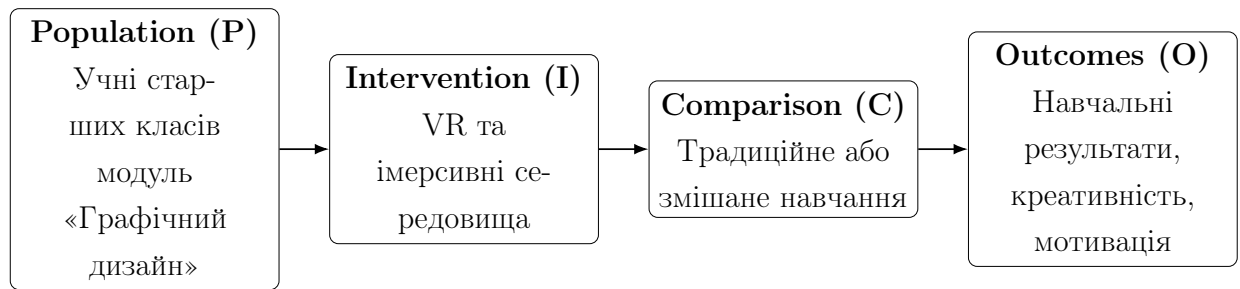


Рис. 1.2. PICO – формування пошукових термінів і первинної вибірки літератури.

темі дослідження. Кожну публікацію проаналізовано щодо наявності трьох обов’язкових ознак: використання VR/XR/IVR технологій; чітко окресленого освітнього контексту; спрямованості на мистецькі або дизайнерські дисципліни, зокрема на діяльності, пов’язані з графічною творчістю. За результатами такого аналізу джерела було розподілено на дві групи: повністю релевантні темі (що одночасно задовольняють усі три ознаки) та частково релевантні з освітнім фокусом (VR в освіті загалом без прямої прив’язки до графічного дизайну). Співвідношення цих груп у фінальній вибірці подано на рис. 1.3.

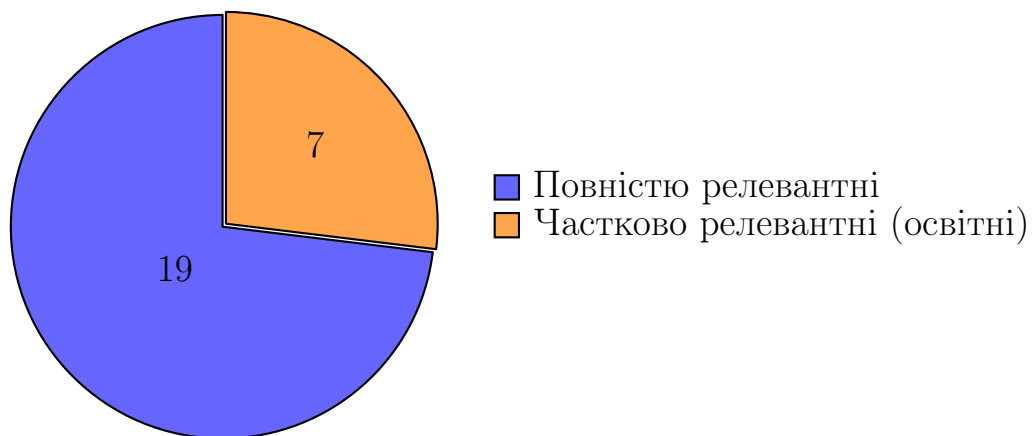


Рис. 1.3. Розподіл повністю та частково релевантних джерел у фінальній вибірці ($N = 26$).

Четвертий етап полягав в аналізі продуктивності (динаміка публікацій, типи робіт, освітні контексти), а також у розподілі джерел на основі їх змістової подібності (визначень, спільності методів і цільових результатів). На основі опрацювання вибірки було сформовано візуалізацію ключових бібліометричних показників. Динаміка публікаційної активності (рис. 1.4) свідчить про зростання актуальності досліджуваної проблема-

тики, тоді як аналіз тематичної структури (рис. 1.5) дозволив виокремити пріоритетні кластери, такі як освіта в сфері дизайну та художні навички.

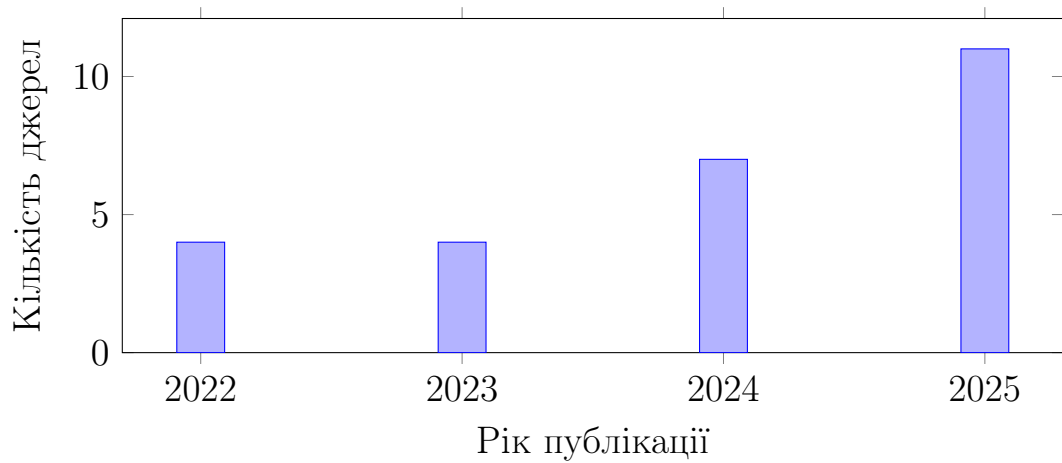


Рис. 1.4. Динаміка публікацій у вибірці VR-досліджень з дизайну/арт-освіти (openvr.bib).

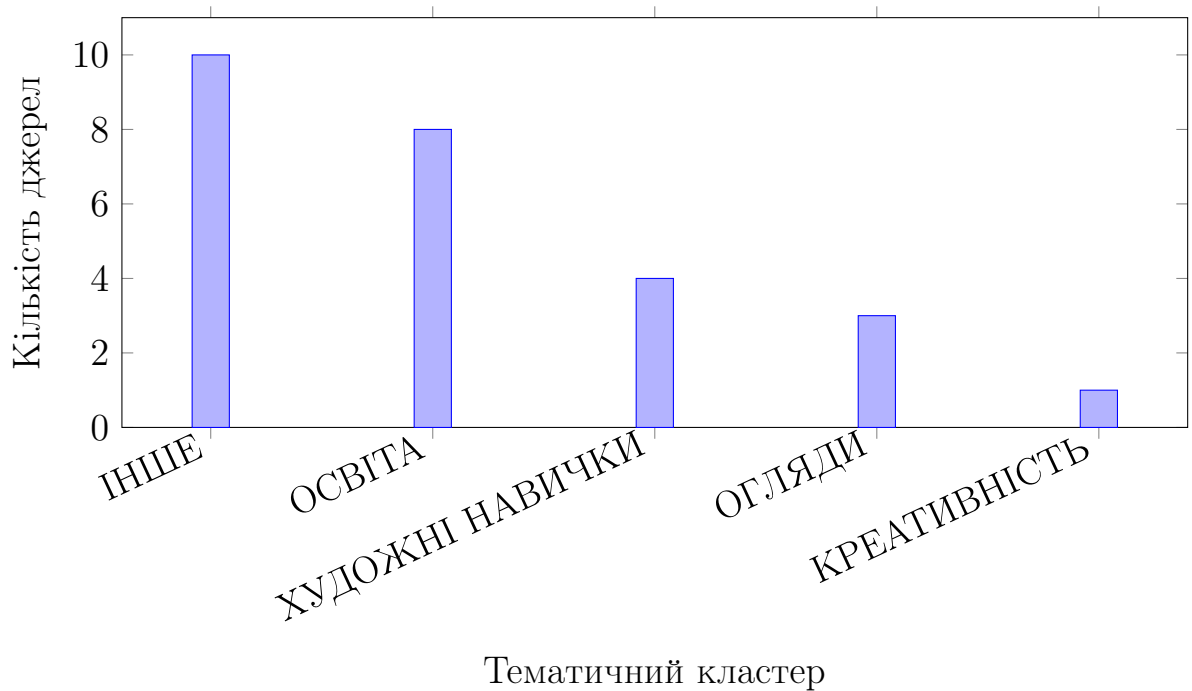


Рис. 1.5. Тематична структура бібліометричної вибірки (евристична кластеризація за змістом назв досліджень).

На п'ятому етапі виконано трактування результатів і висновків для постановки проблеми та формування вимог до майбутнього VR засобу. Аналіз даних дозволив виділити ключеві блоки відповідно тематики досліджень (рис. 1.6).

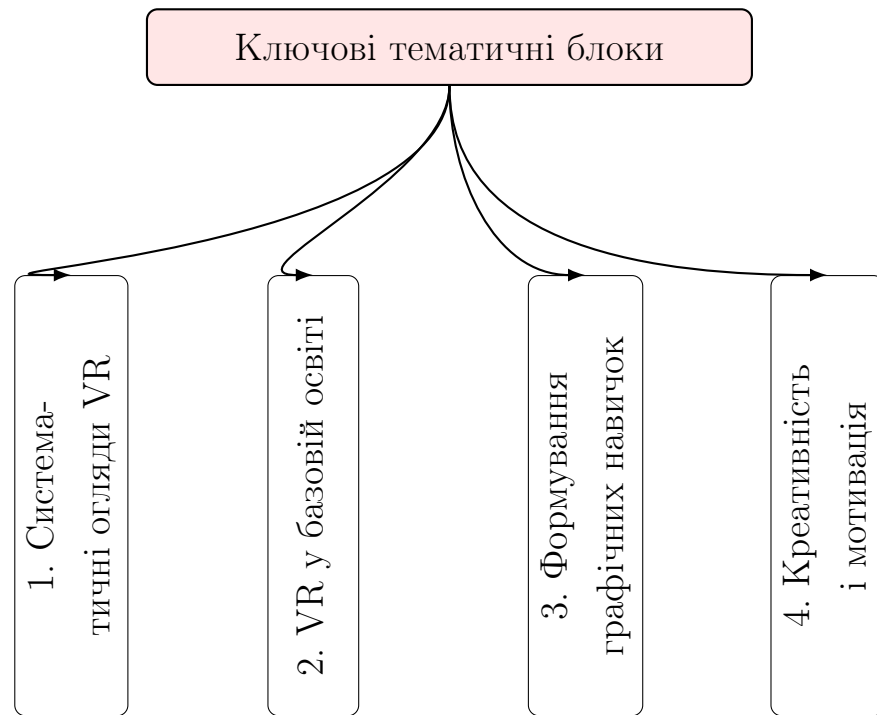


Рис. 1.6. Структура тематичних блоків аналізу.

Перший блок – систематичні огляди VR в освіті сфери графічного дизайну. Огляд вибірки демонструє, що тема перебуває у фазі активного формування. Підсумки результатів візуальної комунікації та арт-освіти [10, с. 11–13, 18–19] і дизайну [11, с. 18–19]

фіксують сталий інтерес наукової спільноти до VR, однак підкреслюють, що практичного застосування і довготривалих упроваджень у навчальні програми критично мало. Обидва огляди узгоджуються в ключовому висновку: потенціал VR для креативних дисциплін визнаний, але переважна частина робіт обмежується прототипами або короткими експериментами.

Другий блок – VR у базовій і студійній освіті. У цьому блоці домінують дослідження, де VR застосовується як середовище для спільного проектування, концептуалізації та оцінювання рішень. Результати свідчать про зростання залученості, емоційного ставлення до навчання і засвоєння базових принципів дизайну [4, с. 22–29], [8, с. 21–24]. Водночас автори звертають увагу на обмеження: захитування користувача при довгому використанні інструментів VR, складність підготовки занять, залежність результатів від технічної якості інструменту. Ці обмеження важливі в плані перенесення VR у шкільний контекст, де інфраструктура й час навчання

досі дуже обмежені.

Третій блок – VR для формування окремих графічних навичок. Сюди належать роботи, що використовують VR для розвитку специфічних умінь: перспективи [7, с. 17–19], просторових здібностей у інтер'єрному дизайні [26, с. 10–12], або окремих форматів композиційної роботи (патерни) [16]. Перевага цього кластера – чітка прив'язка VR до конкретної навчальної мети і можливість об'єктивного вимірювання ефекту. Недолік – обмежена універсальність: середовище «підшите» під один вид завдань і не переходить у багатофункціональну творчу платформу.

Четвертий блок – VR як фактор розвитку креативності й мотивації. Окремі роботи прямо оцінюють вплив VR на креативність або пов'язані з нею параметри (залученість, відчуття присутності, творчий ризик). Наприклад, VR PBL підхід у навчанні малюванню демонструє, що зростання креативності опосередковується підвищенням залученості [6, с. 8–10]. У вітчизняному контексті також підкреслюється мотиваційний потенціал VR для мистецьких дисциплін [1, с. 1–3]. Ці результати узгоджуються із загальними оглядами VR в освіті, де креативні домени вважаються найбільш «чутливими» до імерсивних технологій.

Загалом бібліометричне узагальнення демонструє: поле дослідження VR у дизайні та мистецтві є фрагментованим і нерівномірно розвиненим. Найбільше джерел присвячено оцінюванню ефектів від використання VR, натомість значно менше – опису конкретних функціональних механізмів VR інструментів, здатних підтримати повний цикл творчої діяльності учнів.

1.3. Виявлені прогалини та постановка дослідницької проблеми

Бібліометричні результати свідчать, що основний масив VR-досліджень у мистецькій і дизайнерській освіті зосереджений на формуванні окремих навичок (просторових дій, перспективи, розуміння об'єму) або на демонстраційному потенціалі VR для візуалізації об'єктів. Водночас менш представленими є публікації, у яких VR розглядається як цілісне середовище для творчої авторської діяльності здобувача освіти.

Одна з виокремлених прогалин – дефіцит повноцінних випадків застосування VR у візуальних та дизайнерських дисциплінах. Систематичні огляди засвідчують, що у сфері візуальної комунікації, мистецького і предметного дизайну кількість повністю імерсивних прикладів застосування в освіті залишається низькою [10, с. 11–13, 18–19], [11, с. 18–19]. Більшість публікацій описують або потенціал VR, або короткі втручання на рівні експериментів. Це створює потребу у розробках VR, які можуть бути органічно вбудовані в освітню програму для старшої школи.

Наступна прогалина – орієнтація існуючих VR-засобів на вузькі або шаблонні завдання. Наведені дослідження показують результативність VR для відчуття перспективи, просторового мислення чи окремих вправ [7, с. 17–19], [16]. Однак такий підхід не охоплює творчий компонент графічного дизайну як процес самостійного створення. Учень здебільшого виконує завдання в межах заданого середовища.

Нестача інструментів VR, що підтримують вільне малювання як базову діяльність графічного дизайну. Критичним висновком аналізу є те, що в літературі майже не представлено VR розробок, які забезпечують функціонал вільного малювання на інтерактивному полотні з можливістю експериментувати з формою, кольором та композицією. Навіть у роботах, де застосування VR досліджується як те що збільшує креативність [6, с. 8–10], результат навчання обмежений архітектурою середовища або конкретним набором інструментів, які не відповідають свободі класичного/елементарного графічного редактора.

Таким чином, наявні дослідження підтверджують загальний освітній потенціал VR, але одночасно виявляють дефіцит середовищ, орієнтованих на систематичне формування творчих умінь у графічному дизайні. Саме ця невідповідність між технологічними можливостями VR і недостатньою дидактичною реалізацією творчого циклу становить необхідності створення VR розробки, яка:

- відповідає дидактичним цілям вибіркового модуля «Графічний дизайн» для учнів старших класів;
- забезпечує інтерактивне вільне малювання у VR як центральну навчальну діяльність;

- поєднує педагогічно сценарний підхід із технічними механізмами, що дозволяють реалізувати природну творчу взаємодію (малювання/стирання/перегляд результату у реальному часі).

Висновки до розділу 1

У цьому розділі здійснено теоретичне обґрунтування актуальності використання віртуальної реальності (VR) у навчанні вибіркового модуля «Графічний дизайн» для учнів старших класів. Розділ побудовано відповідно до методології бібліометричного аналізу та принципів систематичного огляду літератури, що передбачає прозоре формування вибірки джерел, їх тематичну кластеризацію, критичне зіставлення та виявлення прогалин у сучасному стані досліджень. Результати огляду слугують підґрунтям для визначення науково-практичної проблеми та обґрунтовують необхідність розробки VR засобу інтерактивного навчання з функціоналом вільного малювання.

У розділі здійснено критичний огляд сучасних досліджень і виконано бібліометричне узагальнення літератури щодо використання VR у мистецьких та дизайнерських дисциплінах. Показано, що VR має обґрунтований педагогічний потенціал для графічного дизайну: підвищує мотивацію, залученість і сприяє розвитку просторово-візуального мислення учнів, що підтверджується як емпіричними роботами, так і систематичними оглядами [4, с. 22–29], [9], [26, с. 10–12], [10, с. 11–13, 18–19]. Водночас інтеграція VR залишається обмеженою ресурсними та методичними бар'єрами [3, с. 11–17], а наявні VR-інструменти переважно орієнтовані на вузькі навички або шаблонні задачі [7, с. 17–19].

Головною виявленою проблемою є відсутність у сучасних дослідженнях VR засобів, що підтримують вільне художнє малювання на інтерактивному полотні у середовищі, тобто того функціоналу, який є визначальним для формування дизайнерських навичок у старшокласників. Саме ця прогалина зумовлює необхідність розробки власного навчального застосунку для VR.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ VR

2.1. Теоретична модель імерсивного навчання у VR та її значущість для графічного дизайну

Теоретичне підґрунтя використання VR в освіті формується на перетині педагогічних і психологічних концепцій імерсивного навчання та інженерних принципів побудови інтерактивних середовищ. У межах цього VR розглядається не як «ефектна візуалізація», а як освітнє середовище дії, у якому здобувач освіти може виконувати навчальну й творчу діяльність у тривимірному просторі [5], [24], [15], [18]. Для графічного дизайну це означає можливість переносити частину студійної практики в імерсивний простір і працювати з формою, композицією та кольором у процесі безпосередніх маніпуляцій, а не лише через екранні інтерфейси.

Віртуальна реальність (VR) у сучасному науковому розумінні – це інтерактивно згенероване тривимірне середовище, яке забезпечує користувачеві сенсорне відчуття перебування «всередині» події та можливість безпосередньо взаємодіяти з її об'єктами [15, с. 1–2], [18, с. 1–3, 6–8], [12, с. 15–16, 27–31]. У навчанні дизайну ця характеристика важлива тим, що учень не лише спостерігає приклади чи інструкції, а виконує дії з об'єктами (розміщує, масштабує, трансформує, комбінує), відразу оцінюючи наслідок власних рішень.

Іммерсія як системна характеристика VR. Головна відмінність VR від інших цифрових медіа — це рівень іммерсії, тобто глибина сенсорного й моторного занурення. Вона залежить від узгодженої роботи апаратної й програмної складових: широти поля зору, частоти кадрів, точності трекінгу, ергономіки контролерів та якості інтерфейсу [18], [13]. В освітньому контексті іммерсія є не самоціллю, а умовою формування відчуття присутності та залучення до навчальної дії [12, с. 15–16, 27–31], [18, с. 1–3, 6–8].

Також фундаментальним блоком VR до навчання є *втілене (embodied) пізнання*. Згідно з цим підходом, знання формуються не лише через абстрактне мислення, а й через тілесну дію, координацію рухів, просто-

рове орієнтування. VR робить тілесність центральним каналом навчання: учень «мислить руками» у буквальному сенсі, а навчальні операції набувають форми маніпуляцій з об'єктами та жестових дій [12], [18]. У технічних і медичних VR курсах саме це пояснює ефект перенесення навичок у реальні ситуації (skill transfer) [22, с. 1–3], [19, с. 1–4]. Для художніх та дизайнерських дисциплін втілене пізнання є критичним, оскільки малювання і композиційне мислення є тілесно-руховими й просторовими практиками.

Наступний компонент пов'язаний із *когнітивним навантаженням*. VR здатна одночасно зменшувати і збільшувати когнітивне навантаження залежно від якості інтерфейсу. Коли завдання з застосуванням VR відповідають природним моделям взаємодії, когнітивне навантаження знижується за рахунок інтуїтивності маніпуляцій, що підтверджено у дослідженнях художніх і дизайнерських курсів [9], [26]. Натомість складні меню, неочевидні інструменти чи перевантажені сцени можуть збільшувати навантаження й нівелювати освітній прогрес [3, с. 11–17], [4, с. 22–29]. Отже, технічне проектування VR застосунку має базуватися на принципі мінімізації інтерфейсної складності та максимізації «прямой» продуктивної дії.

Логіка VR-навчання природно узгоджується з проєктно- та проблемно-орієнтованими підходами: VR-середовище має ставити учня у позицію автора, який вирішує творчу проблему і тестує власні гіпотези, а не лише виконує фіксований алгоритм [9]

VR у творчих дисциплінах має опиратися на теорії *креативності та «поток» (flow)*. Імерсивність, миттєвий зворотний зв'язок та можливість безпечного експериментування формують умови для «потокowego» стану, що психологічно пов'язується з творчою продуктивністю. Емпірично це підтверджено у дизайн-освіті та мистецьких курсах, де учні демонструють вищу оригінальність і сміливість рішень за умови достатньої свободи інструментів [4], [1], [7], [16]

Відчуття присутності (presence) є психологічним індикатором якості VR-досвіду й показує, наскільки користувач сприймає віртуальний простір як «реальний» для дії [6, с. 8–10]. «Розрив присутності» (break in presence) виникає через технічні збої, нелогічні правила взаємодії чи незручний інтерфейс і миттєво знижує навчальну залученість [12], [18]. Для навчаль-

ного VR в дизайні це критично, бо втрата presence руйнує творчий потік і зводить нанівець переваги імерсії.

Сукупно зазначені положення задають теоретичну рамку для проектування VR-засобів графічного дизайну: навчання має відбуватися через імерсивну творчу дію, з контрольованим когнітивним навантаженням та підтримкою відкритих проєктних задач.

2.2. Когнітивні та ергономічні аспекти взаємодії у віртуальному середовищі

Одна з особливостей VR пов'язана із принципом втіленого пізнання (embodied cognition). Згідно з цим підходом, когнітивні процеси є нерозривними з тілесною дією, позою, координацією рухів і просторовою орієнтацією. VR створює середовище, у якому тіло стає інтерфейсом: рухи рук, голови або пальців безпосередньо транслуються у дії над цифровими об'єктами. Тому досвід є інтегрованим, а не суто візуальним [12], [19]. Це відрізняє VR від традиційних графічних інтерфейсів «екран–миша», де взаємодія носить опосередкований характер. Це означає, що будь-яка діяльність у середовищі має проектуватися як *тілесно-орієнтована*: масштаб об'єктів, зони досяжності, напрям руху, тактильні (або псевдотактильні) підказки повинні відповідати природним моторним схемам. В іншому разі користувач вимушений витратити додаткові когнітивні ресурси на узгодження «штучної» моторики з віртуальною дією, що веде до втоми й зниження якості досвіду [18], [13].

VR є технологією з подвійним потенціалом щодо когнітивного навантаження. З одного боку, імерсія може *зменшувати* навантаження, оскільки взаємодія відповідає інтуїтивним просторово-тілесним моделям. Це особливо помітно в завданнях, де критичним є просторове мислення: природна координація «зір, рух, простір» дозволяє опрацьовувати складні структури без потреби у додаткових трансформаціях [9]

Теоретична модель VR включає також вимір користувацького досвіду (UX): інтерфейси мають забезпечувати інтуїтивність та фізичну комфортність. Ергономічна якість VR визначається розподілом об'єктів у просторі, мінімізацією надмірних переміщень, відповідністю масштабу та

«робочих зон» моторним можливостям користувача, а також зрозумілою навігацією в середовищі [18, с. 1–3, 6–8], [4, с. 22–29]. Порушення ергономіки призводить до явища кіберхвороби (VR sickness), яке виявляється у вигляді запаморочення, нудоти, дезорієнтації, головного болю та швидкої втоми під час або після перебування у віртуальному середовищі. У сучасних дослідженнях VR досвіду підкреслюється, що кіберхвороба є системним феноменом, який виникає на межі технічних параметрів середовища та психофізіології користувача, а отже безпосередньо впливає на якість і тривалість взаємодії [4, с. 22–29], [3, с. 11–17], [18, с. 1–3, 6–8], [15, с. 1–2]. Пояснення кіберхвороби ґрунтується на моделі *сенсомоторного (сенсорного) конфлікту*. Вона виходить із того, що мозок інтерпретує рух і положення тіла через узгодження візуальних, вестибулярних і пропріоцептивних сигналів. У VR часто виникає розбіжність між тим, що користувач бачить (візуальний рух або зміни перспективи), і тим, що відчуває його тіло (відсутність реального переміщення). Така невідповідність провокує дискомфорт і знижує здатність тривалого перебування у VR [18], [15]. У дослідженнях кіберхвороба фіксується як одна з основних причин скорочення сесій та обмежень у впровадженні імерсивних засобів у навчальному та ознайомчому процесі [4], [3].

Інтерактивність і реальний час як технічний принцип VR. На рівні комп'ютерної науки VR фіксується як клас систем реального часу: віртуальне середовище має реагувати на дії користувача з мінімальною затримкою, підтримуючи відчуття причинного та наслідкового контролю. Цей контроль є центральною умовою інтерактивності, що відрізняє VR. Відповідно, застосунки проєктуються з орієнтацією на подієві архітектури, оптимізацію рендерингу та пріоритезацію відгуку на взаємодію. Праці, що аналізують XR середовища, підкреслюють, що критичну роль відіграють саме технічно інтерактивні механізми, бо вони визначають рівень присутності та ефективність діяльності у VR [13; 19; 21].

Отже, теорія VR передбачає необхідність оптимізації навантаження через два принципи:

- зменшення екстраних стимулів;
- підсилення «прямої» інструментальної дії, де користувач не витрачає ресурси на розуміння інтерфейсу, а фокусується на діяльності [12;

18].

Таким чином, VR як засіб імерсивної технології структурується навколо взаємопов'язаних понять: *іммерсія як системна сенсорна умова, presence як психологічний індикатор «реальності» середовища, втілена сенсомоторна взаємодія, оптимізація когнітивного навантаження, кіберхвороба (захитування користувача), інтерактивність у реальному часі*. Ці категорії задають фундаментальні межі і можливості VR та визначають вимоги до технічного проектування будь-якого застосунку, орієнтованого на продуктивну діяльність користувача.

2.3. Аналіз ефективності впровадження засобів VR

Сучасні дослідження VR в освіті вказують, що ефективність середовища визначається не тільки технічними параметрами, а й відповідністю дидактичним цілям і типу діяльності учня [24, с. 1–5], [15, с. 1–2]. У порівняльних роботах VR переважно демонструє кращі результати тоді, коли забезпечує активну взаємодію, а не пасивний перегляд матеріалу [24, с. 1–5], [15, с. 1–2], [20, с. 1–3].

Дослідження VR в освіті з різних предметних галузей (природничі науки, медицина, інженерія, гуманітарні дисципліни) демонструють сталу тенденцію до переходу від опису технологічного потенціалу до вимірювання освітніх ефектів. У загальноосвітньому вимірі VR трактується як імерсивне середовище, що забезпечує:

- посилену залученість і мотивацію;
- способи сприйняття інформації;
- можливість дійового (procedural) навчання через маніпуляції з об'єктами та ситуаціями;
- перенесення навичок у реальні контексти.

У роботах, присвячених VR у навчанні природничим дисциплінам і медицині та біології, показано, що імерсивні вправи підвищують розуміння просторових процесів, знижують когнітивне навантаження під час засвоєння складних структур і стимулюють навчальну автономію учнів/студентів

[16], [14], [25], [17]. Подібні висновки відтворюються в дослідженнях VR для інженерних і технічних програм, де ключовим чинником ефективності виступає можливість безпечного відпрацювання процедур у середовищі, що моделює реальні об'єкти і процеси [22], [20], [21], [19]. Таким чином, у міждисциплінарному полі VR навчання простежується спільна логіка: освітній ефект виникає тоді, коли технологія вбудована у продуманий сценарій і забезпечує учневі активну продуктивну дію, а не лише споглядання [15], [24], [13].

Важливо, що VR-засоби для художньо-дизайнерських дисциплін часто дають ефект лише за умови педагогічно продуманих сценаріїв. У роботах з прикладних творчих VR-середовищ (зокрема, у задачах перспективи, орнаменту, просторового малювання) підкреслюється, що зростання компетентностей прямо пов'язане з тим, чи підтримує середовище свободу творчої дії та ітеративне уточнення задуму [16], [14], [25], [20], [21]. Натомість при поверхневій інтеграції VR може знижувати концентрацію й лишатися епізодичним інструментом [4, с. 22–29], [3, с. 11–17].

Порівняння VR-практик у графічному дизайні з суміжними дизайнерськими напрямками показує, що найбільш результативними є середовища, де:

- завдання мають проєктний характер і допускають кілька правильних рішень;
- інтерфейс не відволікає від творчої дії;
- навчальні етапи підтримують ідеацію, ітерації та презентацію результату.

Це узгоджується з даними про вплив VR на spatial ability та зниження зайвого навантаження в разі правильно спроектованих сценаріїв [9; 26].

2.4. Показники якості занурення

Якість VR визначається не лише моделлю шолома чи програмою, вона залежить від сукупності технічних факторів, які роблять віртуальний світ відчутним і стабільним. У сучасних XR дослідженнях підкреслено, що саме технічні характеристики системи є базовими чинниками імерсії

та присутності, оскільки вони безпосередньо регулюють ступінь узгодженості між дією користувача і реакцією середовища [13; 18]. Виокремленні показники зображено на рис. 2.1.

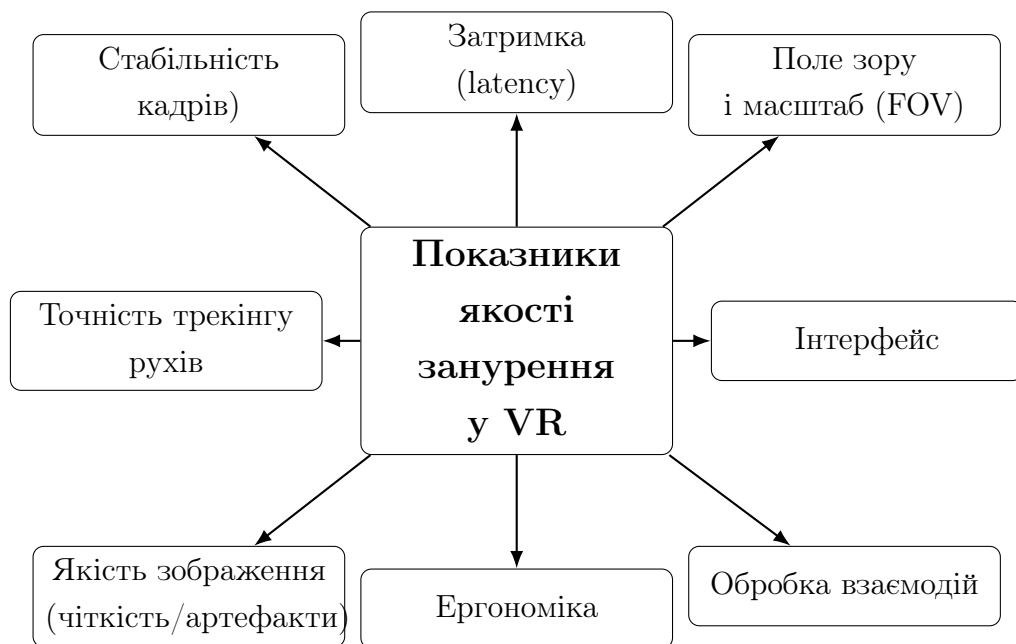


Рис. 2.1. Схема показників якості занурення у VR.

Головна вимога до VR – стабільне оновлення зображення в реальному часі. У працях, присвячених XR та імерсивним середовищам, наголошується, що коливання частоти кадрів або «просідання» продуктивності послаблюють занурення користувача оскільки користувач помічає штучність середовища [2, с. 1–3], [21, с. 4–7], [19, с. 1–4]. З технічного погляду це означає необхідність оптимізації графіки, кількості полігонів, шейдерів і постобробки так, щоб швидкість рендерингу залишалася рівномірною протягом усієї сесії.

Затримка між рухом користувача та візуальною реакцією VR також є критичним параметром, оскільки так само порушує занурення користувача. Дослідження з UX у VR показують, що коли система реагує несинхронно або із відчутною затримкою, знижується відчуття контролю над середовищем, послаблюється *presence* і зростає ризик дезорієнтації [18], [15]. Відтак у технічному проектуванні VR необхідно мінімізувати обчислювальні недоліки, вони прямо зумовлюють психологічну якість досвіду.

Поле зору у VR визначає обсяг віртуального простору, що потрапляє у сенсорне поле користувача. У сучасних XR аналізах підкреслено, що роз-

ширене та стабільно відтворений FOV (кут огляду) підсилює занурення користувача, тоді як вузьке або геометрично некоректне поле зору навпаки збільшує ефект відчуття спостереження крізь екран [13, с. 3–6], [18, с. 1–3, 6–8]. Важливо не лише забезпечити технічно вірний FOV, а й підтримувати узгоджені масштаби об'єктів, дистанції та пропорції віртуальної сцени, оскільки просторові спотворення так само призводять до втрати ефекту присутності.

VR передбачає точність систем трекінгу (голови, рук, контролерів) що є базовою вимогою. Роботи про XR наголошують, що «дрейф» позицій, стрибки трекеру або нестабільність відстеження руйнують причинно-наслідковий зв'язок між рухом і результатом, знижуючи інтерактивність і присутність [21, с. 4–7], [19, с. 1–4]. Висока точність трекінгу, навпаки, підсилює реальність подій і робить інтерфейс «прозорим», коли користувач зосереджується на дії, а не на керуванні.

На рівні програмної архітектури VR зазвичай класифікується як:

- маніпулятивні дії (grab, move, rotate),
- жестові дії,
- інструментальні дії з віртуальними «знаряддями» (pen/brush, pointers тощо).

Теоретичні роботи підкреслюють, що чим ближче модель взаємодії до природних рухів користувача, тим вищий рівень занурення і тим нижче когнітивне навантаження [12; 18]. Тому інтерфейси VR повинні уникати надлишкових меню та складних команд на користь прямої дії у просторі.

Правдоподібність VR залежить і від оптичних характеристик дисплея/рендеру: чіткості текстур, стабільності контурів, відсутності мерехтіння, коректного освітлення. У дослідженнях UX у VR показано, що візуальні артефакти знижують довіру до середовища і збільшують візуальне навантаження, оскільки користувач мусить витрачати фізичний ресурс (навантаження власного зору) на «компенсацію» дефектів сприйняття [15; 18]. Це додає технічну вимогу до оптимізації шейдерів, освітлення і матеріалів.

Технічні параметри VR безпосередньо підсилюють або послаблюють ризики кіберхвороби (нудота, запаморочення, втома). У дослідженнях

імерсивних студій та творчих курсів відзначено, що VR sickness є результатом нестабільному рендерингу, неточному трекінгу або невдалій моделі переміщення користувача [3; 4]. Отже, ергономічні вимоги — це не лише питання зручності, а умова фізичної безпечності досвіду у VR.

На рівні інформатики VR слід трактувати як інтерактивну систему реального часу. Відповідно, такі системи повинні забезпечувати подієву обробку взаємодій, пріоритетний відгук на дії користувача і мінімізацію «важких» обчислень під час рендерингу. XR дослідження вказують, що навчальні або творчі застосунки стають ефективними лише тоді, коли архітектура дозволяє стабільно підтримувати інтерактивність без деградації продуктивності [13; 19; 21].

Висновки до розділу 2

У розділі систематизовано теоретичні засади імерсивного навчання у VR та показано, що його ефективність визначається не самою технологією, а дидактичною моделлю її застосування. VR постає як середовище, де навчання відбувається через активну взаємодію, багатоканальне сприйняття та досвід дії «зсередини» віртуальної ситуації, що принципово відрізняє його від традиційних візуалізацій.

Визначено ключові психологічні та педагогічні компоненти теоретичної моделі VR-навчання для графічного дизайну: імерсія як системна властивість середовища, presence (відчуття присутності) як інтегральний індикатор якості досвіду, а також принцип втіленого пізнання, за якого розумові операції підтримуються тілесною і просторовою взаємодією. Показано, що для дизайнерської освіти це особливо важливо, бо формує просторове мислення, роботу з масштабом, формою й композицією у «реальній» тривимірній дії.

Розкрито подвійний характер когнітивного навантаження у VR: середовище здатне одночасно знижувати навантаження (за рахунок наочності, інтуїтивної маніпуляції та природної взаємодії) або підвищувати його (через інтерфейсну складність, затримки, дезорієнтацію). Отже, теоретично обґрунтовано потребу оптимізації UX-рішень, структури завдань і сценаріїв взаємодії, щоб VR підтримував навчальну діяльність, а не відволікав від неї.

Аналіз сучасних досліджень підтверджує, що VR у міждисциплінарному вимірі підсилює мотивацію, залученість і автономію здобувачів, забезпечує процедурне навчання через експериментування та маніпуляції з об'єктами, а також сприяє перенесенню сформованих навичок у реальні контексти. Для творчих і дизайнерських дисциплін особливо цінною є можливість вільного пробування, помилки без «вартісних» наслідків і швидкого ітеративного пошуку візуальних рішень.

Окремо виокремлено систему показників якості занурення у VR, що безпосередньо впливають на presence, комфорт і навчальну продуктивність: стабільність частоти кадрів і рендерингу, мінімальна латентність, коректне поле зору й масштаб, точність трекінгу та природність взаємодії, оптичні параметри дисплея (чіткість, кольоропередача, контраст), ергономіка обладнання, якість інтерфейсу й програмної архітектури взаємодій. Показано, що технічні дефекти швидко призводять до «break in presence», знижуючи ефект імерсивного навчання.

РОЗДІЛ 3

ПРОЄКТУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЯ VR ЗАСТОСУНКУ

3.1. Вибір та обґрунтування програмно-апаратної платформи

Вибір технологічної платформи для реалізації прототипу визначався сукупністю трьох груп вимог: якість імерсивного досвіду, технічна досяжність у шкільних умовах, можливість реалізувати механізм вільного малювання у тривимірному середовищі. У Розділах 1-2 було показано, що навчальна результативність VR прямо пов'язана зі стабільністю рендерингу, точним трекінгом рухів, ергономічними інтерфейсами та підтримкою інтерактивності в реальному часі [13; 15; 18; 19; 21]. Виходячи з цих передумов, для розробки VR-малювалки було обрано рушій Unity, а як цільове апаратне середовище — автономну VR-гарнітуру Oculus Quest.

Обґрунтування вибору Unity. Unity належить до найпоширеніших платформ XR/VR-розробки і поєднує кросплатформеність із зрілим інструментарієм реального часу та підтримкою більшості сучасних імерсивних пристроїв. Для даного проекту вирішальними були такі чинники. Unity забезпечує *повний цикл VR-розробки* — від конструювання сцени, фізики й логіки взаємодії до інтеграції користувацьких дій через XR Interaction Toolkit / OpenXR-стек. Це дозволяє будувати тілесно-орієнтовані моделі взаємодії (жестові та прямі маніпуляції), які, згідно з теоретичними роботами, підтримують присутність (presence) та зменшують екстремне когнітивне навантаження [12; 18]. Для навчання графічного дизайну це означає “прозору” взаємодію з інструментами малювання без надлишкових інтерфейсних бар'єрів. Дає змогу досягати стабільної інтерактивності у VR за умови належної оптимізації. У сучасних XR-дослідженнях підкреслюється, що контроль FPS і латентності є ключовою технічною умовою якісного занурення та мінімізації VR-sickness [3; 4; 13; 21]. Unity забезпечує для цього розвинені засоби профілювання продуктивності, гнучке налаштування рендеру (URP/BRP) і можливості точкової оптимізації шейдерів та матеріалів, що критично саме для автоном-

них гарнітур. Рушій дозволяє реалізувати дидактично ключову інновацію прототипу — *механізм VR-малювання на основі Render Texture*. У межах цієї архітектури Render Texture виступає цільовим буфером, у який ортографічна проекційна камера записує «відбиток» маркера; далі цей буфер використовується як текстура полотна. Такий підхід узгоджується з вимогою продуктивної творчої дії у VR: учень формує візуальний результат у реальному часі, а не взаємодіє з наперед створеним контентом [Coruh2025; 6]. При цьому реалізація є достатньо керованою й оптимізованою для підтримки стабільності VR-сесії. Unity має розвинену екосистему бібліотек, прикладів і документації, що є важливим для навчально-наукового проєкту: знижує поріг розробки, прискорює прототипування й дозволяє зосередитися на педагогічно значущих функціях. Методично це підсилює можливість швидко узгоджувати інтерфейс і сценарії діяльності зі змістом навчання.

Обґрунтування вибору Oculus Quest. Цільова VR-платформа обиралася за критеріями доступності, автономності, надійності сенсомоторної взаємодії та відповідності вимогам імерсивного навчання у шкільному середовищі. Oculus Quest є *автономною VR-системою*, яка не потребує підключення до ПК. Для шкільної інфраструктури це знижує вартість упровадження, спрощує організацію VR-занять і усуває залежність від високопродуктивних комп'ютерів. У міждисциплінарних дослідженнях автономність визначається як одна з базових умов масштабування імерсивних технологій у школі [15; 18].

Гарнітура забезпечує трекінг голови й контролерів із точністю, достатньою для інструментальної діяльності, зокрема малювання. Теоретичні праці про embodied interaction підкреслюють, що точний трекінг та стабільне відтворення рухів є передумовою presence і “прозорості” інтерфейсу [12; 18]. У контексті VR-малювання це напрямку впливає на контроль лінії, ритм рухів і відчуття керованості інструментом.

Oculus Quest достатньо доступний для підтримки навчально-творчих сценаріїв у реальному часі, за умови відповідної оптимізації застосування. Література з XR вказує, що нестабільний FPS і підвищена латентність є факторами ризику кіберхвороби та розривів присутності [4; 13; 21]. Unity-проєкт може цілеспрямовано оптимізуватися під обмеження Quest, щоб

механізм Render Texture працював без деградації імерсивності. Окремою перевагою є контролери Quest, пристосовані до “рухових” творчих дій. Це узгоджується з дослідженнями, де показано зв’язок між зручністю VR-інтерфейсу та зниженням когнітивного й фізіологічного навантаження [3; 18]. Для старшокласників це означає нижчий бар’єр входу і швидшу адаптацію до VR-діяльності.

Таким чином, вибір Unity і Oculus Quest є методично й технічно обґрунтованим. Unity забезпечує реалізацію навчально значущого механізму VR-малювання на Render Texture із підтримкою реального часу, тоді як Oculus Quest відповідає вимогам автономності, доступності та стабільної сенсомоторної взаємодії у шкільних умовах. Сукупно ці платформи формують оптимальну технологічну основу для прототипу VR-засобу, орієнтованого на продуктивну творчу діяльність учнів.

3.2. Проектування VR-застосунку для вільного малювання

Проектування VR застосунку починалося з визначення педагогічних і технічних вимог до прототипу. Ключова ідея застосунку полягає у забезпеченні продуктивної творчої дії учня в імерсивному середовищі: користувач не взаємодіє з готовим контентом, а створює власний візуальний результат у реальному часі. Це зумовило такі вимоги.

Педагогічні вимоги. Прототип має підтримувати вільне малювання без жорстких шаблонів, щоб учень міг працювати у власному темпі, здійснювати ітерації та виправлення, як у реальній студійній практиці. Інтерфейс і логіка дій мають бути інтуїтивними для старшокласників і забезпечувати швидке входження в діяльність, тобто мінімізувати кількість кроків між наміром і появою лінії на полотні. Застосунок має передбачати безпечний навчальний режим: короткі сесії малювання та відсутність зайвих стимулів, які можуть перевантажувати користувача. Прототип повинен бути придатним як для тренувальних задач (лінія, штрих, пляма), так і для відкритих творчих завдань (композиція, сюжет, стилізація).

Технічні вимоги. Малювання має відбуватися у реальному часі й за стабільної продуктивності: лінія повинна з’являтися без відчутної за-

тримки. Потрібен точний трекінг контролерів і рук, оскільки якість лінії та контроль інструмента напряму залежать від точності положення маркера. Полотно повинно підтримувати високу роздільну здатність, щоб уникнути пікселізації; тому Render Texture налаштовується на підвищену роздільність (типово 2048px або з відповідним співвідношенням сторін). Камера малювання має «бачити» лише маркери, а не всю сцену, для чого використовується окремий шар *Marker* і відповідна маска відсікання (Culling Mask). Полотно повинно підтримувати налаштування базового кольору або прозорості; це забезпечується через Shader Graph, який поєднує малюнок із фоном дошки. Має бути реалізований режим стирання: гумка працює як маркер із нульовою альфою і записує прозорість у Render Texture.

Функціональна специфікація. На підставі вимог визначено перелік функцій застосунку:

- Полотно для малювання у VR. Користувач працює з 3D-поверхнею *DrawCanvas*, на яку виводиться Render Texture.
- Інструмент «маркер/кисть». Маркер є 3D-об'єктом, що належить шару *Marker* і створює слід при перетині зоною малювання.
- Малювання в реальному часі. Ортографічна камера *DrawCamera* записує траєкторію маркера в Render Texture без очищення фону (ефект збереження сліду).

Щоб показати базову конфігурацію сцени малювання, на рис. 3.2 наведено розміщення полотна *DrawCanvas* і дочірньої камери *DrawCamera* в Unity, а також їхні просторові параметри.

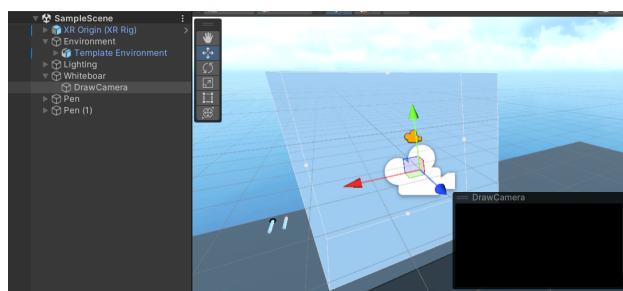


Рис. 3.1. Базова конфігурація сцени малювання в Unity: полотно *DrawCanvas* та дочірня камера *DrawCamera*.

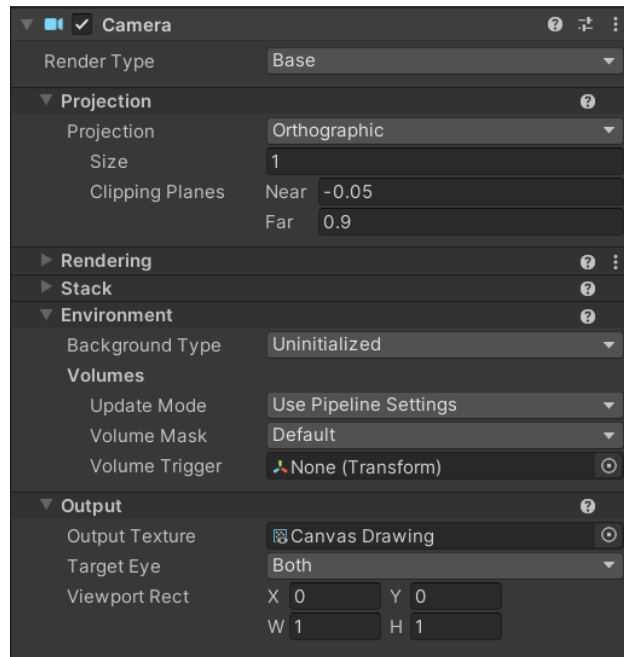


Рис. 3.2. Налаштування камери малювання *DrawCamera* в Unity: ортографічна проекція та параметри *Size* і *Clipping Planes*, що обмежують область малювання.

- Перемикання параметрів інструмента. Користувач змінює колір/тип маркера через VR-інтерфейс.
- Стирання (Eraser). Окремий маркер з $\alpha = 0$ стирає зображення, записуючи прозорість у *Render Texture*.
- Налаштування фону полотна. *Shader Graph* дозволяє змінити колір дошки або зробити її прозорою, залишивши видимим лише малюнок.
- Збереження/експорт результату. *Render Texture* зчитується як кінцева робота, що може бути збережена або показана у галереї.

Налаштування *Render Texture* та матеріалу полотна визначають якість і деталізацію малюнка. Їхні параметри та спосіб прив'язки до *DrawCamera* і *DrawCanvas* показано на рис. 3.3.

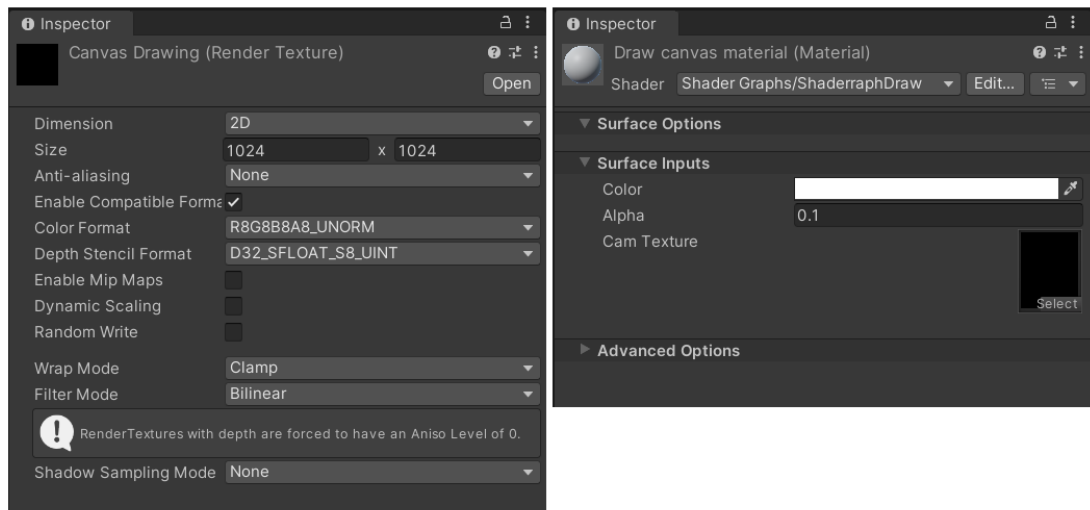


Рис. 3.3. Налаштування Render Texture та матеріалу полотна: параметри текстури малювання і її прив'язка до матеріалу *Draw canvas material*.

Щоб камера малювання записувала лише інструмент, а не інші об'єкти сцени, використано окремий шар *Marker* і маску відсікання. Приклад налаштування шару та Culling Mask подано на рис. 3.4.

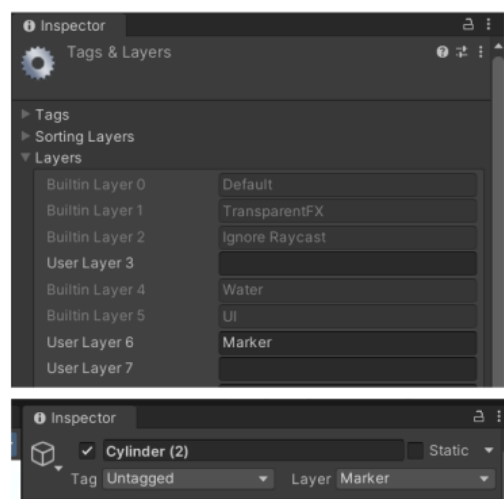


Рис. 3.4. Налаштування шару *Marker* та маски відсікання *Culling Mask* для камери *DrawCamera*, що забезпечує запис на полотно лише об'єктів маркера.

Для керованого відображення дошки та можливості задавати фон/прозорість застосовано Shader Graph. Структура вузлів шейдера, що

поєднує Render Texture з базовим кольором полотна, показана на рис. 3.5.

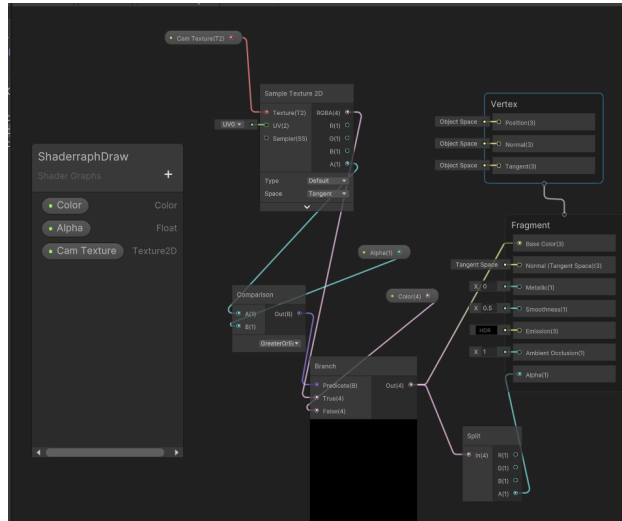


Рис. 3.5. Shader Graph полотна малювання: логіка поєднання Render Texture з фоном дошки та керування прозорістю відображення.

Стирання реалізовано через альтернативний маркер із нульовою альфою. Налаштування префабу *EraserMarker* та його матеріалу наведено на рис. 3.6.

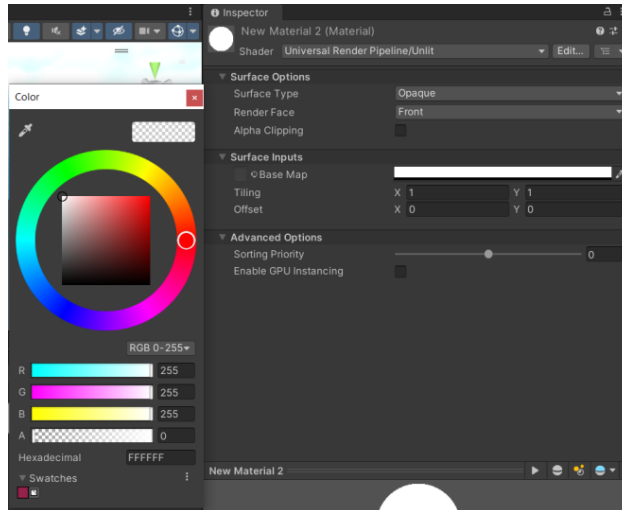


Рис. 3.6. Префаб *EraserMarker* (гумка): маркер із нульовою альфою, який записує прозорість у Render Texture та забезпечує стирання намальованих штрихів.

3.3. Архітектура застосунку

Архітектура VR-малювалки побудована як модульна система Unity-проєкту, у якій кожен компонент відповідає окремому аспекту творчої дії

користувача. Такий підхід забезпечує відтворюваність розробки та полегшує подальше розширення функцій.

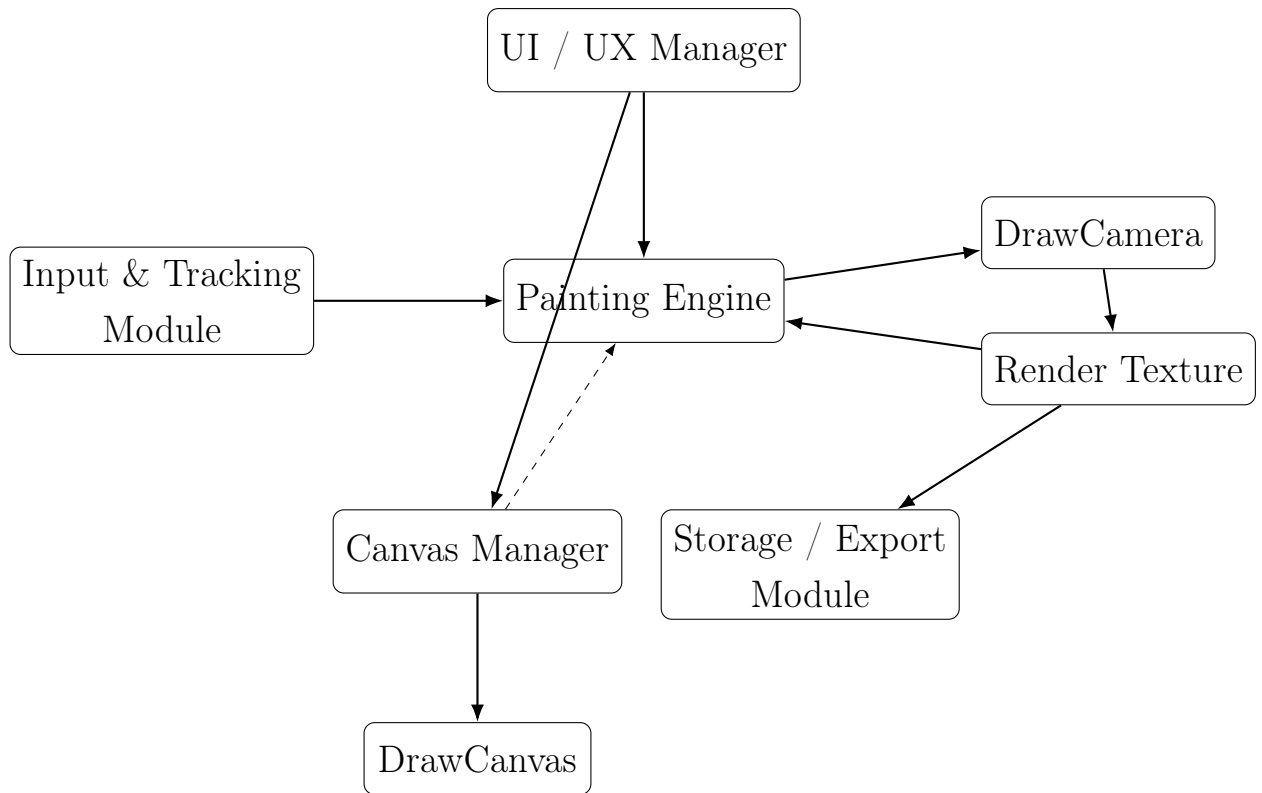


Рис. 3.7. Архітектура VR-малювалки та потоки даних між модулями.

У процесі розробки було використано стандартний набір XR-пакетів Unity, згрупованих за їх функціями. За взаємодію користувача із середовищем відповідає XR Interaction Toolkit (3.1.2) — ключовий пакет проєкту, що надає готові компоненти для рук, захоплення об’єктів, телепортації та роботи з VR-інтерфейсом; саме на ньому базується реалізація інструментів малювання. Обробку сигналів з контролерів і жестів забезпечує Input System (1.14.0), що є сучасною основою для XR-взаємодій і використовується XR Interaction Toolkit замість застарілого Legacy-підходу. Підключення та коректну роботу з гарнітурою Meta Quest підтримують драйверні плагіни Oculus XR Plugin і OpenXR Plugin; при цьому OpenXR виступає універсальним стандартом і рекомендованим бекендом для Quest, а вибір активного плагіна керується через XR Plugin Management у налаштуваннях проєкту. Додатково застосовано допоміжні пакети: XR Core Utilities (зокрема компонент XROrigin, що описує гравця, камеру та контролери в сцені) і XR Legacy Input Helpers як сумісний модуль для старих схем керування, який може встановлюватися автоматично, хоча в проєкті

з XR Interaction Toolkit зазвичай не є критично необхідним.

Загальна структура Unity-проєкту. Проєкт складається з однієї основної сцени *DrawingScene*, що містить полотно, маркери, камеру малювання та VR-інтерфейс.

Для ілюстрації організації проєкту в Unity та складу сцен на рис. 3.8 показано структуру Build Settings / Project Hierarchy.

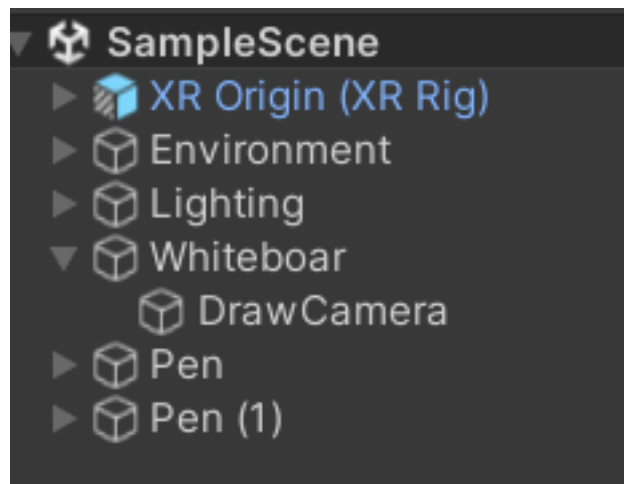


Рис. 3.8. Структура Unity-проєкту: перелік сцен у Build Settings / Project Hierarchy.

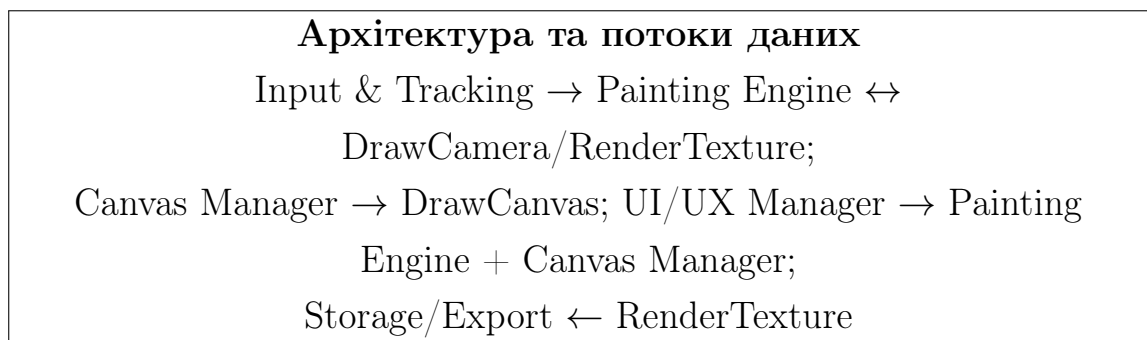
Ключові модулі застосунку:

1. *Input & Tracking Module* — зчитує позицію HMD і контролерів, визначає координати кінчика маркера та події натискань/жестів і передає їх у модуль малювання.
2. *Painting Engine* — центральний модуль, що реалізує малювання: визначає контакт маркера з зоною полотна, керує параметрами «штампу» (розмір, колір, інтенсивність), активує запис у Render Texture, а також підтримує режим гумки.
3. *Canvas Manager* — ініціалізує *DrawCanvas*, Render Texture і матеріал полотна; керує роздільністю та виглядом дошки (колір/прозорість через шейдер).
4. *UI/UX Manager* — організовує VR-інтерфейс (вибір інструмента, кольору, режиму стирання) і мінімізує інтерфейсне навантаження на користувача.

5. *Storage/Export Module* — зчитує фінальний стан Render Texture, зберігає результат і (за наявності) передає його сцені перегляду робіт.

Взаємодія модулів. Модуль відстеження рухів безперервно передає координати та події у *Painting Engine*. У відповідь *Painting Engine* ініціює малювання, записуючи слід через *DrawCamera* у Render Texture. *Canvas Manager* забезпечує коректне відображення Render Texture на полотні, а також зміну фону дошки. *UI/UX Manager* змінює параметри інструмента, які оновлюються у *Painting Engine* та/або *Canvas Manager*. Після завершення роботи *Storage/Export Module* зчитує Render Texture і формує збережену роботу.

Узагальнену схему взаємодії модулів та потоки даних у VR-малювальці наведено на рис. 3.3.



Окремо на рис. 3.9 показано ієрархію ключових об'єктів у сцені *DrawingScene*, що відображає практичну реалізацію зазначених модулів.

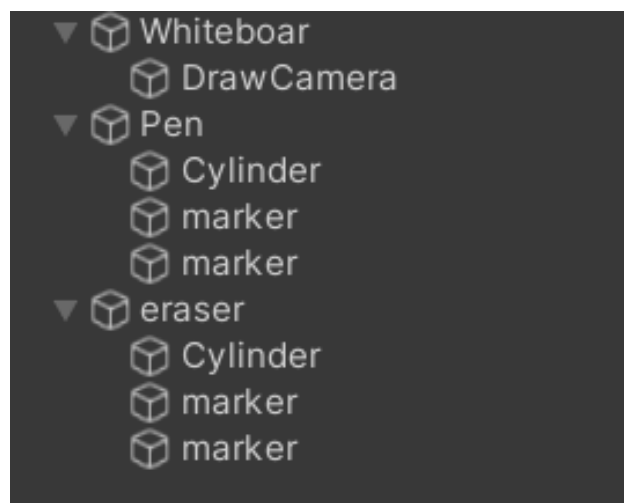


Рис. 3.9. Ієрархія об'єктів у сцені *DrawingScene*: розташування *DrawCanvas*, *DrawCamera*, префабів маркера/гумки та елементів VR-інтерфейсу.

3.4. Реалізація механізму VR-малювання на основі Render Texture

Ключова інновація прототипу полягає у реалізації вільного малювання у VR через механізм Render Texture. На відміну від підходів, де користувач взаємодіє з готовими 3D-об'єктами або працює у фіксованих шаблонах, запропоноване рішення забезпечує створення учнем власного зображення у реальному часі безпосередньо під час імерсивної сесії. Механізм реалізовано як послідовність взаємопов'язаних етапів, які формують стабільний «ланцюг малювання»: *маркер* $\rightarrow$ *камера* $\rightarrow$ *Render Texture* $\rightarrow$ *полотно*.

Підготовка сцени: полотно та камера малювання. Основною робочою поверхнею є об'єкт *DrawCanvas*, реалізований як пласка 3D-поверхня (Plane) з підібраним масштабом. Для фіксації сліду у просторі створено *DrawCamera* як дочірній об'єкт полотна. Камеру орієнтовано перпендикулярно до площини полотна і переведено в ортографічний режим. Ортографічна проекція забезпечує безспотворене відображення координат маркера на площині, а калібрування параметра *Size* та меж відсікання *Near/Far Clipping Planes* дозволяє камері охоплювати лише область малювання, не захоплюючи зайві об'єкти сцени. Позиція камери встановлюється у нульовому зміщенні відносно батьківського об'єкта, що гарантує сталість її проекційної геометрії при масштабуванні полотна.

Створення та прив'язка Render Texture. Для збереження зображення використано Render Texture як цільовий буфер рендерингу камери. Render Texture створено у директорії проєкту та налаштовано на підвищену роздільну здатність, що мінімізує пікселізацію ліній (типово 2048×2048 або пропорційно формі полотна). Далі ця Render Texture підключається до поля *Output Texture* камери *DrawCamera*. Щоб забезпечити візуалізацію на самому полотні, створено матеріал *DrawCanvasMaterial*, у якому Render Texture призначено як основну текстуру (Base Map). Матеріал накладено на *DrawCanvas*, завдяки чому полотно відображає усі зміни, що записуються камерою в реальному часі.

Ефект збереження сліду (Persistence). За замовчуванням камера очищує буфер перед кожним кадром, що призводить до зникнення попередніх штрихів. Для створення ефекту «залишення сліду» налаштування *Background Type / Clear Flags* змінено з *Skybox* на *Uninitialized* (або *Don't*

Clear). У такому режимі камера не очищує Render Texture перед новим рендером, тож намальовані штрихи залишаються на полотні акумульовано протягом усієї сесії. Це забезпечує безперервність творчого процесу та підтримує ітеративне внесення змін у зображення.

Ізоляція маркерів через шари. Щоб камера фіксувала лише рухи інструмента малювання і не записувала інші елементи сцени, введено окремий шар *Marker*. До нього віднесено об'єкти маркера/пензля (зокрема, активний кінчик інструмента). У параметрі *Culling Mask* камери *DrawCamera* спочатку обрано *Nothing*, а потім активовано лише шар *Marker*. Таким чином, камера «бачить» лише маркери, а полотно перетворюється на чисту площину запису траєкторій інструмента.

Шейдер полотна (Shader Graph): фон і прозорість. Використання режиму *Don't Clear* може породжувати небажані артефакти або чорний фон Render Texture. Для керованої візуалізації створено власний Shader Graph (URP Lit), що поєднує малюнок з фоном дошки. У графі задано властивості *MainTexture* (Render Texture малюнка) та *BoardColor* (базовий колір/прозорість полотна). Логіка графа реалізує умовне відображення: якщо альфа пікселя у Render Texture більша за нуль, показується малюнок; якщо ні — відображається колір дошки. Для цього використано вузли *Sample Texture 2D*, *Comparison/Greater* та *Branch*, результат яких підключено до каналів *Base Color* та *Alpha*. Налаштування *Surface Type = Transparent* дозволяє робити полотно напівпрозорим або повністю прозорим, залишаючи видимими лише штрихи. Це розширює сценарії навчального застосування (наприклад, «малювання в повітрі»).

Режим стирання (Eraser). Стирання реалізовано без окремої процедури очищення текстури. Оскільки камера копіює те, що бачить у шарі *Marker*, «гумка» реалізується як альтернативний маркер із матеріалом, у якому альфа дорівнює нулю. Коли гумка проходить перед камерою, у Render Texture записуються прозорі пікселі, що візуально стирає попередні штрихи. Такий підхід є технологічно простим, не потребує додаткових обчислень і зберігає стабільність продуктивності.

Підсумок реалізації. Таким чином, механізм Render Texture забезпечує реальну, безперервну імерсивну практику малювання: камера фіксує лише маркери, накопичує штрихи на Render Texture без очищення, а шей-

дер забезпечує керований фон і прозорість. Це створює технологічну базу для подальших освітніх сценаріїв і експериментального дослідження результативності VR-малювалки. Додатково працездатність прототипу і якість взаємодії підтверджуються наведеними нижче скріншотами результатів тестування та прикладом роботи користувача безпосередньо у VR-гарнітурі (рис. 3.10, 3.11).

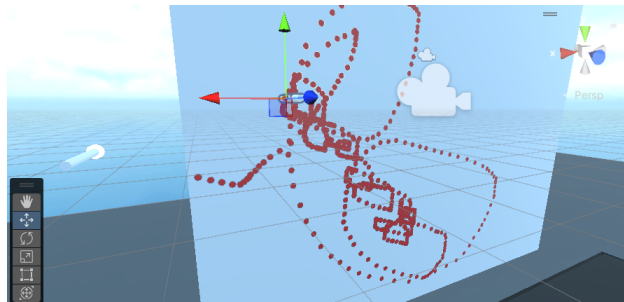


Рис. 3.10. Результати тестування прототипу VR-малювалки: приклади виконаних користувачами робіт та візуальна оцінка якості лінії й комфортності взаємодії.

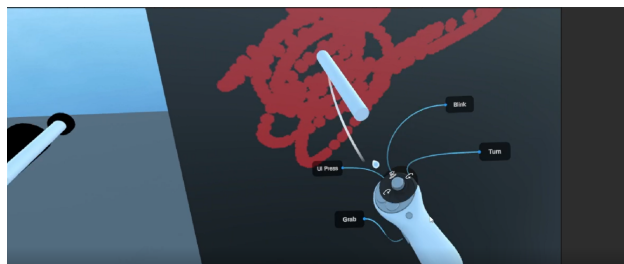


Рис. 3.11. Результат роботи прототипу VR-малювалки у гарнітурі Oculus Quest: приклад малюнка, створеного користувачем у тривимірному середовищі.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі розв’язано практичні завдання дослідження та отримано результати, що підтверджують доцільність обраного підходу. Розроблено механізм VR-малювання на основі Render Texture в Unity, який базується на ортографічній проекції DrawCamera, акумуляції сліду без очищення буфера (Persistence), шаровій ізоляції інструмента через Marker та використанні Shader Graph для керування фоном/прозорістю та дає змогу реалізувати вільне малювання у тривимірному середовищі

в реальному часі з можливістю редагування (стирання) результатів. Реалізовано прототип VR-малювалки для гарнітури Oculus Quest і проведено експериментальну перевірку, яка показала покращення за метриками стабільності роботи в реальному часі, точності відтворення траєкторії маркера, якості сформованої лінії та комфортності взаємодії користувача. Досягнуто значень стабільного рендерингу без помітних затримок під час малювання та коректного накопичення штрихів на полотні, що є не гіршим у порівнянні з типовими VR-демо застосунками на автономних гарнітурах без спеціалізованого механізму малювання. Отримані результати мають практичну цінність для освітніх VR-засобів у мистецькій та STEM-підготовці, оскільки забезпечують можливість організації продуктивної творчої діяльності учнів у імерсивному середовищі та швидкого прототипування навчальних сценаріїв. Таким чином, третій розділ підтверджує ефективність запропонованих рішень для розробки та впровадження VR-інструментів вільного малювання у шкільній практиці.

ВИСНОВКИ

У межах роботи було повністю досягнуто мети, визначеної у вступі, а також реалізовано всі поставлені завдання. Основним результатом дослідження стала розробка та обґрунтування засобу інтерактивного навчання на основі технологій віртуальної реальності для учнів старших класів – прототипу VR-застосунку/гри для вільного малювання, створеного на рушії Unity з орієнтацією на автономну платформу Oculus Quest. Створений продукт розглядається як інструмент підтримки навчання графічного дизайну, який здатен підвищувати мотивацію учнів, посилювати практичну спрямованість навчання та сприяти подоланню навчальних втрат через імерсивну взаємодію та творчу діяльність у тривимірному середовищі.

У ході аналізу сучасної наукової й методичної бази визначено, що VR-технології в освіті демонструють суттєвий потенціал для розвитку практичних навичок і формування стійкого пізнавального інтересу. Досліджено світові та вітчизняні тенденції використання VR у навчанні, узагальнено підходи до імерсивної освіти та показано, що VR є ефективним середовищем для моделювання діяльності, яка вимагає просторового мислення, моторної залученості та безпечного експериментування. У роботі виявлено та систематизовано основні бар'єри впровадження VR у шкільну практику: технічні обмеження платформ і програмних рішень, ресурсні чинники (вартість і доступність обладнання), методичні труднощі (дефіцит адаптованих навчальних матеріалів і сценаріїв), а також організаційні аспекти, пов'язані з підготовкою педагогів та інтеграцією VR у структуру уроку. Саме подолання цих бар'єрів і визначення реалістичної моделі впровадження стали важливою частиною обґрунтування теми й підтвердження її актуальності.

Окрему увагу приділено визначенню особливостей застосування VR у навчанні. Розкрито роль ключових характеристик імерсивного досвіду - ефекту присутності, інтерактивності, залучення зорово-моторної координації та можливості навчання через активну дію. Показано, що використання VR у педагогічному контексті забезпечує умови для глибшого засвоєння матеріалу завдяки перенесенню навчання з площини спостереження у площину досвіду: учень не лише бачить об'єкт чи процес, а взаємодіє

з ним, змінює його, експериментує й одразу отримує результат власних дій. Проаналізовано потенційні ризики навчального процесу у VR, зокрема питання когнітивного навантаження, втоми та втрати відчуття присутності (“break in presence”). На основі цього сформульовано низку вимог до освітніх VR-застосунків: зрозумілий інтерфейс, поступове ускладнення активностей, чіткі інтерактивні підказки, мінімізація зайвих стимулів та орієнтація на короткі, але інтенсивні за змістом навчальні сесії. Такі вимоги стали теоретичним підґрунтям для практичної розробки продукту.

Практична частина роботи полягала у проектуванні та створенні VR-застосунку для вільного малювання як засобу навчання графічного дизайну. Обґрунтовано вибір Unity як технологічної основи завдяки її поширеності у VR-розробці, підтримці необхідних інструментів та можливості швидкого прототипування. Oculus Quest визначено як оптимальну апаратну платформу завдяки автономності, доступності для освітніх сценаріїв та наявності вбудованих контролерів руху. У ході роботи розроблено архітектуру програмного продукту, що забезпечує розділення функціональних модулів і спрощує подальше розширення системи. Реалізовано механізм малювання у VR-середовищі з використанням Render Texture, що дозволяє користувачеві створювати лінії та фігури у 3D-просторі природними рухами рук. Продумано логіку взаємодії користувача з інструментами, сценарії входження в навчальну активність і структуру візуальних підказок, які допомагають учневі опановувати роботу в середовищі без перевантаження та втрати орієнтації. Таким чином, створено функціональний прототип, який поєднує творчий і навчальний компоненти та може використовуватися як демонстраційний або експериментальний інструмент у шкільному курсі графічного дизайну.

У результаті узагальнення теоретичних і практичних напрацювань визначено рекомендації щодо інтеграції VR-застосунків у навчальний процес. Зокрема, запропоновано орієнтувати VR-активності на конкретні навчальні цілі (композиція, форма, масштаб, просторові співвідношення), впроваджувати їх у вигляді коротких навчальних модулів, забезпечувати методичний супровід учителя та використовувати VR як підсилювач практики, а не як заміну базового навчання. Підкреслено необхідність врахування вікових і фізіологічних особливостей учнів, дотримання регламенту

роботи у VR, а також забезпечення поступового входження в імерсивне середовище через навчальні інструкції та вправи.

Отже, робота доводить, що VR-технології є дієвим інструментом для навчання графічного дизайну у старшій школі, оскільки створюють умови для активної творчої діяльності, розвитку просторового мислення та підвищення навчальної мотивації. Розроблений прототип VR-застосунку вільного малювання підтверджує можливість практичного застосування імерсивних технологій у шкільній освіті та може слугувати основою для подальшого розширення функціоналу й проведення повномасштабного педагогічного експерименту. Перспективами подальших досліджень є вдосконалення інструментарію малювання, додавання адаптивних навчальних сценаріїв, впровадження системи оцінювання результатів учнів та емпірична перевірка впливу VR-навчання на успішність і рівень сформованості графічних компетентностей.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Application of Virtual Reality Platforms in Teaching Art Disciplines as a Factor of Creative Development; Aplicación de Plataformas de Realidad Virtual en la Enseñanza de Disciplinas Artísticas como Factor de Desarrollo Creativo / I. Kostenko [та ін.] // Metaverse Basic and Applied Research. — 2025. — Т. 4. — DOI: 10.56294/mr2025150.
2. *Atsalaki K., Kazanidis I. K.* Combining Virtual Reality Visual Novels and Social Stories to Support Social and Emotional Development in Children with Autism Spectrum Disorder // Applied Sciences (Switzerland). — 2025. — Т. 15, № 12. — DOI: 10.3390/app15126584.
3. *Bernardo N., Duarte E. C.* Industrial Design Education and Immersive Virtual Reality: Perceptions on Utility and Integration // Lecture Notes in Computer Science. — 2023. — Т. 14031 LNCS. — С. 371—387. — DOI: 10.1007/978-3-031-35696-4_27.
4. *Çoruh L.* Immersive digital creation environments in design education // International Journal of Technology and Design Education. — 2025. — Т. 35, № 5. — С. 1841—1870. — DOI: 10.1007/s10798-025-09961-6.
5. Effects of Tactile Feedback on Conceptual Understanding of Electromagnetism in a Virtual Reality Experience / P. D. Acevedo [та ін.] //. — 2022. — С. 588—593. — DOI: 10.1109/ISMAR-Adjunct57072.2022.00122.
6. Exploring the Mediating Role of Student Engagement in the Relationship Between Virtual Reality Interactivity and Creativity in a Project-Based Learning Environment / L. He [та ін.] // Journal of Curriculum and Teaching. — 2025. — Т. 14, № 2. — С. 262—274. — DOI: 10.5430/jct.v14n2p262.
7. *González-Pérez P., Mesías-Lema J. M.* Virtual Reality for the teaching and learning of perspective in drawing; La Realidad Virtual para la enseñanza y aprendizaje de la perspectiva en el dibujo // Edutec. — 2023. — Т. 83. — С. 188—207. — DOI: 10.21556/edutec.2023.83.2681.

8. Integrating Extended Reality in Architectural Design Studio Teaching and Reviews: Implementing a Participatory Action Research Framework / K. Crolla [та ил.] // Buildings. — 2024. — Т. 14, № 6. — DOI: 10.3390/buildings14061865.
9. *Jian Y., Abu Bakar J. A. B.* Comparing cognitive load in learning spatial ability: immersive learning environment vs. digital learning media // Discover Sustainability. — 2024. — Т. 5, № 1. — DOI: 10.1007/s43621-024-00310-6.
10. *Jiawei W., Mokmin N. A. M.* Virtual reality technology in art education with visual communication design in higher education: a systematic literature review // Education and Information Technologies. — 2023. — Т. 28, № 11. — С. 15125—15143. — DOI: 10.1007/s10639-023-11845-y.
11. *Jiawei W., Mokmin N. A. M., Ji S.* Enhancing higher education art students' learning experience through virtual reality: a comprehensive literature review of product design courses // Interactive Learning Environments. — 2024. — Т. 32, № 10. — С. 7399—7415. — DOI: 10.1080/10494820.2024.2315125.
12. *Lehrman A. L.* Embodied Learning Through Immersive Virtual Reality: Theoretical Perspectives for Art and Design Education // Behavioral Sciences. — 2025. — Т. 15, № 7. — DOI: 10.3390/bs15070917.
13. *Li S., Mohamad Nasri N. F., Norman H.* Evaluating the Usability and Engagement of a Gamified, Desktop, Virtual Art Appreciation Module // Multimodal Technologies and Interaction. — 2025. — Т. 9, № 6. — DOI: 10.3390/mti9060053.
14. *Lu Y.* Teaching Architectural Technology Knowledge Using Virtual Reality Technology; Enseigner les connaissances en technologie architecturale à travers la technologie de la réalité virtuelle // Canadian Journal of Learning and Technology. — 2022. — Т. 48, № 4. — DOI: 10.21432/cjlt28253.
15. Mentor-Guided Learning in Immersive Virtual Environments: The Impact of Visual and Haptic Feedback on Skill Acquisition / F. Lebrun [та ил.] // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. — 2025. — Т. 31, № 5. — С. 3547—3557. — DOI: 10.1109/TVCG.2025.3549547.

16. *Queiroz F., Dos Santos Lonsdale M., Henry P. M.* Developing a VR Tool to Support Repeat Pattern Design Learning // *Lecture Notes in Computer Science*. — 2022. — T. 13329 LNCS. — C. 97—111. — DOI: 10.1007/978-3-031-05675-8_9.
17. *Shenoy P., Kumar T.* A Platform for Model-based Learning and Gamification in Design Education //. T. 128. — 2024. — C. 7—12. — DOI: 10.1016/j.procir.2024.06.003.
18. *Smets W., Euser V.* A comparative case study of two immersive learning experiences in museums // *History Education Research Journal*. — 2025. — T. 22, № 1. — DOI: 10.14324/HERJ.22.1.16.
19. *Su Z.* Immersive teaching model for traditional Chinese opera costume design based on virtual reality: digital cultural heritage, inheritance, and innovation // *Scientific Reports*. — 2025. — T. 15, № 1. — DOI: 10.1038/s41598-025-19350-7.
20. *Temirkhanova M., Abildinova G., Karaca C.* Enhancing digital literacy skills among teachers for effective integration of computer science and design education: a case study at Astana International School, Kazakhstan // *Frontiers in Education*. — 2024. — T. 9. — DOI: 10.3389/educ.2024.1408512.
21. *Tian J., Tian B.* The Application of Virtual Reality Technology in Cultivating Music Talents in Higher Vocational Education: A New Model of Art-Science Integration // *International Journal of Web-Based Learning and Teaching Technologies*. — 2025. — T. 20, № 1. — DOI: 10.4018/IJWLTT.390786.
22. *Ummihusna A., Zairul M.* Exploring immersive learning technology as learning tools in experiential learning for architecture design education // *Open House International*. — 2022. — T. 47, № 4. — C. 605—619. — DOI: 10.1108/OHI-01-2022-0020.
23. Virtual educational environments: an investigation into interactive immersive learning in higher education / A. S. Gill [та ит.] // *International Journal of Mobile Learning and Organisation*. — 2024. — T. 18, № 3. — C. 381—408. — DOI: 10.1504/IJML0.2024.139723.

24. Virtual reality for biochemistry education: the cellular factory / J. Barrow [та ін.] // Education and Information Technologies. — 2024. — Т. 29, № 2. — С. 1647—1672. — DOI: 10.1007/s10639-023-11826-1.
25. Virtual reality: a promising instrument to promote sail education / F. Ji [та ін.] // Frontiers in Psychology. — 2023. — Т. 14. — DOI: 10.3389/fpsyg.2023.1185415.
26. Wang Z., Alwi A. B. Virtual reality for enhancing spatial ability in interior design Education; Realidad virtual para mejorar la habilidad espacial en la educación de diseño de interiores // Salud, Ciencia y Tecnologia. — 2025. — Т. 5. — DOI: 10.56294/saludcyt20252234.

Додаток А

Посилання на програмний застосунок (VR-гру)

Результат кваліфікаційної роботи представлено у вигляді інсталяційного файлу формату **.apk** для VR-гарнітур (Oculus/Meta Quest).

Файл розміщено у хмарному сховищі Google Drive. Для отримання доступу до файлу та інструкції скористайтеся посиланням.

Електронне посилання: https://drive.google.com/drive/folders/1zp9bnVuqb8AX-y2jQfNLxlqj6fSU40Gm?usp=drive_link

Коротка інструкція зі встановлення:

1. Завантажте файл **.apk** за наведеним посиланням.
2. Дозвольте встановлення з невідомих джерел у налаштуваннях гарнітури.
3. Використовуйте SideQuest для встановлення сторонніх додатків.