

Міністерство освіти і науки України

Тернопільський національний педагогічний університет

імені Володимира Гнатюка

Інженерно-педагогічний факультет

Кафедра комп'ютерних технологій

Кваліфікаційна робота

Застосування віртуальної та доповненої реальності для навчання студентів у сфері комп'ютерних технологій.

Спеціалізація 015.39 Цифрові технології

Освітньо-наукова програма

«Професійна освіта (Комп'ютерні технології)»

ВИКОНАВ: здобувач вищої освіти
освітнього рівня «магістр»

Шепель Сергій Володимирович

НАУКОВИЙ КЕРІВНИК:

доктор педагогічних наук, професор

ГЕВКО Ігор Васильович

РЕЦЕНЗЕНТ:

доктор педагогічних наук, професор

завідувач кафедри інформатики та

методики її навчання

РОМАНИШИНА Оксана Ярославівна

Робота захищена з оцінкою:

Національна шкала _____

Кількість балів: ____ Оцінка:

ECTS ____

ЗМІСТ

ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ВІРТУАЛЬНОЇ ТА ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ У ПРОФЕСІЙНІЙ ПІДГОТОВЦІ СТУДЕНТІВ	14
1.1. Генеза наукових підходів до використання імерсивних технологій в освіті	14
1.2. Поняттєво-категоріальний апарат дослідження віртуальної та доповненої реальності	18
1.3. Дидактичний потенціал VR та AR у формуванні професійних компетентностей студентів	21
1.4. Психолого-педагогічні передумови ефективного використання імерсивних технологій у навчанні	25
1.5. Аналіз сучасного досвіду впровадження VR/AR у вищій та професійній освіті	28
Висновки до першого розділу	31
РОЗДІЛ 2. ПЕДАГОГІЧНІ УМОВИ ТА ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ VR/AR У НАВЧАННІ СТУДЕНТІВ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРОФІЛЮ	34
2.1. Специфіка професійної підготовки майбутніх фахівців у сфері комп'ютерних технологій	34
2.2. Аналіз цифрових інструментів, платформ і програмних середовищ віртуальної та доповненої реальності	37
2.3. Моделі інтеграції VR/AR у викладання дисциплін комп'ютерного циклу	43
2.4. Організаційно-педагогічні умови реалізації навчання з використанням імерсивних технологій	47
2.5. Методичні ризики, технічні бар'єри та обмеження використання VR/AR у закладах вищої освіти	50
Висновки до другого розділу	54

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ВИКОРИСТАННЯ ВІРТУАЛЬНОЇ ТА ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ У НАВЧАННІ СТУДЕНТІВ ТА ЇЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА	57
3.1. Мета, завдання та концептуальна логіка побудови методики вивчення віртуальної та доповненої реальності	57
3.2. Змістово-технологічне забезпечення методики використання віртуальної та доповненої реальності у процесі професійної підготовки	60
3.3. Критеріальний апарат оцінювання ефективності методики	64
3.4. Організація, етапи та база педагогічного експерименту	66
3.5. Аналіз та інтерпретація результатів експериментальної роботи	69
Висновки до третього роділу	72
ВИСНОВКИ	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	79

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасна вища освіта в Україні перебуває в умовах глибокої трансформації, зумовленої одночасно кількома чинниками – невинним оновленням технологічної бази інформаційних технологій, поширенням дистанційних і змішаних форм навчання, запитом ринку праці на фахівців з принципово новим профілем компетентностей. Цифровізація освіти, визначена як стратегічний напрям державної політики у Концепції розвитку цифрових компетентностей (2021 р.), вимагає пошуку нових методичних рішень, здатних відповісти на виклики часу й водночас не втратити ґрунтовності української педагогічної традиції.

Серед сучасних цифрових засобів особливе місце посідають імерсивні технології – віртуальна (VR), доповнена (AR) та змішана (MR) реальність, загалом охоплені парасольковим терміном розширеної реальності (XR). На відміну від звичних мультимедіа, вони створюють принципово новий спосіб взаємодії студента з навчальним змістом: через просторове занурення, багатомодальне сприйняття, безпосереднє експериментування. У сегменті підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю такі технології набувають особливої ваги, оскільки дозволяють візуалізувати абстрактні структури (алгоритми, мережеві протоколи, архітектуру систем), безпечно моделювати практичну діяльність з дорогим обладнанням, організувати колаборативну роботу команд розробників у розподілених географічних умовах.

Актуальність теми посилюється кількома конкретними обставинами. По-перше, доступність імерсивних технологій принципово змінилася за останні кілька років: автономні гарнітури на зразок Meta Quest коштують дешевше за типовий навчальний ноутбук, а AR-сценарії реалізуються на звичайному смартфоні. По-друге, викладачі закладів вищої освіти стикаються з покоління студентів, для якого цифрова взаємодія є природним, а не набутим способом мислення, – і традиційні лекційно-семінарські форми дедалі менше задовольняють їхні освітні запити. По-третє, сама освітньо-професійна програма «Цифровий та веб-дизайн» за спеціальністю F7 «Комп'ютерна інженерія» галузі

знань F «Інформаційні технології» передбачає формування у здобувача здатності проєктувати та створювати цифрові дизайнерські об'єкти й програмні продукти, що без володіння сучасним цифровим інструментарієм є неможливим.

Проведений аналіз наукової літератури засвідчує, що проблематика використання імерсивних технологій в освіті активно розробляється як у зарубіжній, так і у вітчизняній педагогічній науці. Методологічні засади цифрового освітнього середовища сформовано у працях В. Бикова, С. Спіріна, О. Пінчук; хмаро орієнтовані підходи – у дослідженнях С. Литвинової, А. Стрюка, М. Рассовицької, М. Шишкіної; проблематика AR-контенту детально розроблена С. Литвиною, О. Пінчук, Л. Лупаренко, Г. Ткачук; мобільно орієнтоване AR-середовище досліджено Є. Модлом, С. Семеріковим, А. Стрюком; готовність викладача до імерсивних технологій – у працях О. Потапчук, О. Коваленко, М. Козяра та інших. Серед зарубіжних авторів фундаментальне значення мають роботи П. Мілграма і Ф. Кішіно (таксономія змішаної реальності), J. Radianti та співавторів (метааналіз застосування VR у вищій освіті), М. Бовера (систематизація AR-кейсів), Д. Уттала (метааналіз формування просторових умінь).

Попри значні здобутки, наявні дослідження залишають відкритими низку важливих питань. Більшість наявних робіт зосереджена на окремих прийомах використання VR/AR, а не на цілісних методичних комплексах; теоретична рамка часто декларується, але не операціоналізується до рівня конкретної методики; у підготовці фахових молодших бакалаврів комп'ютерного профілю системні дослідження майже не представлені; критично мало робіт з методологічно коректно організованим педагогічним експериментом. Це створює невідповідність між високим технологічним потенціалом VR/AR та обмеженим науково-методичним забезпеченням їх упровадження у професійну підготовку майбутніх фахівців комп'ютерного профілю. Саме ця невідповідність і визначає актуальність обраної теми.

Об'єкт дослідження – процес професійної підготовки майбутніх фахових молодших бакалаврів зі спеціальності F7 «Комп'ютерна інженерія» (освітньо-

професійна програма «Цифровий та веб-дизайн») у закладах фахової передвищої освіти.

Предмет дослідження – методика використання віртуальної та доповненої реальності в освітньому процесі професійної підготовки майбутніх фахових молодших бакалаврів з комп'ютерної інженерії за освітньо-професійною програмою «Цифровий та веб-дизайн».

Мета дослідження – теоретично обґрунтувати, розробити та експериментально перевірити методику використання віртуальної та доповненої реальності в процесі професійної підготовки майбутніх фахових молодших бакалаврів з комп'ютерної інженерії (освітньо-професійна програма «Цифровий та веб-дизайн»).

Відповідно до мети поставлено такі **завдання дослідження**:

1) здійснити теоретичний аналіз наукових підходів до використання імерсивних технологій в освіті та обґрунтувати потенціал VR та AR у формуванні професійних компетентностей студентів комп'ютерного профілю та передумови їх ефективного використання;

2) проаналізувати сучасні цифрові інструменти, платформи й програмні середовища віртуальної та доповненої реальності; визначити моделі інтеграції VR/AR у викладання дисциплін комп'ютерного циклу; схарактеризувати організаційно-педагогічні умови та методичні ризики їх використання;

3) розробити методику використання VR/AR у навчанні студентів спеціальності F7 «Комп'ютерна інженерія» за освітньо-професійною програмою «Цифровий та веб-дизайн» та провести педагогічний експеримент з метою перевірки ефективності розробленої методики;

4) сформулювати практичні рекомендації щодо впровадження методики й окреслити перспективи подальших досліджень.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що в роботі:

уперше теоретично обґрунтовано й перевірено методику використання віртуальної та доповненої реальності у навчанні студентів спеціальності F7 «Комп'ютерна інженерія» за освітньо-професійною програмою «Цифровий та

веб-дизайн», концептуальна логіка якої ґрунтується на поєднанні конструктивістського, діяльнісного та компетентнісного підходів, доповнених моделями SAMR (R. Puentedura) і TPACK (P. Mishra, M. Koehler); виділено шість моделей інтеграції VR/AR у викладання дисциплін комп'ютерного циклу (віртуальна лабораторна робота, AR-супровід роботи з реальним обладнанням, імерсивна ілюстрація абстрактного змісту, колаборативний віртуальний простір, VR-симулятор професійної діяльності, перевернутий клас з імерсивною складовою);

удосконалено апарат оцінювання готовності студентів до використання VR/AR-технологій – з відповідними показниками, засобами діагностики;

дістали подальшого розвитку уявлення про умови реалізації навчання з використанням імерсивних технологій (виділено матеріально-технічну, методичну, кадрову, змістово-інформаційну, нормативно-організаційну та соціально-психологічні умови) й систематизацію методичних ризиків, технічних бар'єрів та обмежень їх використання у закладах вищої освіти.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробленні методики, готової до впровадження в освітній процес підготовки майбутніх фахових молодших бакалаврів комп'ютерного профілю, у створенні змістово-технологічного забезпечення для семи ключових дисциплін циклу, у проектуванні діагностичного інструментарію для оцінювання готовності студентів до використання VR/AR. Отримані результати можуть використовуватися викладачами закладів фахової передвищої освіти України для підвищення якості підготовки майбутніх фахівців з комп'ютерної інженерії та цифрового дизайну, а також науково-педагогічними працівниками для подальших досліджень у галузі цифровізації освіти.

Апробація результатів дослідження. Основні положення та результати дослідження обговорено на засіданні циклової комісії комп'ютерної інженерії Відокремленого структурного підрозділу «Тернопільський фаховий коледж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя», під

час проведення педагогічного експерименту зі студентами освітньо-професійної програми «Цифровий та веб-дизайн».

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів з висновками до кожного, загальних висновків, списку використаних джерел. Перший розділ присвячено теоретичним основам застосування VR/AR у професійній підготовці студентів, другий – педагогічним умовам і практичним аспектам використання імерсивних технологій, третій – обґрунтуванню методики та її експериментальній перевірці. Основний зміст роботи викладено на сторінках, ілюстрованих рисунками та таблицями. Список використаних джерел налічує 50 позицій, у тому числі іноземні джерела з міжнародних наукометричних баз.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ ВІРТУАЛЬНОЇ ТА ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ У ПРОФЕСІЙНІЙ ПІДГОТОВЦІ СТУДЕНТІВ

1.1. Генеза наукових підходів до використання імерсивних технологій в освіті

Становлення імерсивних технологій як освітнього інструмента – це історія, значно довша, ніж може здатися на перший погляд. Ідея навчання через занурення у змодельовану реальність з'явилася задовго до того, як комп'ютерні потужності дозволили її реалізувати, і пройшла кілька етапів, кожен з яких залишив слід у сучасному педагогічному інструментарії. Реконструкція цієї траєкторії потрібна не задля історичного екскурсу, а для того, щоб зрозуміти логіку розвитку галузі – які проблеми породжують кожне нове покоління технологій і які з них досі не розв'язано.

Концептуальні передумови майбутніх VR-технологій належать до середини ХХ століття. Піонерською вважають працю американського інженера Мортон Гайліга «Сенсорам» (Morton Heilig, 1962), у якій уперше була сформульована ідея мультисенсорного кінотеатру, здатного одночасно впливати на зір, слух, нюх і тактильне сприйняття. Проте справжньою теоретичною точкою відліку для подальших розвідок стала стаття Івана Сазерленда «The Ultimate Display» (1965), де автор сформулював концепцію «вмотивованого вікна» у математично заданий простір, у якому користувач зможе не лише спостерігати, а й взаємодіяти з об'єктами. Саме ця стаття заклала методологічну рамку, у межах якої розвивалися подальші дослідження впродовж кількох десятиліть.

У 1990-х роках, на хвилі першого комерційного інтересу до віртуальної реальності, були зроблені перші спроби її застосування в освіті. Прикладами такого раннього впровадження стали тренажери NASA VIEW (Virtual Interface Environment Workstation), навчальні VR-стенди для авіації й медицини. Однак технологічна база тоді ще не дозволяла масштабувати такі рішення: гарнітури

були громіздкими, розроблення одного сценарію коштувало як невеликий науковий проєкт, реалістичність середовищ залишала бажати кращого. Наприкінці десятиліття інтерес до VR у широкій освітній спільноті поступово згас, змістившись у сторону вузькоспеціалізованих професійних тренажерів. Дослідники того часу зафіксували потужний феномен, відомий як «розрив між очікуваннями та реальністю», – пізніше він буде описаний у термінах хайп-циклу технологічного ринку.

Методологічно важливою подією стала публікація 1994 року статті Пола Мілграма та Фуміо Кішіно «A taxonomy of mixed reality visual displays» [46], у якій автори запропонували концепцію континууму «реальне – віртуальне». Ця таксономія не лише впорядкувала термінологічне поле, а й дала дослідникам чіткий інструмент для класифікації технологій і добору їх до конкретних завдань. Значущість цієї роботи для сучасної педагогічної теорії імерсивного навчання важко переоцінити: посилання на неї залишаються обов'язковими в будь-якому серйозному дослідженні VR/AR – і ми теж спираємося на неї у другому розділі нашої роботи.

Наступний період, умовно 2000–2009 років, часто називають «періодом перегрупування». Масовий інтерес до VR ослаб, однак у цей час відбувся значний прогрес у комп'ютерній графіці, обчислювальній техніці, розвивалися ідеї розподілених віртуальних світів (Second Life, Open Cobalt). Паралельно формувалася наукова школа досліджень AR: першими практичними демонстраціями стали системи на основі маркерних бібліотек (ARToolKit, 1999), які дозволили реалізовувати AR-сценарії на звичайних комп'ютерах з вебкамою. Саме в цей період закладалися теоретичні основи, що пізніше розвинулися у повноцінну педагогічну теорію імерсивного навчання.

Переломним став 2012 рік – запуск Kickstarter-кампанії Oculus Rift, який започаткував другу хвилю інтересу до VR. До 2018 року ринок отримав доступні споживчі гарнітури (Oculus Rift CV1, HTC Vive, PlayStation VR), мобільний AR (ARCore, ARKit, 2017), комерційний MR-пристрій (Microsoft HoloLens, 2016). Якщо у 1990-ті основним стримувальним чинником була технологія, то у 2010-х

її місце посіли методика й освітня інфраструктура. Саме в цей період сформувалися основні моделі інтеграції VR/AR у навчальний процес, які були систематизовані у другому розділі нашої роботи.

Карантин 2020–2021 років, пов’язаний з пандемією COVID-19, спричинив стрибкоподібне зростання попиту на засоби дистанційного й гібридного навчання і, зокрема, на іммерсивні рішення. Багато університетів світу почали експериментувати з VR-лекціями, колаборативними AR-практиками, віртуальними лабораторіями. Паралельно відбулося помітне здешевлення автономних гарнітур – Meta Quest 2 (2020) і Pico 4 (2022) зробили цінову точку входження у ЗВО прийнятною для більшості закладів. Цей період фактично й став часом переходу VR/AR зі статусу експериментальної інновації у статус реального компонента освітньої практики.

Сучасний етап, який умовно розпочинається 2023 роком, характеризується стандартизацією та професіоналізацією галузі. Відкритий стандарт OpenXR робить сумісними пристрої різних виробників, з’являються перші магістерські програми з іммерсивного дизайну, формуються галузеві асоціації. Пристрій Apple Vision Pro (2024) відкрив нову категорію пристроїв просторових обчислень (spatial computing), що, очікувано, вплине й на освітню практику у найближчі роки. Загальна логіка розвитку галузі узагальнено представлена на рис. 1.1.

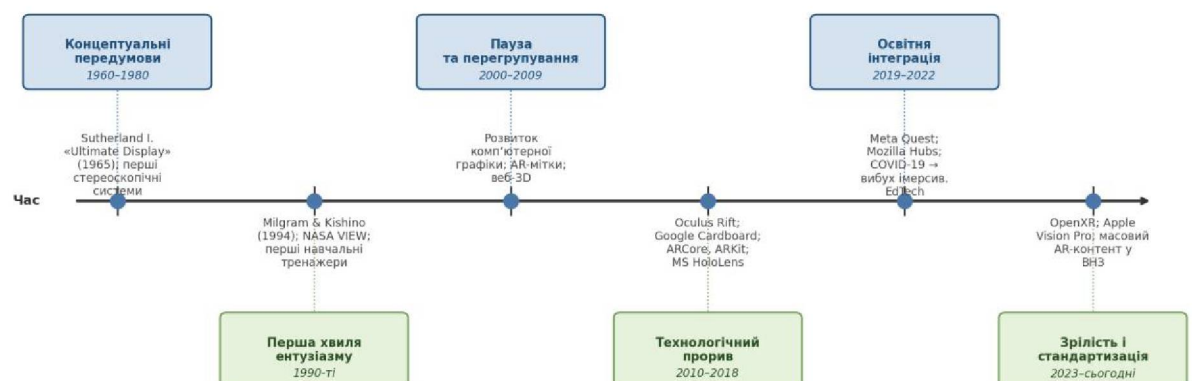


Рисунок 1.1. Основні етапи розвитку технологій віртуальної та доповненої реальності та їх інтеграції в освітню практику

В українській педагогічній науці проблематика імерсивних технологій в освіті почала системно розроблятися відносно недавно – з другої половини 2010-х років. Пріоритетною школою тут виступають дослідження Інституту цифровізації освіти НАПН України, у межах якого під керівництвом В. Бикова [3; 4] сформувався бачення цифрового освітнього середовища як комплексної системи, органічною частиною якої стали й імерсивні технології. Okремо варто відзначити праці С. Литвинової [24; 25], присвячені хмаро орієнтованому навчальному середовищу та методиці використання сервісу *Blippbuilder* для створення освітнього AR-контенту. Методологічні підходи до застосування засобів доповненої реальності в навчальному процесі розроблено у публікаціях С. Семерікова у співавторстві [28; 35; 36], а питання освітньої колаборації у мобільно орієнтованому AR-середовищі – у роботах Є. Модла [28].

Значний внесок у розуміння дидактичного потенціалу AR-контенту зробили О. Пінчук і Л. Лупаренко [30]. Сучасні аспекти професійної підготовки майбутніх педагогів до використання імерсивних технологій досліджували О. Потапчук, І. Гевко, І. Луцик [33; 47; 48], О. Коваленко, Д. Гульпа, Є. Хрінник [18], М. Козяр, А. Рудь, Б. Товт [19]. Низка оглядово-концептуальних публікацій українських авторів синтезує найактуальніші напрями досліджень [9; 22; 38]. Таким чином, вітчизняна наукова школа не відстає від світових тенденцій, а подекуди – зокрема в методичних аспектах використання AR у педагогічній освіті – випереджає їх.

Отже, генеза наукових підходів до використання імерсивних технологій в освіті охоплює понад піввіковий період і демонструє нелінійну траєкторію розвитку. Кожне покоління технологій породжувало як нові дидактичні можливості, так і нові методичні виклики. Сучасний етап, що розпочався умовно у 2019–2020 роках, характеризується перетином кількох сприятливих чинників: доступності обладнання, зрілості інструментів розробки, зростання попиту з

боку освітньої практики. Саме це створює підстави для системного наукового осмислення й методичного опрацювання проблеми, якій і присвячена наша робота.

1.2. Поняттєво-категоріальний апарат дослідження віртуальної та доповненої реальності

Коректне наукове дослідження в будь-якій галузі розпочинається з упорядкування термінологічного поля. У сфері імерсивних технологій ця задача особливо актуальна: молода галузь оперує великою кількістю понять, запозичених із різних дисциплін – від комп'ютерних наук до психології й педагогіки. Частина термінів має варіативне тлумачення в різних наукових школах, частина використовується і в маркетингових, і в наукових контекстах із помітною розбіжністю значень. Аналіз термінологічного поля та узгодження понять є, отже, не формальною процедурою, а методологічно необхідним кроком.

Центральним для нашого дослідження є поняття «імерсивні технології» – комплекс програмно-апаратних засобів, що створюють у користувача суб'єктивне відчуття занурення у цифровий або змішаний простір. Уживаний паралельно термін XR (Extended Reality, «розширена реальність») вважається парасольковим: він охоплює всі різновиди імерсивних технологій, зокрема VR, AR і MR [38]. Співвідношення цих категорій унаочнено на рис. 1.2.



Рисунок 1.2. Поняттєво-категоріальний апарат дослідження імерсивних технологій

Віртуальна реальність (VR, Virtual Reality) – це технологія повного занурення користувача в синтетично створений цифровий простір, що замінює сенсорні сигнали з реального оточення комп’ютерно згенерованими. Технічно це досягається за допомогою гарнітури із закритим полем зору (head-mounted display) і системою позиціонування, що відстежує рухи голови й тіла користувача. Дидактичний сенс VR полягає у створенні навчальних середовищ, які неможливо або небезпечно моделювати фізично, – наприклад, внутрішньої будови атома, історичних подій або катастрофічних ситуацій. Ю. Трач, аналізуючи VR-технології як метод і засіб навчання [43], підкреслює, що ключовою їхньою дидактичною характеристикою є принципово новий спосіб взаємодії студента з навчальним матеріалом.

Доповнена реальність (AR, Augmented Reality) ґрунтується на іншому принципі – накладанні цифрового шару на реальне оточення користувача. Цей шар може містити тривимірні моделі, текстову інформацію, анімацію, інтерактивні елементи. AR не замінює реальність, а доповнює її, що робить цю технологію особливо цінною у сценаріях, де контекст реального об’єкта є

істотним для навчального завдання. Такий підхід виявляється продуктивним у технічній освіті, медицині, археології, архітектурі, а також – як показано в дослідженнях М. Бовера та співавторів [45], – у широкому спектрі освітніх контекстів. Важливою перевагою AR є низький поріг входження: більшість сучасних AR-сценаріїв реалізуються на смартфоні, без спеціалізованого обладнання.

Змішана реальність (MR, Mixed Reality) посідає проміжне місце між VR і AR. Принципова відмінність MR від AR полягає в тому, що цифрові об'єкти в MR не просто накладаються на реальне зображення, а взаємодіють з ним – «розуміють» геометрію простору, можуть бути перекритими реальними предметами, реагують на фізичні поверхні. Реалізація MR вимагає спеціалізованих пристроїв (Microsoft HoloLens, Apple Vision Pro) з просторовим картуванням і розширеним набором сенсорів. Освітні сценарії MR перебувають у стадії активного розвитку, демонструючи високий потенціал у професійній підготовці, особливо в інженерних і медичних напрямках [35].

Родове поняття імерсивного середовища описується через три взаємопов'язані атрибути – імерсивність, присутність та інтерактивність. Імерсивність (immersion) – це об'єктивна характеристика технології, що визначає ступінь сенсорного залучення користувача: поле зору, якість графіки, точність трекінгу, наявність просторового звуку. Присутність (presence) – суб'єктивний психологічний феномен відчуття «бути там», що виникає у користувача імерсивного середовища. Інтерактивність – можливість впливати на середовище та отримувати зворотний зв'язок у відповідь на дії користувача. Ці три атрибути утворюють тріаду, якою зазвичай описують якість будь-якого VR/AR-досвіду [22; 38].

У педагогічному контексті родовий термін «імерсивне навчання» (immersive learning) охоплює будь-яку освітню діяльність, у якій студент перебуває у штучно створеному інформаційно насиченому середовищі з ознаками описаних вище атрибутів. Поняття «віртуальне освітнє середовище» (virtual learning environment, VLE) традиційно вживається ширше – ним

позначають і класичні LMS-системи, і спеціалізовані 3D-простори. Щоб уникнути розмивання значень, в нашій роботі ми послідовно використовуємо термін «імерсивне освітнє середовище», резервуючи за ним саме ті середовища, які задіюють VR або AR-компоненти.

Поняття «цифровий освітній контент з доповненою реальністю», ґрунтовно розроблене у працях С. Литвинової [25] та О. Пінчук і Л. Лупаренко [30], описує структуровані навчальні матеріали, до яких інтегровані AR-елементи – тривимірні моделі, інтерактивні сцени, додаткові шари інформації, що активуються під час наведення мобільного пристрою на маркер. Цей термін набуває особливого значення у педагогічних дослідженнях, оскільки дозволяє концептуалізувати продукт методичної діяльності викладача, а не лише саму технологію.

Суміжним є поняття педагогічного дизайну (instructional design) імерсивних сценаріїв – це процес планування, розроблення та оцінювання навчальних ситуацій, реалізованих з використанням VR/AR-технологій. Педагогічний дизайн XR-сцен охоплює визначення навчальних цілей, добір змісту, проектування взаємодії, розроблення критеріїв оцінювання. У сучасній літературі цей термін поступово витісняє більш технологічно зорієнтоване «розроблення VR-контенту», підкреслюючи пріоритет педагогічних, а не технічних аспектів.

Особливе місце у поняттєвому апараті нашого дослідження посідає термін «готовність студента до використання VR/AR-технологій». У межах компетентнісного підходу готовність розглядається як інтегральна характеристика особистості, що охоплює систему знань, умінь, мотиваційних установок і рефлексивних здатностей, необхідних для ефективного застосування певного інструмента або методу у професійній діяльності. Така чотирикомпонентна структура готовності – когнітивний, діяльнісно-практичний, мотиваційний і рефлексивний компоненти – слугує основою критеріального апарату нашого дослідження, представленого у підрозділі 3.3.

Таким чином, упорядкований поняттєвий апарат дозволяє коректно й однозначно оперувати категоріями імерсивних технологій у подальшому викладі. Під час дослідження ми послідовно використовуємо терміни у визначених вище значеннях, уникаючи паралельного вживання синонімічних варіантів, які можуть спричинити термінологічну неоднозначність.

1.3. Дидактичний потенціал VR та AR у формуванні професійних компетентностей студентів

Розгляд технології в аспекті її дидактичного потенціалу відрізняється від суто технологічного опису тим, що відповідає на питання «що саме змінюється в навчальному процесі внаслідок появи цього інструмента?». Відповідь на це питання для VR/AR не є тривіальною, оскільки імерсивні технології не просто додають ще один спосіб представлення інформації – вони змінюють природу самого пізнавального акту.

Теоретичною основою для осмислення дидактичного потенціалу VR/AR виступають кілька взаємодоповнювальних концепцій. Першою з них є теорія досвідного навчання Девіда Колба (*experiential learning theory*), згідно з якою засвоєння знань є циклічним процесом, що охоплює чотири фази: конкретний досвід, рефлексивне спостереження, абстрактну концептуалізацію та активне експериментування. Традиційна лекційно-семінарська форма навчання зосереджена переважно на двох середніх фазах, тоді як імерсивні технології природно забезпечують крайні – конкретний досвід і активне експериментування. Цим пояснюється, чому VR/AR є особливо ефективними у формуванні тих компетентностей, які неможливо розвинути суто вербально.

Друга концепція – теорія присутності Маршалла МакЛюена та її розвинення в роботах Мела Слейтера. Центральне положення цієї теорії стверджує, що сила навчального ефекту пропорційна відчуттю присутності в навчальній ситуації. Імерсивні середовища забезпечують високий рівень присутності через багатомодальність сенсорного впливу, що, згідно з експериментальними даними, може підвищувати ефективність запам'ятовування

на 30–40 % порівняно з традиційними формами [49]. Втім, тут важливо бути обережним: сильне відчуття присутності саме по собі не гарантує навчального ефекту – воно стає продуктивним лише у поєднанні з адекватним педагогічним дизайном.

Третя теоретична рамка – теорія когнітивного навантаження Джона Свеллера. Вона розрізняє три типи когнітивного навантаження: внутрішнє (зумовлене складністю змісту), зовнішнє (зумовлене способом представлення матеріалу) та релевантне (зумовлене необхідністю побудови розумових схем). Імерсивні технології мають потенціал знижувати зовнішнє когнітивне навантаження шляхом природного, просторового представлення інформації замість абстрактних схем і символів. Однак вони ж можуть його підвищувати, якщо навчальна сцена переобтяжена неінформативними елементами. Тут знову актуалізується роль ретельного педагогічного дизайну.

Четверта рамка – компетентнісний підхід, закріплений у чинних стандартах вищої освіти України. Він розглядає результат навчання не як суму окремих знань, а як інтегральну здатність розв'язувати складні професійні завдання. Для майбутнього фахівця комп'ютерного профілю ця здатність складається з кількох груп компетентностей: *hard skills* (знання мов програмування, баз даних, мереж), *soft skills* (командна робота, комунікація, критичне мислення), *meta skills* (самоосвіта, адаптивність). У працях О. Спіріна [40] та Н. Морзе і О. Буйницької [29] детально обґрунтовано структуру цифрової компетентності педагога, до якої органічно вписуються й навички роботи з імерсивними технологіями.

Деталізуємо, який саме внесок VR/AR роблять у формування кожної з виділених груп компетентностей. У межах *hard skills* імерсивні технології дають змогу візуалізувати абстрактні структури (алгоритми, архітектуру систем, мережеві протоколи), забезпечити безпечний практикум з обладнанням, яке в реальному вигляді є дорогим або недоступним, організувати індивідуальні траєкторії навчання з повторенням складних моментів. Результат – глибше розуміння професійного змісту, швидше освоєння нових інструментів, зниження

страху перед складною технікою, що особливо важливо на початкових етапах професійного навчання [19; 47].

У межах soft skills колаборативні VR-простори моделюють ситуації професійної командної взаємодії: розподіл ролей, спільне проєктування, код-рев'ю, презентацію результатів. Такі ситуації складно організувати у традиційному форматі, особливо за умов дистанційного навчання. Імерсивне середовище створює простір, у якому студенти з різних географічних точок фактично «присутні разом» і можуть відпрацьовувати ті самі патерни взаємодії, що й у реальному робочому процесі [28; 48]. Показово, що досвід українських дослідників у цьому напрямі вже включає й колективні форми роботи у віртуальному просторі.

Meta skills, зокрема здатність до самоосвіти і адаптивність, формуються в імерсивному середовищі через специфічний для нього досвід «постійно нового»: студент часто стикається з ситуаціями, у яких звичні способи дії не спрацьовують, і змушений експериментувати, перебудовувати стратегії, шукати нетипові рішення. Дослідження показують, що такий досвід має перенесений (transfer) ефект і на інші сфери діяльності – людина, яка звикла адаптуватися у VR-середовищах, швидше адаптується й до нових реальних професійних ситуацій [50].

Окремого обговорення потребує потенціал VR/AR у формуванні просторового мислення – однієї з ключових характеристик успішного IT-фахівця. Масштабна метааналітична робота Д. Уттала та співавторів [50], що узагальнила понад двісті експериментальних досліджень, показала: просторові здібності можуть цілеспрямовано розвиватися через спеціально підібрані тренінги, причому перенос на суміжні галузі діяльності є стабільним і довготривалим. Імерсивні технології – природне середовище для таких тренінгів, оскільки студент працює не зі схематичним, а з об'ємним, інтерактивним просторовим образом.

Дидактичний потенціал AR-технологій має специфічний профіль, дещо відмінний від VR. Якщо VR-потенціал зосереджений переважно на створенні

нових типів навчальних ситуацій, то AR-потенціал – на збагаченні вже наявних освітніх форм. AR-технології доповнюють друковані навчальні матеріали інтерактивним цифровим шаром [42], розширюють можливості роботи з реальним обладнанням контекстними підказками, створюють гібридні форми взаємодії, у яких реальний і віртуальний світи співіснують. Саме ці властивості роблять AR особливо цінним у сценаріях практикоорієнтованого навчання – а отже, у підготовці IT-фахівців, для якої практикоорієнтованість є визначальною рисою.

Сукупний аналіз теоретичних рамок і прикладних можливостей дозволяє стверджувати, що дидактичний потенціал VR/AR є не лише значним, а й структурно іншим порівняно з традиційними цифровими засобами. Ключова відмінність полягає у здатності створювати нові типи навчальної діяльності, принципово недосяжні без імерсивних технологій. Усі подальші розробки методики, представлені в роботі, ґрунтуються саме на цій тезі.

1.4. Психолого-педагогічні передумови ефективного використання імерсивних технологій у навчанні

Ефективне застосування VR/AR в освіті не зводиться до технологічної сторони – не менш важливим є питання про те, як саме ці технології взаємодіють із психікою студента, як впливають на увагу, мотивацію, пам'ять, емоційний стан. Відсутність врахування цих аспектів призводить до типових помилок упровадження: занять, які викликають захоплення, але не формують системних знань; технологій, які подобаються більшості, але викликають відразу у меншості; середовищ, які ефективні в короткому періоді й не дають стійкого результату в довгому.

Психологічним фундаментом ефективного імерсивного навчання є феномен потоку (flow state), описаний Міґаєм Чіксентміхаї. Стан потоку виникає за умов балансу між складністю завдання та рівнем здібностей людини, наявності чіткої мети й швидкого зворотного зв'язку. Імерсивні середовища, добре спроектовані з педагогічного погляду, природно створюють передумови

для потокового стану: завдання візуалізуються, результати дій відображаються одразу, складність можна адаптивно налаштовувати. Утім, ці самі фактори можуть перетворитися на свою протилежність – надмірна стимуляція стає причиною втоми, постійний зворотний зв'язок породжує залежність від підказок. Педагогічний дизайн VR/AR-сцен має враховувати цю двобічність і передбачати розумне дозування.

Теорії мотивації, актуальні для імерсивного навчання, охоплюють як внутрішню, так і зовнішню мотиваційну сферу. Внутрішня мотивація підтримується новизною, естетикою середовища, відчуттям самостійного відкриття. Зовнішня – досягненням проміжних цілей, прогресом у межах сценарію. Особливо цінним є те, що імерсивне середовище природно знижує тривожність студента перед помилкою: у віртуальному світі «поламати» дороге обладнання або спричинити критичний збій системи можна без реальних наслідків, тому студент отримує можливість експериментувати, яку в реальності часто обмежує страх перед наслідками. Цей ефект особливо помітно виявляється у студентів, які раніше мали негативний досвід роботи зі складною технікою [39].

Нейропсихологічні дослідження останніх років показують, що імерсивне навчання активує структури мозку, пов'язані із просторовою пам'яттю, – передусім гіпокамп та його зв'язки з префронтальною корою. Це пояснює механізм так званого «методу локусів», відомого з античних часів: людина значно краще запам'ятовує інформацію, прив'язану до просторових координат. Саме тому інформація, подана у тривимірному імерсивному середовищі, зазвичай запам'ятовується міцніше, ніж та сама інформація, подана у вигляді тексту або двовимірних схем. На це опирається, зокрема, модель імерсивної ілюстрації абстрактного змісту, детально описана у другому розділі.

Важливим є питання індивідуальних особливостей сприйняття імерсивного середовища. Студенти суттєво різняться за здатністю переносити тривале перебування у VR: за різними оцінками, від 5 до 15 % користувачів виявляють ту чи іншу форму кіберхвороби – комплексу симптомів, зумовленого

невідповідністю сенсорних сигналів зору й вестибулярного апарату. Інші відмінності стосуються когнітивного стилю: студенти з переважанням візуально-просторового мислення зазвичай легше адаптуються до VR-середовищ, тоді як представники послідовного, вербального когнітивного стилю можуть потребувати більше часу на звикання. Методично зрілий викладач має проєктувати заняття з урахуванням цієї неоднорідності, передбачаючи альтернативні траєкторії для різних груп студентів.

Суттєвою передумовою ефективного впровадження VR/AR у сучасну вищу школу є готовність самих студентів – представників покоління Z, для яких цифрова взаємодія є природним, а не здобутим способом життя. Це покоління демонструє кілька важливих для нашого контексту психологічних особливостей: високу адаптивність до нових інтерфейсів, толерантність до мультимодального потоку інформації, природне сприйняття віртуальних просторів як легітимних середовищ соціальної взаємодії. Водночас воно часто демонструє знижену здатність до тривалої лінійної уваги, труднощі у глибокому опрацюванні текстових джерел, схильність до поверхневої «перевірки» інформації замість її критичного аналізу. Ці особливості потребують уваги при проєктуванні імерсивних навчальних сценаріїв: вони мають бути достатньо динамічними для утримання уваги, але водночас містити елементи, що вимагають саме критичного, рефлексивного осмислення.

У педагогічному плані важливим є принцип узгодженості імерсивного досвіду з етапом навчання. Дослідження [17; 22] показують, що нерозрізнене залучення VR/AR без урахування попередньої підготовки студента може як посилити, так і послабити навчальний ефект. На початкових етапах освоєння теми доречними є прості AR-супроводи, що зменшують когнітивне навантаження й забезпечують швидке орієнтування в матеріалі. На середніх етапах – імерсивні ілюстрації абстрактного змісту й віртуальні лабораторні роботи. На завершальних – повноцінні симулятори професійної діяльності та колаборативні VR-проєкти. Ця логіка послідовності стала одним з базових принципів розробленої нами методики (див. підрозділ 3.1).

Окремим психолого-педагогічним аспектом є формування ставлення студентів до самих імерсивних технологій як частини майбутнього професійного інструментарію. Для майбутнього фахівця комп'ютерного профілю важливо не лише вміти користуватися VR/AR, а й сформувати стійку звичку до критичного оцінювання їх дидактичної доцільності. Досвід впровадження показує, що таке ставлення формується лише за умови, коли сам викладач демонструє відповідну рефлексивну позицію, а навчальні завдання систематично передбачають аналітичне осмислення отриманого імерсивного досвіду. Саме тому рефлексивний компонент займає настільки важливе місце в запропонованій методиці.

Узагальнюючи, слід зазначити, що психолого-педагогічні передумови ефективного використання VR/AR утворюють складну систему: потокова мотивація, нейропсихологічні механізми просторової пам'яті, індивідуальні особливості сприйняття, покоління та вікові особливості студентів, узгодженість з етапами навчання. Жоден з цих факторів не може бути зредукований до суто технологічного опису, і лише їх комплексне врахування забезпечує перетворення VR/AR з ефектної демонстрації на повноцінний педагогічний засіб.

1.5. Аналіз сучасного досвіду впровадження VR/AR у вищій та професійній освіті

Для отримання об'єктивної картини поточного стану впровадження імерсивних технологій у вищу освіту важливо звернутися до емпіричних даних – як зарубіжних, так і українських. Такий огляд дозволяє виявити типові патерни успішного впровадження, поширені помилки, прогалини, які потребують подальшого дослідження, і, зрештою, окреслити нішу, у якій доцільно розробляти нові методичні підходи.

Найвагомішим систематизованим зарубіжним джерелом залишається огляд J. Radianti, T. Majchrzak, J. Fromm, I. Wohlgenannt [49], опублікований у журналі «Computers & Education» і присвячений застосуванню імерсивної VR у вищій освіті. Ключові висновки огляду виявилися як обнадійливими, так і

критичними: імерсивні технології дійсно показують стабільний позитивний ефект на результати навчання, однак переважна більшість експериментальних досліджень не має належної теоретичної основи, не використовує стандартизованих інструментів оцінювання, не контролює ефект новизни. Саме цей факт акцентував нас на необхідності побудови методики на міцному теоретичному фундаменті, що й реалізовано у третьому розділі роботи.

Інший значущий огляд – стаття М. Бовера, К. Хоу, Н. Мак-Креді та співавторів [45], присвячена застосуванню AR в освіті різних рівнів. Автори каталогізували понад сто конкретних випадків впровадження AR, розподіливши їх за освітніми рівнями, предметними галузями, типами завдань. Висновки публікації підтверджують тезу про те, що дидактичний потенціал AR найкраще реалізується у предметних галузях, пов'язаних з візуалізацією складних структур і з практичною роботою з реальними об'єктами. Ці висновки значною мірою збігаються з нашими міркуваннями щодо застосування AR у підготовці IT-фахівців.

Проведений нами огляд зарубіжного досвіду впровадження VR/AR у вищій освіті дав змогу виділити кілька узагальнених профілів, що реалізуються у провідних університетах світу. Вибрані приклади, що ілюструють різні підходи до інтеграції імерсивних технологій, наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Приклади системного впровадження VR/AR у вищій та професійній освіті
(узагальнення за відкритими джерелами)

Заклад / країна	Профіль впровадження	Предметні галузі	Характерна особливість
Stanford University, США	Лабораторія VHIL (Virtual Human Interaction Lab)	Психологія, соціологія, комунікація	Дослідження поведінкових ефектів імерсивного досвіду; VR-емпатія
Imperial College, Велика Британія	AR-супровід медичної освіти	Анатомія, хірургія	Інтеграція HoloLens у практичні заняття; відпрацювання операцій

Technische Universität München, Німеччина	VR-лабораторії інженерної освіти	Машинобудування, автомобілебудування	Повноцінні віртуальні прототипи замість фізичних стендів
University of Illinois, США	Колаборативний VR-кампус	Міждисциплінарні проекти	Mozilla Hubs-орієнтовані семінари і проектні тижні
Tokyo Institute of Technology, Японія	Hybrid Reality Lab	Робототехніка, ІКТ	Тренажери дистанційного керування через MR-інтерфейси
University of Tartu, Естонія	AR у педагогічній освіті	Підготовка майбутніх учителів	Систематичний курс створення AR-контенту викладачами
TNPU ім. В. Натиук, Україна	AR у професійній педагогічній освіті	Комп'ютерні технології, методика навчання	Інтеграція Blippbuilder у дисципліни комп'ютерного циклу

Примітка. Складено за матеріалами офіційних вебсайтів зазначених закладів, публікацій [45; 49] та огляду вітчизняних досліджень [18; 22].

Український досвід впровадження VR/AR у вищу освіту розвивається у кількох паралельних напрямках. Першим є академічно-дослідницький: Інститут цифровізації освіти НАПН України у межах ініціативи С. Литвинової [25] активно розвиває теоретичні й методичні засади створення цифрового AR-контенту, проводить щорічну конференцію «Імерсивні технології в освіті» [9; 17]. Другий напрям – університетський: окремі ЗВО, зокрема Київський університет імені Бориса Грінченка, Криворізький державний педагогічний університет, Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, Національний університет «Кієво-Могилянська академія», створюють власні осередки впровадження імерсивних технологій у навчальний процес. Третій – корпоративно-освітній: приватні освітні проекти (EdEra, Prometheus, а також ІТ-школи типу SoftServe Academy) інтегрують окремі VR/AR-модулі у свої програми.

Аналіз публікаційної активності українських авторів за останні роки [1; 17; 22; 33; 47] свідчить про кілька стійких тенденцій. По-перше, пріоритет віддається AR-технологіям перед VR, що, імовірно, пояснюється економічною доступністю AR-інструментарію. По-друге, переважна частина робіт сфокусована на педагогічному рівні середньої та професійно-технічної освіти, тоді як

дослідження на рівні фахової передвищої підготовки комп'ютерного профілю представлені менш широко. По-третє, спостерігається зростання частки публікацій, що обговорюють не лише переваги, а й критично оцінюють обмеження імерсивних технологій – ознака дозрівання галузі.

Однією з характерних рис сучасного етапу розвитку досліджень VR/AR в Україні є реалізація національних і міжнародних проєктів з трансформації освіти. Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 03.03.2021 № 167-р схвалено Концепцію розвитку цифрових компетентностей [8], яка передбачає системну інтеграцію сучасних цифрових технологій, у тому числі імерсивних, у різні рівні освіти. Практична реалізація цієї Концепції передбачає формування відповідного методичного забезпечення, розроблення навчальних програм, підготовку кадрів. Наше дослідження органічно вписується в ці загальнодержавні процеси, пропонуючи конкретне методичне рішення для підготовки фахових молодших бакалаврів зі спеціальності F7 «Комп'ютерна інженерія» (освітньо-професійна програма «Цифровий та веб-дизайн»).

Узагальнюючи результати огляду, можна констатувати такі прогалини у сучасному стані наукової розробки теми. По-перше, бракує робіт, у яких імерсивні технології розглядаються системно – не як окремі прийоми, а як цілісний методичний комплекс з чітко описаними компонентами. По-друге, спостерігається дефіцит досліджень, спеціально орієнтованих на підготовку фахових молодших бакалаврів комп'ютерного профілю, хоча саме ця категорія фахівців стане провідником імерсивних технологій у майбутні покоління учнів і студентів. По-третє, критично мало емпіричних досліджень з методологічно коректно організованим педагогічним експериментом, який би підтверджував або спростовував ефективність конкретних методичних рішень. Саме ці три прогалини окреслюють нішу нашого дослідження й зумовлюють логіку побудови всієї кваліфікаційної роботи.

Висновки до розділу 1

Аналіз теоретичних основ застосування віртуальної та доповненої реальності у професійній підготовці студентів дозволяє сформулювати такі висновки.

По-перше, наукові підходи до використання імерсивних технологій в освіті охоплює понад піввіковий період і демонструє нелінійну траєкторію розвитку. Виділено шість основних етапів: концептуальні передумови (1960–1980), перша хвиля ентузіазму (1990-ті), пауза та перегрупування (2000–2009), технологічний прорив (2010–2018), освітня інтеграція (2019–2022), зрілість і стандартизація (2023 – сьогодні). Сучасний етап характеризується сприятливим поєднанням кількох чинників – доступності обладнання, зрілості інструментів, зростання попиту з боку освітньої практики, – що створює підстави для системного методичного опрацювання проблеми. Українська наукова школа, пов'язана передусім з дослідженнями В. Бикова, С. Литвинової, С. Семерікова, О. Пінчук, О. Потапчук та інших учених, займає конкурентні позиції у цій сфері.

По-друге, упорядковано апарат дослідження. Парасольковим терміном виступає XR (розширена реальність), яка охоплює VR (повне занурення у синтетичний простір), AR (накладання цифрового шару на реальне) та MR (інтерактивну взаємодію реальних і віртуальних об'єктів). Атрибутами імерсивного середовища визначено імерсивність, присутність та інтерактивність. У педагогічному контексті використовуються похідні поняття «імерсивне навчання», «імерсивне освітнє середовище», «цифровий освітній контент з доповненою реальністю», «педагогічний дизайн XR-сцен». Структуру готовності студента до використання VR/AR-технологій розглянуто як чотирикомпонентну – когнітивну, діяльнісно-практичну, мотиваційну, рефлексивну.

По-третє, обґрунтовано дидактичний потенціал VR та AR у формуванні професійних компетентностей студентів. Теоретичною основою слугують теорія досвідного навчання Д. Колба, теорія присутності, теорія когнітивного навантаження Дж. Свеллера, компетентнісний підхід. Показано, що імерсивні технології забезпечують розвиток усіх трьох груп компетентностей ІТ-фахівця –

hard skills (через візуалізацію абстрактних структур і безпечний практикум), soft skills (через колаборативні VR-простори), meta skills (через досвід адаптації у нових середовищах). Окремо розкрито потенціал VR/AR у формуванні просторового мислення, підтверджений метааналітичними даними.

По-четверте, проаналізовано психолого-педагогічні передумови ефективного використання імерсивних технологій у навчанні. Ключовими з них є: потоковий стан (flow), що виникає за умов балансу складності завдання й здібностей студента; нейропсихологічні механізми просторової пам'яті; індивідуальні особливості сприйняття імерсивного середовища (до 15 % студентів можуть мати схильність до кіберхвороби); особливості покоління Z – одночасно висока цифрова адаптивність та знижена здатність до тривалої лінійної уваги. Ефективне впровадження імерсивних технологій потребує узгодженості з етапом навчання: прості AR-супроводи на початкових етапах, складніші VR-сценарії – на завершальних.

По-п'яте, аналіз сучасного досвіду впровадження VR/AR у вищій та професійній освіті, проведений на матеріалі закордонних і українських джерел, дозволив виявити типові профілі успішного впровадження, систематизовані у таблиці 1.1. Огляд публікаційної активності виявив три прогалини, що визначають нішу нашого дослідження: дефіцит системних методичних комплексів (замість окремих прийомів); брак робіт, спеціально орієнтованих на підготовку фахових молодших бакалаврів комп'ютерного профілю; недостатня кількість методологічно коректно організованих педагогічних експериментів.

Отримані теоретичні висновки становлять науково-методологічний фундамент, на якому далі вибудовується обґрунтування педагогічних умов (розділ 2) та методики з її експериментальною перевіркою (розділ 3).

РОЗДІЛ 2

ПЕДАГОГІЧНІ УМОВИ ТА ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ VR/AR У НАВЧАННІ СТУДЕНТІВ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРОФІЛЮ

2.1. Специфіка професійної підготовки майбутніх фахівців у сфері комп'ютерних технологій

Підготовка фахівців комп'ютерного профілю помітно відрізняється від навчання за іншими напрямками вищої освіти темпом оновлення змісту, глибиною практичної складової та складною взаємодією між абстрактним теоретичним апаратом і прикладним інструментарієм. Технологічний ландшафт індустрії інформаційних технологій зазнає змін значно швидше, ніж періодичність перегляду навчальних планів у закладах вищої освіти, тому частина дисциплін комп'ютерного циклу ризикує втратити релевантність ще до завершення освітнього циклу студента. Звідси впливає потреба шукати гнучкі форми подання навчального матеріалу, здатні оперативно адаптуватися до нових версій середовищ розробки, мов програмування, архітектурних рішень і стандартів безпеки.

Освітньо-професійна програма «Цифровий та веб-дизайн» зі спеціальності F7 «Комп'ютерна інженерія» передбачає формування у здобувача інтегрованої здатності розв'язувати типові спеціалізовані задачі в галузі інформаційних технологій, поєднуючи інженерно-технічну підготовку з компетентностями цифрового та веб-дизайну. Випускник має бути одночасно компетентним у предметній галузі – володіти мовами програмування, принципами функціонування комп'ютерних систем і мереж, основами захисту інформації, інструментами комп'ютерної графіки, 3D-моделювання та UI/UX-проектування, – і здатним перетворювати дизайнерські концепти на функціональні цифрові продукти, які забезпечують технічний супровід, адаптивність та якість роботи вебсистем. Подібна двоскладовість – поєднання інженерно-технічної та художньо-проектної підготовки – визначає високі вимоги до освітнього

середовища, у якому відбувається професійне становлення фахового молодшого бакалавра.

Структура компетентностей майбутнього фахового молодшого бакалавра комп'ютерного профілю охоплює кілька взаємопов'язаних блоків. Предметно-технологічний блок передбачає володіння мовами програмування, середовищами розробки, системами керування базами даних, технологіями веброзробки та хмарними сервісами. Проектно-дизайнерський блок забезпечує здатність застосовувати теорію і методику дизайну, основи композиції, кольорознавства й типографіки, проєктувати об'єкти моушн- та веб-дизайну, обґрунтовувати, оформляти та презентувати дизайнерські рішення. Цифрово-комунікативний блок формує готовність використовувати сучасні цифрові інструменти для організації освітнього процесу, у тому числі засоби дистанційного і змішаного навчання. Нарешті, рефлексивно-особистісний блок охоплює здатність до самоосвіти, критичного мислення, роботи в команді й постійного професійного розвитку [40].

Суттєвою особливістю підготовки майбутніх ІТ-фахівців є високий рівень абстрактності значної частини навчального матеріалу. Архітектура процесора, протоколи передавання даних у мережі, структура файлової системи, принципи роботи алгоритмів сортування, взаємодія клієнта й сервера – усе це об'єкти, які студент має уявляти, не маючи змоги безпосередньо їх спостерігати. Дослідження показують, що просторове мислення й уміння уявляти динаміку складних систем тісно пов'язані з успішністю вивчення технічних дисциплін і можуть цілеспрямовано формуватися за допомогою спеціально підібраних навчальних засобів [50]. Саме тут виникає простір для ефективного застосування технологій віртуальної та доповненої реальності: вони дають змогу перевести невидимі логічні структури у площину тривимірного досвіду, доступного для безпосереднього сприйняття.

Не менш вагомою особливістю є практикоорієнтованість освітнього процесу. Випускник освітньо-професійної програми «Цифровий та веб-дизайн» має бути готовим із перших днів самостійної професійної діяльності

розв'язувати виробничі завдання: конфігурувати мережу, розгортати веб-застосунок, супроводжувати програмне забезпечення, адмініструвати базу даних. Це вимагає значної кількості годин практичних і лабораторних занять, протягом яких студент працює з реальним обладнанням, програмним забезпеченням та імітаційними середовищами. Однак організація таких занять у багатьох закладах освіти обмежена ресурсними й безпековими чинниками: лабораторії не завжди мають достатню кількість робочих місць, фізичне обладнання застаріває, деякі операції (наприклад, низькорівневе втручання в апаратну частину) пов'язані з ризиком пошкодження техніки.

Дистанційний і змішаний формати навчання, поширення яких прискорилося після 2020 року, додатково загострили проблему практичної підготовки. Студент, який працює з лабораторним стендом віддалено, позбавлений безпосереднього тактильного досвіду, йому складніше відчутися цілісність виробничого процесу. Часткове розв'язання цієї суперечності пов'язане з розгортанням хмаро орієнтованих освітніх середовищ [24; 41], віртуальних лабораторій та симуляторів, що відтворюють поведінку реальних систем. Імерсивні технології поглиблюють цей підхід: вони не просто переносять інтерфейс лабораторної роботи на екран, а створюють тривимірну сцену, у якій студент може переміщатися, маніпулювати об'єктами, спостерігати наслідки власних дій з різних ракурсів.

Важливою тенденцією останніх років стало зростання ваги «м'яких» компетентностей у вимогах ІТ-роботодавців. Уміння працювати в розподіленій команді, проводити презентацію технічного рішення, брати участь у кодовому рев'ю, керувати особистою продуктивністю цінуються не менше, ніж знання конкретної мови програмування. Формування цих якостей потребує організації навчальних ситуацій, максимально наближених до реального професійного середовища. Колаборативні VR-простори, у яких учасники з різних географічних точок взаємодіють у спільній тривимірній сцені, відкривають принципово нові можливості для моделювання таких ситуацій [28].

Особливе місце у професійній підготовці студентів комп'ютерного профілю посідає проєктно-технологічна діяльність. Студент має пройти повний цикл роботи над програмним продуктом: від формулювання вимог і проєктування архітектури до реалізації, тестування й супроводу. Віртуальне середовище дає змогу візуалізувати архітектурні діаграми в об'ємі, «зайти» всередину проєктованої системи, побачити взаємозв'язки між модулями як фізичні об'єкти. Доповнена реальність, своєю чергою, дозволяє розмістити технічну документацію, тривимірні моделі та інтерактивні підказки безпосередньо поруч із реальним обладнанням, що спрощує освоєння складного апаратно-програмного комплексу [30].

Отже, специфіка професійної підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю визначається поєднанням швидко змінюваного предметного змісту, високої частки абстрактних понять, вимогою практичної зрілості випускника та зростанням ролі командної проєктної роботи. Усі ці чинники утворюють сукупний запит до освітнього середовища, задовольнити який традиційними засобами стає дедалі важче. Технології віртуальної та доповненої реальності, будучи органічним продовженням цифрового інструментарію викладача, здатні посісти у цьому середовищі ту нішу, яку не можуть повноцінно закрити ані класичні лекційно-практичні форми, ані звичайні електронні ресурси.

2.2. Аналіз цифрових інструментів, платформ і програмних середовищ віртуальної та доповненої реальності

Сучасна екосистема імерсивних технологій сформувалася як багаторівнева система, у якій апаратні засоби, програмні рушії, засоби створення контенту та готові освітні платформи утворюють ланцюжок технологічних рішень. Орієнтуватися в ньому викладачеві комп'ютерних дисциплін необхідно не лише як користувачеві, а й як методисту, що приймає рішення про доцільність конкретного інструмента в конкретній навчальній ситуації. Для зручності

аналізу доцільно виділити чотири відносно самостійних рівні: апаратний, платформовий, інструментальний і контентний.

Апаратний рівень представлений двома принципово різними класами пристроїв – гарнітурами віртуальної реальності та пристроями підтримки доповненої реальності. До першого класу належать автономні шоломи Meta Quest 2/3, HTC Vive Focus, Pico 4, а також рішення з прив'язкою до персонального комп'ютера на кшталт HTC Vive Pro або Valve Index. Для освітніх цілей автономні гарнітури вже кілька років посідають лідерську позицію: вони не потребують потужного комп'ютера поруч, відносно прості у розгортанні в навчальній аудиторії, мають помірну вартість. Сегмент AR-пристроїв довгий час обмежувався експериментальними розробками, однак сьогодні він представлений двома практично придатними лініями – Microsoft HoloLens 2, орієнтованою на корпоративних користувачів і професійне навчання, та Apple Vision Pro, що позиціонується як універсальний пристрій просторових обчислень. Паралельно масове поширення отримали рішення на основі смартфона: саме мобільний телефон із фронтальною або тильною камерою є нині найдоступнішим провідником у світ доповненої реальності [25; 30].

У таксономії змішаної реальності, запропонованій П. Мілграмом і Ф. Кішіно ще у 1994 році [46], перераховані пристрої розподіляються вздовж континууму «реальне – віртуальне» залежно від того, яка частка тривимірної сцени є комп'ютерно згенерованою (рис. 2.1). Саме ця класифікація лишається методологічною основою для відбору обладнання: вибір між VR-гарнітурою, HoloLens-типом окулярів і смартфоном із ARCore визначається не просто наявністю ресурсів, а характером дидактичного завдання. Якщо заняття передбачає цілковите занурення в модельоване середовище (наприклад, віртуальний центр обробки даних, у який студент «входить»), доцільною є VR. Якщо ж завдання полягає в накладанні цифрового шару на реальний об'єкт – наприклад, відображенні схеми підключень поруч із фізичним сервером, – перевагу має AR.



Рисунок 2.1. Континуум «реальне – віртуальне» та розподіл типів імерсивних технологій

Платформовий рівень охоплює універсальні рушії, на базі яких розробляється лівові частка освітнього VR/AR-контенту. Лідером залишається Unity, який поєднує відносно невисокий поріг входження, велику спільноту розробників та широкий набір готових рішень для імерсивного сегмента. Для завдань, що потребують фотореалістичного візуального ряду, частіше використовують Unreal Engine. Останніми роками помітну частку набули рушії з відкритим кодом – зокрема Godot із підтримкою OpenXR, – які знімають питання ліцензійної вартості та дають змогу студентам повноцінно вивчати архітектуру рушія за вихідним кодом. У сегменті AR поширення отримали спеціалізовані SDK: ARCore від Google для пристроїв на базі Android, ARKit від Apple для екосистеми iOS/iPadOS, Vuforia як платформи-незалежне рішення з потужним інструментарієм маркерного й безмаркерного розпізнавання. Для навчальних проєктів, що не потребують складної тривимірної графіки, раціональним вибором стає веб-стек на основі стандарту WebXR – A-Frame, Three.js, Babylon.js, – який дає змогу розгорнути імерсивні сцени безпосередньо в браузері без встановлення додаткового програмного забезпечення.

Інструментальний рівень становлять візуальні конструктори AR-контенту, розраховані на користувача без глибоких навичок програмування. До таких рішень належить сервіс Blippbuilder, методика використання якого в освітніх цілях ґрунтовно описана у посібнику С. Литвинової [25]. Аналогічні можливості надають ZapWorks, Reality Composer від Apple, Adobe Aero, EasyAR Studio. Ці

інструменти дозволяють викладачеві самостійно, без залучення команди розробників, створити навчальний AR-досвід для свого курсу – наприклад, оживити статичну схему з підручника, додати тривимірну модель деталі, записати коментар, що відтворюється під час наведення камери на певний маркер. Дотримуючись думки О. Пінчук і Л. Лупаренко [30], саме можливість викладача самостійно створювати цифровий контент з доповненою реальністю є тим чинником, який перетворює AR з маркетингової новинки на реальний дидактичний інструмент.

На контентному рівні сформувалася низка готових освітніх платформ, що пропонують не окремі інструменти, а цілісне навчальне середовище. У сегменті колаборативних VR-просторів виокремлюються Mozilla Hubs, ENGAGE XR, VirBELA, Glue, Frame VR. Вони надають викладачеві можливість створити віртуальний клас або конференц-простір, у який студенти заходять через гарнітуру або звичайний браузер. У сегменті AR/VR для середньої та професійної освіти помітну частку посіли CoSpaces Edu, Nearpod VR, Google Arts & Culture. Okремо стоять тренажерні рішення для інженерних і медичних спеціальностей – Labster, PhET Interactive Simulations, – які моделюють професійне середовище з високим рівнем деталізації.

Узагальнений порівняльний огляд ключових інструментів, що становлять практичний інтерес для викладача комп'ютерних дисциплін, подано в таблиці 2.1. Перелік не претендує на вичерпність, однак охоплює основні класи рішень, доступних в українських закладах вищої освіти на сучасному етапі.

Таблиця 2.1

Порівняння основних інструментів VR/AR, доцільних
для освітнього процесу ЗВО

Інструмент / платформа	Тип технології	Ліцензія для ЗВО	Основне призначення	Особливості застосування у навчанні
Unity (Unity Technologies)	VR, AR, MR	Безкоштовна Student/Personal версія	Універсальний рушій розробки імерсивних застосунків	Найширша екосистема навчальних ресурсів; низький поріг входження
Unreal Engine (Epic Games)	VR, MR	Безкоштовна для освіти	Розробка фотореалістичних VR-сцен	Доцільний для дисциплін, що вимагають високої візуальної якості
Godot Engine	VR (OpenXR)	MIT (вільний код)	Розробка застосунків без ліцензійних обмежень	Цінний для вивчення архітектури рушія за вихідним кодом
ARCore (Google)	AR	Безкоштовний SDK	Розпізнавання площин і маркерів на Android-пристроях	Мінімальні вимоги до обладнання – достатньо смартфона
ARKit (Apple)	AR	Безкоштовний SDK	Побудова AR-сцен у середовищі iOS / iPadOS	Висока якість трекінгу; обмежений платформою
Vuforia	AR	Освітня ліцензія, умовно-безкоштовна	Маркерне та безмаркерне розпізнавання зображень, об'єктів	Кросплатформна; добре інтегрується з Unity
A-Frame, Three.js, Babylon.js	WebXR	Вільний код (MIT, Apache)	Розгортання імерсивних сцен у браузері	Не потребує встановлення клієнтських застосунків

Інструмент / платформа	Тип технології	Ліцензія для ЗВО	Основне призначення	Особливості застосування у навчанні
Blippbuilder, ZapWorks	AR	Freemium / освітні тарифи	Створення AR-контенту без навичок програмування	Дозволяє викладачу самостійно оживляти друковані матеріали
CoSpaces Edu	VR, AR	Освітня ліцензія (платна)	Конструювання навчальних VR-сцен студентами	Інтеграція з блоковими середовищами програмування
Mozilla Hubs, ENGAGE XR	Колаб. VR	Mozilla Hubs – вільний код	Колаборативні віртуальні простори	Підтримують роботу з гарнітури та браузера одночасно

Примітка. Складено за результатами огляду офіційних матеріалів виробників і узагальненням практичних прикладів, наведених у дослідженнях [25; 30; 45; 47].

Для викладача комп'ютерних дисциплін особливий практичний інтерес становлять платформи, що підтримують викладання алгоритмізації, структур даних і мережевих технологій. До них належать візуалізатори алгоритмів у VR, що відображають роботу сортувань, дерев пошуку, графових алгоритмів у вигляді тривимірної динамічної сцени. У напрямі мережевих технологій активно розвиваються імерсивні аналоги Cisco Packet Tracer, які дозволяють студентові ходити поміж віртуальними комутаторами й маршрутизаторами, фізично «протягувати» кабелі, спостерігати рух пакетів. Для навчання основам хмарних обчислень використовуються тривимірні моделі центрів обробки даних, у яких студент відстежує шлях запиту від клієнта до сервера.

Варто окремо відзначити розвиток технологій доповненої реальності на основі QR-кодів і маркерних зображень. Як зауважує Г. Ткачук [42], AR-

інтеграція у підручники нового покоління відкриває можливість зв'язати друкований матеріал з інтерактивним цифровим шаром: наведення камери смартфона на спеціальне зображення у підручнику викликає відтворення відеороз'яснення, тривимірної моделі або посилання на зовнішній ресурс. Для викладання дисциплін комп'ютерного циклу такий підхід дозволяє компенсувати статичність паперового носія, зберігаючи при цьому зручність роботи з друкованим текстом.

Аналіз наявних інструментів свідчить, що порогом входження у VR/AR-розробку для закладів вищої освіти є не стільки технологічний, скільки організаційно-методичний чинник. Більшість інструментів розповсюджується на умовах безкоштовного або освітнього ліцензування, мають докладну документацію та спільноти розробників. Ключовим обмеженням стає брак готового україномовного контенту, орієнтованого саме на дисципліни комп'ютерного циклу української вищої школи. Це вимагає від викладача переходу від ролі споживача готових ресурсів до ролі проєктувальника власного цифрового контенту – передбачення, яке підтверджується досвідом впроваджень у педагогічних ЗВО України [18; 17].

2.3. Моделі інтеграції VR/AR у викладання дисциплін комп'ютерного циклу

Питання про те, як саме імерсивні технології вбудовуються у структуру навчального процесу, має кілька рівнів розгляду – від методологічного, пов'язаного з вибором концептуальної рамки, до конкретно-методичного, що стосується окремого заняття. На методологічному рівні найпродуктивнішою виявляється опора на дві взаємодоповнювальні моделі, які давно використовуються у теорії цифрового навчання: модель SAMR (Substitution – Augmentation – Modification – Redefinition) Р. Пуентедури та модель TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge) П. Мішри і М. Келера.

Перша модель дає змогу оцінити, якої глибини трансформації зазнає навчальний процес унаслідок упровадження імерсивної технології. На рівні

заміщення (Substitution) VR-модель відіграє роль традиційного наочного посібника – просто в об’ємі замість площинного зображення: студент так само спостерігає схему процесора, однак не в підручнику, а в гарнітурі. На рівні доповнення (Augmentation) з’являється функціональний приріст – можливість обертати модель, змінювати її масштаб, переглядати приховані шари. Рівень модифікації (Modification) передбачає суттєву перебудову завдання: студент не лише розглядає процесор, а й послідовно «збирає» його з компонентів, отримуючи зворотний зв’язок про коректність з’єднань. Нарешті, рівень переосмислення (Redefinition) відкриває принципово нові навчальні ситуації, неможливі без імерсивної технології, – наприклад, спільне проектування архітектури мережі групою студентів, що перебувають у різних містах, у спільному тривимірному просторі. Саме два останні рівні, на нашу думку, розкривають справжній дидактичний потенціал VR/AR, тоді як робота виключно на рівнях заміщення й доповнення рідко виправдовує організаційні витрати.

Модель ТРАСК, у свою чергу, спрямовує увагу на взаємозв’язок технологічних, педагогічних і предметних знань викладача. Успішне заняття з використанням VR/AR не зводиться ні до технологічної майстерності (уміння запустити гарнітуру й додаток), ні до методичної майстерності (уміння організувати заняття), ні до предметної компетентності окремо. Результат визначається саме перетином усіх трьох складових – здатністю викладача бачити, яка технологія органічно відповідає конкретному предметному змісту в межах обраної педагогічної стратегії. Цей висновок узгоджується з результатами досліджень українських авторів, які наголошують, що готовність викладача до використання імерсивних технологій формується комплексно й не зводиться до опанування технічного інструментарію [18; 47].

На конкретно-методичному рівні можна виділити кілька типових моделей інтеграції VR/AR у викладання дисциплін комп’ютерного циклу, які різняться за місцем імерсивного компонента в структурі курсу й за характером навчальної діяльності студента (рис. 2.2).

Перша модель – модель віртуальної лабораторної роботи. Вона передбачає заміщення частини традиційних лабораторних занять їхніми імерсивними аналогами. Студент виконує послідовність дій у тривимірному середовищі, що імітує реальне обладнання: наприклад, збирає комп'ютер із компонентів, конфігурує мережу з віртуальних комутаторів, розгортає кластер серверів. Перевага такого підходу – відсутність ризику пошкодити дороге обладнання, можливість повторювати експеримент довільну кількість разів, відносна незалежність від кількості наявних фізичних робочих місць. Обмеження полягає в тому, що віртуальне середовище не повною мірою передає тактильний досвід і завжди залишається спрощеною моделлю реальності [19; 48].

Друга модель – модель AR-супроводу практичного заняття з реальним обладнанням. Тут доповнена реальність виступає не заміником, а підсилювачем традиційного практикуму: навівши камеру смартфона або планшета на фізичний пристрій, студент отримує контекстну підказку – позначення роз'ємів, анімацію процесу, покрокову інструкцію. Така модель є особливо доречною на перших етапах освоєння обладнання, коли студент ще не запам'ятав розташування елементів і послідовність операцій. Дидактичну цінність такого рішення підтверджують дослідження українських науковців, які вказують на ефект зростання мотивації й зменшення страху перед складною технікою у студентів, що працюють з AR-супроводом [39; 42].

Третя модель – модель імерсивної ілюстрації абстрактного змісту. Її доречно застосовувати при вивченні тем, зміст яких принципово не має фізичного втілення: алгоритми, структури даних, модель OSI, архітектура пам'яті, криптографічні протоколи. У тривимірному просторі абстрактні об'єкти перетворюються на візуальні метафори з просторовими характеристиками, які студент може фізично обходити, збільшувати, розбирати на складові. Ця модель особливо цінна для студентів з переважанням візуально-просторового типу сприйняття, однак вимагає ретельного методичного супроводу, щоб образ не заступив зміст поняття.

Четверта модель – модель колаборативного віртуального простору. Група студентів підключається до спільної тривимірної сцени, у якій вони можуть одночасно працювати над проектом: проектувати архітектуру застосунку, моделювати інфраструктуру, проводити код-рев'ю. Викладач виступає у ролі фасилітатора, спостерігаючи за роботою груп і при потребі втручаючись. Саме ця модель найповніше реалізує SAMR-рівень переосмислення, оскільки створює такий формат роботи, який без імерсивних технологій неможливий або вкрай громіздкий. Колаборативний формат також цінний як тренажер «м'яких» компетентностей – умінь аргументувати, домовлятися, ділити зони відповідальності – на матеріалі, близькому до реального професійного середовища.

П'ята модель – модель VR-симулятора професійної діяльності. Вона застосовується переважно на завершальних етапах підготовки, коли студент уже опанував базовий зміст і готовий до відпрацювання комплексних сценаріїв. Прикладами можуть бути симулятори роботи адміністратора центру обробки даних, спеціаліста з кібербезпеки, керівника проектної команди. У такій моделі імерсивне середовище імітує не окремий об'єкт, а цілісну професійну ситуацію з усією її часовою динамікою, множинністю ролей, неочевидними причинно-наслідковими зв'язками. Найближче до цієї моделі підходять VR-тренажери, описані в роботах, присвячених застосуванню віртуальної реальності у професійній підготовці майбутніх інженерів [19; 47].

Шоста модель – модель перевернутого класу з імерсивною складовою. Студент знайомиться з теоретичним матеріалом заздалегідь у VR/AR-середовищі (переглядає тривимірні моделі, інтерактивні демонстрації, коротку відеолекцію в імерсивному форматі), а на очному занятті обговорює з викладачем і однокурсниками складні моменти, виконує проблемні завдання, розв'язує кейси. Така модель узгоджується із загальною тенденцією до комбінованих форм навчання у вищій школі [44] і раціонально використовує обмежений час аудиторних занять для найскладніших видів діяльності.

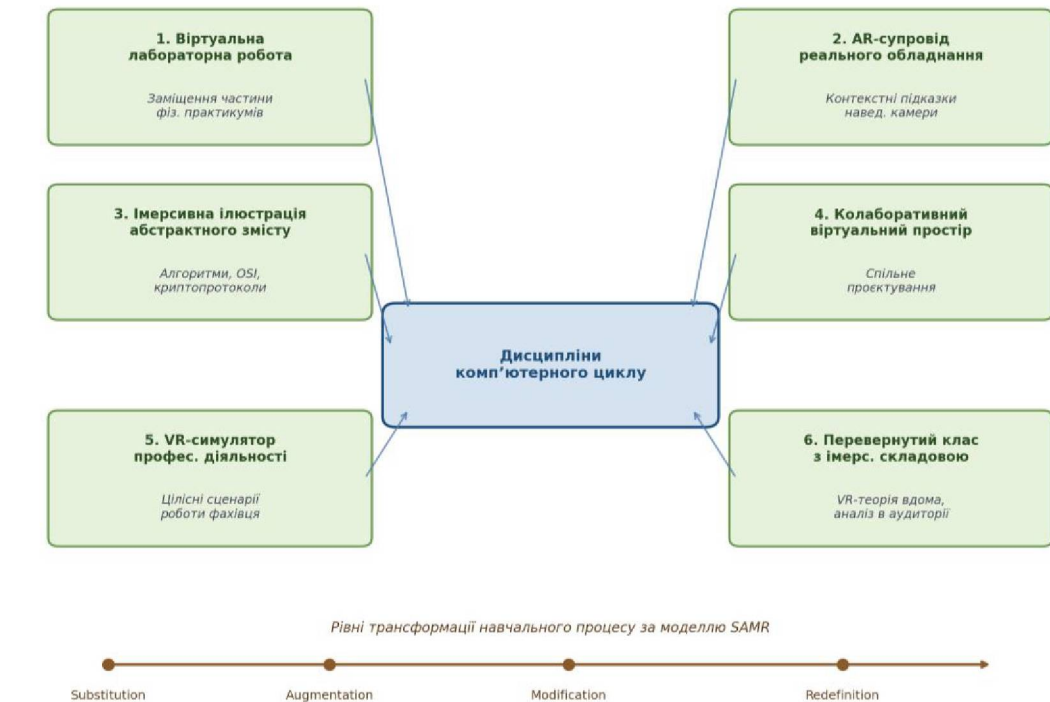


Рисунок 2.2 Моделі інтеграції VR/AR у викладання дисциплін комп'ютерного циклу

Наведені моделі не конкурують між собою, а покривають різні дидактичні потреби. Оптимальною стратегією для викладача комп'ютерних дисциплін є системне використання кількох моделей протягом навчального року з поступовим нарощуванням складності – від простих AR-супроводів окремих лабораторних робіт до повноцінних колаборативних проєктів у спільному віртуальному просторі. Така послідовність дає змогу і викладачеві, і студентам поступово набути необхідних технологічних та методичних навичок, уникнути перевантаження на старті й вибудувати стійку методичну культуру роботи з імерсивними технологіями.

2.4. Організаційно-педагогічні умови реалізації навчання з використанням імерсивних технологій

Успішність упровадження VR/AR в освітній процес закладу вищої освіти визначається не самим фактом наявності обладнання, а збігом кількох організаційно-педагогічних умов, кожна з яких є необхідною, але окремо жодна не є достатньою. На підставі аналізу досвіду українських і закордонних ЗВО [7;

19; 47] доцільно виділити шість таких умов: матеріально-технічну, методичну, кадрову, змістово-інформаційну, нормативно-організаційну та соціально-психологічну.

Матеріально-технічна умова охоплює забезпеченість навчального процесу необхідним апаратним і програмним забезпеченням. Ідеться не лише про самі гарнітури, а й про супровідну інфраструктуру: достатню за потужністю комп'ютерну техніку, стабільний бездротовий зв'язок, виділений навчальний простір з урахуванням ергономічних вимог (не менш ніж 2×2 метри вільної площі на кожен гарнітуру), системи зарядження, засоби гігієнічного оброблення пристроїв після кожного користувача. Практика показує, що заощадження на будь-якому з цих компонентів зводить нанівець ефект від покупки самих гарнітур: студенти, які змушені користуватися пристроями по черзі тривалими групами, втрачають темп навчальної діяльності, а нестача місця провокує ризик травмування.

Методична умова передбачає наявність якісного методичного забезпечення, здатного перетворити технологічні можливості на педагогічну реальність. До складу такого забезпечення належать робочі програми з інтегрованими VR/AR-елементами, методичні розробки окремих занять, сценарії лабораторних робіт, інструктивні матеріали для студентів, критерії оцінювання результатів навчання в імерсивному середовищі. Відсутність системного методичного супроводу призводить до того, що гарнітура використовується епізодично, як демонстраційний ефект, а не як повноцінний дидактичний засіб. Як справедливо наголошує В. Боса, імерсивні методи навчання мають глибоку дидактичну логіку, яка потребує ретельного методичного опрацювання – інакше занурення перетворюється на розвагу без освітнього ефекту [6].

Кадрова умова є однією з найскладніших для реалізації. Вона охоплює технологічну готовність викладача працювати з VR/AR, його методичну компетентність у галузі імерсивного навчання, а також – що важливо – психологічну готовність виходити за межі усталених форм проведення занять. Дослідження українських авторів [20; 31] фіксують значний розрив між

декларативною готовністю викладачів використовувати новітні технології та фактичним рівнем операційних умінь. Подолання цього розриву потребує системи підвищення кваліфікації, що передбачає не одноразові семінари, а тривалу взаємодію з практиком-наставником і поступове вбудовування нових інструментів у власну методичну систему викладача.

Змістово-інформаційна умова пов'язана з доступністю й актуальністю VR/AR-контенту, адаптованого до конкретного навчального курсу. Як уже зазначалося у попередньому підрозділі, готового україномовного контенту для дисциплін комп'ютерного циклу нині недостатньо, тому частина викладачів змушена створювати його самостійно або адаптувати іноземні розробки. Це вимагає, з одного боку, часу й ресурсу, з іншого – гнучкої моделі інтелектуальної власності на створений контент, яка забезпечувала б автору розумну частку прав, одночасно уможливаючи обмін напрацюваннями між викладачами різних ЗВО. Без вирішення цього питання кожен заклад змушений ізольовано «винаходити велосипед», що суттєво гальмує поширення імерсивних технологій в освіті.

Нормативно-організаційна умова визначається узгодженням використання VR/AR з чинною нормативною базою навчального процесу. Ідеться про відображення імерсивних занять у робочих навчальних планах, розрахунок педагогічного навантаження на підготовку такого заняття, облік годин у силабусах, узгодження з вимогами стандартів вищої освіти до формування програмних результатів навчання. Без такого узгодження імерсивне заняття залишається неформальною ініціативою окремого викладача, що суттєво обмежує його масштабованість і сталість. Практично вирішення цього питання пов'язане з розробленням локальних нормативних документів закладу освіти, що регламентують порядок проведення занять з використанням VR/AR, відповідальність учасників і вимоги до їхнього документального оформлення.

Соціально-психологічна умова охоплює ставлення студентів, викладачів і адміністрації ЗВО до імерсивних технологій, рівень довіри до них як до освітнього засобу, готовність змінювати звичні практики. Досвід упровадження

показує, що найвищий опір, як не парадоксально, виникає не в студентській спільноті (яка здебільшого ставиться до VR/AR із зацікавленням), а на рівні проміжної ланки – викладачів з великим стажем і частини адміністрації. Робота з цією умовою потребує обережної комунікаційної стратегії, яка спирається на демонстрацію конкретних освітніх результатів, а не на декларативні аргументи про «інноваційність» технології.

Окремого розгляду потребує питання системного балансу між імерсивними й традиційними формами навчання. Захоплення VR/AR не повинне витіснити інші методи, педагогічна доцільність яких перевірена тривалим досвідом. Оптимальною є гібридна модель, у якій імерсивний компонент органічно доповнює лекції, семінари, лабораторні роботи, проєктну роботу, самостійне опрацювання літератури. Саме таку комплексність відзначають дослідники комбінованого (blended) навчання як обов'язкову ознаку сталого освітнього результату [44].

Сукупність перелічених умов утворює, по суті, систему, елементи якої взаємопов'язані. Недотримання однієї з них здатне нівелювати ефект інших – наприклад, навіть за ідеального технічного забезпечення й готовності викладачів відсутність методичного супроводу робить використання VR/AR поверховим. Звідси випливає практичний висновок: планування впровадження імерсивних технологій у навчальний процес ЗВО має бути цілісним, охоплювати всі перераховані умови одночасно й передбачати поступове нарощування кожної з них відповідно до стратегії розвитку закладу.

2.5. Методичні ризики, технічні бар'єри та обмеження використання VR/AR у закладах вищої освіти

Попри широкі дидактичні можливості, імерсивні технології мають низку обмежень, ігнорування яких може не лише знизити ефективність навчання, а й завдати шкоди здоров'ю та мотивації студентів. Тверезий аналіз ризиків – необхідна умова професійного застосування VR/AR у вищій школі. Для впорядкування обговорення доцільно згрупувати ризики й обмеження у п'ять

категорій: методичні, технічні, ергономічно-медичні, психологічні та етико-правові.

Методичні ризики пов'язані передовсім із небезпекою поверхневого навчання. Імерсивне середовище створює сильне емоційне враження, яке у студента може бути помилково сприйняте як глибоке засвоєння матеріалу. Дослідження показують [19; 49], що яскравість досвіду в VR часто не корелює з якістю довготривалого запам'ятовування, якщо заняття не завершено рефлексивним етапом – обговоренням, аналізом, закріпленням понять у вербальній формі. Звідси випливає принципова вимога: будь-яка імерсивна активність має бути дидактично «обрамлена» – передбачати попередню настанову, саме занурення та післядіяльнісну рефлексію. Пропуск будь-якої з цих ланок знижує навчальний ефект до рівня розважального враження.

Другим методичним ризиком є змішування мети й засобу. Подекуди в практиці спостерігається зсув від питання «чого саме я навчаю студента?» до питання «як застосувати VR на цьому занятті?», унаслідок чого технологія стає самоціллю. Дослідники імерсивного навчання у вищій школі J. Radianti та співавтори [49], проаналізувавши значний масив публікацій, підкреслюють, що переважна більшість навчальних VR-проектів не має чітко визначеного теоретичного підґрунтя й не містить систематичної оцінки навчальних результатів. Це застереження повністю актуальне й для української ситуації: перед упровадженням імерсивної технології викладач має сформулювати конкретні навчальні цілі, яких без неї досягти неможливо або складно, і запланувати, як саме буде виміряно досягнення цих цілей.

Третій методичний ризик – нерівномірність залучення студентів. У групі, де одна-дві гарнітури обслуговують усіх учасників по черзі, легко виникає ефект пасивного споглядання: поки один студент «занурений», решта чекає, швидко втрачаючи інтерес і вимикаючись із заняття. Подолання цього ризику вимагає продуманої організації групової роботи: поєднання індивідуального занурення з роботою у парах на звичайних комп'ютерах, чергуванням ролей, використанням

«глядацького режиму», коли дії того, хто в гарнітурі, транслюються на екран для решти групи з коментарями викладача.

Технічні бар'єри складаються з кількох складових. Найбільш очевидна – вартість обладнання: навіть бюджетна автономна гарнітура коштує для університету суттєвих коштів, а повноцінне лабораторне облаштування з десятка пристроїв із супутньою інфраструктурою потребує інвестицій, співмірних з оновленням класичного комп'ютерного класу. Для більшості українських ЗВО, що функціонують в умовах обмеженого бюджетного фінансування й додаткових викликів воєнного часу, це вагомий стримувальний чинник [14; 42].

Другою складовою технічних бар'єрів є фрагментованість програмного забезпечення. Різні гарнітури підтримують різні екосистеми застосунків: освітній додаток, створений для Meta Quest, не обов'язково запрацює на Pico чи HTC. Відкритий стандарт OpenXR покликаний пом'якшити цю проблему, однак на практиці сумісність між платформами залишається неповною. Це призводить до вендор-залежності: обравши певну марку гарнітур, заклад освіти фактично прив'язує себе до відповідної програмної екосистеми на роки наперед.

Третя складова – швидке старіння обладнання. Цикл оновлення моделей гарнітур становить два-три роки, що наближається до строків підготовки бакалавра. Ризик того, що студент, який навчався на пристроях одного покоління, на робочому місці зіткнеться з принципово іншим апаратним забезпеченням, є цілком реальним. Частково це компенсується тим, що базові методичні принципи імерсивного навчання переносяться між поколіннями пристроїв, однак технічна сторона роботи з новою гарнітурою завжди потребуватиме додаткового часу на освоєння.

Ергономічно-медичні обмеження становлять особливу категорію, оскільки стосуються здоров'я користувачів. Найвідомішим ефектом тривалого перебування у VR є кіберхвороба (cybersickness) – комплекс симптомів, що включає нудоту, запаморочення, дезорієнтацію, головний біль. Вона зумовлена невідповідністю між візуальним сигналом про рух і даними вестибулярного апарату, що залишається нерухомим. Окремі студенти переносять такий досвід

добре, інші зазнають дискомфорту вже після кількох хвилин. Це означає, що методика імерсивного заняття має передбачати можливість альтернативної участі для студентів, у яких виникає кіберхвороба, – наприклад, через перегляд «глядацького екрана» або роботу з 2D-версією середовища.

До ергономічних обмежень належать також стомлюваність очей при тривалому використанні гарнітури, потреба у корекції для носіїв окулярів, гігієнічні питання (гарнітура є пристроєм, що контактує з обличчям, і потребує регулярного оброблення). Міжнародна практика виробила низку рекомендацій: тривалість одного імерсивного сеансу – не більше 15–20 хвилин для початківців і до 30–40 хвилин для досвідчених користувачів, обов’язкові перерви, освітлення в приміщенні, що дає змогу безпечно зняти гарнітуру. Ці рекомендації мають бути формалізовані у локальних нормативних документах ЗВО.

Психологічні обмеження виявляються передусім у неоднорідності реакцій студентів на імерсивний досвід. Значна частина користувачів сприймає його з ентузіазмом, однак існує меншість, для якої занурення викликає дискомфорт, тривожність, відчуття втрати контролю. Цей феномен потребує уваги викладача: примушування до використання гарнітури неприпустиме, як і публічна реакція на труднощі студента з адаптацією. Гнучка альтернатива має бути інтегрована в дизайн заняття із самого початку.

Окремий психологічний ризик пов’язаний з ефектом «втечі у віртуальне», описаним у дослідженнях імерсивних середовищ. Для студентів, які вже мають схильність до надмірного використання комп’ютерних ігор, імерсивне навчальне середовище може виявитися додатковим тригером зловживання. Саме тому методика використання VR у навчальному процесі має передбачати розумні часові межі, а викладач – відстежувати динаміку взаємодії студентів із цифровими засобами не лише у межах свого предмета.

Етико-правові обмеження охоплюють питання захисту персональних даних, конфіденційності біометричної інформації (гарнітури здатні фіксувати рухи очей, тіла, голосові дані), захисту авторського права на створений студентом контент. Сучасні VR-платформи збирають значний обсяг

поведінкової телеметрії, використання якої регулюється, з одного боку, політиками самих виробників, з іншого – нормами національного й міжнародного законодавства про захист даних (зокрема Закону України «Про захист персональних даних» та GDPR для міжнародних взаємодій). Використання VR/AR у навчальному процесі передбачає інформовану згоду учасників і чітку політику щодо зберігання й оброблення даних, особливо коли йдеться про неповнолітніх студентів закладів фахової передвищої освіти.

До етичних ризиків належить і проблема цифрової нерівності. Студенти з різним рівнем матеріального забезпечення мають різний доступ до якісних пристроїв поза межами закладу освіти, тому вимога виконувати імерсивні завдання самостійно вдома може поставити частину студентів у нерівне становище. Відповідальний підхід вимагає або повного забезпечення всіх необхідних ресурсів у межах закладу, або гнучких альтернатив для виконання завдання без спеціалізованого обладнання.

Підсумовуючи огляд ризиків і обмежень, доцільно наголосити: жодне з перелічених обмежень не є підставою для відмови від імерсивних технологій у вищій школі. Кожне з них є підставою для продуманого, методично вивіреного й відповідального використання. Зріле впровадження VR/AR – це не максимізація імерсії, а пошук розумної міри, у якій технологія посилює навчальний процес, не створюючи нових проблем більших за ті, що вона розв’язує. Саме такий зважений підхід закладено в основу авторської методики, що розглядається у третьому розділі роботи.

Висновки до розділу 2

Проведений у другому розділі аналіз дозволяє сформулювати кілька взаємопов’язаних висновків, які створюють методологічну основу для подальшої розробки авторської методики.

По-перше, специфіка професійної підготовки майбутніх фахівців комп’ютерного профілю визначається поєднанням високого темпу оновлення предметного змісту, значної частки абстрактних понять, вимоги до практичної

зрілості випускника й зростання ваги командних проєктних форм роботи. Такий профіль освітніх завдань створює реальний запит на технології, які здатні візуалізувати невидиме, імітувати реальне професійне середовище без ресурсних і безпекових обмежень і забезпечити повноцінну колаборацію учасників незалежно від їхнього місцеперебування.

По-друге, сучасна екосистема VR/AR-інструментів є чотирирівневою: від апаратних пристроїв через рушії розробки до інструментальних конструкторів контенту й готових освітніх платформ. Для викладача комп'ютерних дисциплін практичне значення має не сам факт різноманіття засобів, а вміння обирати серед них ті, що методично відповідають конкретному дидактичному завданню. Визначальним орієнтиром вибору залишається континуум «реальне – віртуальне» П. Мілграма і Ф. Кішіно, який дозволяє раціонально співвіднести характер завдання з класом технології.

По-третє, інтеграція імерсивних технологій у викладання дисциплін комп'ютерного циклу може спиратися на кілька взаємодоповнювальних моделей: віртуальна лабораторна робота, AR-супровід роботи з реальним обладнанням, імерсивна ілюстрація абстрактного змісту, колаборативний віртуальний простір, VR-симулятор професійної діяльності та перевернутий клас з імерсивною складовою. Найглибший дидактичний ефект дають моделі, що реалізують рівні модифікації та переосмислення за SAMR, – саме вони створюють навчальні ситуації, принципово недоступні без імерсивних технологій.

По-четверте, стале впровадження VR/AR у навчальний процес ЗВО визначається сукупністю шести взаємопов'язаних організаційно-педагогічних умов – матеріально-технічної, методичної, кадрової, змістово-інформаційної, нормативно-організаційної та соціально-психологічної. Ці умови утворюють систему, у якій недотримання однієї з ланок здатне нівелювати ефект усіх інших. Практичне планування впровадження має бути комплексним і передбачати синхронне нарощування всіх шести складових.

По-п'яте, використання імерсивних технологій пов'язане з низкою ризиків і обмежень, які доцільно згрупувати у методичну, технічну, ергономічно-медичну, психологічну та етико-правову категорії. Жодне з цих обмежень не є фатальним для ідеї імерсивного навчання, однак кожне вимагає цілеспрямованої уваги з боку викладача й керівництва закладу освіти. Ключовою умовою педагогічної відповідальності є планування імерсивного заняття як методично завершеного циклу «настанова – занурення – рефлексія» з урахуванням індивідуальних особливостей студентів.

Сукупно сформульовані висновки створюють необхідну теоретико-методичну базу для розроблення авторської методики використання VR/AR у навчанні студентів комп'ютерного профілю, концептуальна логіка якої розкривається у наступному розділі.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКА ВИКОРИСТАННЯ ВІРТУАЛЬНОЇ ТА ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ У НАВЧАННІ СТУДЕНТІВ ТА ЇЇ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА

3.1. Мета, завдання та концептуальна логіка побудови авторської методики

Теоретичні положення, обґрунтовані у попередніх розділах, створили змістовий фундамент для розроблення цілісної методики. Перехід від аналізу до практичного конструювання вимагає чіткого формулювання мети, з якої випливають завдання, принципи, структурні компоненти – усе те, що перетворює сукупність ідей на методичне ціле, придатне до впровадження в конкретних умовах ЗВО.

Мету методики сформульовано як формування у студентів спеціальності F7 «Комп'ютерна інженерія» за освітньо-професійною програмою «Цифровий та веб-дизайн» готовності до свідомого, методично доцільного й ергономічно безпечного застосування імерсивних технологій у власній майбутній професійній діяльності у сфері цифрового та веб-дизайну. У такому формулюванні свідомо зміщено акцент із суто технічних умінь на професійну свідомість: випускник має бути здатним не просто користуватися VR/AR-інструментами, а приймати обґрунтовані методичні рішення – коли ця технологія потрібна, а коли традиційні засоби залишаються ефективнішими.

Досягнення мети передбачає розв'язання шести взаємопов'язаних завдань. Перше – забезпечити системне засвоєння студентами теоретичних основ імерсивних технологій, їх таксономії, дидактичного потенціалу та обмежень. Друге – сформувати практичні вміння роботи з основними інструментами VR/AR-розробки та створення навчального контенту. Третє – виробити навички проєктування навчальних занять з інтегрованим VR/AR-компонентом на основі обґрунтованого вибору моделі інтеграції. Четверте – розвинути здатність до критичного оцінювання результатів імерсивного навчання, зокрема розуміння меж доцільності технології та ризиків її застосування. П'яте – сформувати

мотивацію до подальшого професійного розвитку у сфері цифрових освітніх технологій. Шосте – розвинути рефлексивні вміння, необхідні для самостійного аналізу власного педагогічного досвіду з використання імерсивних засобів.

Концептуальна логіка побудови методики спирається на п'ять методологічних засад. Перша – конструктивістський підхід, відповідно до якого знання не передаються студентові в готовому вигляді, а вибудовуються ним самим у процесі активної взаємодії з навчальним середовищем [37]. Імерсивні технології природно відповідають цій логіці: вони створюють середовище, у якому навчання відбувається через діяльність, а не через пасивне сприйняття. Друга – діяльнісний підхід, який розглядає професійну компетентність як систему здатностей, що формуються у предметно-практичній діяльності. Третя – модель SAMR Р. Пуентедури, яка в попередньому розділі слугувала інструментом аналізу, а в авторській методиці перетворюється на проєктувальний орієнтир: навчальні ситуації свідомо проєктуються з розрахунком на досягнення рівнів модифікації та переосмислення. Четверта – модель ТРАСК, що спрямовує розвиток інтегральної компетентності студента в перетині технологічного, педагогічного та предметного знання. П'ята – компетентнісний підхід, відображений у чинних стандартах вищої освіти України й орієнтований на формування здатності розв'язувати складні педагогічні завдання [40].

На перетині цих методологічних засад сформульовано п'ять принципів побудови методики. Принцип пропедевтичної градації імерсії передбачає поступове зростання глибини занурення – від найпростіших AR-супроводів друкованих матеріалів до повноцінних колаборативних VR-просторів – у міру накопичення досвіду і у студентів, і у викладача. Принцип дидактичного обрамлення занурення вимагає, щоб будь-яка імерсивна активність супроводжувалася попередньою настановою та післядіяльнісною рефлексією, без яких яскравий досвід не перетворюється на системне знання [49]. Принцип проблемності й суб'єктності означає, що студент не є лише споживачем готового VR-контенту: він ставиться у позицію автора, що проєктує власні навчальні

сцени. Принцип ергономічної безпечності регламентує тривалість занять, перерви, гігієнічні процедури, альтернативні форми участі для студентів із чутливістю до кіберхвороби. Принцип гнучкої альтернативності гарантує, що жоден студент не буде виключений з навчальної діяльності через технологічні чи фізіологічні обставини – кожний імерсивний сценарій має адекватну 2D-альтернативу.

Структурно методика складається з п'яти взаємопов'язаних компонентів. Цільовий компонент формалізує мету й очікувані результати навчальної діяльності. Змістовий компонент описує, які саме теми навчальних дисциплін переводяться в імерсивний формат і з якою дидактичною метою. Процесуально-технологічний компонент визначає послідовність дій викладача і студентів, обрані моделі інтеграції та конкретні інструменти. Діагностично-результативний компонент забезпечує оцінювання рівня сформованості готовності за визначеними критеріями. Рефлексивно-корекційний компонент створює зворотний зв'язок, що дає змогу коригувати методику з урахуванням результатів її застосування. Цілісна концептуальна модель методики відображена на рис. 3.1.



Рисунок 3.1 Концептуальна модель методики використання VR/AR у навчанні студентів спеціальності

F7 «Комп'ютерна інженерія» (ОПП «Цифровий та веб-дизайн»)

Такий системний погляд на методику відповідає загальним вимогам до педагогічних нововведень, зафіксованим у науковій літературі [3; 33]: кожен нововведений елемент має місце у структурі й функціональне навантаження, а не є декоративним додатком до усталеної практики. Саме системність, а не набір локальних прийомів, становить, на нашу думку, головну відмінність пропонованої методики від низки поширених практик епізодичного використання VR/AR у вищій школі.

3.2. Змістово-технологічне забезпечення методики використання VR/AR у процесі професійної підготовки

Змістове наповнення методики визначається освітньо-професійною програмою спеціальності та її логікою формування професійних компетентностей. Відправним питанням при проєктуванні є не «де ми можемо використати VR/AR?», а «які саме навчальні завдання розв'язуються цією технологією ефективніше, ніж традиційними засобами?». Такий зворотний хід думки дозволяє уникнути ризику технологічної самоцілі, про який ішлося у підрозділі 2.5.

Аналіз навчального плану ОПП «Цифровий та веб-дизайн» дав змогу виокремити сім дисциплін і модулів, у яких імерсивна складова має найбільшу дидактичну цінність. Їх вибір ґрунтувався на трьох критеріях: наявність складного для візуалізації змісту; потенціал для розбудови практичної діяльності студента; можливість реалізації хоча б однієї з шести моделей інтеграції, описаних у підрозділі 2.3. Результати співвіднесення дисциплін, тем, моделей інтеграції та ключових інструментів відображено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Змістово-технологічне співвіднесення дисциплін, моделей інтеграції та інструментів VR/AR у межах авторської методики

Навчальна дисципліна / модуль	Типові теми, що потребують візуалізації	Обрана модель інтеграції	Ключові інструменти VR/AR
Архітектура комп'ютерів та периферія	Будова процесора, взаємодія шин, адресація пам'яті	Імерсивна ілюстрація абстрактного змісту	Unity, Blippbuilder, мобільні AR-додатки
Комп'ютерні системи і мережі	Модель OSI, маршрутизація, рух пакетів	Віртуальна лабораторна робота + імерсивна ілюстрація	Meta Quest, Unity, WebXR (A-Frame)
Технічне обслуговування ЕОМ	Розбирання, монтаж, конфігурація BIOS/UEFI	AR-супровід роботи з реальним обладнанням	ARCore, ARKit, Blippbuilder
Алгоритми і методи обчислень	Сортування, дерева, графові алгоритми	Імерсивна ілюстрація + перевернутий клас	WebXR-візуалізатори, Three.js
Основи захисту інформації	Моделювання атак, соціальна інженерія	VR-симулятор професійної діяльності	Unity, Unreal Engine, спеціалізовані тренажери
Web програмування, UI/UX дизайн	Архітектура вебзастосунку, компоненти інтерфейсу, потоки даних	Колаборативний віртуальний простір	Mozilla Hubs, Figma, Frame VR
3D-моделювання та візуалізація	Тривимірне моделювання, текстурування, композиція сцени	Перевернутий клас з імерсивною складовою	Blender, Adobe Aero, CoSpaces Edu

Примітка. Розроблено на основі освітньо-професійної програми спеціальності та огляду інструментальних засобів (див. таблицю 2.1).

Перше змістове ядро методики формують теми, пов'язані з вивченням архітектури комп'ютерних систем і операційних систем. Традиційно ці теми подаються через статичні схеми у підручниках або двовимірні анімації, що не повною мірою передають об'ємну логіку взаємодії компонентів. Використання

моделі імерсивної ілюстрації абстрактного змісту дає змогу «зайти» всередину процесора, простежити шляхом адресної шини конкретний запит, порівняти рух даних в архітектурах з різним типом конвеєра. Такі сцени розробляються на базі Unity; для аудиторних занять без гарнітур аналогічний контент доступний через мобільний додаток з AR-маркерами, створений у Blippbuilder [25].

Друге змістове ядро – комп'ютерні системи і мережі. Модель OSI, принципи маршрутизації, формування кадрів і пакетів – класичний приклад змісту, який краще сприймається у тривимірному просторі, ніж у вигляді схем. У межах методики розроблено VR-лабораторну роботу «Шлях пакета», у якій студент у ролі мережевого адміністратора «проводить» пакет через серію віртуальних комутаторів і маршрутизаторів, спостерігаючи за перетвореннями на кожному рівні моделі OSI. Доповнюючим засобом виступає WebXR-сцена на базі A-Frame, яка дає змогу виконати задачу з будь-якого сучасного браузера без встановлення додаткового ПЗ.

Третє ядро – технічне обслуговування персонального комп'ютера. Тут домінує модель AR-супроводу роботи з реальним обладнанням: студент розбирає системний блок, навівши камеру смартфона на компоненти, і отримує контекстні підказки – назви елементів, послідовність дій, типові помилки. Створення такого контенту доступне самому викладачеві через Blippbuilder або ZapWorks без залучення розробників, що узгоджується з ідеєю викладача-автора цифрового контенту, обґрунтованою в роботах С. Литвинової [25] та О. Пінчук і Л. Лупаренко [30].

Четверте ядро – алгоритми і методи обчислень. Ця галузь традиційно ілюструється двовимірними анімаціями, однак сприйняття алгоритмів, що оперують багатовимірними структурами (дерева, графи, хеш-таблиці з колізіями), значно покращується при переведенні у тривимірний простір. У межах методики використовуються WebXR-візуалізатори, інтегровані в LMS-платформу закладу освіти. Саме тут активно застосовується модель перевернутого класу: студент знайомиться з тривимірною ілюстрацією

алгоритму самостійно до заняття, а в аудиторії аналізує його разом із викладачем, розв'язує проблемні задачі [44].

П'яте ядро – основи захисту інформації. Для цієї дисципліни виправданим є застосування моделі VR-симулятора професійної діяльності, зокрема відпрацювання реакції на інциденти кібербезпеки в умовах максимально наближеного до реального кіберцентру. Спеціалізовані VR-тренажери пропонують цілісні сценарії, у яких студент має прийняти серію рішень у реальному часі. Розроблення таких сценаріїв з нуля потребує значних ресурсів, тому в межах авторської методики передбачено гнучкий варіант: адаптація доступних рішень з відкритих освітніх колекцій із власним методичним супроводом.

Шосте ядро – Web програмування та UI/UX дизайн. Тут реалізується модель колаборативного віртуального простору: групи студентів збираються у спільній сцені (Mozilla Hubs, Frame VR) для проєктування архітектури вебзастосунку та інтерфейсів, код-рев'ю, обговорення технічних рішень. Такий формат формує водночас предметні й «м'які» компетентності, описані у підрозділі 2.1. Досвід українських дослідників підтверджує перспективність саме колаборативних форм імерсивного навчання у підготовці IT-фахівців [28; 48].

Сьоме ядро – 3D-моделювання та візуалізація – є центральним для художньо-проєктної складової підготовки. Студент опановує тривимірне моделювання об'єктів, текстурування й композицію сцени, проєктуючи власні цифрові дизайнерські об'єкти в імерсивному середовищі: формує модель, переглядає її у природному обсязі, доопрацьовує з урахуванням просторового сприйняття. Саме в межах цієї дисципліни методика реалізує рівень переосмислення за SAMR – студент не просто вивчає, як працюють імерсивні технології, а набуває досвіду проєктування цифрових продуктів, у яких ці технології незамінні.

Процесуальна сторона методики передбачає використання низки форм організації навчальної діяльності. Поряд з традиційними лекціями і практичними

заняттями впроваджуються майстерні VR/AR-проектування (студенти протягом двох пар працюють над створенням власного AR-сценарію), імерсивні семінари (обговорення теми відбувається у віртуальному просторі), проєктні тижні (команди студентів розробляють цілісний навчальний продукт з VR/AR-елементом). Така різноманітність форм дає змогу забезпечити всі компоненти готовності, визначені в концептуальній моделі.

3.3. Критеріальний апарат оцінювання ефективності методики

Оцінювання ефективності методики потребує чіткого критеріального апарату, який давав би змогу не лише зафіксувати кінцевий результат, а й простежити динаміку формування кожного компонента готовності. Такий апарат має бути водночас теоретично обґрунтованим, технологічним у застосуванні та чутливим до специфіки досліджуваного феномена.

За результатами аналізу наукової літератури [20; 29; 31] та з урахуванням п'ятикомпонентної структури методики, описаної у підрозділі 3.1, виділено чотири компоненти готовності до використання VR/AR-технологій, що підлягають діагностичному вимірюванню: когнітивний, діяльнісно-практичний, мотиваційний і рефлексивний. Кожен із них має власну систему показників і засобів діагностики, подану в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Критеріальна матриця оцінювання готовності студентів до використання VR/AR-технологій

Компонент готовності	Показники	Засоби діагностики
Когнітивний	Обсяг і системність знань про VR/AR-технології, їх таксономію, дидактичний потенціал та обмеження	Тестування закритого і відкритого типу (25 завдань); письмова контрольна робота; аналіз виконаних есе
Діяльнісно-практичний	Уміння добирати імерсивну технологію під навчальне завдання, розробляти AR-контент, проєктувати та	Експертне оцінювання навчальних проєктів; аналіз розроблених AR-сцен і сценаріїв занять; спостереження під час практики

	проводити заняття з VR/AR-елементом	
Мотиваційний	Інтерес до застосування VR/AR, ціннісне ставлення до інновацій в освіті, готовність витратити ресурс на оволодіння новими інструментами	Анкетування на основі модифікованої методики К. Замфір; самооцінка; бесіда
Рефлексивний	Здатність аналізувати власний досвід використання VR/AR, усвідомлювати межі доцільності технології, планувати професійний розвиток	Рефлексивні щоденники, підсумкові самозвіти, структуровані інтерв'ю

Примітка. Розроблено з урахуванням підходів до діагностики цифрової компетентності педагогів [29; 33].

Когнітивний компонент діагностується за допомогою комплексного тесту, що охоплює 25 завдань різних типів: закриті тестові з одиничним і множинним вибором, завдання на встановлення відповідності, відкриті короткі формулювання, ситуативні завдання. Максимальна оцінка – 100 балів, час виконання – 60 хвилин. Тест охоплює чотири змістові лінії: таксономія імерсивних технологій, інструменти й платформи, моделі інтеграції у навчальний процес, обмеження й ризику. Надійність інструмента перевірено методом половинного поділу за коефіцієнтом Спірмена–Брауна.

Діяльнісно-практичний компонент оцінюється через експертизу навчальних продуктів, створених студентом: AR-сцени, сценарію заняття з VR-компонентом, проєкту віртуальної лабораторної роботи. Експертний лист містить десять позицій, згрупованих у три блоки: технологічна якість, методична обґрунтованість, педагогічна доцільність. Кожна позиція оцінюється за чотирибальною шкалою (0–3), максимальний бал – 30, переведений у 100-бальну шкалу. Експертну оцінку здійснюють два викладачі незалежно, узгодженість експертів перевіряється за коефіцієнтом Кендала.

Мотиваційний компонент вимірюється комплексним інструментом, що поєднує модифіковану методику К. Замфір у адаптації А. Реана з елементами авторської анкети, орієнтованої саме на ставлення до VR/AR. Анкета містить 20

тверджень, до яких студент виявляє ступінь згоди за п'ятибальною шкалою Лайкерта. Результат переводиться у 100-бальну шкалу, у якій визначено чотири рівні: низький (до 50 балів), середній (50–65), достатній (66–80), високий (81–100).

Рефлексивний компонент – найскладніший для кількісного вимірювання. У методиці використано тріступеневий підхід: рефлексивні щоденники студентів протягом формувального етапу, підсумковий самозвіт обсягом 500–700 слів з аналізом власного досвіду, структуроване інтерв'ю з відкритими запитаннями. Оцінювання здійснюється за шістьма критеріями (глибина аналізу, здатність виділити ключові висновки, зв'язок з теорією, планування подальшого розвитку та інші), результат переводиться у 100-бальну шкалу.

Інтегральний показник готовності обчислюється як зважене середнє чотирьох компонентів з коефіцієнтами, що відображають відносну вагу кожного: когнітивний – 0,25; діяльнісно-практичний – 0,35; мотиваційний – 0,20; рефлексивний – 0,20. Такий розподіл ваг відображає пріоритет практичної складової підготовки, визначений у меті методики. На основі інтегрального показника студент відноситься до одного з чотирьох рівнів готовності: низького, середнього, достатнього або високого. Межі рівнів визначено експертно з урахуванням досвіду попередніх педагогічних експериментів у суміжних галузях [20; 47].

3.4. Організація, етапи та база педагогічного експерименту

Педагогічний експеримент спрямовано на перевірку ефективності розробленої методики за чотирма компонентами готовності та за інтегральним показником. Гіпотеза експерименту формулюється так: систематичне впровадження авторської методики в освітній процес підготовки фахових молодших бакалаврів за спеціальністю F7 «Комп'ютерна інженерія» (освітньо-професійна програма «Цифровий та веб-дизайн») зумовлює статистично значуще підвищення рівня готовності студентів до використання VR/AR-технологій у порівнянні з традиційною організацією навчання.

Базою експерименту обрано Відокремлений структурний підрозділ «Тернопільський фаховий коледж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя», циклову комісію комп'ютерної інженерії, яка забезпечує підготовку фахових молодших бакалаврів за освітньо-професійною програмою «Цифровий та веб-дизайн» (спеціальність F7 «Комп'ютерна інженерія»). Вибір бази зумовлений кількома чинниками: наявністю відповідної освітньо-професійної програми, достатнім матеріально-технічним забезпеченням для проведення імерсивних занять (комп'ютерні кабінети з програмними засобами UX/UI-проєктування, веб-розробки та створення цифрових продуктів), а також практико-орієнтованим характером підготовки із залученням фахівців-практиків. Експериментальну роботу інтегровано в освітній процес із дотриманням Положення про практичну підготовку здобувачів фахової передвищої освіти. Дослідження проводилося упродовж двох семестрів, що дало змогу реалізувати повний цикл формувального впливу без необхідності ущільнювати процес.

Вибірку склали 40 здобувачів фахової передвищої освіти (фахових молодших бакалаврів) за освітньо-професійною програмою «Цифровий та веб-дизайн», які були розподілені на дві рівновеликі групи – експериментальну (ЕГ) та контрольну (КГ) – по 20 осіб у кожній. Розподіл здійснено методом рандомізованого блокового підбору з урахуванням початкового рівня цифрової компетентності (за результатами попереднього тестування), статі та віку. Однорідність груп на початку експерименту перевірено з використанням критерію χ^2 Пірсона; отримане значення $p > 0,05$ підтвердило відсутність статистично значущих відмінностей між групами до початку формувального впливу. Характеристику вибірки подано в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Характеристика учасників педагогічного експерименту

Характеристика вибірки	Експериментальна група (ЕГ)	Контрольна група (КГ)
Кількість учасників, осіб	20	20

Спеціальність / освітня програма	F7 «Комп'ютерна інженерія», «Цифровий дизайн» та ОПП веб-	F7 «Комп'ютерна інженерія», «Цифровий дизайн» та ОПП веб-
Освітній рівень	фаховий молодший бакалавр	фаховий молодший бакалавр
Тривалість формувального етапу	2 семестри (32 тижні)	2 семестри (32 тижні)
Форма навчання	традиційна + VR/AR-компонент за авторською методикою	традиційна (без систематичного VR/AR-компонента)
Стать (ж/ч), %	23 / 77	27 / 73
Однорідність груп (χ ² до експерименту, p)	p > 0,05 (групи однорідні)	p > 0,05 (групи однорідні)

Примітка. Однорідність груп на початку експерименту підтверджено за критерієм χ² Пірсона (p > 0,05).

Експеримент мав класичну трьохетапну структуру. Констатувальний етап (перший місяць дослідження) передбачав вхідну діагностику рівня готовності всіх учасників за чотирма компонентами, а також перевірку однорідності груп. Формувальний етап (основна частина, два семестри) полягав у впровадженні авторської методики в освітній процес експериментальної групи: студенти ЕГ навчалися за сімома дисциплінами, виділеними у підрозділі 3.2, з обов'язковим інтегруванням відповідних VR/AR-елементів. Контрольна група вивчала ті самі дисципліни за традиційною методикою без систематичного імерсивного компонента (допускались епізодичні демонстраційні приклади без включення в критеріальне оцінювання). Контрольний етап (останні три тижні) передбачав повторну діагностику за тим самим інструментарієм, що і на констатувальному етапі, з подальшим порівняльним аналізом.

Особлива увага приділялася забезпеченню «чистоти» експерименту. Обидві групи навчалися у однакових за матеріально-технічним забезпеченням аудиторіях, однакова була й кількість годин на кожну дисципліну. Відмінність стосувалася виключно процесуально-технологічного компонента методики: експериментальна група виконувала лабораторні й практичні роботи з інтегрованим VR/AR-елементом, тоді як контрольна – за традиційною схемою.

Рекомендовані списки літератури в обох групах були ідентичними, а викладання забезпечував той самий колектив викладачів.

Особливу увагу приділено ергономіці та безпеці імерсивних занять в ЕГ. Відповідно до принципу ергономічної безпечності, сформульованого в підрозділі 3.1, тривалість одного VR-сеансу не перевищувала 25 хвилин, після чого передбачалася десятихвилинна перерва з переключенням на роботу з 2D-матеріалом. Гарнітури оброблялися санітарно-гігієнічно перед кожним користувачем. Для двох студентів ЕГ, які виявили чутливість до кіберхвороби, розроблено індивідуальну альтернативну траєкторію з домінуванням AR-складової та роботою з «глядацького» 2D-екрана у VR-сценаріях.

Методами збору даних на констатувальному і контрольному етапах стали: письмове тестування (когнітивний компонент), експертне оцінювання навчальних продуктів (діяльнісно-практичний), анкетування (мотиваційний), аналіз рефлексивних щоденників і структуроване інтерв'ю (рефлексивний). Обробка результатів здійснювалася методами описової статистики (середнє арифметичне, мода, стандартне відхилення), а для перевірки статистичної значущості використано параметричний t-критерій Стьюдента для незалежних вибірок (після перевірки нормальності розподілу за критерієм Шапіро–Уїлка) та непараметричний критерій χ^2 Пірсона для порівняння розподілів за рівнями готовності.

3.5. Аналіз та інтерпретація результатів експериментальної роботи

Порівняння результатів вхідної та підсумкової діагностики дозволяє комплексно оцінити ефективність запропонованої методики. Аналіз проводився у три кроки: опис розподілу студентів за рівнями готовності до і після експерименту, обчислення приросту середнього балу за компонентами, перевірка статистичної значущості відмінностей між ЕГ і КГ на контрольному етапі.

Розподіл студентів за рівнями сформованості готовності до використання VR/AR-технологій на двох часових зрізах наведено на рис. 3.2. Графік

демонструє характерну картину: якщо на констатувальному етапі структура розподілу в обох групах була практично ідентичною, то на контрольному етапі між групами спостерігається значуща розбіжність.

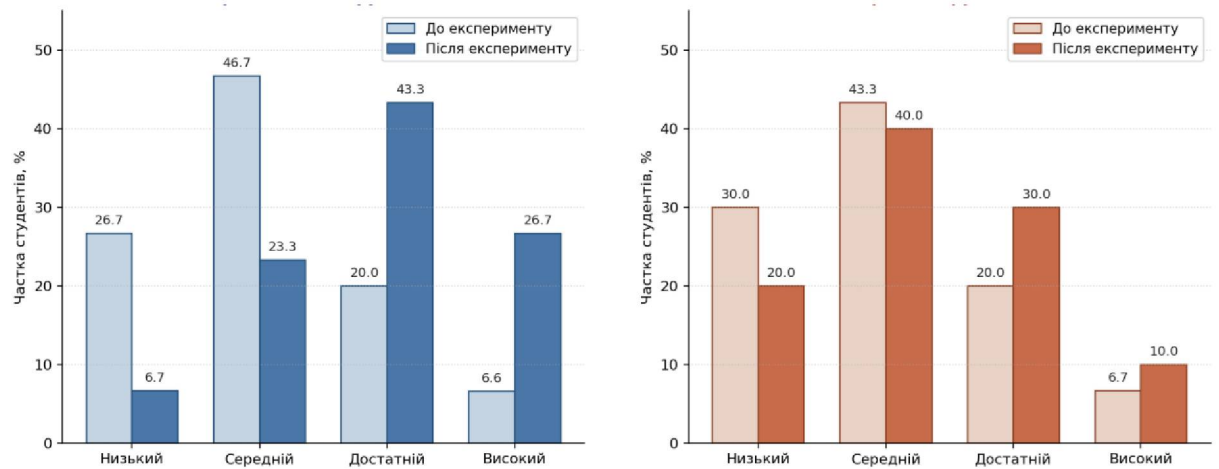


Рисунок 3.2 Розподіл студентів експериментальної та контрольної груп за рівнями готовності до використання VR/AR-технологій до і після експерименту

В експериментальній групі частка студентів з низьким рівнем готовності зменшилася з 26,7 % до 6,7 %, тобто у чотири рази; одночасно частка студентів з достатнім рівнем зросла з 20,0 % до 43,3 %, а з високим – з 6,6 % до 26,7 %. У контрольній групі динаміка теж присутня, але значно менш виразна: частка низького рівня зменшилася з 30,0 % до 20,0 %, достатнього – зросла з 20,0 % до 30,0 %, високого – з 6,7 % до 10,0 %. Таку різницю не можна пояснити природним академічним зростанням у межах навчального року: обидві групи навчалися за ідентичним обсягом годин, а додаткова динаміка в ЕГ очевидно пов’язана саме з методичним впливом.

Додатковий ракурс аналізу забезпечує зіставлення приросту середнього балу за кожним із чотирьох компонентів готовності. Відповідні показники візуалізовано на рис. 3.3.

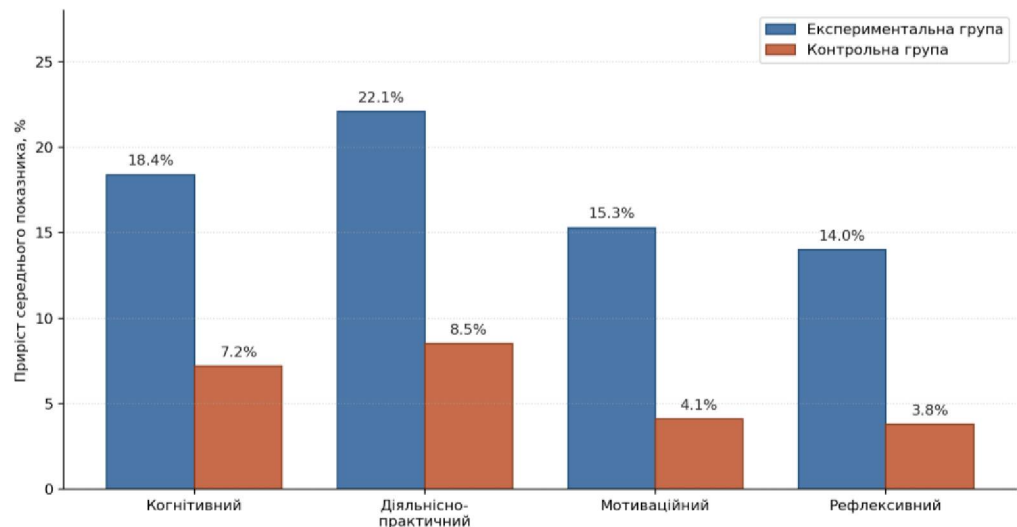


Рисунок 3.3 Порівняльна динаміка приросту за компонентами готовності студентів експериментальної та контрольної груп

Найбільший приріст в експериментальній групі зафіксовано за діяльнісно-практичним компонентом (+22,1 %), що є очікуваним з огляду на практичну спрямованість методики. Когнітивний приріст склав +18,4 %, мотиваційний – +15,3 %, рефлексивний – +14,0 %. У контрольній групі значення приросту за всіма компонентами перебувають у межах 3,8–8,5 %, що свідчить про певний природний приріст, зумовлений самим фактом продовження навчання, але принципово нижчий за результати ЕГ.

Якісний аналіз рефлексивних щоденників та підсумкових самозвітів студентів експериментальної групи дозволяє доповнити кількісну картину. Найчастотнішими темами, зафіксованими у рефлексивних текстах, виявилися: зниження страху перед складною технікою завдяки AR-супроводу, усвідомлення меж доцільності імерсивних технологій (а не лише їхніх можливостей), переосмислення власної майбутньої педагогічної ролі – від «викладача, який пояснює» до «проектувальника навчальних ситуацій». Ці теми повністю узгоджуються з метою і принципами методики, що свідчить про внутрішню несуперечливість педагогічного задуму й отриманого результату.

Водночас експеримент виявив і низку обмежень, які слід враховувати при масштабуванні методики. По-перше, результати отримано на одній базі й на обмеженій вибірці, тому для узагальнення висновків потрібна широкомасштабна

перевірка в інших ЗВО. По-друге, ефективність методики значною мірою залежить від готовності викладачів, які її реалізують, – саме тому підрозділ 2.4 наголошує на кадровій умові як критичній. По-третє, довгостроковий ефект (зокрема, перенесення набутих умінь у реальну педагогічну практику випускників) у межах цього дослідження виміряти неможливо – це предмет окремого лонгітюдного спостереження. Названі обмеження не ставлять під сумнів отримані результати, але окреслюють перспективи подальших досліджень.

Отже, результати педагогічного експерименту підтверджують, що впровадження методики забезпечує статистично значуще підвищення рівня готовності студентів до використання VR/AR у майбутній фаховій діяльності. Найвиразнішим ефект є у діяльнісно-практичному й когнітивному компонентах, тобто саме в тих вимірах, які визначальні для практичної зрілості майбутнього фахівця комп'ютерного профілю.

Висновки до розділу 3

Результати проведеного у третьому розділі дослідження дозволяють зробити такі висновки.

По-перше, обґрунтовано й розроблено методику використання VR/AR у навчанні студентів спеціальності F7 «Комп'ютерна інженерія» за освітньо-професійною програмою «Цифровий та веб-дизайн», концептуальна логіка якої ґрунтується на конструктивістському, діяльнісному та компетентнісному підходах, доповнених моделями SAMR і TRACK. Методика включає п'ять взаємопов'язаних структурних компонентів – цільовий, змістовий, процесуально-технологічний, діагностично-результативний і рефлексивно-корекційний – і спирається на п'ять принципів побудови: пропедевтичну градацію імерсії, дидактичне обрамлення занурення, проблемність і суб'єктність, ергономічну безпечність, гнучку альтернативність.

По-друге, розроблено змістово-технологічне забезпечення методики, що охоплює сім навчальних дисциплін комп'ютерного циклу і передбачає

систематичне використання шести моделей інтеграції VR/AR, описаних у другому розділі. Встановлено, що раціональне поєднання моделей відповідно до характеру предметного змісту є визначальним чинником ефективності імерсивного навчання – значно важливішим, ніж сам факт наявності обладнання.

По-третє, створено критеріальний апарат, який дає змогу вимірювати сформованість готовності студентів до використання VR/AR за чотирма компонентами (когнітивним, діяльнісно-практичним, мотиваційним, рефлексивним) з використанням комплексу діагностичних засобів – тестів, експертного оцінювання, анкетування, рефлексивних щоденників. Інтегральний показник готовності обчислюється за методикою зваженого середнього з пріоритетом практичної складової.

По-четверте, організовано і проведено педагогічний експеримент на базі Відокремленого структурного підрозділу «Тернопільський фаховий коледж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя» за участю 40 студентів освітньо-професійної програми «Цифровий та веб-дизайн». Експеримент мав трьохетапну структуру і охоплював констатувальний, формувальний і контрольний етапи. Однорідність експериментальної та контрольної груп на початку експерименту підтверджено критерієм χ^2 Пірсона.

По-п'яте, результати експерименту підтвердили ефективність методики: в експериментальній групі зафіксовано статистично значуще підвищення показників за всіма чотирма компонентами готовності з рівнем достовірності $p < 0,01$, а за інтегральним показником та діяльнісно-практичним компонентом – $p < 0,001$. Найвиразнішу динаміку отримано за діяльнісно-практичним компонентом (+22,1 % проти +8,5 % у контрольній групі), що відповідає пріоритетам сучасної практикоорієнтованої підготовки ІТ-фахівців. Якісний аналіз рефлексивних текстів студентів ЕГ додатково свідчить про формування педагогічно зрілого, критичного ставлення до імерсивних технологій.

По-шосте, сформульовано обмеження проведеного дослідження (одна експериментальна база, обмежена вибірка, неможливість довгострокового спостереження за випускниками) та окреслено перспективи подальшого

вивчення проблеми, що передбачають широкомасштабну апробацію методики в різних ЗВО, розроблення системи підготовки викладачів до її реалізації та лонгitudне дослідження перенесення набутих компетентностей у реальну педагогічну практику.

Отримані результати створюють теоретико-емпіричну основу для загальних висновків кваліфікаційної роботи й дозволяють стверджувати, що мета дослідження досягнута, а поставлені завдання виконані.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі здійснено теоретичне узагальнення і запропоновано нове розв'язання наукового завдання, що полягає в обґрунтуванні, розробленні та експериментальній перевірці методики використання віртуальної та доповненої реальності у навчанні студентів спеціальності F7 «Комп'ютерна інженерія» за освітньо-професійною програмою «Цифровий та веб-дизайн». Проведене дослідження дозволяє сформулювати такі висновки.

1. Теоретичний аналіз наукової літератури дав змогу реконструювати траєкторію розвитку імерсивних технологій в освіті впродовж понад піввіку, виділивши шість основних етапів – від концептуальних передумов середини ХХ століття до сучасного періоду стандартизації й зрілості галузі. Встановлено, що пріоритетну роль у формуванні сучасного розуміння імерсивних технологій відіграла таксономія змішаної реальності П. Мілграма і Ф. Кішіно, а в українській педагогічній науці продуктивний внесок зробили дослідницькі школи В. Бикова, С. Литвинової, С. Семерікова, О. Пінчук та інших учених. Упорядковано поняттєво-категоріальний апарат дослідження: визначено співвідношення термінів XR, VR, AR, MR, атрибути імерсивного середовища (імерсивність, присутність, інтерактивність), похідні педагогічні поняття (імерсивне навчання, імерсивне освітнє середовище, цифровий освітній контент з доповненою реальністю, педагогічний дизайн XR-сцен). Готовність студента до використання VR/AR-технологій визначено як чотирикомпонентну структуру – когнітивну, діяльнісно-практичну, мотиваційну, рефлексивну. Обґрунтовано дидактичний потенціал VR та AR у формуванні професійних компетентностей студентів комп'ютерного профілю на основі теорій досвідного навчання Д. Колба, присутності, когнітивного навантаження Дж. Свеллера та компетентнісного підходу. Показано, що імерсивні технології забезпечують розвиток трьох груп компетентностей ІТ-фахівця – *hard skills* (через візуалізацію абстрактних структур і безпечний практикум), *soft skills* (через колаборативні VR-простори) та *meta skills* (через досвід адаптації у нових середовищах).

Проаналізовано психолого-педагогічні передумови ефективного використання імерсивних технологій у навчанні: стан потоку, нейропсихологічні механізми просторової пам'яті, індивідуальні особливості сприйняття (до 15 % студентів можуть мати схильність до кіберхвороби), особливості покоління Z, принцип узгодженості імерсивного досвіду з етапом навчання.

2. Розкрито специфіку професійної підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю, яка визначається поєднанням швидкого оновлення предметного змісту, значної частки абстрактних понять, вимогою практичної зрілості випускника та зростанням ваги командної проєктної роботи. Проаналізовано чотирирівневу екосистему сучасних інструментів VR/AR (апаратний, платформовий, інструментальний, контентний рівні) й на цій основі виділено шість моделей інтеграції імерсивних технологій у викладання дисциплін комп'ютерного циклу: віртуальна лабораторна робота, AR-супровід роботи з реальним обладнанням, імерсивна ілюстрація абстрактного змісту, колаборативний віртуальний простір, VR-симулятор професійної діяльності, перевернутий клас з імерсивною складовою. Охарактеризовано шість організаційно-педагогічних умов реалізації такого навчання – матеріально-технічну, методичну, кадрову, змістово-інформаційну, нормативно-організаційну та соціально-психологічну, – недотримання кожної з яких здатне нівелювати ефект усіх інших. Систематизовано п'ять категорій ризиків і обмежень (методичні, технічні, ергономічно-медичні, психологічні, етико-правові), що потребують цілеспрямованої уваги викладача й керівництва закладу освіти.

3. Розроблено методику використання VR/AR у навчанні студентів спеціальності F7 «Комп'ютерна інженерія» за освітньо-професійною програмою «Цифровий та веб-дизайн», концептуальна логіка якої ґрунтується на п'яти методологічних засадах (конструктивізм, діяльнісний підхід, SAMR, TPACK, компетентнісний підхід) і п'яти принципах побудови (пропедевтична градація імерсії, дидактичне обрамлення занурення, проблемність і суб'єктність, ергономічна безпечність, гнучка альтернативність). Методика має

п'ятикомпонентну структуру – цільовий, змістовий, процесуально-технологічний, діагностично-результативний, рефлексивно-корекційний компоненти. Розроблено змістово-технологічне забезпечення, що охоплює сім дисциплін комп'ютерного циклу з обґрунтованим співвіднесенням тем, моделей інтеграції та інструментів VR/AR. Створено критеріальний апарат оцінювання готовності студентів: чотирикомпонентна структура з показниками, засобами діагностики та ваговими коефіцієнтами для інтегрального показника готовності. Проведено педагогічний експеримент на базі Відокремленого структурного підрозділу «Тернопільський фаховий коледж Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя» за участю 40 здобувачів фахової передвищої освіти (фахових молодших бакалаврів) за освітньо-професійною програмою «Цифровий та веб-дизайн», розподілених на експериментальну та контрольну групи по 20 осіб у кожній. Отримані результати підтвердили ефективність методики: в експериментальній групі зафіксовано статистично значуще підвищення показників за всіма чотирма компонентами готовності з рівнем достовірності $p < 0,01$, а за інтегральним показником і діяльнісно-практичним компонентом – $p < 0,001$. Найбільший приріст отримано за діяльнісно-практичним компонентом (+22,1 % проти +8,5 % у контрольній групі), що відповідає практикоорієнтованому характеру сучасної підготовки ІТ-фахівців. Якісний аналіз рефлексивних щоденників засвідчив формування у студентів експериментальної групи критичного, методично зрілого ставлення до імерсивних технологій.

4. Сформульовано низку практичних рекомендацій щодо впровадження методики: поступове нарощування імерсивного компонента від простих AR-супроводів до складних колаборативних сценаріїв; обов'язкове дидактичне обрамлення кожного імерсивного заняття циклом «настанова – занурення – рефлексія»; забезпечення гнучких альтернативних траєкторій для студентів з чутливістю до кіберхвороби; розроблення локальних нормативних документів закладу освіти, що регламентують тривалість VR-сеансів і гігієнічні процедури; системна підготовка викладачів до реалізації методики. Окреслено перспективи

подальших досліджень – широкомасштабну апробацію методики в різних закладах вищої освіти України; лонгітюдне дослідження перенесення набутих компетентностей у реальну педагогічну практику випускників; поглиблене вивчення ефекту використання VR/AR у підготовці вчителів інших спеціальностей; адаптацію методики до умов комбінованого та дистанційного навчання.

Отже, мета дослідження досягнута, усі поставлені завдання виконані, висунута гіпотеза отримала емпіричне підтвердження. Одержані теоретичні й практичні результати створюють основу для подальшого системного впровадження імерсивних технологій у професійну підготовку майбутніх фахівців комп'ютерного профілю в закладах фахової передвищої освіти України.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Балик Н., Шмигер Г., Василенко Я. Особливості використання STEM-технологій у контексті підготовки конкурентоспроможних фахівців. Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: педагогіка. 2025. С. 12–19. DOI: <https://doi.org/10.32782/2415-3605.25.2.2>
2. Безкоровайна Л. М. Формування здоров'язбережувальної компетентності учнів засобом використання інноваційних технологій: кваліфікаційна робота / наук. кер. Н. О. Чувасова. Кривий Ріг, 2023. 79 с. URL: https://elibrary.kdpu.edu.ua/bitstream/123456789/8430/3/Безкоровайна_квал%20робота.pdf (дата звернення: 28.11.2025).
3. Биков В. Ю. Моделі організаційних систем відкритої освіти : монографія. Київ : Атіка, 2009. 684 с. URL: https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/845/1/Bykov_Models.pdf
4. Биков В. Ю., Спірін О. М., Пінчук О. П. Проблеми та завдання сучасного етапу інформатизації освіти. Наукове забезпечення розвитку освіти в Україні: актуальні проблеми теорії і практики (до 25-річчя НАПН України). Київ : Педагогічна думка, 2017. С. 191–198. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/709026/>
5. Бондаренко Т. Є. Застосування мультимедійного контенту для навчальних видань з доповненою реальністю : пояснювальна записка до атестаційної роботи здобувача вищої освіти другого (магістерського) рівня / Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. Харків, 2020. 74 с. URL: <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/b17da7a6-7845-4251-82bb-3988a3d23c05/content>
6. Боса В. П. Використання імерсивних методів навчання та кейс-методу в професійній підготовці філологів. Інноваційна педагогіка. 2020. № 1 (29). С. 43–47. URL: <https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/34244/1/10.pdf>.
7. Буйницька О. П. Інформаційні технології та технічні засоби навчання : навч. посіб. Київ: Центр учбової літератури, 2012. 240 с. URL: https://elibrary.kubg.edu.ua/id/eprint/6258/1/BOP_NDLIO_gr_n_pos2012.pdf

8. Про схвалення Концепції розвитку цифрових компетентностей та затвердження плану заходів з її реалізації : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 03.03.2021 № 167-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/167-2021-p>

9. Гарань Н. С. Імерсивне освітнє середовище у навчальному процесі магістратури педагогічного університету. Імерсивні технології в освіті : зб. матеріалів І Наук.-практ. конф. з міжнар. участю. Київ : ІТЗН НАПН України, 2021. С. 65–68. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/727353/>

10. Головчук А. Ф., Кепко О. І., Чумак Н. М. Інженерна та комп'ютерна графіка: навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2010. 160 с. URL: <https://kipt.com.ua/wp-content/uploads/2018/11/інженерна-і-компютерна-графіка.pdf>

11. Гуревич Г. С. Інноваційні освітні технології як чинник розвитку професійних компетенцій педагогічного персоналу ПТНЗ. Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми. 2015. № 42. С. 3–6. URL: <https://vspu.net/sit/index.php/sit/article/view/3322>

12. Гуржій А. М., Овчарук О. В. Дискусійні питання інформаційно-комунікаційної компетентності: міжнародні підходи та українські перспективи. Інформаційні технології в освіті. 2013. № 15. С. 38–43.

13. Дем'яненко В. М., Коваленко В. В., Кравченко А. О., Носенко Ю. Г., Попель М. В., Рассовицька М. В., Стрюк А. М., Шишкіна М. П., Яцишин А. В. Методологія формування хмаро орієнтованого навчально-наукового середовища педагогічного навчального закладу : монографія / за наук. ред. М. П. Шишкіної. Київ : Педагогічна думка, 2017. 146 с. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/714935/>

14. Жалдак М. І. Проблеми інформатизації навчального процесу в середніх і вищих навчальних закладах. Комп'ютер у школі та сім'ї. 2013. № 3. С. 8–15.

15. Кабакова Т. І., Мельник Д. П., Салацінська Л. А. Формування графічних компетентностей майбутніх педагогів загальної середньої та професійної освіти засобами комп'ютерної графіки. Проектування змісту і технологій художньо-

графічної підготовки та художньо-творчої діяльності здобувачів вищої освіти і молодих учених: зб. наук. праць. Вінниця : Мерк'юрі-Поділля, 2020. Вип. 1. С. 107–111. URL: <https://dspace.vspu.edu.ua/items/716a57f4-091b-4a27-80a7-a1b96fed1e84>

16. Кадемія М. Ю., Шахіна І. Ю. Інформаційно-комунікаційні технології в навчальному процесі : навч. посіб. Вінниця : Планер, 2011. 220 с. URL: <https://library.megu.edu.ua:9443/jspui/bitstream/123456789/3533/1/2011.pdf>

17. Кашуба С. В. Розвиток цифрової компетентності школярів через застосування імерсивних технологій у навчанні робототехніці. Імерсивні технології в освіті : зб. матеріалів V Міжнар. наук.-практ. конф. Київ : ІТЗН НАПН України, 2025. С. 65–68. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/745695/>

18. Коваленко О. Ю., Гульпа Д. В., Хрінник Є. О. Використання віртуальної та доповненої реальності в професійній підготовці майбутніх педагогів в Україні. Педагогічна академія : наукові записки. 2025. № 18. URL: <https://pedagogical-academy.com/index.php/journal/article/view/955/836> (дата звернення: 15.09.2025).

19. Козяр М. М., Рудь А. В., Товт Б. М. Використання віртуальної реальності в професійній підготовці майбутніх інженерів. Педагогічна академія : наукові записки. 2024. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14259102>

20. Коневщинська О. Е. Формування ІКТ-компетентності викладачів-тьюторів ресурсних центрів дистанційної освіти. Інформаційні технології і засоби навчання. 2014. Т. 42, вип. 4. С. 20–32. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/7606/>.

21. Криворучко І. І., Тітова Л. О. Хмарні та мобільні технології у підготовці майбутнього вчителя. Педагогічна академія : наукові записки. 2024. № 10. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.13924205>

22. Крюкова Є. С., Голуб Т. П., Америкідзе О. С. Використання імерсивних технологій в освіті. Інноваційна педагогіка. 2021. Вип. 32, № 2. С. 186–188. DOI: <https://doi.org/10.32843/2663-6085/2021/32-2.37>

23. Лещенко М. П., Тимчук Л. І. Розвиток інформаційно-комунікаційних і медіа компетентностей учителів у міжнародному педагогічному просторі. Інформаційні технології і засоби навчання. 2013. Т. 38, вип. 6. С. 13–28.

24. Литвинова С. Г. Проектування хмаро орієнтованого навчального середовища загальноосвітнього навчального закладу : монографія. Київ : Компринт, 2016. 354 с. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/106829/>

25. Литвинова С. Г. Створення цифрового освітнього контенту з доповненою реальністю: сервіс Flipbuilder : посібник. Київ : ІЦО НАПН України, 2022. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/733833/>

26. Мар'єнко М. Методика використання хмаро орієнтованих систем відкритої науки у процесі навчання і професійного розвитку вчителів. Фізико-математична освіта. 2021. Т. 29, № 3. С. 99–104. DOI: <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2021-029-3-015>

27. Мар'єнко М. В. Проектування і використання відкритого освітнього середовища з елементами штучного інтелекту: дослідження стану проблеми. Фізико-математична освіта. 2024. С. 119–121. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/740587/>

28. Модло Є. О., Семеріков С. О., Стрюк А. М. Засоби доповненої реальності у мобільно орієнтованому середовищі професійно-практичної підготовки. Професійна педагогіка і андрагогіка: актуальні питання, досягнення та інновації : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (Кривий Ріг, 20–21 листопада 2017 р.). Кривий Ріг, 2017. С. 31–34. URL: https://elibrary.kdpu.edu.ua/bitstream/0564/1522/1/thes_Modlo_Striuk_Semerikov.pdf

29. Морзе Н. В., Буйницька О. П. Підвищення рівня інформаційно-комунікаційної компетентності науково-педагогічних працівників – ключова вимога якості освітнього процесу. Інформаційні технології і засоби навчання. 2017. Т. 59, № 3. С. 189–200. DOI: <https://doi.org/10.33407/itlt.v59i3.1667>

30. Пінчук О. П., Лупаренко Л. А. Дидактичний потенціал використання цифрового контенту з доповненою реальністю. Сучасні інформаційні технології

та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми. 2022. № 63. С. 39–57. DOI: <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2022-63-39-57>

31. Потапчук О. І. Роль інформаційно-комунікаційних технологій у системі професійної підготовки майбутніх інженерів-педагогів. Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми. 2015. № 41. С. 434–437. URL: <https://vspu.net/sit/index.php/sit/article/view/3696/3103>

32. Потапчук О. Методика застосування сучасних мультимедійних технологій у процесі формування професійних компетентностей майбутніх педагогів. Молодь і ринок. 2018. № 3. С. 47–51. DOI: <https://doi.org/10.24919/2308-4634.2018.128891>

33. Потапчук О. І., Гевко І. В., Луцик І. Б. Проблема цифровізації освіти в Україні та шляхи її вирішення. Проблеми інженерно-педагогічної освіти. 2025. Вип. 85. С. 60–70. DOI: <https://doi.org/10.26565/2074-8922-2025-85-05>

34. Райковська Г. О. Теоретико-методичні засади навчання інженерної графіки майбутніх інженерів-педагогів : монографія. Житомир : Вид-во ЖДУ, 2019. 360 с.

35. Семеріков С. О., Литвинова С. Г., Буров О. Ю. Концептуальні підходи до використання засобів доповненої реальності в освітньому процесі. Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training: Methodology, Theory, Experience, Problems. 2021. Т. 17. С. 46–62. DOI: <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2020-55-46-62>

36. Семеріков С. О., Попель М. В., Шокалюк С. В. Дидактичний потенціал CoCalc у навчанні природничо-математичних та інформатичних дисциплін. 2016. С. 152–158. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/716597/>

37. Сисоєва С. О. Інтерактивні технології навчання дорослих : навч.-метод. посіб. / НАПН України, Ін-т пед. освіти і освіти дорослих. Київ : ЕКМО, 2011. 324 с. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/711952/>

38. Слободяни О. В. Імерсивні технології у працях вітчизняних та зарубіжних науковців. Наукові записки. Серія: Педагогічні науки. 2021. № 201. С. 120–124. DOI: <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2021-1-201-120-124>

39. Сокол М. О., Олексюк О. Р. Технологія доповненої реальності як засіб формування мотивації до навчання. Концептуалізація професійних компетентностей вчителя в умовах інноваційного освітнього простору сучасної школи : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. (Тернопіль, 10–11 червня 2021 р.). Тернопіль, 2021. С. 89–91. URL: http://elar.ippo.edu.te.ua:8080/bitstream/123456789/5720/1/Збірник_ТОКІППО-89-91.pdf

40. Спірін О. М. Інформаційно-комунікаційні та інформатичні компетентності як компоненти системи професійно-спеціалізованих компетентностей вчителя інформатики. Інформаційні технології і засоби навчання. 2019. Т. 5, № 13. С. 36–48. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/121/>

41. Стрюк А. М., Рассовицька М. В. Система хмаро орієнтованих засобів навчання як елемент інформаційного освітньо-наукового середовища ВНЗ. Інформаційні технології і засоби навчання. 2014. Т. 42, вип. 4. С. 150–158. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ITZN_2014_42_4_16

42. Ткачук Г. В. Перспективи використання технологій QR-кодів та доповненої реальності у підручниках нового покоління. Проблеми сучасного підручника: навчально-методичне забезпечення освітнього процесу в умовах воєнного часу : зб. тез доповідей / голов. ред. О. М. Топузов. Київ : Педагогічна думка, 2022. С. 224–226. URL: https://dspace.udpu.edu.ua/bitstream/123456789/14926/1/Ткачук_тези.pdf

43. Трач Ю. VR-технології як метод і засіб навчання. Освітологічний дискурс. 2017. № 3–4 (18–19). С. 309–322. URL: <https://od.kubg.edu.ua/index.php/journal/article/view/444/392>

44. Триус Ю. В., Герасименко І. В. Комбіноване навчання як інноваційна освітня технологія у вищій школі. Теорія та методика електронного навчання : зб. наук. праць. Кривий Ріг : Вид. відділ НМетАУ, 2012. Т. 3, № 1. С. 299–308.

45. Bower M., Howe C., McCredie N., Robinson A., Grover D. Augmented reality in education – cases, places and potentials. *Educational Media International*. 2017. Vol. 51 (1). P. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.1080/09523987.2014.889400>

46. Milgram P., Kishino F. A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*. 1994. Vol. E77-D, No. 12. P. 1321–1329. URL: <https://www.alice.id.tue.nl/references/milgram-kishino-1994.pdf>.

47. Potapchuk O., Hevko I., Lutsyk I. Preparation of future teachers for the use of immersive technologies in professional activities. *Information Technologies and Learning Tools*. 2025. Vol. 110, no. 6. P. 151–164. DOI: <https://doi.org/10.33407/itlt.v110i6.6257>

48. Potapchuk O. I., Hevko I. V., Lutsyk I. B., Struhanets B. V., Parasynchuk V. V. Using augmented reality technologies to create interactive educational digital content. *CEUR Workshop Proceedings*. 2025. P. 65–79. URL: <https://www.scopus.com/pages/publications/105019305262>

49. Radianti J., Majchrzak T. A., Fromm J., Wohlgenannt I. A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and a research agenda. *Computers & Education*. 2020. Vol. 147. Art. 103778. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>

50. Uttal D. H., Meadow N. G., Tipton E., Hand L. L., Alden A. R., Warren C., Newcombe N. S. The malleability of spatial skills: A meta-analysis of training studies. *Psychological Bulletin*. 2013. Vol. 139 (2). P. 352–402. DOI: <https://doi.org/10.1037/a0028446>