

УДК 37:004

DOI: 10.31652/2412-1142-2022-63-39-57

Пінчук Ольга Павлівна

кандидат педагогічних наук, старша наукова співробітниця,
заступник директора з науково-експериментальної роботи
Інститут цифровізації освіти НАПН України,
м. Київ, Україна
ORCID ID: 0000-0002-2770-0838
opinchuk100@gmail.com

Лупаренко Лілія Анатоліївна

кандидат педагогічних наук, завідувачка відділу цифрової трансформації НАПН України
Інститут цифровізації освіти НАПН України,
м. Київ, Україна
ORCID ID: 0000-0002-4500-3155
lisoln1@gmail.com

ДИДАКТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВОГО КОНТЕНТУ З ДОПОВНЕНОЮ РЕАЛЬНОСТЮ

Анотація. Авторами здійснено аналіз практичного досвіду вітчизняних і зарубіжних вчених у галузі комп'ютерно орієнтованих педагогічних технологій щодо використання VR і AR у процесі навчання. У ході дослідження проводився скринінг довгострокових трендів (за матеріалами світових прогнозів і тематичних оглядів); аналізувались глобальні соціально-економічні та науково-технологічні виклики, що стосуються сфери ІКТ; оцінювались потенційні можливості використання технології віртуальної, доповненої та змішаної реальності для освіти; застосовувались методи порівняльного аналізу і тестування цифрових додатків й освітніх послуг.

Охарактеризовано деякі поняття, необхідні для однозначного розуміння представлених результатів: імерсивність, об'єкти імерсивних технологій, відчуття присутності, віртуальна реальність, доповнена реальність, розширена реальність, змішана реальність, заміщена реальність, віртуальний і доповнений метавесвіт.

У статті коротко викладено напрями практичного застосування технологій віртуальної і доповненої реальності у бізнесі, виробництві, корпоративному навчанні. Увагу дослідників зосереджено на використанні технології розширеної реальності в освітньому процесі: ігрова діяльність і технології розширеної реальності; освітній цифровий контент на базі технології розширеної реальності; огляд освітніх мобільних додатків з підтримкою технології доповненої реальності; застосування узагальненої моделі електронної освіти Хана.

Недостатньо дослідженим, а отже актуальним для подальших наукових розвідок є розширення візуальних можливостей шкільних підручників шляхом використання інтерактивних моделей, відеозображень та об'єктів доповненої реальності, зокрема для предметів природничо-математичного циклу. Обґрунтованість і результативність таких досліджень буде залежати від наявності і стану розроблення відповідних критеріїв та показників оцінювання освітнього цифрового контенту, зокрема контенту з доповненою реальністю.

Ключові слова: віртуальна реальність; доповнена реальність; розширена реальність; заміщена реальність; імерсивні технології в освіті, шкільна освіта, дидактичний потенціал технологій.

1. ВСТУП

Трансформаційні процеси різних сфер життєдіяльності суспільства, що спричинені динамічним розвитком сектора інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ), нині визначають довгострокові пріоритети науки і технологій. Серед глобальних викликів і трендів, що пов'язані з предметом нашого дослідження:

– *технологічні*: розвиток засобів тривимірного моделювання для біомедичної інженерії як технології життєзабезпечення; створення ефективних форм візуалізації інформації та контенту як технології інженерії знань;

– *контент-індустрія*: поява додаткових медіапродуктів у вигляді ігор та віртуальної реальності; їх інтеграція з іншими медіапродуктами і соціальними мережами через поєднання різних моделей постачання контенту.

Нано-, біо-, інфо- та когнітивні технології створюють якісно нове середовище життєдіяльності людини за рахунок розроблення нових алгоритмів і програм опрацювання, зберігання й передавання зображень різної природи. Очікувано, що у найближчій перспективі, це приведе до зростання ефективності технологій віртуалізації й засобів тривимірного (3D) моделювання.

Життєвий цикл інноваційних технологічних продуктів та послуг буде прискорюватися й створювати умови для суттєвого підвищення якості професійної діяльності. Ці процеси потребуватимуть від фахівців відповідних професійних навичок і високого рівня цифрових компетентностей. Піонером у сфері освітнього застосування ІКТ стало корпоративне навчання, залучивши найкращі практики мікронавчання, мобільного навчання, віртуальної і доповненої реальності, штучного інтелекту, створення відеоконтенту, використання чат ботів, баз знань та ін.

Очікується, що такий позитивний досвід, стимулюватиме конвергенцію фізичного і віртуального навчальних середовищ та еволюцію інструментів, форм і методів навчання у *загальній середній освіті*. В час, коли сучасні учні займуть робочі місця, переважна частина процесу мислення, що пов'язана із застосуванням алгоритмізованої формальної логіки, перейде до сфери мережних комп'ютерних технологій, обчислювальні можливості яких значно перевищують людські. У таких умовах людське мислення все більше буде зміщуватися у неформалізовану сферу творчості.

Якщо суб'єкти навчання засвоюватимуть інформаційні образи реальних природних явищ і процесів шляхом експериментування з різноманітними цифровими інструментами і технологіями (симуляції, комп'ютерні моделювання, віртуальна і доповнена реальність та ін.), це й забезпечить *творчу діяльність* у синтетичному навчальному середовищі, вплине на *пізнавальну активність учнів, їхню мотивацію до навчання і самонавчання*, сприятиме формуванню відповідних *цифрових компетентностей* [1, 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасній філософії феномен віртуальної реальності досліджується у широкому спектрі, однак більшість концепцій стосується оцінювання *впливу віртуалізації на природу людини*. Це явище розглядається вченими, зокрема з позицій антропології, соціології та інженерної психології людино-машинних інтерфейсів. Рейнгольд Г. характеризує це явище як «новий світ», «нову паралельну дійсність», «магічне вікно», що дозволяє зазирнути в інші світи, будь-то світ молекул, або світ наших фантазій [3].

Аналізуючи наукові джерела, пов'язані з використанням ІКТ в освіті, також спостерігаємо *зміну фокусу з технологічних аспектів у гуманітарну галузь: на ментальні та когнітивні процеси, соціальні моделі й естетичну діяльність*. Ґрунтуючись на результатах багаторічних глобальних досліджень компанією Microsoft розроблено рекомендації [4] щодо використання ІКТ в освіті, де розробники звертають увагу суспільства на три основні тенденції:

1. У навчанні й професійному зростанні фокус зміщується на формування й розвиток соціальних і емоційних компетенцій.

2. Значущим стимулом до пізнання нині визнано створення можливостей досліджувати і вирішувати реальні проблеми, співпрацювати з іншими людьми, самостійно обирати потрібний інструментарій місце й простір для досягнення цілей.

3. Технології стають більш гуманістичними, спрямованими на творчість і співпрацю. Нові інтерфейси підтримуватимуть постійний зворотній зв'язок, змішану реальність, жести, голос і дотик. Практико орієнтоване навчання, міжпредметна проектна діяльність, використання «інтерактивного» обладнання, друк тривимірних конструкцій, навчальні 3D-відео, віртуальні подорожі стали справжніми трендами шкільної освіти.

Активно розвивається міждисциплінарна галузь «людино-комп'ютерна взаємодія» (*human-computer interaction*), в межах якої розглядаються такі питання, як вплив інтерфейсу на рівень ефективності цифрових інструментів, характеристики вигляду візуалізацій в онлайн навчальних середовищах, людський фактор у взаємодії «людина-комп'ютер» та ін. [5].

У працях [2, 6] проаналізовано сучасні погляди на проблеми впровадження в освітню практику синтетичного навчального середовища (*synthetic environment*), яке розглядається в двох аспектах: штучному й такому, що формується за рахунок синтезу фізичного світу і комп'ютерного моделювання. Дослідження [7] показало, що віртуальні навчальні середовища дозволяють згенерувати синхронну візуальну присутність студентів та їхніх викладачів у режимі реального часу. Такого роду спілкування задовольняє навчальні і соціально-емоційні потреби студентів та позитивно впливає на рівень їхнього психічного здоров'я.

В аналітичному огляді [8] представлено стан теоретичного розроблення та практичного використання середовища змішаної реальності у загальній середній освіті (К-12). Надані рекомендації для викладачів і науковців щодо потенційного впливу його на залучення учнів до навчання, набуття ними знань, формування навичок і досвіду у контексті педагогічного дизайну. Дослідження [9] дозволило визначити тенденції використання доповненої реальності в освіті, зокрема: більшість досліджень проводилося змішаним методом (оперування даними, отриманими в результаті аналізу суб'єктивних думок, зокрема оцінок експертів, коментаторів); часто використовується більше ніж один інструмент збору даних, проте найбільше – анкетування; з усіх можливих технологічних пристроїв (15 найменувань) для перегляду додатків AR найчастіше використовуються планшети і смартфони; фізичне середовище, в якому найбільш інтенсивно проводилися дослідження AR, було відзначено як класне приміщення; здебільшого (43%) AR-застосування підготовлено для «тільки зорового відчуття». Визначено, що найбільш позитивний вплив доповнена реальність має на академічну успішність учнів/студентів, мотивацію навчання, а також урізноманітнює сприйняття, підвищує задоволеність процесом навчання, збагачує навчальне середовище (*learning environments*) з точки зору інтерфейсу (*learner-interface*), контенту (*learner-content*) та інструментів (*learner-tools*).

На відміну від початкової і середньої освіти, де інтерес до технологій доповненої реальності стрімко зростає, застосування її у вищій освіті все ще не набуло широкого поширення. Дослідження [10] описує гібридну модель навчання (HyFlex + Tec) для підтримки віртуального й оффлайн навчання викладачів і студентів. Однак, аналіз наукової літератури [11] виявив дефіцит AR-додатків для викладання наукових, технічних, інженерних та математичних предметів (STEM) у закладах вищої освіти.

Стрюк А. М. [12] стверджує, що використання технології доповненої реальності підвищує інтерес студентів до навчання, робить цей процес наочним і більш мобільним. Водночас, головним недоліком вважає технічні обмеження сучасних мобільних пристроїв, що ускладнюють роботу з тривимірними моделями та інтерактивними сценами.

У нашому дослідженні виконано аналітичний огляд наукових джерел і AR-додатків з метою подальшого педагогічно виваженого і теоретично обґрунтованого використання освітнього цифрового контенту з доповненою реальністю.

Метою дослідження є аналіз сучасного стану та визначення дидактичного потенціалу використання технології доповненої реальності.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Теоретичний базис цього дослідження ґрунтується на психолого-педагогічному та техніко-технологічному складниках. З одного боку, вихідні положення сформулювали теоретичні висновки щодо інформатизації освіти (В. Биков, Р. Гуревич, М. Жалдак, А. Гуржій та ін.); освітньо-наукових принципів формування та використання інформаційних навчальних середовищ (В. Биков, Ю. Жук, В. Олійник, Є. Полат та ін.); дослідження особливостей пізнавальної діяльності учнів в інформаційно-освітньому просторі, що спираються на системно-діяльнісний підхід в освіті (Л. Виготський, П. Гальперін, В. Давидов, А. Леонт'єв, Д. Ельконін та ін.). Техніко-технологічну основу склали наукові праці з питань технологічного проникнення (дифузії інновацій) [13], прискорення інноваційних циклів [14] та впровадження технічних і технологічних інновацій [15, 16].

Охарактеризуємо деякі поняття, необхідні для однозначного розуміння подальшого викладу.

Технології, що узагальнено називають **імерсивними**, передбачають занурення користувача у спроектоване цифрове середовище, спонукають до захопливого спостереження за об'єктами і взаємодії з ними. Технічно вони дозволяють одночасно поєднати різноманітні сфери: комп'ютерну графіку, користувацький інтерфейс, людський фактор, мобільні технології, дизайн дисплеїв і датчиків, опрацювання сигналів і візуалізацію даних [17].

Об'єкти імерсивних технологій – це цифровий контент, представлений користувачу від «першої особи» (*first-person perspective*), що створює ілюзію його присутності всередині контенту, а не стороннього спостереження за ним ззовні.

Відчуття присутності (*presence*) є спільним знаменником всіх видів імерсивних технологій (віртуальної, доповненої, розширеної, змішаної, заміщеної реальності). В основі розуміння цього терміну лежить ідея *перцептивної ілюзії немедіації* (*the perceptual illusion of nonmediation*), де *перцепція* – це чуттєве сприйняття зовнішніх предметів людиною, а *медіація* – посередництво.

Явище **перцепції** передбачає безперервні в реальному часі реакції людських сенсорних, когнітивних і афективних систем оброблення оточуючих людину об'єктів. **Ілюзія немедіації** ж виникає, коли людина не усвідомлює або не визнає існування середовища в її комунікаційному оточенні й реагує так, ніби цього середовища немає. Наприклад, для пілота літака підручник має низький рівень присутності, а льотний симулятор – високий.

Основними стовпами імерсивних медіа є віртуальна і доповнена реальність, різниця між якими полягає в тому, *де* і в якій мірі користувач відчуває себе присутнім. Віртуальна реальність презентує користувачу повністю змодельоване середовище, у той час як доповнена реальність – світ, де поєднано реальний і віртуальний контент.

Віртуальна реальність (*англ. virtual reality, VR*) описується як 3D-середовище, в яке може зануритися людина, використовуючи спеціальну гарнітуру, під'єднану до комп'ютера, ігрової консолі або смартфона. Використання VR може бути покращене завдяки додаванню 3D аудіозвуків і тактильних пристроїв з датчиками передачі координат руху тіла у віртуальний простір.

Необхідно зауважити, що не всі системи 3D візуалізації можуть бути віднесені до класу VR. Характеризують цю технологію такі ознаки: зображення є стереоскопічним; зображення корелюється з координатами зорових сенсорів; система оснащена двоспрямованим інтерфейсом (вхід – координати зорових сенсорів, вихід – зображення); короткий час, що не перевищує 1/16 секунди для оновлення зображення у відповідь на зміни координат сенсорів.

Аналізуючи наукові джерела, можна виокремити декілька видів VR систем, класифікація яких залежить від способів і режимів їхньої взаємодії з користувачем.

1. «Вікно в світ» – для відображення візуальної частини кіберсвітів використовуються сучасні комп'ютерні монітори. Наприклад, для перегляду подорожі можна запустити програму Google Cardboard на екрані телефону або режим 2D «магічне вікно» на планшеті.

2. Відеонакладання – за допомогою відеокамери силует користувача накладається на створене комп'ютером двовимірне зображення, у результаті чого користувач бачить свій силует на екрані, тобто своє віртуальне тіло у кіберпросторі, що взаємодіє з віртуальним світом.

3. Системи занурення – дозволяють реалізувати ілюзію «повного занурення» користувача у віртуальне середовище.

4. Системи дистанційної присутності – використовують з'єднання віддалених сенсорів, розташованих на будь-якому об'єкті в реальному світі з оператором.

Найбільш досконалі системи віртуальної реальності нині дозволяють максимально повно підміняти реальний світ, однак зловживаючи їх використанням людина, за спостереженнями дослідників, зіштовхується з проблемою, яку називають *когнітивним перенавантаженням*. Надлишок отримуваних даних провокує ситуацію, за якої кількість операцій, що необхідно здійснити мозку, перевищує його потужності. У свою чергу, це спричиняє труднощі розуміння проблем і можливості прийняття рішень [18]. Як наслідок,

можуть проявлятися когнітивні спотворення, зокрема *селективне сприйняття* – втрата об'єктивності, за якої людина обирає інформацію, що узгоджується з її очікуваннями, та ігнорує інші відомості.

На нашу думку, існує ще один вагомий негативний фактор, що унеможливило широке впровадження віртуальної реальності в активну практику, зокрема освітянську. Попри високу точність і високий рівень фотореалістичності технології VR, вона не дозволяє людському організму створити єдину сенсорну модель світу, а саме інтегрувати її безпосередньо в наше фізичне оточення. За використання складного й громіздкого обладнання, тіло знаходиться, переважно, у статичному положенні, в той час, як більшість віртуальних переживань включатимуть рух. У наслідок подолання цієї невідповідності, у свідомості вимушено відбудовуватимуться дві окремі моделі світу: одна – для реального оточення, а інша – для віртуального, відображеного на гарнітурі. Підтримування мозком одночасно двох ментальних моделей, очікувано, призведе до психічного перевантаження.

Доповнена реальність (англ. *augmented reality, AR*) характеризується як реальне середовище, розширене за допомогою «комп'ютерної інформації», такої як звук, відео або графіка [19]. Зазвичай в AR-додатках використовуються онлайнні відеозображення оточуючого світу у поєднанні з даними, згенерованими комп'ютерною технікою (зображення, тексти, тривимірні моделі, інтерактивні двомірні і тривимірні сцени).

Інтеграція в поле сприйняття користувача окремих штучних елементів (віртуальних зображень, підказок, голограм) надає максимально природне відчуття розташування і взаємодії в просторі об'єктів різної природи. Таке нашарування «віртуального» на «реальне» дозволяє доповнити відомості про оточуючий світ і поліпшити його пізнання.

Слід зауважити, що *доповнена реальність* є поєднанням фізичного простору з цифровим у семантично пов'язаних контекстах, для яких об'єкти асоціацій лежать у реальному світі. Близьким, але не тотожним є поняття *доповненої віртуальності*, під яким розуміють поєднання фізичного простору з цифровим у семантично пов'язаних контекстах, однак, їхні цільові об'єкти належать світу обчислювальної техніки [20].

Попри відмінності VR та AR, вони мають спільні процеси опрацювання даних і технології, зокрема, спеціальне програмне забезпечення (наприклад, Tilt Brush), додаткове обладнання (головні дисплеї (HMD), HMD для смартфонів, 360-градусні камери) та ін. Нині найновіша версія AR з можливістю використання окулярів доступна тільки для підприємств і розробників, а VR – для проходження користувачами віртуальних ігор, подорожей, перегляду коротких фільмів або розваг для дорослих, з перспективою активного впровадження продуктів медичного та освітнього (навчальні програми) характеру.

Дотримуємося думки, що доповнена реальність – це саме та технологія, що надає системам сприйняття людського організму найприродніший спосіб подання цифрового контенту, інтегрування контенту безпосередньо в фізичне оточення людини, та, водночас, може розвантажити мозок, вивільнити частину когнітивних зусиль і допомогти оптимізувати їх використання.

Поняття розширена реальність (англ. *extended reality, XR*) активно просувається виробниками обладнання і програмного забезпечення з часів появи систем для підтримування як віртуальної, так і доповненої реальності. Сполучення «розширена реальність» стало зручним універсальним терміном для позначення продуктів обох видів.

Термін **змішана реальність** (англ. *mixed reality, MR*) набув поширення у 2016 р. завдяки компанії Microsoft, що використала його у маркетинговій кампанії розумних окулярів HoloLens. Такий дискурс викликав деяку плутанину, оскільки, змішана реальність вживалась, по суті, як синонім доповненої реальності.

У цьому дослідженні поділяємо підхід, за якого середовище MR передбачає процес технологічного злиття реального та віртуального світів, зокрема, орієнтуємось на таксономію, запропоновану у 1994 р. П. Мілграмом і Ф. Кішіно [21], що вирішує проблему неточної термінології та нечітких концептуальних меж. Завдяки різним способам реалізації «віртуальних» і «реальних» аспектів об'єкти змішаної реальності розташовані у будь-якому

місці між екстремумами **континууму віртуальності** (*virtuality continuum*), спрощене подання якого представлено на рис.1.

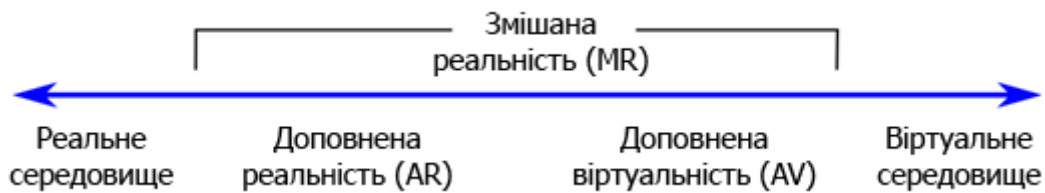


Рис. 1. Спрощене подання «континууму віртуальності» [21]

Факторами, що виокремлюють різні види змішаної реальності є:

- ✓ обсяг знань про змодельований світ (*extent of world knowledge*) – наскільки багато ми знаємо про світ, що відображається;
- ✓ точність відтворення (*reproduction fidelity*) – наскільки реалістично ми можемо це відобразити.
- ✓ ступінь присутності (*extent of presence metaphor*) – який ступінь ілюзії, що спостерігач присутній у цьому світі.

З розвитком технічних засобів віртуалізації реальності та створення біотехнічних систем [22] відбувається виокремлення нових видів імерсивних середовищ, наприклад **заміщеної реальності** (*англ. substitutional reality, SR*), що надає можливість спостерігати за об'єктом під будь-яким кутом (360° virtual reality).

На щорічній конференції Google I/O 2018 в Mountain View керівник підрозділу AR і VR компанії Google К. Бейвор зазначив, що VR/MR/AR/XR не є окремими і чітко визначеними. Це – «зручні ярлики для різних точок спектру». Різноманітність же можливих форм реальності, породжених розвитком інформаційно-комунікаційних технологій, обмежені лише нашою уявою.

У наукових джерелах все частіше зустрічається термін **метавсесвіт** (*англ. metaverse*), що **визначається контекстом і найчастіше описує** стійкий захоплюючий змодельований світ, в який занурені і який переживають від першої особи одночасно великі групи користувачів, поділяючи сильне відчуття взаємної присутності. Він може бути повністю віртуальним і автономним (віртуальний метавсесвіт) або може існувати у вигляді нашарування віртуального контенту на реальний світ (доповнений метавсесвіт).

Віртуальний метавсесвіт, який ще називають «світ віртуальної реальності на основі аватарів», на думку багатьох вчених, набуватиме популярності, однак лишатиметься обмеженим у використанні. З іншого боку, доповнений метавсесвіт – злиття реального та віртуального світів в єдину імерсивну реальність – вважають майбутнім технологій.

Інтенсивне використання смартфонів та планшетів спричинює семантичні зміни терміну **мобільне навчання**. На відміну від академічної мобільності суб'єктів навчання, нині, розглядається також й технологічна мобільність в інформаційно-освітньому середовищі. Основними позитивними рисами мобільного навчання на основі різних моделей змішаного навчання є розширення можливостей аудиторного і дистанційного навчання, висока інтерактивність, доступність навчальних матеріалів у будь-який час і в будь-якому місці та особистісна орієнтованість [23]. Семеріков С. О., Стрюк А. М., Рашевська Н. В. Словак К. І. Кислова М. А. та ін. вказують на високу мотивацію і самоорганізацію учнів як умову результативності такого навчання.

У психолого-педагогічній літературі все частіше зустрічаємо дослідження впливу ефекту ігор на пізнання і мотивацію до навчання. **Гейміфікація** – це використання елементів і технік ігрового дизайну в неігровому контексті [24], що відбувається зазвичай у формі змагання або гри без переможця [25]. Оскільки цей напрям освітніх досліджень з'явився порівняно недавно і є своєрідним «перетином» психології, поведінкової економіки, менеджменту та ігрового дизайну, вплив цього явища на пізнавальну діяльність оцінюється дослідниками досить

суперечливо (М. Барбер, Дж. Макгонігел, Д. Кларк, Шелдон Лі, К. Вербах та ін.). Досліджуючи окремі аспекти гейміфікації, доцільно чітко розрізняти «навчання у вигляді гри» (або ігрове навчання – Game-Based Learning) та «ігрові технології в навчанні». Припускаємо, що використання ігрових технік, засобів і AV/VR-застосунків з чітко визначеною навчальною метою і відповідним їй педагогічним результатом, потенційно може підсилити інтерес учнів до пізнання в галузі природничо-математичних наук.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Напрями практичного застосування технологій віртуальної і доповненої реальності

Віртуальний світ породжує два найважливіші тісно взаємопов'язані напрями:

- *інженерно-технологічний* – створення апаратно-програмних засобів, що забезпечують синтез і побудову віртуального середовища, в якому діятиме людина;
- *нейротехнологічний* – оптимальна взаємодія людини з віртуальним світом з урахуванням її можливостей і здібностей.

Припускаємо, що у минулому процеси активного поширення VR гальмувались недоступністю спеціального програмного й апаратного забезпечення та економічною неефективністю для невеликих проєктів. У ході технологічної еволюції – від VR-шолому 1970-х рр., перших мобільних AR-додатків і AR-дисплеїв 90-х рр. до сучасних «розумних окулярів» – створені всі необхідні передумови для віртуального навчання. Застосування ж імерсивних технологій у майбутньому багато у чому залежатиме від розуміння того, як мозок обробляє дані з віртуальної реальності у порівнянні з реальністю [26].

Технологія віртуальної реальності широко використовується у промисловості: перш ніж поставити на виробничу лінію транспортний засіб, компанія-розробник проєктує його у віртуальній формі. Змодельовані таким чином двигуни можуть надати дизайнерам і механікам найбільш глибоке розуміння вигляду окремих деталей та їх практичної взаємодії у просторі. Обслуговування продавцями клієнтів (Walmart), приготування їжі (KFC), відпрацювання дій оператора в позаштатних ситуаціях (Schlumberger), інтерактивне керівництво, що допомагає виявити і усунути несправність (BMW) – лише частка вдалих практик використання VR для бізнесу та виробництва.

Створення віртуальних музеїв яскраво продемонструвало обмеження й переваги використання VR: наступні покоління, що виростуть в оточенні технологічних медіа, малоімовірно відмовляться від відвідувань реальних закладів, однак технології віртуалізації можуть бути особливо корисними для перегляду і дослідження в цифровому форматі тих артефактів, які зазвичай розглядаються за склом, що унеможлиблює фізичні маніпуляції з ними. А от у сфері нерухомості, онлайн-візити потенційних покупців до будинків, які вони не можуть легко відвідати фізично, є рентабельним лише за умови високої вартості будівлі.

Моніторинг глобальних технологічних трендів [27] показав стійку висхідну тенденцію до розвитку ринку доповненої реальності не лише для бізнесу, а й в галузі медицини. Зокрема, технології AR дозволяють інтегрувати в єдине адаптоване до швидкого сприйняття зображення всі необхідні для проведення хірургічних операцій дані, як довідкові, так й одержані у ході скринінгу стану пацієнта з датчиків і відеокамер. Застосування VR довело свою ефективність й у лікуванні клінічних випадків [28–32], найбільш успішним з яких є подолання когнітивних та невротичних розладів, таких як агорафобія [33,34]. Принципово нові технології навчання людини, зануреної у віртуальне середовище, відкривають нові шляхи управління свідомістю, забезпечують відновлення втрачених і розвиток нових інтелектуальних здатностей [35].

Успішно використовуються програми 3D-навчання у підготовці пожежників і військових [36] на базі ігрових середовищ, що надають найкраще розуміння залучених просторових когнітивних факторів. Евакуація з будівлі чи літака яскраво демонструє найкраще розуміння просторового пізнання у віртуальному та реальному середовищі і

взаємодії між ними. Очевидно, що така евакуація, відбудеться в темряві, і недооцінювання віртуальних відстаней, наприклад, між дверима й безпековим обладнанням, може мати вирішальне значення [37]. Безпекові тренінги для рятувальників з відпрацювання командних дій у надзвичайних ситуаціях дозволяють набути знань без жодного реального ризику для життя.

У професійному навчанні популярності набула технологія Microsoft HoloLens, що успішно застосовується для підготовки:

- студентів-медиків: експерти Медичного центру Лейденського університету додали в Microsoft HoloLens нову функцію, що поєднує рухи тіла людини та віртуальну анатомічну модель;

- пілотів: компанія Japan Airlines розробила на її базі дві програми з опанування механіки двигуна та підготовки стажерів льотного складу.

- космонавтів: NASA використовує технологію HoloLens для Project Sidekick, що дозволяє екіпажам космічних станцій отримувати допомогу за потребою.

HoloLens може бути використаний й у навчальних програмах STEM шкільної освіти, забезпечуючи більш інтерактивне навчальне середовище (<https://www.lifelike.com/products/hololens#>).

Підсумовуючи, констатуємо, що у бізнесі, виробництві та корпоративному навчанні спостерігається динамічне зміщення акцентів у бік віртуалізації, однак цей процес вимагає наявності ширококутового інтернету, потужного програмного забезпечення для швидкої обробки зображень та вартісних апаратних засобів перегляду: шолом або окуляри віртуальної реальності, маніпулятори, які фіксують положення рук і жестів користувача та надають можливості повноцінного керування середовищем.

3.2. Технології розширеної реальності в освітньому процесі

Опосередкована технологіями освіта стала фундаментальною частиною сучасного навчання і викладання. Події весни 2020 року, що сприяли активному впровадженню електронного, дистанційного і мобільного навчання, окреслили подальші шляхи досліджень варіативного поєднання різних форм цифрового контенту для використання його з навчальною метою залежно від віку, предметної галузі та можливостей суб'єктів освіти.

Аналізуючи відмінності VR/AR/MR, приходимо висновку, що саме технологію доповненої реальності можна вважати найбільш придатною для широкого застосування у шкільній освітянській практиці, з огляду на критерій доступності (користувачеві досить мати лише смартфон) та помірний вплив на сприйняття і психічні реакції дитини [38].

У контексті підвищення ефективності навчання можна виділити наступні напрями застосування технології доповненої реальності [20]: *ігрові симуляції* (середовища, в яких об'єднуються можливості навчання з ігровими елементами), *демонстрування наукових експериментів* (перевірка моделей на валідність) та *відпрацьовування навичок*, що вимагають майстерності.

3.2.1. Ігрова діяльність і технології розширеної реальності

У звіті «Віртуальна реальність та її потенціал для Європи» (“Virtual reality and its potential for Europe”) [19] систематизовано досягнення різних країн щодо створення унікальних інтерактивних платформ для розробки технологій *віртуальних середовищ і розроблення освітніх програм для підлітків* з використанням VR, серед яких: вивчення правил дорожнього руху – WeMakeVR (Нідерланди); створення віртуальних лабораторій для проведення експериментів – Labster (Данія); подолання проблем психічного розвитку за допомогою інтерфейсу доповненої віртуальності, де фізичні об'єкти, якими керують діти, з'являються у віртуальному світі – Kodama (Франція).

Гейміфікація нині є актуальним напрямом в освіті, що дозволяє психологічно змінити поведінку учня. Ігрова діяльність є важливим фактором формування особистості, оскільки відбувається вбудовування отриманого віртуального ігрового досвіду в реальні структури особистості. У процесі гри суб'єкт не лише переживає почуття радості та захоплення, а й

вимушено контролює свої дії, вдається до рефлексії, аналізу того, що змінюється і в ньому самому також. Психологи часто виділяють такі особливості характеру гравців, як розвинуте логічне мислення, емоційну стійкість, домінантність, раціональність, прямолінійність, розслабленість [39].

У 2014 році Шелдоном Лі [40] презентовано позитивний досвід проведення курсу на базі навчального закладу у вигляді багатокористувацької гри. Особливістю такого Game-Based Learning було зосередження учнів на отриманні нагород (балів, бейджів, рейтингів) і командній роботі, а не на самому навчанні. Висновки про ефективність експерименту були сформульовані на підставі успішності учнів та їх зацікавленості.

Хоча використання ігрової форми є широким полем для педагогічних дискусій, на нашу думку, навчальні ситуації, що виступають як засіб спонукання і стимулювання учнів до пізнавальної діяльності, можливо спроектувати з використанням імерсивних технологій. А отже, впровадження ігрових технологій у навчання, зокрема створення засобами віртуалізації та доповненої реальності загального ігрового враження, сприятиме емоційній залученості школярів, створенню додаткових можливостей зробити завдання більш зрозумілими, унаочнити характер і ефективність явища в дії, підвищити візуалізацію результатів, посилити вектор розумового розвитку учня [41].

3.2.2. Освітній цифровий контент на базі технології розширеної реальності

Успішне впровадження технологій VR/AR як інструменту навчання передбачає певні педагогічні передумови, зокрема створення технічно складного контенту та його методичний супровід.

Друковані підручники протягом тривалого часу були основним статичним засобом передачі знань. У наш час традиційний освітній контент можна трансформувати в інтерактивний, багатий візуалізацією з метою забезпечення ширших можливостей навчання через досвід, відкриття і дослідження.

Розвиток імерсивних технологій поступово змінює типологію навчальних матеріалів [42]: друковані; друковані з мультимедійними додатками; електронні як аналог друкованих; електронні з мультимедійним контентом, навігацією і гіперпосиланнями на зовнішні джерела; друковані з об'єктами доповненої реальності; віртуальні та книги змішаної реальності (рис. 2).

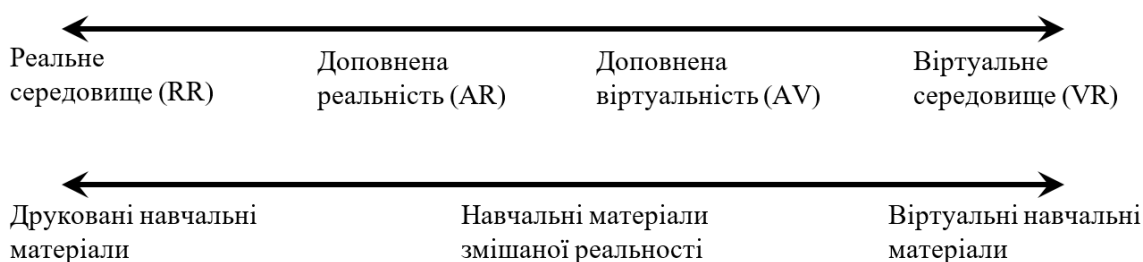


Рис. 2. Навчальні матеріали на базі імерсивних технологій

Популярності набувають книги, роздаткові матеріали та друковані картки з доповненою реальністю (Visually Augmented Books, Traditional AR Book), що містять:

- 2D статичний контент, а саме: фотографії, картини, малюнки, ілюстрації, схеми, текст;
- 2D динамічний контент, до якого відносять відео та анімацію;
- 3D-контент: статичні 3D-моделі (об'єкти, оточення) та динамічні моделі (анімація, 3D-аватари);
- звук: фоновий шум/музика та 3D-звук, що залежить/відповідає діям користувача та розташуванню.

Яскравим позитивним прикладом може бути навчальна програма з цифрових наук (Digital Science Curriculum) – основний продукт Lifelique для залучення учнів до вивчення предметів STEM, а саме з природничих наук К-12, що доповнені інтерактивними 3D (<https://www.lifelique.com/products/lifelique-app>). Користувачам доступні 1000+ планів уроків для

вчителів та уроків для учнів, >1500 3D-моделей доступних у AR/VR, мікроскопічні зображення та анімовані відео з глибоким масштабуванням. Важливим є те, що запропонований цифровий контент співвідноситься з основними підручниками з природничих наук, які використовуються у США.

Отже, з'явилася можливість вдосконалювати візуалізацію змісту підручників, що себе зарекомендували і давно використовуються (рис. 2). Технології проектування 3D сцен та об'єктів доповненої реальності значно розширюють дидактичний інструментарій учителя і збагачують засоби навчання [38]. Так у підручниках шкільної математики зображення об'ємних геометричних тіл зазвичай подаються у вигляді двовимірної проєкції, що створює свого роду когнітивний фільтр в учнів з низькою просторовою здатністю та не дозволяє їм уявляти тривимірні об'єкти. Здібності до просторової уяви частково можна покращити за допомогою створених на комп'ютері моделей таких тіл.

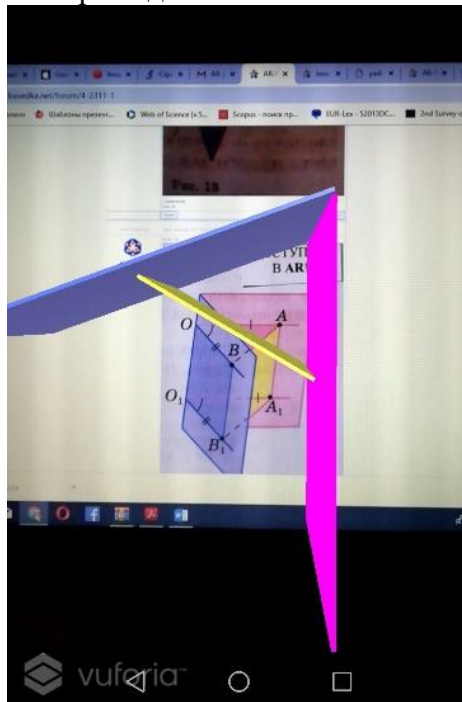


Рис. 3. Зображення на смартфоні ілюстрації до задачі 10 класу підручника геометрії для 10–11 класів (автори: Л. С. Атанасян та ін.) з використанням мобільного додатка AR Geometry

Сучасні пристрої дозволяють фіксувати рух очей та тіла, а хмарні технології застосовуються для отримання навчального контенту з різних джерел, опрацювання і подання його учням у реальному часі. Наочність, орієнтація на матеріал, керованість, безпека, результативність (у порівнянні зі звичайною роботою на ПК) – фактори, що зміцнюють дидактичний потенціал імерсивних технологій.

Інтеграція AR технології у фізичне середовище навчання матиме, на нашу думку, синергетичний ефект і позитивно вплине на учнів. Досвідчені викладачі рекомендують поєднати середовища шляхом доповнення друкованого підручника інтерактивними записами і посиланнями на цифрові медіа. У практиці загальної середньої освіти доцільно використовувати вільно доступні інструменти 3D візуалізації від Windows 10: *Paint 3D*, *Mixed Reality Viewer*, *3D Builder*, *Remix 3D*, *PowerPoint*. Як інструментарій STEM для 3-12 класів рекомендованим є програмне забезпечення: *3D Builder*, *3D Paint ma Story Remix* – вбудовані в оновлення Windows 10 Creators, що дозволяють створювати і друкувати 3D та вбудовувати 3D-об'єкти в змішану реальність.

Важливо, щоб учні мали свободу вибору відповідно до власного стилю навчання. Результати експериментального дослідження щодо поєднання друкованих текстів із цифровими ресурсами за допомогою доповненої реальності [43] підтвердили підвищення

інтересу, впевненості та відчутної продуктивності учнів, які використовували AR-додаток. Завдяки імерсивним і 3D-технологіям спостерігається покращення оцінок за контрольні роботи (22%), підвищення залучення і зацікавленості учнів під час навчання (35%) [4].

Дослідження властивостей AR-контенту і середовищ його розроблення [44] показало ефективність використання технології доповненої реальності для персоналізації навчання осіб з особливими потребами. Для демонстрації учням такого навчального матеріалу вчителі використовували смартфони і планшети, а спеціально розроблений AR-контент, здебільшого, інтегрувався в підтримку вже існуючих ефективних стратегій навчання.

3.2.3. Огляд освітніх мобільних додатків з підтримкою технології доповненої реальності

У 2019 році нами був здійснений порівняльний аналіз функціональних можливостей і апаратних вимог освітніх мобільних додатків з підтримкою технології доповненої реальності [38]. Аналізуючи освітній потенціал програм *mozaBook*, *mozaWeb*, *GeoGebra Augmented Reality*, *Google Expeditions*, *Star Walk*, *Star Walk2*, *The Brain AR App*, *Human body (male) educational VR 3D*, *Da Vinci Machines AR*, *Electricity AR*, *Bridges AR*, *Geometry - Augmented Reality*, *VictoryVR Science Curriculum*, *GeometryAR*. Ми акцентували увагу на таких параметрах як обладнання для демонстрації, вартість, навчальні дисципліни та джерела завантаження. Найбільш вдалим, на нашу думку були наступні.

The Brain AR App (<https://www.harmony.co.uk/project/the-brain-in-3d/>) містить монопредметні моделі, що дозволяють вивчати голову людини, починаючи від шкіряного покриву, м'язів та черепа до внутрішніх областей мозку. Зовнішній вигляд рекомендовано переглядати в режимі AR, внутрішню ж структуру мозку можна вивчати в двох режимах VR і AR. Програма має інтуїтивний інтерфейс, проте її використання передбачає пояснення вчителя. Учень залишається у ролі спостерігача Адаптація українською мовою – відсутня.

Geometry – Augmented Reality (<https://itunes.apple.com/us/app/geometry-augmented-reality/id1309016689?mt=8>) – додаток, розрахований на початкове опанування геометричних фігур, що створює можливості для активних дій учнів та використання ігрових технік. Набір моделей – обмежений (крапка, пряма лінія, трикутник, чотирикутник), однак учень має змогу створити їх самостійно, пересуваючи маркери в реальному середовищі та аналізуючи отриманий результат у доповненому (на екрані пристрою) (рис. 4).

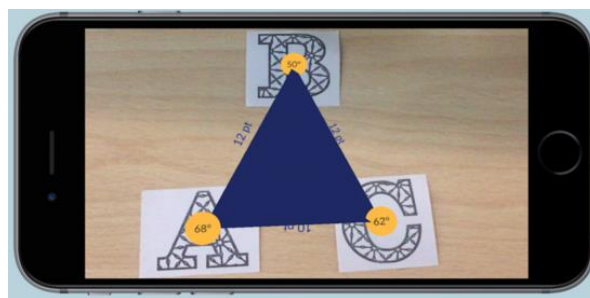


Рис. 4. Вивчення елементів трикутника в *Geometry – Augmented Reality*

Geometry AR (<https://itunes.apple.com/us/app/geometry-ar/id1329101716?mt=8>) – інструмент перегляду і вивчення геометричних фігур за допомогою технології AR з аналогічною до попереднього додатка назвою, однак з іншим функціоналом. За допомогою *Geometry AR* діти можуть переглядати плоскі й просторові фігури, фактично подорожуючи малюнком для дослідження фігури з усіх боків. Учні використовують повзунок або кнопки зі стрілками для переміщення списком із понад 25 фігур, що вивчаються в курсі геометрії основної і старшої школи, а також деяких алгебраїчних кривих (тор, еліпс, парабола, гіпербола). Програма містить довідкові матеріали з можливістю звукового супроводу тексту.

Augmented Reality від GeoGebra (<https://itunes.apple.com/us/app/geogebra-augmented-reality/id1276964610>) надає учням широкий спектр можливостей для моделювання й аналізу

3D-об'єктів, зокрема поверхонь, утворених шляхом обертання графіків функцій навколо координатної осі.

Цей додаток може успішно використовуватись у класах з поглибленим вивченням математики, оскільки дозволяє демонструвати виконання заданого алгоритму прикладом (алгоритмічні моделі) з можливістю вносити зміни до параметрів. Залежно від вибору реального об'єкта застосування додаток може відображати поліпредметні моделі.

MozaBook – колекція моделей для спостереження фізичних процесів, будови хімічних елементів, тіла людини, певної частини світу або історичних експонатів у тривимірному вигляді й прослуховування відомостей про них різними мовами. Учні мають змогу віртуально досліджувати імітаційні та ігрові моделі за допомогою смартфонів. Найбільша перевага цієї програми полягає у супровідному навчальному курсі для вчителів, викладеному в серії вебінарів (<https://edpro.com.ua/webinars>).

Протягом останніх двох років з'явилися або були оновлені AR-додатки, що можуть стати цінними педагогічними інструментами. Ми продовжили огляд додатків з підтримкою технології доповненої реальності. *Atom Visualizer* дозволяє бачити та досліджувати атомні моделі в доповненій реальності за допомогою Google ARCore. *Solar System AR* (ARCore) – подорож Сонячною системою. *ARChemistry* – додаток для візуалізації хімії. Віртуальна колекція *Civilisations AR* містить понад 30 історичних артефактів. Атлас анатомії людини *Human Anatomy Atlas 2021: Complete 3D Human Body* та візуалізація різних станів людського серця *Insight Heart* – зробить незабутнім урок анатомії. Взаємодію з 3D-моделями космічних апаратів і детальну інформацію про реальні космічні місії з минулого пропонує *Spacecraft AR*, а дослідження Землі та Сонячної системи – *Star Chart AR*. Нині зростає кількість комп'ютерних моделей природних процесів і явищ, що дозволяє здійснювати процес аналізу об'єктів, перевірку висновків, уточнювати характеристики, вести спостереження, використовуючи технології AR.

Результати дослідження [45] підтверджують, що інтерфейс доповненої реальності у поєднанні з виконанням просторових завдань створює *новий вид навчального середовища*, який надає унікальні режими подання 3D контенту, дозволяє учням винаходити, використовувати і змінювати просторові стратегії, розвиває їх просторові здібності та надає вчителям середовище для проєктування й розроблення нового інструментарію для візуалізації математичних понять.

3.2.4. Застосування узагальненої моделі електронної освіти Хана

У [2, с.34] ми акцентували увагу на тому, що будь-яке ефективне навчальне середовище повинно бути певною мірою імерсивним, створюючи в учня ефект захоплення, «занурення». З цієї точки зору імерсивність притаманна не лише синтетичному навчальному середовищу. Вона набуває особливого значення, оскільки, по-перше, у синтетичному середовищі з'являються нові можливості для когнітивної діяльності, по-друге, постійно зростає спектр відповідного навчального інструментарію.

У синтетичному навчальному середовищі, насиченому цифровим інструментарієм, зміни у методах навчання пропонуємо розглядати через призму **узагальненої моделі електронної освіти Хана** (*Khan's Learning Framework (KLF)*).

Б. Ханом запропоновано класичну модель (рис. 5), що об'єднує взаємопов'язані фактори, які характеризують навчальний простір. Модель поєднує вісім основних напрямів, за якими можливо проаналізувати поточні завдання педагогічного проєктування, шляхи реалізації новаторських ідей, побудувати стратегію оцінювання результативності навчання, здійснити систематичний і багатоаспектний аналіз педагогічних інновацій. На нашу думку, приступаючи до реалізації нової освітньої ініціативи у будь-якому режимі навчання (дистанційному, мобільному, змішаному), необхідно розглянути кожен вимір рамки.

KLF може слугувати ефективним інструментом для оцінювання готовності до впровадження в освітню практику педагогічних технологій, а також нових методик організації навчання і можливостей для їх розвитку. Кожен вимір (Педагогіка, Технології, Оцінювання,

Інституція, Управління, Ресурсна підтримка, Етика, Дизайн інтерфейсу) є важливим під час розгляду переваг і ризиків, однак, для створення, впровадження і оцінювання методик використання AR ми зосереджуємося, в першу чергу, на технологічному, дизайні інтерфейсу, педагогічному, оцінювальному та вимірі ресурсної підтримки.

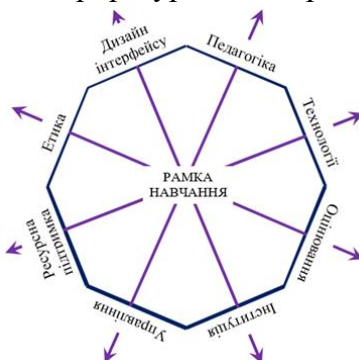


Рис. 5. Рамка навчання за Б. Ханом [46]

1. *Технологічний* вимір стосується навчального середовища, його створення та інструментів, необхідних для реалізації програми навчання, вимог до апаратного та програмного забезпечення. Оперування AR об'єктами не вимагає додаткового обладнання, працює на ПК «середнього» класу та недорогих смартфонах. Не висуваються серйозні системні вимоги до програмного забезпечення. Деякі освітні ресурси, орієнтовані на використання в школі, були проаналізовані в роботі [38].

2. Вимір *дизайн інтерфейсу* стосується факторів, пов'язаних з максимальною зручністю використання та користувацьким досвідом: вебдизайн, дизайн контенту, навігація, доступність та зручність використання порталів для учнів і *вчителя*. Позитивним є те, що колекції 3D об'єктів доступні безкоштовно в мережі Інтернет, а керування ними та об'єктами AR – переважно інтуїтивне.

3. *Педагогічний* вимір стосується того, як розробляється, реалізовується (поставляється) та використовується (впроваджується) навчальний контент, з акцентом на визначенні потреб учнів і способах досягнення освітніх цілей.

Аналіз науково-методичних джерел і власний досвід викладання природничо-математичних дисциплін свідчить про те, що використання AR у навчанні може сприяти більш ефективному виконанню таких дидактичних завдань: розвиток математичного мислення для пізнання і перетворення дійсності, формування уміння критично оцінювати процес та результат розв'язання проблемних ситуацій, а також моделювати процеси і ситуації, розробляти стратегії для розв'язання проблемних ситуацій.

Усвідомлюючи зростаючу роль гуманістичних акцентів у навчанні: розвиток соціальної компетентності учнів, спрямованість на творчість і співпрацю, вважаємо залучення учнів до досліджень (фронтально, у групах, парно) і експериментування з використанням AR значущим стимулом до пізнання. Розглядаючи методи навчання у наших попередніх дослідженнях [47], надаємо перевагу їх класифікації «за характером пізнавальної діяльності».

Наприклад, застосування пояснювально-ілюстративного методу за допомогою 3D сцен колекції Mozaik 3D – це ініційована учителем системність, послідовність та оптимальне використання часу, а додатково й посилюється мотиваційним чинником: якісна керована динамічна наочність.

Ефективність використання методу проблемного викладання та частково-пошукового методу навчання при вивченні нового матеріалу зростає, якщо навчальній діяльності буде передувати гра. Наприклад, спираючись на навчальний досвід розуміння проекції відрізка на пряму, життєвий – тіні від предмету, учням пропонується поставити у відповідність геометричне тіло його проекціям за допомогою гри у тривимірні пазли.

Накладання 3D об'єктів на відео з вебкамери ноутбука чи смартфона – функціональна

можливість AR-застосунку. Сьогодні для підтримки навчання пропонується невеликий набір освітніх AR продуктів, однак їх поява на ринку має позитивну динаміку.

4. Вимір оцінювання рамки KLF також багатофакторний: це й оцінювання учнів, оцінювання освітнього середовища, процесу навчання, оцінювання процесів розроблення контенту, виробництва, тестування та осіб, які беруть участь у процесі проєктування (команда розробників).

Наприклад, у проєкті [48] була використана комбінація трьох пов'язаних методологій (3D-моделювання, анімація та AR) під час вивчення учнями хімічної реакційної здатності молекул. Зміни у результатах навчання та розумінні оцінювалися шляхом аналізу зібраних даних із відповідей на анкети. Позитивні відгуки щодо ефективності технологій AR у покращенні розуміння складних хімічних понять стали опорою для авторів проєкту в подальших розвідках. Проте самі дослідники зауважують: щоб дізнатися більше про вплив цих технологій на розуміння просторової візуалізації, майбутні дії будуть зосереджені на розробленні кількісних оцінок (розробка інструментарію формального оцінювання, тести або завдання) для спостереження за впливом цих інструментів на результативність навчання.

5. Вимір *ресурсної підтримки* це не тільки наявність технічної та кадрової підтримки для створення значущих умов для успішного навчання учнів. Цей вимір передбачає, зокрема, провадження відповідних заходів щодо підвищення кваліфікації педагогів.

4. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Аналіз актуальних напрямів дослідження феномену віртуальності (філософія, психологія, соціологія, природничі, технічні науки та ІКТ) підтверджує його значний освітній потенціал для майбутнього розвитку суспільства. Імерсивні технології дозволяють надійно і достовірно моделювати процеси, що відбуваються в реальному середовищі (хімічні, фізичні, анатомічні, інженерні та ін.). З огляду на це, вони знаходять широке застосування у моделюванні небезпечних ситуацій, у лікуванні складних клінічних випадків та у галузі освіти. Найактуальнішими напрямками практичного застосування технологій віртуальної і доповненої реальності є інженерно-технологічний і нейротехнологічний.

Доповнений метавсесвіт є майбутнім цифрових технологій. Поміж об'єктів імерсивних технологій (віртуальної, доповненої, розширеної, змішаної, заміщеної реальності) вважаємо, що саме об'єкти доповненої реальності є найкращим способом подання цифрового контенту для сприйняття людиною. Такі об'єкти природньо інтегруються у фізичне оточення людини та створюють додаткові можливості для оптимізації когнітивних зусиль.

Вважаємо, що технологія доповненої реальності найбільш придатна для широкого застосування у шкільній освітянській практиці. Аналітичний огляд наукових джерел підтверджує спостережуване на практиці розширення можливостей аудиторного і дистанційного навчання, високу інтерактивність навчального процесу, доступність навчальних матеріалів з AR, посилення наочності та візуалізації результатів, керованість, безпеку, результативність у підвищенні пізнавального інтересу, впевненості, емоційної залученості та відчутної продуктивності учнів, а також інші вагомні фактори дидактичний потенціалу імерсивних технологій.

Високий потенціал щодо підвищення ефективності навчання очікується в напрямі застосування AR для ігрових симуляцій з чітко визначеною навчальною метою, демонстрування наукових експериментів та відпрацьовування навичок, що вимагають майстерності.

Вважаємо, що саме технологія AR є найбільш придатною для застосування у шкільній освітянській практиці завдяки економічній і технологічній доступності та нижчому рівню травматичного впливу на дитячу психіку у порівнянні з VR. Візуальні засоби AR дозволяють створити навчальні ситуації, що спонукають і стимулюють учнів до пізнавальної діяльності, готують їх до майбутнього життя і роботи у високотехнологічному інформаційному суспільстві.

Здійснено огляд мобільних додатків з підтримкою технології доповненої реальності акцентовано увагу на таких показниках, як апаратне забезпечення, юзабіліті, змінність параметрів моделей, інтерактивність, міждисциплінарність застосування, можливість активізувати певні пізнавальні дії учнів, ступінь гейміфікації.

Пристаючи до реалізації такої освітньої ініціативи, як впровадження AR у синтетичному навчальному середовищі, зміни у методах навчання пропонуємо розглядати через призму узагальненої моделі електронної освіти Хана, що може слугувати ефективним інструментом для оцінювання готовності педагогічних технологій. На нашу думку, першочерговим для створення, впровадження і оцінювання методик організації навчання з AR є виміри: технологічний, дизайн інтерфейсу, педагогічний, оцінювальний та ресурсної підтримки.

Проблема використання доповненої реальності в освітньому процесі потребує **подальших наукових розвідок**, зокрема щодо впливу таких технологій на темпи засвоєння навчального матеріалу, ефективність відпрацювання навичок та підвищення успішності навчання учнів, зокрема у вивченні предметів природничо-математичного циклу. Актуальним напрямом дослідження вбачається розширення візуальних можливостей шкільних підручників шляхом використання інтерактивних моделей і відеозображень та розроблення відповідних критеріїв і показників оцінювання такого освітнього цифрового контенту з доповненою реальністю.

ФІНАНСУВАННЯ

Статтю підготовлено в межах виконання наукового дослідження «Критерії та показники оцінювання якості освітнього цифрового контенту з доповненою реальністю» (реєстраційний №0122U001518). Проект є переможцем конкурсного відбору на виконання у 2022 р. за рахунок підтримки НАПН України наукових досліджень з проблем розвитку освіти, що потребують невідкладного розгляду.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] O. P. Pinchuk, "Digital humanistic pedagogy as a new challenge to the competency of a modern teacher", in Actual problems of natural and mathematical education in secondary and high school, Kherson, 2018, pp. 13-14. [Online]. Available: <http://lib.iitta.gov.ua/711699/>.
- [2] O. P. Pinchuk, S. G. Lytvynova, and O. Yu. Burov, "Synthetic educational environment – a footpace to new education". Information Technologies and Learning Tools, vol. 4, no 60, pp. 28-45, 2017. [Online]. Available: <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/1831>.
- [3] H. Rheingold, *Virtuelle Welten und Reisen im Cyberspace*. New York, USA, 1991.
- [4] Transforming Education. Microsoft, 2018. [Online]. Available: https://news.microsoft.com/wp-content/uploads/prod/sites/66/2018/06/Transforming-Education-eBook_Final.pdf
- [5] 10th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics and the Affiliated Conferences Proceedings of the AHFE 2019 International Conference on Human Factors in Training, Education, and Learning Sciences, held on July 24–28, 2019, in Washington D.C., US. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-20135-7>.
- [6] O. Pinchuk, O. Burov, and S. Lytvynova, "Learning as a Systemic Activity", in Advances in Human Factors in Training, Education, and Learning Sciences, W. Karwowski, T. Ahram, and S. Nazir (eds) AHFE 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 963. Springer, Cham, 2020. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-3-030-20135-7_33.
- [7] L. Caprara, and C. Caprara, "Effects of virtual learning environments: A scoping review of literature", *Educ Inf Technol*, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10768-w>.
- [8] N. Pellas, I. Kazanidis, and G. A. "Palaiogeorgiou, systematic literature review of mixed reality environments in K-12 education", *Educ Inf Technol*, vol. 25, pp. 2481–2520, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10639-019-10076-4>.
- [9] H. Altinpulluk, "Determining the trends of using augmented reality in education between 2006-2016", *Educ Inf Technol*, vol. 24, pp. 1089–1114, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10639-018-9806-3>.
- [10] K. Okoye, J.A. et al. "Technology-mediated teaching and learning process: A conceptual study of educators' response amidst the Covid-19 pandemic", *Educ Inf Technol*, vol. 26, pp. 7225–7257, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10527-x>.
- [11] S. Mystakidis, A. Christopoulos, and N. Pellas, "A systematic mapping review of augmented reality applications to support STEM learning in higher education", *Educ Inf Technol*, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10639-021>.

- [12] A. Striuk, M. Rassovytska, and S. Shokaliuk, "Using Blippar Augmented Reality Browser in the Practical Training of Mechanical Engineers", in 14th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer (ICTERI, 2018), Kyiv, 2018, pp. 412-419. [Online]. Available: http://ceur-ws.org/Vol-2104/paper_223.pdf.
- [13] E. Rogers, *Diffusion of Innovations*, Simon and Schuster, 2003.
- [14] M. Hirooka, *Innovation Dynamism and Economic Growth: A Nonlinear Perspective*. Edward Elgar Publishing, 2006.
- [15] C. M. Clayton, *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*, Boston, USA : Harvard Business School Press, 1997.
- [16] Ch. Freeman, and L. Soete, *The Economics of Industrial Innovation*. Psychology Press, 1997.
- [17] E. Costanza, A. Kunz, and M. Fjeld, *Mixed Reality: A Survey*. In: *Human Machine interaction: Research Results of the MMI Program*, 2009. [Online]. Available: http://www.t2i.se/pub/papers/springer_5440.pdf.
- [18] C. C. Yang, Hs. Chen, and K. Hong, "Visualization of large category map for Internet browsing", in *Decision Support Systems*, vol. 1, no 35, pp. 89–102, 2003. [Online]. Available: 10.1016/S0167-9236(02)00101-X
- [19] E. Bezegová, M. A. Ledgard, R.-Ja. Molemaker, B. P. Oberč, and A. Vigkos, "Virtual reality and its potential for Europe". *Ecorys*, 2017.
- [20] J.-M. Cieutat, O. Hugues, and N. Ghouaiel, "Active Learning based on the use of Augmented Reality Outline of Possible Applications: Serious Games, Scientific Experiments, Confronting Studies with Creation, Training for Carrying out Technical Skills", *International Journal of Computer Applications, IJCA*, 46 (20), pp. 31-36, 2012.
- [21] P. Milgram, and F. Kishino, "A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays", *IEICE Trans. Information Systems*, vol. E77-D, no. 12, 1321-1329, 1994.
- [22] Е. П. Попечителей, та А. Ю Буров, "Синтетическая обучающая среда: особенности проектирования", *Інформаційні технології і засоби навчання*,. п. 66, № 4, с. 1-13, 2018. (in Russian)
- [23] А. М. Стрюк, "Проектирование учебных объектов дополненной реальности", *Automated control systems, Transactions*, т. 2 (26), с. 127-134, 2018.
- [24] K. Werbach, and D. Hunter, *For the Win: How game thinking can revolutionize your business*. Wharton Digital Press, 2012.
- [25] L. Sergejeva, "Gamification: game mechanics for motivating adults", *Theory and methods of educational management*, vol. 2, no. 49, 2014. [Online]. Available: <https://goo.gl/yANJjm>.
- [26] N. Foreman, and L. Korralo, "Past and future applications of 3-D (VIRTUAL REALITY) technology", in *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, vol. 6, # 94, pp. 1-8, 2014. [Online]. Available: <https://ntv.ifmo.ru/file/article/11182.pdf>.
- [27] Моніторинг глобальних технологічних трендів. Трендлеттери. [Online]. Available: <https://issek.hse.ru/trendletter/>.
- [28] G. Riva, "Virtual reality in neuroscience: a survey", *Studies in Health Technology and Informatics*, , vol. 58, pp. 191–199, 1998. [Online]. Available: doi: 10.3233/978-1-60750-902-8-191.
- [29] G. Riva, A. Gaggioli, D. Villani, A. Preziosa, F. Morganti, R. Corsi, G. Faletti, and L. Vezzadini "NeuroVR: an open-source virtual reality tool for research and therapy", in *15th Annual Medicine Meets Virtual Reality Conference*. Long Beach, California, 2007.
- [30] A. A. Rizzo, and M. T. Schultheis, "Expanding the boundaries of psychology: the application of virtual reality", *Psychological Enquiry*, vol. 13, no. 2, pp. 134–140, 2002.
- [31] B. K. Wiederhold, and M. D. "Wiederhold Lessons learned from 600 virtual reality sessions", *Cyberpsychology and Behavior*, vol. 3, no. 3, pp. 393–400, 2000. [Online]. Available: doi: 10.1089/10949310050078841.
- [32] B. K. Wiederhold, and M. D. Wiederhold, *Virtual Reality Therapy for Anxiety Disorders: Advances in Evaluation and Treatment*. US: American Psychological Association, 2005.
- [33] G. Cardenas, S. Munoz, M. Gonzalez, and G. Uribarren, "Virtual reality applications to agoraphobia: a protocol", *Cyberpsychology and Behavior*, vol. 9, no. 2, pp. 248–250, 2006. [Online]. Available: 10.1089/cpb.2006.9.248.
- [34] J. Gershon, P. Anderson, K. Graap, E. Zimand, L. Hodges, and B. O. Rothbaum, "Virtual reality exposure therapy in the treatment of anxiety disorders". *The Scientific Review of Mental Health Practice*, vol. 1, pp. 76– 81, 2004.
- [35] Технологии оптимизации и восстановления когнитивных функций человека виртуальной средой 2014–2016. [Online]. Available: https://grant.rscf.ru/prjcard_int?14-15-00918.
- [36] D. R. Lampton, B. R. Clark, and B. W. Knerr, "Urban combat: the ultimate extreme environment", *Journal of Society for Human Performance in Extreme Environments*, vol. 7, pp. 57–62, 2003.
- [37] N. P. Foreman, G. Sandamas, and D. Newson, "Distance underestimation in virtual space is sensitive to gender but not activity-passivity or mode of interaction", *Cyberpsychology and Behavior*, vol. 7, no. 4, pp. 451– 457, 2004. [Online]. Available: 10.1089/cpb.2004.7.451.
- [38] O. P. Pinchuk, V. A. Tkachenko, and O. Yu Burov., "AV and VR as Gamification of Cognitive Tasks", in. *Proc. 15 th Int. Conf. ICTERI 2019*. vol-2387. pp. 437-442, 2019. [Online]. Available: <http://ceur-ws.org/Vol-2387/20190437.pdf>.
- [39] Н. С. Полутина, "Актуальные направления исследований в психологии компьютерной игры", *Интеграция образования*, №4, С. 93-97, 2010.
- [40] L. Sheldon, "The Multiplayer Classroom: Designing Coursework as a Game. *Course Technology*, a part of Cengage Learning", 2012.

- [41] О. П. Пінчук, та В. А. Ткаченко, "Засоби віртуалізації у синтетичному навчальному середовищі", на Звітній науковій конференції Інституту інформаційних технологій і засобів навчання НАПН України, Київ, 2019. С. 131-132. [Online]. Available: <http://lib.iitta.gov.ua/715956/>.
- [42] Immersive Experiences in Education – Microsoft, 2019. [Online]. Available: <https://edudownloads.azureedge.net/>.
- [43] S. Y. Al-Imamy, "Blending printed texts with digital resources through augmented reality interaction", *Educ Inf Technol*, vol. 25, pp. 2561–2576, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10639-019-10070-w>.
- [44] H. Köse, and N. Güner-Yildiz, "Augmented reality (AR) as a learning material in special needs education", *Educ Inf Technol*, vol. 26, pp. 1921–1936, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10326-w>.
- [45] B. Özçakır, and E. Çakıroğlu, "Fostering spatial abilities of middle school students through augmented reality: Spatial strategies", *Educ Inf Technol*, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10729-3>.
- [46] B. H. Khan, J. Rene Corbeil, and M. E. Corbeil, "Responsible Analytics and Data Mining in Education: Global Perspectives on Quality, Support, and Decision-Making. Routledge"; 2018.
- [47] S. Lytvynova, and O. Pinchuk, "The evolution of teaching methods of students in electronic social networks", in *Proc. 13th Int. Conf. ICTERI 2017, Kyiv, 2017*. [Online]. Available: <http://ceur-ws.org/Vol-1844/10000360.pdf>.
- [48] M. Abdinejad et al. "Student Perceptions Using Augmented Reality and 3D Visualization Technologies in Chemistry Education", *Sci Educ Technol*, vol. 30, pp. 87–96, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09880-2>.

DIDACTIC POTENTIAL OF USING DIGITAL CONTENT WITH AUGMENTED REALITY

Pinchuk Olga Pavlivna

PhD of Pedagogical Sciences, Senior Researcher, Deputy Director for Research and Experimental Work
Institute for Digitalisation of Education of the NAES of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-2770-0838
opinchuk100@gmail.com

Luparenko Liliia Anatoliivna

PhD of Pedagogical Sciences, Head of the Department of Digital Transformation of the NAES of Ukraine
Institute for Digitalisation of Education of the NAES of Ukraine,
Kyiv, Ukraine
ORCID ID: 0000-0002-4500-3155
lisoln1@gmail.com

Abstract. During the studies, long-term trends were screened (based on the materials of worldwide forecasts and thematic reviews); global socio-economic and scientific-technological challenges related to the field of ICT were analyzed; potential opportunities for the use of virtual, augmented and mixed reality technologies for the purpose of education were assessed. The authors analyzed the practical experience of domestic and foreign scientists in the field of computer-based pedagogical technologies for the use of VR and AR in the process of education; methods of comparative analysis and testing of digital applications and educational services were applied.

Some concepts necessary for unambiguous understanding of the presented results are described: immersiveness, objects of immersive technologies, sense of presence, virtual reality, augmented reality, extended reality, mixed reality, substituted reality, virtual and augmented metaverse.

The article briefly outlines the areas of practical application of virtual and augmented reality technologies in business, manufacturing, corporate training. Researchers focus on the use of augmented reality technology in the educational process: gaming and augmented reality technology, educational digital content based on augmented reality technology; review of educational mobile applications which support augmented reality technology; application of Khan's generalized model of e-education.

The expansion of the visual possibilities of school textbooks through the use of interactive models, video images and augmented reality objects, in particular for natural sciences and mathematics, is insufficiently researched and therefore relevant for further research. The validity and effectiveness of such studies will depend on the availability and status of the development of appropriate criteria and indicators for evaluating educational digital content, in particular that, which includes augmented reality content.

Keywords: virtual reality; augmented reality; extended reality; mixed reality; immersive technologies in education, school education, didactic potential of technology.

References (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

- [1] O. P. Pinchuk, "Digital humanistic pedagogy as a new challenge to the competency of a modern teacher", in *Actual problems of natural and mathematical education in secondary and high school*, Kherson, 2018, pp. 13-14. [Online]. Available: <http://lib.iitta.gov.ua/711699/>. (in English)
- [2] O. P. Pinchuk, S. G. Lytvynova, and O. Yu. Burov, "Synthetic educational environment – a footpace to new education". *Information Technologies and Learning Tools*, vol. 4, no 60, pp. 28-45, 2017. [Online]. Available: <https://journal.iitta.gov.ua/index.php/itlt/article/view/1831>. (in English)
- [3] H. Rheingold, *Virtuelle Welten und Reisen im Cyberspace*. New York, USA, 1991. (in German)
- [4] *Transforming Education*. Microsoft, 2018. [Online]. Available: https://news.microsoft.com/wp-content/uploads/prod/sites/66/2018/06/Transforming-Education-eBook_Final.pdf (in English)
- [5] 10th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics and the Affiliated Conferences Proceedings of the AHFE 2019 International Conference on Human Factors in Training, Education, and Learning Sciences, held on July 24–28, 2019, in Washington D.C., US. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-20135-7>. (in English)
- [6] O. Pinchuk, O. Burov, and S. Lytvynova, "Learning as a Systemic Activity", in *Advances in Human Factors in Training, Education, and Learning Sciences*, W. Karwowski, T. Ahram, and S. Nazir (eds) AHFE 2019. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 963. Springer, Cham, 2020. [Online]. Available: https://doi.org/10.1007/978-3-030-20135-7_33. (in English)
- [7] L. Caprara, and C. Caprara, "Effects of virtual learning environments: A scoping review of literature", *Educ Inf Technol*, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10768-w>. (in English)
- [8] N. Pellas, I. Kazanidis, and G. A. "Palaigeorgiou, systematic literature review of mixed reality environments in K-12 education", *Educ Inf Technol*, vol. 25, pp. 2481–2520, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10639-019-10076-4>. (in English)
- [9] H. Altinpulluk, "Determining the trends of using augmented reality in education between 2006-2016", *Educ Inf Technol*, vol. 24, pp. 1089–1114, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10639-018-9806-3>. (in English)
- [10] K. Okoye, J.A. et al. "Technology-mediated teaching and learning process: A conceptual study of educators' response amidst the Covid-19 pandemic", *Educ Inf Technol*, vol. 26, pp. 7225–7257, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10527-x>. (in English)
- [11] S. Mystakidis, A. Christopoulos, and N. Pellas, "A systematic mapping review of augmented reality applications to support STEM learning in higher education", *Educ Inf Technol*, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10682-1>. (in English)
- [12] A. Striuk, M. Rassovytska, and S. Shokaliuk, "Using Blippar Augmented Reality Browser in the Practical Training of Mechanical Engineers", in *14th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer (ICTERI, 2018)*, Kyiv, 2018, pp. 412-419. [Online]. Available: http://ceur-ws.org/Vol-2104/paper_223.pdf. (in English)
- [13] E. Rogers, *Diffusion of Innovations*, Simon and Schuster, 2003. (in English)
- [14] M. Hirooka, *Innovation Dynamism and Economic Growth: A Nonlinear Perspective*. Edward Elgar Publishing, 2006. (in English)
- [15] C. M. Clayton, *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*, Boston, USA : Harvard Business School Press, 1997. (in English)
- [16] Ch. Freeman, and L. Soete, *The Economics of Industrial Innovation*. Psychology Press, 1997. (in English)
- [17] E. Costanza, A. Kunz, and M. Fjeld, *Mixed Reality: A Survey*. In: *Human Machine interaction: Research Results of the MMI Program*, 2009. [Online]. Available: http://www.t2i.se/pub/papers/springer_5440.pdf. (in English)
- [18] C. C. Yang, Hs. Chen, and K. Hong, "Visualization of large category map for Internet browsing", in *Decision Support Systems*, vol. 1, no 35, pp. 89–102, 2003. [Online]. Available: 10.1016/S0167-9236(02)00101-X (in English)
- [19] E. Bezegová, M. A. Ledgard, R.-Ja. Molemaker, B. P. Oberč, and A. Vigkos, "Virtual reality and its potential for Europe". *Ecorys*, 2017. (in English)
- [20] J.-M. Cieutat, O. Hugues, and N. Ghouaiel, "Active Learning based on the use of Augmented Reality Outline of Possible Applications: Serious Games, Scientific Experiments, Confronting Studies with Creation, Training for Carrying out Technical Skills", *International Journal of Computer Applications, IJCA*, 46 (20), pp. 31-36, 2012. (in English)
- [21] P. Milgram, and F. Kishino, "A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays", *IEICE Trans. Information Systems*, vol. E77-D, no. 12, 1321-1329, 1994. (in English)
- [22] E. P. Popechytlev, and A. Yu. Burov, "Synthetic learning environment: design features", *Information Technologies and Learning Tools*. vol. 66, no. 4, pp. 1-13, 2018. (in Russian)
- [23] A. M. Striuk, "Designing Augmented Reality Educational Objects", *Automated control systems, Transactions*, vol. 2 (26), pp. 127-134, 2018. (in Russian)
- [24] K. Werbach, and D. Hunter, *For the Win: How game thinking can revolutionize your business*. Wharton Digital Press, 2012. (in English)

- [25] L. Sergejeva, "Gamification: game mechanics for motivating adults", *Theory and methods of educational management*, vol. 2, no. 49, 2014. [Online]. Available: <https://goo.gl/yANJm>. (in English)
- [26] N. Foreman, and L. Korralo, "Past and future applications of 3-D (VIRTUAL REALITY) technology", in *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, vol. 6, # 94, pp. 1-8, 2014. [Online]. Available: <https://ntv.ifmo.ru/file/article/11182.pdf>. (in English)
- [27] Monitoring of global technological trends. Trendletters. [Online]. Available: <https://issek.hse.ru/trendletter/>. (in Ukrainian)
- [28] G. Riva, "Virtual reality in neuroscience: a survey", *Studies in Health Technology and Informatics*, , vol. 58, pp. 191–199, 1998. [Online]. Available: doi: 10.3233/978-1-60750-902-8-191. (in English)
- [29] G. Riva, A. Gaggioli, D. Villani, A. Preziosa, F. Morganti, R. Corsi, G. Faletti, and L. Vezzadini "NeuroVR: an open-source virtual reality tool for research and therapy", in *15th Annual Medicine Meets Virtual Reality Conference*. Long Beach, California, 2007. (in English)
- [30] A. A. Rizzo, and M. T. Schultheis, "Expanding the boundaries of psychology: the application of virtual reality", *Psychological Enquiry*, vol. 13, no. 2, pp. 134–140, 2002. (in English)
- [31] B. K. Wiederhold, and M. D. "Wiederhold Lessons learned from 600 virtual reality sessions", *Cyberpsychology and Behavior*, vol. 3, no. 3, pp. 393–400, 2000. [Online]. Available: doi: 10.1089/10949310050078841. (in English)
- [32] B. K. Wiederhold, and M. D. Wiederhold, *Virtual Reality Therapy for Anxiety Disorders: Advances in Evaluation and Treatment*. US: American Psychological Association, 2005. (in English)
- [33] G. Cardenas, S. Munoz, M. Gonzalez, and G. Uribarren, "Virtual reality applications to agoraphobia: a protocol", *Cyberpsychology and Behavior*, vol. 9, no. 2, pp. 248–250, 2006. [Online]. Available: 10.1089/cpb.2006.9.248. (in English)
- [34] J. Gershon, P. Anderson, K. Graap, E. Zimand, L. Hodges, and B. O. Rothbaum, "Virtual reality exposure therapy in the treatment of anxiety disorders". *The Scientific Review of Mental Health Practice*, vol. 1, pp. 76– 81, 2004. (in English)
- [35] Technologies for optimizing and restoring human cognitive functions in a virtual environment 2014–2016. [Online]. Available: https://grant.rscf.ru/prjcard_int?14-15-00918. (in Russian)
- [36] D. R. Lampton, B. R. Clark, and B. W. Knerr, "Urban combat: the ultimate extreme environment", *Journal of Society for Human Performance in Extreme Environments*, vol. 7, pp. 57–62, 2003. (in English)
- [37] N. P. Foreman, G. Sandamas, and D. Newson, "Distance underestimation in virtual space is sensitive to gender but not activity-passivity or mode of interaction", *Cyberpsychology and Behavior*, vol. 7, no. 4, pp. 451– 457, 2004. [Online]. Available: 10.1089/cpb.2004.7.451. (in English)
- [38] O. P. Pinchuk, V. A. Tkachenko, and O. Yu Burov., "AV and VR as Gamification of Cognitive Tasks", in *Proc. 15 th Int. Conf. ICTERI 2019*. vol-2387. pp. 437-442, 2019. [Online]. Available: <http://ceur-ws.org/Vol-2387/20190437.pdf>. (in English)
- [39] N. S. Polutyna, "Actual directions of research in the psychology of computer games", *Education integration*, №4, pp. 93-97, 2010. (in Russian)
- [40] L. Sheldon, "The Multiplayer Classroom: Designing Coursework as a Game. *Course Technology*, a part of Cengage Learning", 2012. (in English)
- [41] O. P. Pinchuk, and V. A. Tkachenko, "Application of virtualization in a synthetic primary medium", at the *International Scientific Conference of the Institute of Information Technologies and Research Assistance of the NAPS of Ukraine*, Kiev, 2019. pp. 131-132. [Online]. Available: <http://lib.iitta.gov.ua/715956/>. (in Ukrainian)
- [42] *Immersive Experiences in Education – Microsoft*, 2019. [Online]. Available: <https://edudownloads.azureedge.net/>. (in English)
- [43] S. Y. Al-Imamy, "Blending printed texts with digital resources through augmented reality interaction", *Educ Inf Technol*, vol. 25, pp. 2561–2576, 2020. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10639-019-10070-w>. (in English)
- [44] H. Köse, and N. Güner-Yildiz, "Augmented reality (AR) as a learning material in special needs education", *Educ Inf Technol*, vol. 26, pp. 1921–1936, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10639-020-10326-w>. (in English)
- [45] B. Özçakır, and E. Çakıroğlu, "Fostering spatial abilities of middle school students through augmented reality: Spatial strategies", *Educ Inf Technol*, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10729-3>. (in English)
- [46] B. H. Khan, J. Rene Corbeil, and M. E. Corbeil, "Responsible Analytics and Data Mining in Education: Global Perspectives on Quality, Support, and Decision-Making. *Routledge*"; 2018. (in English)
- [47] S. Lytvynova, and O. Pinchuk, "The evolution of teaching methods of students in electronic social networks", in *Proc. 13th Int. Conf. ICTERI 2017*, Kyiv, 2017. [Online]. Available: <http://ceur-ws.org/Vol-1844/10000360.pdf>. (in English)
- [48] M. Abdinejad et al. "Student Perceptions Using Augmented Reality and 3D Visualization Technologies in Chemistry Education", *Sci Educ Technol*, vol. 30, pp. 87–96, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09880-2>. (in English)