

Scientific journal
PHYSICAL AND MATHEMATICAL EDUCATION
 Has been issued since 2013.
 Науковий журнал
ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА ОСВІТА
 Видається з 2013.



p-ISSN 2413-1571
 e-ISSN 2413-158X

DOI: 10.31110/2413-1571
<https://fmo-journal.org/>

DOI 10.31110/2413-1571-2023-038-3-009

УДК 373.3/5.091-026.911:004.946

МОДЕЛІ ВЗАЄМОДІЇ УЧАСНИКІВ ОСВІТНЬОГО СЕРЕДОВИЩА З ВИКОРИСТАННЯМ ЗАСОБІВ ДОПОВНЕНОЇ ТА ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТЕЙ У ЗАКЛАДІ ЗАГАЛЬНОЇ ОСВІТИ

Наталія СОРОКО ✉

Інститут цифровізації освіти НАПН України, Україна
 nvsoroko@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9189-6564>

Віталій ТКАЧЕНКО

Інститут цифровізації освіти НАПН України, Україна
 tva@iitta.gov.ua
<https://orcid.org/0000-0003-4028-4522>

MODELS OF PARTICIPANTS INTERACTION OF THE EDUCATIONAL ENVIRONMENT USING THE TOOLS OF AUGMENTED AND VIRTUAL REALITY IN AN INSTITUTION OF GENERAL EDUCATION

Nataliia SOROKO ✉

The Institute for Digitalisation of Education of NAES of Ukraine, Ukraine
 nvsoroko@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9189-6564>

Vitaliy TKACHENKO

The Institute for Digitalisation of Education of NAES of Ukraine, Ukraine
 tva@iitta.gov.ua
<https://orcid.org/0000-0003-4028-4522>

АНОТАЦІЯ

Розвиток інформаційно-комунікаційних технологій призвів до серйозних змін у традиційних освітніх концепціях, освітніх моделях і навіть системі освіти.

Формулювання проблеми. Поступово повертає увагу освіта, що не підпорядковується традиційній концепції та звільняє учасників процесу навчання від обмежень у часі та просторі, забезпечуючи багатство викладацьких та навчальних ресурсів. Особливого значення при цьому набувають технології віртуальної та доповненої реальності. При впровадженні цих технологій в освітні програми, що мають дистанційний еквівалент, необхідним є аналіз взаємодії учасників навчального процесу із використанням віртуальної та доповненої реальності. Аналіз педагогічної, методичної літератури та результатів вітчизняного і зарубіжного досвіду щодо використання технологій віртуальної та доповненої реальності в освітньому процесі, дозволив виокремити основні особливості моделей взаємодії учасників освітнього процесу закладу загальної освіти з використанням віртуальної та доповненої реальності.

Матеріали і методи. Для досягнення мети дослідження ми використовували такі методи: систематичний та порівняльний аналіз педагогічних, психологічних, філософських, соціологічних праць, методичної та спеціальної літератури; аналіз педагогічного досвіду використання технологій віртуальної та доповненої реальності для навчання в закладах загальної середньої освіти; опитування вчителів про їхній досвід використання технологій віртуальної та доповненої реальності у навчальному процесі, виявлення проблем для створення спеціальних вебінарів та курсів з метою розвитку цифрової компетентності вчителя; інтерпретація результатів дослідження. Дослідження виконувалося в межах дослідної роботи «Проектування навчального середовища з використанням засобів доповненої та віртуальної реальності в закладах загальної середньої освіти» (ДР №0121U107689) Інституту цифровізації освіти НАПН України.

Результати. Встановлено, що взаємодія учасників освітнього процесу із застосуванням технологій віртуальної реальності потребує удосконалення, методичних рекомендацій та досліджень щодо організації цього середовища для різних цілей, як, наприклад, дослідження учнями нового навчального матеріалу, виконання лабораторної роботи, сумісна робота учнів над дослідженням, інструкцій для діяльності вчителя у роботі з учнями у віртуальному навчальному середовищі та ін.; взаємодія учасників освітнього процесу із застосуванням доповненої реальності найбільш зрозуміла вчителями і учнями, ними використовуються як готові технології доповненої реальності, так і створені особисто.

ABSTRACT

The development of information and communication technologies have caused to serious changes in traditional educational concepts, educational models and even education systems.

Problem formulation Gradually, attention is drawn to education that is not subject to the traditional concept and frees the participants of the educational process from limitations in time and space, providing a wealth of teaching and learning resources. Virtual and augmented reality technologies are of particular importance. It is necessary to analyze the interaction of participants in the educational process using virtual and augmented reality, when introducing these technologies into educational programs that have a distance equivalent.

Materials and methods. We used the following methods to achieve the goal of the study: systematic and comparative analysis of pedagogical, psychological, philosophical, sociological works, methodological and specialized literature; analysis of pedagogical experience of use . virtual and augmented reality technologies of the educational in general secondary education institutions; questioning teachers about their experience of using virtual and augmented reality technologies in the educational process, identifying problems for the creation of special webinars and courses in order to develop digital competence of teacher; interpretation of research results. The research was carried out within the framework of the research work "Designing the learning environment using augmented and virtual reality tools in general secondary education institutions" (DR № 0121U107689) of the Institute for Digitalisation of Education of NAES.

Results. It has been established that the interaction of participants in the educational process using virtual reality technology requires improvement, methodological recommendations, and research on the organization of this environment for various purposes. For example, students' exploration of new educational material, conducting laboratory work, collaborative student research, providing instructional guidance for teachers working with students in virtual learning environments, etc. The interaction of participants in the educational process using augmented reality is better understood by teachers and students. They utilize both ready-made augmented reality technologies and personally created ones.

Conclusions. It has been determined that the model of interaction among participants in the educational process of a general education institution, using virtual and augmented reality, generally includes the following blocks: the teacher's activity in organizing the interaction of participants in the educational process using virtual and augmented reality; the organization of interaction between students and the teacher using virtual and augmented reality; the main types of interaction among participants in this process using virtual and augmented reality; the assessment of the effectiveness of interaction in an educational project with virtual and augmented reality. Moreover, the model of interaction among

Сороко Н., Ткаченко В. Моделі взаємодії учасників освітнього середовища з використанням засобів доповненої та віртуальної реальності у закладі загальної освіти. *Фізико-математична освіта*, 2023. Том 38. № 3. С. 63-72. DOI: 10.31110/2413-1571-2023-038-3-009

Для цитування:

Сороко Н., & Ткаченко, В. (2023). Моделі взаємодії учасників освітнього середовища з використанням засобів доповненої та віртуальної реальності у закладі загальної освіти. *Фізико-математична освіта*, 38(3), 63-72. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-009>

Soroko, N., & Tkachenko, V. (2023). Method of finding the wave function of a system of particles. *Physical and Mathematical Education*, 38(3), 63-72. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-009>

For citation:

Soroko, N., & Tkachenko, V. (2023). Modeli vzajemodii uchasnivkiv osvitnoho seredovyschha z vykorystanniam zasobiv dopovnenoi ta virtualnoi realnosti u zakladi zahalnoi osvity [Method of finding the wave function of a system of particles]. *Fiziko-matematichna osvita – Physical and Mathematical Education*, 38(3), 63-72. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-3-009>

✉ Corresponding author

© N. Soroko, V. Tkachenko, 2023

Висновки. Визначено, що модель взаємодії учасників освітнього процесу закладу загальної освіти з використанням віртуальної та доповненої реальностей загалом охоплює такі блоки: діяльність вчителя щодо організації взаємодії учасників освітнього процесу у віртуальній та доповненій реальностях; організація взаємодії учнів із вчителем за допомогою віртуальної та доповненої реальностей; основні види взаємодії учасників цього процесу з використанням віртуальної та доповненої реальностей; діагностика результативності взаємодії у навчальному проєкті з віртуальною та доповненою реальностями. При цьому, модель взаємодії учасників освітнього процесу із використанням віртуальної реальності має врахувати особливості простору призначеного для використання цієї реальності та наближеного до максимальної площі відносно центру навчального класу.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: віртуальна реальність; доповнена реальність; взаємодія учасників освітнього середовища; модель взаємодії учасників освітнього середовища.

participants in the educational process using virtual reality should take into account the characteristics of the space designated for the use of virtual reality and aim for maximum coverage relative to the center of the classroom.

KEYWORDS: virtual reality; augmented reality; participants interaction in the educational environment; model of participants interaction in the educational environment.

ВСТУП

Постановка проблеми. З початку 21 століття безперервний розвиток науки і техніки дозволив інформаційно-комунікаційним технологіям (ІКТ) проникнути в багато аспектів суспільного життя. Це впливає на те, як люди живуть і думають. Продукти процесу розвитку людського суспільства, зокрема освіта, вимагають підтримки інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) для дослідження науковцями та педагогами нових шляхів викладання. Розвиток ІКТ призвів до серйозних змін у традиційних освітніх концепціях, освітніх моделях і навіть системі освіти. Поступово привертає увагу освіта, що не підпорядковується традиційній концепції та звільняє учасників процесу навчання від обмежень у часі та просторі, забезпечуючи багатство викладацьких та навчальних ресурсів. Особливого значення набувають технології віртуальної (англ. Virtual reality – VR) та доповненої (англ. Augmented Reality – AR) реальностей (Perkins Coie LLP and the XR Association, 2021). При впровадженні цих технологій в освітні програми, що мають дистанційний еквівалент (Xiao & Wang, 2017), необхідним є аналіз взаємодії учасників навчального процесу у VR та AR.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання використання доповненої та віртуальної реальностей в освіті досліджували вітчизняні вчені: Буров О.Ю., Литвинова С.Г., Семеріков С.О. (2021) при обґрунтуванні концептуальної моделі використання AR в освітньому процесі; Гриб'юк О.О. (2022) у процесі визначення принципів та підходів щодо використання технологій VR та AR у процесі дослідницького навчання учнів в контексті їх впливу на інтелектуальний і психофізіологічний розвиток школярів; Литвинова С.Г. (2022) при аналізі готовності учнів закладів загальної середньої освіти до використання віртуальної реальності в освітньому процесі; Слободяник О.В. (2023) при розробці освітнього контенту гуртка для неформального навчання учнів “Створення доповненої реальності” у дистанційному форматі; Соколюк О.М. під час визначення можливостей використання технологій доповненої реальності у процесі навчання фізики учнів закладів загальної освіти (Соколюк & Слободяник, 2022) та ін.

Активно ведуть пошуки в цьому напрямі зарубіжні вчені. Так, феномен, сучасний стан, можливості та проблеми використання технологій VR та AR в освітньому процесі вивчають: Doak D. G., Denyer G. S., Gerrard J. A., Mackay J. P., Allison J. R. Перру з приводу створення освітнього середовища віртуальної реальності для розвитку медичної науки (Doak et al., 2020); Yuen S., Yaoупеуong G., Johnson E. щодо вирішення підвищення якості освіти завдяки застосуванню доповненої реальності (Yuen et al., 2011.); Kuhail M.A., ElSaayr A., Fargoq S., Alghamdi A. щодо створення та використання іммерсивних освітніх середовищ (Kuhail et al., 2022); Díaz, J.E.M. (2020) щодо розвитку віртуальної реальності як цифрового інструменту для підтримки навчання студентів і викладачів факультету системної інженерії Університету Кундінамарки (англ. University of Cundinamarca), з метою впровадження та демонстрації освітнього потенціалу як академічного ресурсу, який мотивує студентів у навчанні, а викладачів – розвивати нові цифрові навички та ін.

Мета дослідження визначити особливості моделей взаємодії учасників освітнього процесу закладу загальної освіти з використанням віртуальної та доповненої реальностей.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У процесі дослідження використовувались методи аналізу та систематизації педагогічної, методичної літератури; здійснювалося узагальнення результатів вітчизняного і зарубіжного досвіду щодо використання технологій віртуальної та доповненої реальностей в освітньому процесі. Дослідження виконувалося в межах дослідної роботи «Проєктування навчального середовища з використанням засобів доповненої та віртуальної реальностей в закладах загальної середньої освіти» (ДР № 0121U107689) Інституту цифровізації освіти НАПН України.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

Технології VR та AR, як елементи змішаної реальності (англ. Mixed Reality – MR) є поєднанням реального середовища та цифрових технологій за допомогою інтерактивних дій і є інтеграцією віртуального контенту з фізичним середовищем, що дозволяє користувачеві природно взаємодіяти зі MR. Віртуальна реальність – це технологія, яка дозволяє створювати за допомогою технічних засобів віртуальні світи та ефекти тривимірного середовища, в якому користувач взаємодіє з віртуальними об'єктами, при відчутті тривимірної присутності (Mukasheva, 2023). Доповнена реальність – технологія інтерактивної комп'ютерної візуалізації, яка дозволяє користувачам бачити в реальному світі впроваджені віртуальні об'єкти і маніпулювати ними в реальному часі за допомогою, наприклад, використання мобільного пристрою, додатків та браузерів доповненої реальності (Soroko & Lytvynova, 2021). На відміну від VR, де користувач “переміщується” в інше місце (віртуальний метавесвіт), AR “розширює” реальний світ віртуальними об'єктами. AR, який накладає віртуальну інформацію на фізичний світ, надає унікальні практичні можливості для надання

освітнього контенту. В останнє десятиліття відбувся сплеск інтересу до отримання знань за допомогою усвідомленого та практичного підходу з AR (Perkins Coie LLP and the XR Association, 2021).

Технологія VR стала доступнішою для громадськості завдяки нещодавньому наголосу на її технологічному розвитку, масовому виробництві, що робить її доступною, а завдяки використанню смартфонів для VR позбавляє потреби у складних дорогих пристроях. Це призвело до проведення все більшої кількості досліджень щодо використання VR в освіті.

У таблиці 1 нами пропонуються основні відмінності AR та VR за такими критеріями: мета, рівень зануреності, віртуальний і реальний досвід, контроль над почуттями, пристрої для занурення, пропускна здатність, тривалість сеансу.

Таблиця 1.

Основні відмінності AR та VR

Критерії	AR	VR
Мета	доповнювати середовище реального світу віртуальними об'єктами	імітувати реальне середовище, чи взагалі неможливі світи
Рівень занурення	користувачі частково занурені в VR	користувачі повністю занурені в VR
Віртуальний і реальний досвід	досвід на 25% віртуальний і 75% реальний (Scavarelli, A., Arya, A. & Teather, R.J., 2021)	досвід на 75% віртуальний і 25% реальний
Контроль над почуттями	користувачі відчувають себе в реальному світі	органи чуття знаходяться під частковим контролем системи віртуальної реальності
Пристрої для занурення	не обов'язково потрібні спеціальні AR пристрої (достатньо смартфон чи планшет загального призначення)	спеціальне VR-обладнання, наприклад, VR-окуляри, джойстики, рукавиці, костюми, спеціальні кімнати
Пропускна здатність	потребує каналу зв'язку з меншою пропускною здатністю	потребує каналу зв'язку з більшою пропускною здатністю
Обмеження використання	немає обмежень	для занурення у VR використовуються спеціалізовані пристрої, вплив яких на здоров'я користувачів значно більший (вплив використання пристроїв VR на органи зору та на вестибулярний апарат користувача), ніж при застосуванні AR (Hirota, M., 2019; Turnbull, P. R. K., & Phillips, J. R., 2017; Lee, S. H., Kim, M., Kim, H., & Park, C. Y., 2021; Oh, H., & Lee, G., 2021)
Тривалість сеансу	необмежений час використання	безпечна тривалість сеансу занурення у VR 15 хв. з обов'язковим відпочинком у 15 – 30 хв., що добре корелюється з тривалістю навчальної сесії у 45 хв. (Oh, H., & Lee, G., 2021; Dužmańska, N., Strojny, P., & Strojny, A., 2018)

Згідно з даними в таблиці 1, слід зазначити, що освітній процес із VR та AR вимагає проектування моделей взаємодії учасників цього процесу.

Розглядаючи процеси взаємодії учасників освітнього процесу із VR та AR, варто насамперед визначитись із суб'єктами взаємодії. У нашому випадку суб'єктами взаємодії виступають учні та вчителі ЗЗО. Суб'єкти взаємодії визначають ланки взаємодії у навчальному середовищі, до яких слід віднести: учень-учень, учень-вчитель, вчитель-учень-учні, вчитель-об'єкт-учень (Биков & Жук, 2003; Велитченко, 2006).

Науковцями пропонується розглядати взаємодію в освітньому процесі як динамічну спільну діяльність вчителя та учнів спрямовану на досягнення поставленої мети, виконання завдань цього процесу, організацію діяльності учасників, шляхів та підходів до досягнення результатів цього процесу, підбір засобів навчання та ІКТ.

У продуктивній спільній діяльності учасників освітнього процесу виникає оптимальна зона реалізації усіх можливостей, що охоплює співпраця вчителя із учнями, і пов'язаних із побудовою особистої траєкторії навчання тих, хто навчається, а саме: змінюються рівень самоорганізації, як вчителя, так і учня; способи розуміння ситуації і взаємодії учасників освітнього процесу; зростає мотивація і готовність учнів до розуміння та перегляду цілей навчальної діяльності, до висунення нових ідей у особистих дослідженнях; готовність і здатність до партнерства з іншими учнями і вчителями особистості (Ковальчук, 2005).

Вище зазначене є важливими умовами для проектування моделей взаємодії учасників освітнього процесу в ЗЗО із використанням VR та AR. Крім цього слід звернути увагу на простір VR, який є особливим для організації такого процесу.

Вчені зазначають, що існують такі варіанти взаємодії вчителя із учнями у VR: один учень або вчитель у VR, а інші учасники навчальної діяльності є спостерігачами через монітор; учні взаємодіють у VR, а вчитель контролює та допомагає учням як фасилітатор в середині цього середовища; учні взаємодіють у VR, а вчитель контролює та допомагає учням поза VR, спостерігачами за учнями через монітор (рис. 1).

Простір призначений для використання VR наближений до максимальної площі відносно центру навчального класу, що приблизно дорівнює 135,65 кв.м (1139,5 см на 1190,4 см) (Bannister, 2019). Калібрування кожної гарнітури Oculus Quest до однієї точки в кімнаті повинно гарантувати, що всі користувачі спільно отримують відображення віртуального середовища. Мобільні акумулятори мають бути доступні як аварійні джерела живлення для малопотужних гарнітур.

Крім вище зазначеного, вчені зауважують, що оптимальна бажана кількість учнів у VR – чотири особи. При цьому, схема мережних з'єднань між пристроями користувачів VR може бути таким, як на рисунку 2.

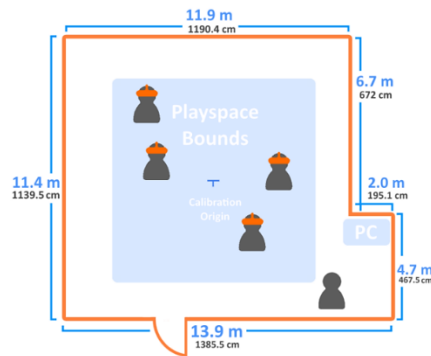


Рис. 1. Модель простору, коли учні взаємодіють у VR, а вчитель контролює та допомагає учням як фасілітатор поза VR, спостерігаючи за учнями через монітор

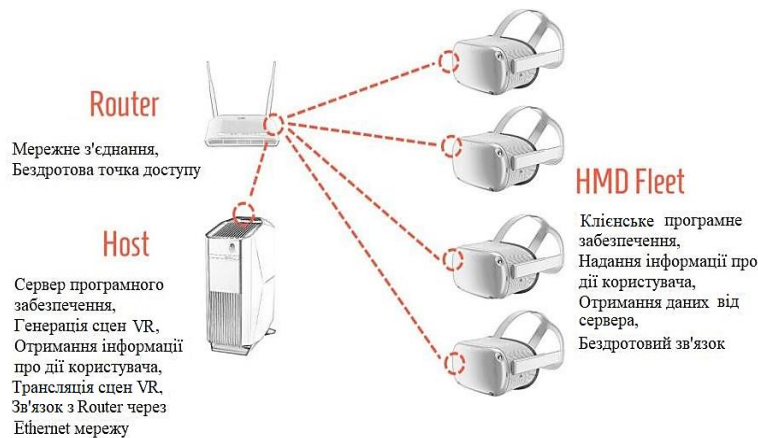


Рис. 2. Схема мережних з'єднань між пристроями користувачів VR

Відповідно до схеми мережних з'єднань між пристроями користувачів VR у просторі (класі) обов'язковим є такі пристрої:

– Роутер (Router): забезпечує зв'язок всіх елементів комплексу за допомогою бездротового та кабельного зв'язку;

– Хост (Host): системний блок, що об'єднує пристрої у єдину систему, забезпечує роботу серверної частини програмного забезпечення, генерує сцени VR для кожного з користувачів, отримує інформацію про дії користувачів, та змінює і транслює сцени відповідно них (дій), забезпечує зв'язок з роутером через кабельну Ethernet мережу;

– Наголовні дисплеї (HMD Fleet): забезпечують роботу клієнтської частини програмного забезпечення, відстежують дії кожного користувача та надсилають інформацію про них серверу, отримують дані від сервера та забезпечує їх відображення на внутрішньому дисплеї, забезпечують бездротовий зв'язок з роутером.

Слід звернути увагу на віртуальні лабораторії, що пропонуються на сайті PhET (<https://phet.colorado.edu/uk/>), який був заснований у 2002 році лауреатом Нобелівської премії Карлом Віманом (Carl Wieman). Проект PhET Interactive Simulations в Університеті Колорадо в Боулдері створює безкоштовні інтерактивні математичні та природничі симуляції, що базуються на різноманітних освітніх дослідженнях і залучають учнів до освітнього середовища, схожого на гру, де вони навчаються через дослідження та відкриття (Potane et al., 2018). За допомогою платформи Nearpod (<https://nearpod.com/>) вчитель може створити свою VR із симуляціями PhET та побудувати траєкторію взаємодії учасників освітнього середовища (рис. 3), як вчитель-учень, так і учні-вчитель, або учень-учні.

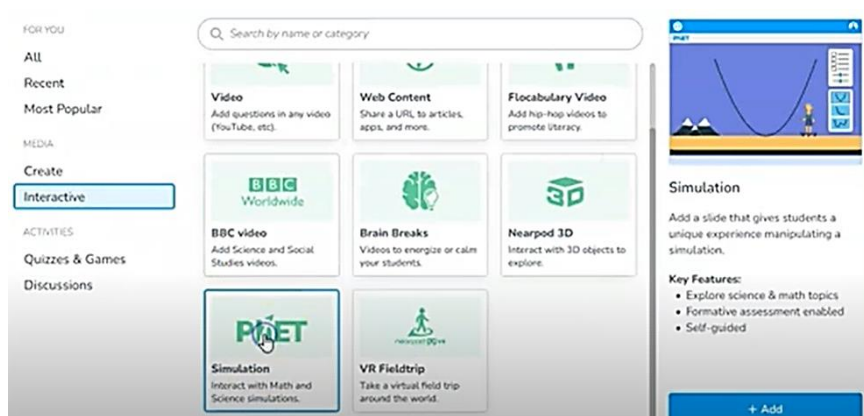


Рис. 3. Фрагмент сайту Nearpod, де вчитель може створити свою VR із симуляціями PhET

Крім вищезазначеного, цікавим прикладом освітнього середовища є BookVAR, де пропонуються лабораторні роботи із застосуванням AR та VR та забезпечується групова взаємодія користувачів із супроводом вчителя (рис. 4). Робота з додатком виконується за допомогою шоломів віртуальної реальності Oculus Quest усіх моделей.



Рис. 4. Фрагмент виконання учнем віртуальної лабораторної роботи із фізики “Теплопровідність”

На відміну від VR, для AR не потрібно особливого простору. Взаємодія учасників освітнього процесу в AR полягає у правильно поставлених учителем завдань учням, наявність у всіх користувачів гаджетів, доцільно підібраний учителем дидактичний матеріал та спланована організація уроку або навчального проекту з AR (час, завдання, вік учнів, результат навчання учнів, форми та методи навчання та ін.). На рисунку 5 представлена модель взаємодії учасників освітнього процесу в ЗЗО із використанням AR, що складається з чотирьох основних блоків: 1 – діяльність вчителя щодо організації взаємодії; 2 – організація взаємодії учнів із вчителем; 3 – основні види взаємодії учасників цього процесу; 4 – діагностика результативності взаємодії.

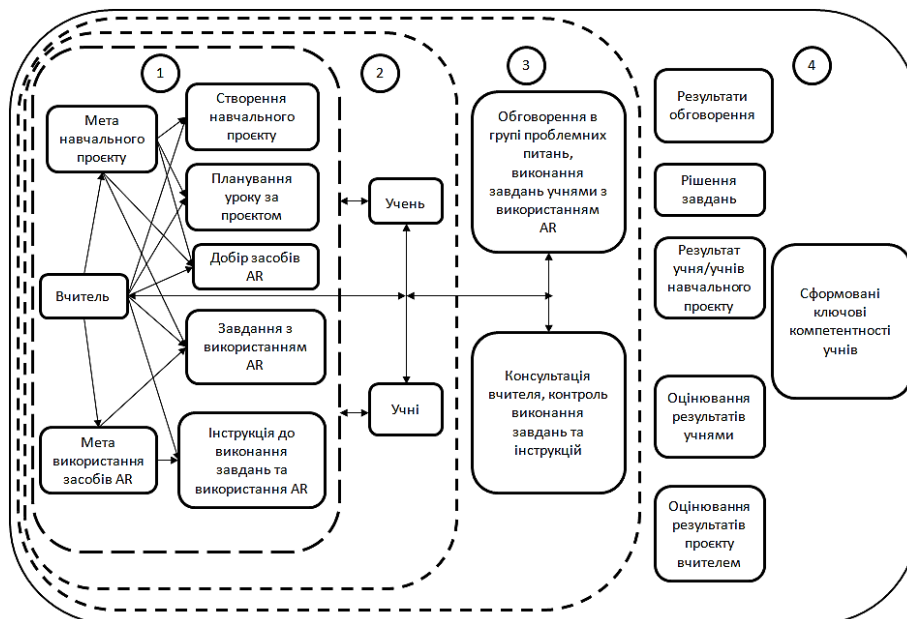


Рис. 5. Модель взаємодії учасників освітнього процесу в ЗЗО із використанням AR

Розглянемо модель взаємодії учасників освітнього процесу в ЗЗО із використанням AR докладніше (рис. 5).

Модель взаємодії учасників освітнього процесу в ЗЗО із використанням AR складається з чотирьох блоків, а саме:

– перший блок – це організація вчителем взаємодії з учнями для здійснення мети навчального проекту, загалом формування в них ключових компетентностей (громадянська, загальнокультурна, здоров’язбережувальна, інформаційно-комунікаційна, комунікативна, міжпредметна естетична, міжпредметна, проектно-технологічна, соціальна) та використання AR для реалізації цього проекту;

– другий блок – організація взаємодії учнів із вчителем, що може охоплювати такі форми навчання як дистанційна, змішана, аудиторна, включає комунікацію учнів у групах під керівництвом вчителя, надання ним інструкцій, обговорення проблемних питань та ін.;

– третій блок – основні види взаємодії учасників цього процесу, що може включати в себе дискусії, мізкові штурми, роботу учнів із віртуальними об’єктами;

– четвертий блок – діагностика результативності взаємодії, яка охоплює представлення результатів обговорення та навчального проекту, пояснення учнями рішення завдань, оцінювання учнями результатів проекту, оцінювання результатів проекту вчителем, оцінювання вчителем результату щодо рівня сформованості в учнів ключових компетентностей.

Вищезазначені блоки модель взаємодії учасників освітнього процесу в ЗЗО із використанням AR можна застосувати і для моделі модель взаємодії учасників освітнього процесу в ЗЗО із використанням VR, але із врахуванням особливого простору призначеного для використання VR та наближеного до максимальної площі відносно центру навчального класу.

Одним із прикладів навчальних проєктів учителями спеціалізованої школи № 181 ім. Івана Кудрі з поглибленим вивченням іноземних мов нами був запропонований проєкт «Сад на підвіконні» для учнів 8-х класів, метою якого є вивчення та розуміння ними реального застосування закону Ома. Проєкт розрахований на 180 хвилин, з яких 45 хвилин – самостійна робота учнів. У проєкті були задіяні вчителі таких навчальних дисциплін: фізики (тема «Закон Ома»); математики (повторення матеріалу за проблемою «розв'язування графічних і розрахункових задач на закон Ома для ділянки кола»); біології («Фотосинтез»), трудового навчання (завдання: дизайн саду на підвіконні); історії (завдання: презентація на тему «Історія винаходу закону Ома»); іноземної мови (завдання: написати есе «Закон Ома в реальному житті»); Інформатики (завдання: за допомогою веб-платформ (Metaverse (<https://studio.gometa.io/>), BlippAR (<https://builder.blippar.com/>), CoSpaces (<https://cospaces.io/edu/>) та ін.) створити приклади із AR та VR для презентації результату проєкту).

Був запропонований навчальний матеріал у вигляді доповненої реальності (рис. 6), що побудований як електронний посібник із проблеми застосування закону Ома у реальному житті.

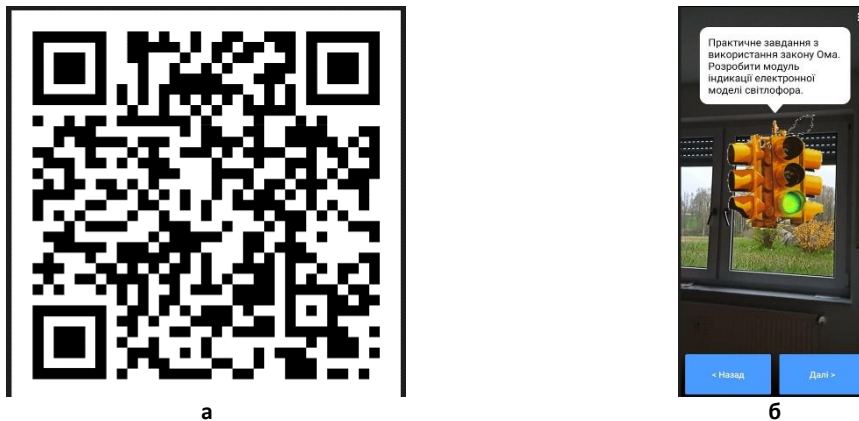


Рис. 6. QR код навчального матеріалу (а), зробленого на веб-платформі Metaverse, та фрагмент використання AR (б)

Взаємодія учнів організувалася за допомогою їхньої сумісної роботи в групах над рішенням завдання практичного використання закону Ома на прикладі розробки модуля індикації моделі світлофора, це були: обговорення особливостей використання світлодіодів, розгляд параметрів запропонованих світлодіодів червоного, жовтого та зеленого кольорів, розроблення електричної схеми модуля, розрахунку струмообмежувальних резисторів для кожного типу світлодіодів; та ін. що відбувалося покроково за навчальним матеріалом AR (рис. 6). Також для самостійного виконання був запланований проєкт «Сад на підвіконні» під час реалізації якого учні у групах обговорювали такі питання: обговорення фотосинтезу; використання освітлення, розрахованого згідно закону Ома, для правильного освітлення рослин на підвіконні, особливості використання спеціалізованих фітосвітлодіодів, їх електричні параметри та особливості використання, тощо. Взаємодія вчителя і учнів проходила у формі наставництва щодо створення презентацій за допомогою веб-платформ Metaverse, BlippAR, CoSpaces та ін., та допомоги у налаштуванні реальних прикладів освітлення саду.

Варіантом результату роботи учня над дизайном саду може бути презентація за допомогою використанням AR та VR (рис. 7).



Рис. 7. Варіант результату роботи учня над практичною роботою "Сад на підвіконні" за допомогою AR та VR : а – QR код; б – приклад AR; в – результат впровадження дослідження

Після проведення навчального проєкту та семінару «Використання AR та VR в освітньому процесі», вчителям було запропоновано відповісти на анкету щодо їхнього ставлення до взаємодії учасників навчальних проєктів із використанням AR та VR (в опитуванні взяло участь 48 вчителів).

В анкеті респонденти мали відмітити «так», «ні», «не знаю» на такі пропозиції 11 відповідей (табл. 2):

- Взаємодія учнів у VR була вдало організована;
- VR для уроку створюю особисто;
- На уроці користуюсь готовими віртуальними лабораторіями;
- При взаємодії учасників за допомогою AR учителем надавались зрозумілі для учнів інструкції, що покращило результати навчання;
- Для взаємодії учнів у групі використовувалася готова AR;
- Учні самостійно створювали приклади AR для презентації своїх результатів проекту;
- Учні самостійно створювали приклади VR для презентації своїх результатів проекту;
- Були проблеми з організацією VR на уроці;
- Були проблеми з організацією AR на уроці;
- Необхідні методичні рекомендації щодо організації взаємодії учасників при використанні освітніх VR;
- Необхідні методичні рекомендації щодо організації взаємодії учасників при використанні освітніх AR.

Таблиця 2.

Результати відповідей вчителів на анкету

№	Пропозиції відповідей	Так (%) / кількість респондентів	Ні (%) / кількість респондентів	Не знаю (%) / кількість респондентів
1	Взаємодія учнів у VR була вдало організована	41.67% / 20	58% / 28	-
2	VR для уроку створюю особисто	2.08% / 1	98% / 47	-
3	На уроці користуюсь готовими віртуальними лабораторіями	41.67% / 20	58% / 28	-
4	При взаємодії учасників за допомогою AR учителем надавались зрозумілі для учнів інструкції, що покращило результати навчання	72.92% / 35	25% / 12	2.08% / 1
5	Для взаємодії учнів у групі використовувалася готова AR	37.5% / 18	63.5% / 30	-
6	Учні самостійно створювали приклади AR для презентації своїх результатів проекту	85.42% / 41	10.42% / 5	4.17% / 2
7	Учні самостійно створювали приклади VR для презентації своїх результатів проекту	4.17% / 2	95.83% / 46	-
8	Були проблеми з організацією VR на уроці	81.25% / 39	18.75% / 9	-
9	Були проблеми з організацією AR на уроці	14.58% / 7	85.42% / 41	-
10	Необхідні методичні рекомендації щодо організації взаємодії учасників при використанні освітніх VR	100% / 48	-	-
11	Необхідні методичні рекомендації щодо організації взаємодії учасників при використанні освітніх AR	16.67% / 8	83.33% / 40	-

Проведемо розрахунки середнього значення, медіани та стандартного відхилення за кожним показником.

Результати розрахунків засобами Excel:

1. Взаємодія учнів у VR була вдало організована:
 - Середнє значення: 0.4167
 - Медіана: 0.4167
 - Стандартне відхилення: 0.239
2. VR для уроку створюю особисто:
 - Середнє значення: 0.0208
 - Медіана: 0.0208
 - Стандартне відхилення: 0.144
3. На уроці користуюся готовими віртуальними лабораторіями:
 - Середнє значення: 0.4167
 - Медіана: 0.4167
 - Стандартне відхилення: 0.239
4. При взаємодії учасників за допомогою AR учителем надавались зрозумілі для учнів інструкції, що покращило результат навчання:
 - Середнє значення: 0.7292
 - Медіана: 0.7292
 - Стандартне відхилення: 0.447
5. Для взаємодії учнів у групі використовувалася готова AR:
 - Середнє значення: 0.375
 - Медіана: 0.375
 - Стандартне відхилення: 0.488
6. Учні самостійно створювали приклади AR для презентації своїх результатів проекту:
 - Середнє значення: 0.8542
 - Медіана: 0.8542

- Стандартне відхилення: 0.355
- 7. Учні самостійно створювали приклади VR для презентації своїх результатів проекту:
 - Середнє значення: 0.0417
 - Медіана: 0.0417
 - Стандартне відхилення: 0.202
- 8. Були проблеми з організацією VR на уроці:
 - Середнє значення: 0.8125
 - Медіана: 0.8125
 - Стандартне відхилення: 0.393
- 9. Були проблеми з організацією AR на уроці:
 - Середнє значення: 0.1458
 - Медіана: 0.1458
 - Стандартне відхилення: 0.355
- 10. Необхідні методичні рекомендації щодо організації взаємодії учасників при використанні освітніх VR:
 - Середнє значення: 1.0
 - Медіана: 1.0
 - Стандартне відхилення: 0.0
- 11. Необхідні методичні рекомендації щодо організації взаємодії учасників при використанні освітніх AR:
 - Середнє значення: 0.1667
 - Медіана: 0.1667
 - Стандартне відхилення: 0.376.

Під час розрахунків для обчислення середнього значення, медіани та стандартного відхилення були використані наступні формули:

Середнє значення (Mean):

середнє значення вираховується шляхом додавання всіх значень і поділу на кількість спостережень.

Формула:

$$\text{Mean} = (\text{Сума всіх значень}) / (\text{Кількість спостережень})$$

Медіана (Median):

Медіана вираховується шляхом розташування всіх значень у порядку зростання і знаходження середнього значення. Якщо кількість спостережень непарна, то медіаною буде значення, розташоване посередині. Якщо кількість спостережень парна, то медіаною буде середнє арифметичне двох значень посередині.

Стандартне відхилення (Standard Deviation):

стандартне відхилення вираховується для вимірювання розкиду значень навколо середнього значення.

Формула:

$$\text{Standard Deviation} = \sqrt{(\sum(x_i - \text{Mean})^2) / n},$$

де x_i – кожне окреме значення, Mean - середнє значення, \sum - сума всіх значень, n - кількість спостережень.

Результати анкети показали наступне:

– взаємодія учасників освітнього процесу із застосуванням VR потребує удосконалення, методичних рекомендацій та досліджень щодо організації цього середовища для різних цілей, як, наприклад, дослідження учнями нового навчального матеріалу, виконання лабораторної роботи, сумісна робота учнів над дослідженням, інструкцій для діяльності вчителя у роботі з учнями у VR та ін.;

– взаємодія учасників освітнього процесу із застосуванням AR найбільш зрозуміла вчителями і учнями, ними використовуються як готові технології AR, так і створені особисто.

Загалом, результати свідчать про різні рівні задоволеності та ефективності використання віртуальної та доповненої реальності у навчанні. Багато респондентів відзначають позитивний вплив VR та AR на навчання, особливо коли надаються зрозумілі інструкції. Однак, існують питання з організацією VR та AR на уроці, а також потреба в методичних рекомендаціях для використання цих технологій.

Цей аналіз може служити основою для подальшого дослідження та розвитку використання віртуальної та доповненої реальності в освітній сфері, з метою поліпшення процесу навчання та залучення учнів до активної взаємодії.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

VR та AR відкривають перед учнями і вчителями багато нових можливостей у організації їхньої взаємодії у процесі навчання в ЗЗО. Модель взаємодії учасників освітнього процесу закладу загальної освіти з використанням віртуальної та доповненої реальності загалом охоплює такі блоки: 1 – діяльність вчителя щодо організації взаємодії учасників освітнього процесу VR та AR; 2 – організація взаємодії учнів із вчителем за допомогою VR та AR; 3 – основні види взаємодії учасників цього процесу з використанням VR та AR; 4 – діагностика результативності взаємодії у навчальному проєкті з VR та AR. При цьому, модель взаємодії учасників освітнього процесу в ЗЗО із використанням VR має врахувати особливості простору призначеного для використання VR та наближеного до максимальної площі відносно центру навчального класу.

Перспективами подальших досліджень є створення методичних рекомендацій щодо конкретизації діяльності учасників освітнього процесу з використанням VR та AR.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bannister, N.A. (2019). Computer Vision Syndrome in Head-Mounted Displays: Spontaneous Eye Blink Rate and Saccades. figshare. URL: https://hammer.figshare.com/articles/Computer_Vision_Syndrome_in_HeadMounted_Displays_Spontaneous_Eye_Blink_Rate_and_Saccades/11309177/1.

2. Díaz, J.E.M. (2020). Virtual world as a complement to hybrid and mobile learning. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, 15(22), 267–274. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i22.14393>.
3. Doak, D.G., Denyer, G.S., Gerrard, J.A., Mackay, J.P., & Allison, J.R. (2020). Peppy: A virtual reality environment for exploring the principles of polypeptide structure. *Protein Science*, 29(1), 157-168. <https://doi.org/10.1002/pro.3752>.
4. Dużmańska, N., Strojny, P., & Strojny, A. (2018). Can Simulator Sickness Be Avoided? A Review on Temporal Aspects of Simulator Sickness. *Frontiers in psychology*, 9, 2132. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02132>.
5. Hirota, M., Kanda, H., Endo, T., Miyoshi, T., Miyagawa, S., Hirohara, Y., Yamaguchi, T., Saika, M., Morimoto, T., & Fujikado, T. (2019). Comparison of visual fatigue caused by head-mounted display for virtual reality and two-dimensional display using objective and subjective evaluation. *Ergonomics*, 62(6), 759–766. <https://doi.org/10.1080/00140139.2019.1582805>.
6. Kuhail, M.A., ElSayary, A., Farooq, S., & Alghamdi, A. (2022). Exploring Immersive Learning Experiences: A Survey. *Informatics*, 9(4), 75. <https://doi.org/10.3390/informatics9040075>.
7. Lee, S. H., Kim, M., Kim, H., & Park, C. Y. (2021). Visual fatigue induced by watching virtual reality device and the effect of anisometropia. *Ergonomics*, 64(12), 1522–1531. <https://doi.org/10.1080/00140139.2021.1957158>.
8. Mukasheva, M., Kornilov, Iu., Beisembayev, G., Soroko, N., Sarsimbayeva, S., & Omirzakova, A. (2023). Contextual structure as an approach to the study of virtual reality learning environment, *Cogent Education*, 10(1). <https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2165788>.
9. Oh, H., & Lee, G. (2021). Feasibility of full immersive virtual reality video game on balance and cybersickness of healthy adolescents. *Neuroscience letters*, 760, 136063. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2021.136063>.
10. Perkins Coie LLP and the XR Association (2021). URL: <https://www.perkinscoie.com/content/designinteractive/xr2021/>
11. Potane, Joel & Bayeta, Rodolfo (2018). Virtual Learning Through PhET Interactive Simulation: A Proactive Approach in Improving Students Academic Achievement in Science. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3166565>.
12. Scavarelli, A., Arya, A., & Teather, R.J. (2021). Virtual reality and augmented reality in social learning spaces: a literature review. *Virtual Reality*, 25, 257–277. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00444-8>.
13. Soroko, N.V., & Lytvynova, S.H. (2021). The Benefits of Using Immersive Technologies at General School. In: , et al. ICTERI 2021 Workshops. *ICTERI 2021. Communications in Computer and Information Science*, 1635. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14841-5_16.
14. Turnbull, P. R. K., & Phillips, J. R. (2017). Ocular effects of virtual reality headset wear in young adults. *Scientific reports*, 7(1), 16172. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16320-6>.
15. Xiao, X., & Wang, J. (2017). Understanding and detecting divided attention in mobile mooc learning. In Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Denver, CO, USA, 6–11 May 2017, 2411–2415. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025552>.
16. Yuen, S., Yaoyuneyong, G., & Johnson, E. (2011). Augmented Reality: An Overview and Five Directions for AR in Education. *Journal of Educational Technology Development and Exchange*, 4, 119-140.
17. Биков, В.Ю., & Жук, Ю.О. (2003). Теоретико-методологічні засади моделювання навчального середовища сучасних педагогічних систем. *Проблеми та перспективи формування національної гуманітарно-технічної еліти* : зб. наук. пр., 1(5), 64–76.
18. Велитченко, Л.К. (2006). Психологічні основи педагогічної взаємодії. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора психологічних наук за спеціальністю 19.00.07 – педагогічна та вікова психологія. Національний педагогічний університет імені М.П. Драгоманова, Київ.
19. Гриб'юк, О.О. (2022). Педагогічне проектування компонентів віртуальної і доповненої реальності КОМСДН у процесі дослідницького навчання учнів предметів природничо-математичного циклу у закладах загальної середньої освіти. Педагогіка формування творчої особистості у вищій і загальноосвітній школах : зб. наук. пр. / редкол.: А.В. Сущенко (голов. ред.) та ін.. Одеса: Видавничий дім «Гельветика», 83, 78-94.
20. Ковальчук, Л.О. (2005). Педагогічна взаємодія викладачів і студентів під час використання нових інформаційних технологій навчання у процесі вивчення педагогічних дисциплін. *Вісник Львівського університету. Серія педагогічна*, 19, 17–25.
21. Литвинова, С.Г. (2022). Готовність учнів закладів загальної середньої освіти до використання віртуальної реальності в освітньому процесі. Перспективи та інновації науки. Педагогіка, психологія, медицина, 4(9), 218-230. [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2022-4\(9\)](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2022-4(9)).
22. Литвинова, С.Г., Буров, О.Ю., & Семеріков, С.О. (2021). 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*, 55, 46-62. <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2020-55-46-62>.
23. Слободяник, О.В. (2023). Особливості роботи гуртка “Створення доповненої реальності” у дистанційному форматі. *Фізико-математична освіта*, 38(1), 60-65. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-1-009>.
24. Соколюк, О.М., & Слободяник, О.В. (2022). Застосування технології доповненої реальності у процесі навчання фізики. Матеріали всеукраїнської вебконференції “Теорія і практика цифрового навчання в сучасних закладах освіти” (присвячується 110-річчю Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського) Вінницький державний педагогічний університет імені Михайла Коцюбинського, м. Вінниця, Україна. URL: https://ito.vspu.net/konferenc/konf_digital_education/2022/digital_education-2022.htm.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Bannister, N.A. (2019). Computer Vision Syndrome in Head-Mounted Displays: Spontaneous Eye Blink Rate and Saccades. figshare. URL: https://hammer.figshare.com/articles/Computer_Vision_Syndrome_in_HeadMounted_Displays_Spontaneous_Eye_Blink_Rate_and_Saccades/11309177/1.
2. Díaz, J.E.M. (2020). Virtual world as a complement to hybrid and mobile learning. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, 15(22), 267–274. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i22.14393>.
3. Doak, D.G., Denyer, G.S., Gerrard, J.A., Mackay, J.P., & Allison, J.R. (2020). Peppy: A virtual reality environment for exploring the principles of polypeptide structure. *Protein Science*, 29(1), 157-168. <https://doi.org/10.1002/pro.3752>.
4. Dużmańska, N., Strojny, P., & Strojny, A. (2018). Can Simulator Sickness Be Avoided? A Review on Temporal Aspects of Simulator Sickness. *Frontiers in psychology*, 9, 2132. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02132>.
5. Hirota, M., Kanda, H., Endo, T., Miyoshi, T., Miyagawa, S., Hirohara, Y., Yamaguchi, T., Saika, M., Morimoto, T., & Fujikado, T. (2019). Comparison of visual fatigue caused by head-mounted display for virtual reality and two-dimensional display using objective and subjective evaluation. *Ergonomics*, 62(6), 759–766. <https://doi.org/10.1080/00140139.2019.1582805>.
6. Kuhail, M.A., ElSayary, A., Farooq, S., & Alghamdi, A. (2022). Exploring Immersive Learning Experiences: A Survey. *Informatics*, 9(4), 75. <https://doi.org/10.3390/informatics9040075>.
7. Lee, S. H., Kim, M., Kim, H., & Park, C. Y. (2021). Visual fatigue induced by watching virtual reality device and the effect of anisometropia. *Ergonomics*, 64(12), 1522–1531. <https://doi.org/10.1080/00140139.2021.1957158>.

8. Mukasheva, M., Kornilov, Iu., Beisembayev, G., Soroko, N., Sarsimbayeva, S., & Omirzakova, A. (2023). Contextual structure as an approach to the study of virtual reality learning environment, *Cogent Education*, 10(1). <https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2165788>.
9. Oh, H., & Lee, G. (2021). Feasibility of full immersive virtual reality video game on balance and cybersickness of healthy adolescents. *Neuroscience letters*, 760, 136063. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2021.136063>
10. Perkins Coie LLP and the XR Association (2021). URL: <https://www.perkinscoie.com/content/designinteractive/xr2021/>
11. Potane, Joel & Bayeta, Rodolfo (2018). Virtual Learning Through PhET Interactive Simulation: A Proactive Approach in Improving Students Academic Achievement in Science. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3166565>.
12. Scavarelli, A., Arya, A., & Teather, R.J. (2021). Virtual reality and augmented reality in social learning spaces: a literature review. *Virtual Reality*, 25, 257–277. <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00444-8>.
13. Soroko, N.V., & Lytvynova, S.H. (2021). The Benefits of Using Immersive Technologies at General School. In: , et al. ICTERI 2021 Workshops. *ICTERI 2021. Communications in Computer and Information Science*, 1635. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14841-5_16.
14. Turnbull, P. R. K., & Phillips, J. R. (2017). Ocular effects of virtual reality headset wear in young adults. *Scientific reports*, 7(1), 16172. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16320-6>.
15. Xiao, X., & Wang, J. (2017). Understanding and detecting divided attention in mobile mooc learning. In Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Denver, CO, USA, 6–11 May 2017, 2411–2415. <https://doi.org/10.1145/3025453.3025552>.
16. Yuen, S., Yaoyuneyong, G., & Johnson, E. (2011). Augmented Reality: An Overview and Five Directions for AR in Education. *Journal of Educational Technology Development and Exchange*, 4, 119-140.
17. Bykov, V. Yu. & Zhuk, Yu. O. (2003). Teoretyko-metodolohichni zasady modeliuvannya navchalnoho seredovyscha suchasnykh pedahohichnykh system [Theoretical and methodological principles of modeling the educational environment of modern pedagogical systems]. *Problemy ta perspektyvy formuvannya natsionalnoi humanitarno-tekhnichnoi elity – Problems and prospects of the formation of the national humanitarian and technical elite*, 1(5), 64–76.
18. Velytchenko L.K. (2006). Psykholohichni osnovy pedahohichnoi vzaiemodii [Psychological foundations of pedagogical interaction]. Dysertatsiia na zdobuttia naukovoho stupenia doktora psykholohichnykh nauk za spetsialnistiu 19.00.07 – pedahohichna ta vikova psykholohiia. – Natsionalnyi pedahohichnyi universytet imeni M.P.Drahomanova, Kyiv.
19. Hrybiuk, O.O. (2022). Pedahohichne proektuvannya komponentiv virtualnoi i dopovненоi realnosti KOMSDN u protsesi doslidnytskoho navchannia uchniv predmetiv pryrodnycho-matematychnoho tsykladu u zakladakh zahalnoi serednoi osvity [Pedagogical design of components of virtual and augmented reality of KOMSDN in the process of research training of students in subjects of the natural and mathematical cycle in institutions of general secondary education]. *Pedahohika formuvannya tvorchoi osobystosti u vyshchii i zahalnoosvitnii shkolakh – Pedagogy of creative personality formation in higher and secondary schools*, 83, 78-94.
20. Kovalchuk, L.O. (2005). Pedahohichna vzaiemodiia vykladachiv i studentiv pid chas vykorystannia novykh informatsiinykh tekhnolohii navchannia u protsesi vyvchennia pedahohichnykh dystsyplin [Pedagogical interaction of teachers and students during the use of new educational information technologies in the process of studying pedagogical disciplines]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Serii pedahohichna – Bulletin of Lviv University. Pedagogical series*, 19, 17–25.
21. Lytvynova, S.H. (2022). Hotovnist uchniv zakladiv zahalnoi serednoi osvity do vykorystannia virtualnoi realnosti v osvitnomu protsesi. Perspektyvy ta innovatsii nauky [Readiness of students of general secondary education institutions to use virtual reality in the educational process]. *Pedahohika, psykholohiia, medytsyna – Perspectives and innovations of science. Pedagogy, psychology, medicine*, 4(9), 218-230. [https://doi.org/10.52058/2786-4952-2022-4\(9\)](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2022-4(9)).
22. Lytvynova, S. H., Burov, O. Yu., & Semerikov, S. O. (2021). Kontseptualni pidkhody do vykorystannia zasobiv dopovненоi realnosti v osvitnomu protsesi [Conceptual approaches to the use of augmented reality in the educational process], *Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems*, 55, 46-62. <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2020-55-46-62>.
23. Slobodianiuk, O. (2023). Osoblyvosti roboty hurtka «Stvorennia dopovненоi realnosti» u dystantsiinomu formati [Peculiarities of the work of the group "Creating augmented reality" in a remote format]. *Fizyko-matematychna osvita – Physical and Mathematical Education*, 38(1), 60-65. <https://doi.org/10.31110/2413-1571-2023-038-1-009>.
24. Sokoliuk, O.M., & Slobodianiuk, O.V. (2022). Zastosuvannya tekhnolohii dopovненоi realnosti u protsesi navchannia fizyky [Application of augmented reality technology in the process of teaching physics]. *Materialy vseukrainskoi vebkonferentsii "Teoriia i praktyka tsyfrovoho navchannia v suchasnykh zakladakh osvity" – Materials of the all-Ukrainian web conference "Theory and practice of digital learning in modern educational institutions"*. Vinnytskyi derzhavnyi pedahohichnyi universytet imeni Mykhaila Kotsiubynskoho, m. Vinnytsia, Ukraina. URL: https://ito.vspu.net/konferenc/konf_digital_education/2022/digital_education-2022.htm.

