

ІГОР ГЕВКО

ORCID ID: 0000-0003-1108-2753

gevko.i@gmail.com

доктор педагогічних наук, професор
Тернопільський національний педагогічний
університет імені Володимира Гнатюка
вул. Максима Кривоноса, 2, м. Тернопіль

ОЛЬГА ПОТАПЧУК

ORCID ID: 0000-0001-8041-0031

potapolga24@gmail.com

доктор педагогічних наук, доцент
Тернопільський національний педагогічний
університет імені Володимира Гнатюка
вул. Максима Кривоноса, 2, м. Тернопіль

ВІКТОРІЯ ЯВОРСЬКА

ORCID ID: 0000-0002-7449-7908

yavorskaya@onu.edu.ua

доктор географічних наук, професор
Одеський національний університет
імені І.І. Мечникова
вул. Шампанський провулок, 2, м. Одеса

ТРИНА ЛУЦИК

ORCID ID: 0000-0003-2943-4358

lib30a@gmail.com

кандидат технічних наук, доцент
Тернопільський національний педагогічний
університет імені Володимира Гнатюка
вул. Максима Кривоноса, 2, м. Тернопіль

ВИКОРИСТАННЯ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЇ У ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРОФІЛЮ

У статті досліджено можливості використання технологій доповненої реальності як ефективного засобу візуалізації навчальної інформації у процесі підготовки здобувачів освіти комп'ютерного профілю. Обґрунтовано актуальність проблеми в умовах цифрової трансформації освіти, що зумовлює необхідність забезпечення інтерактивності навчального процесу. Здійснено аналіз сучасних наукових підходів до трактування поняття доповненої реальності, що дозволило уточнити її сутність у контексті візуалізації навчальної інформації та запропонувати авторське визначення як інтерактивної педагогічної технології.

Розглянуто можливості сучасних платформ доповненої реальності та обґрунтовано доцільність використання середовища ARBook як ефективного інструменту для створення інтерактивного навчального контенту. Запропоновано методіку використання ARBook у процесі навчання. Визначено педагогічні умови ефективного впровадження доповненої реальності в освітній процес.

Практичну значущість дослідження підтверджено реалізацією навчального кейсу з дослідження звукових коливань із використанням AR-технологій, що дозволило продемонструвати підвищення рівня наочності навчального матеріалу, розвиток просторового мислення та візуально-аналітичних умінь здобувачів освіти. Встановлено, що використання доповненої реальності сприяє активізації пізнавальної діяльності, підвищенню мотивації до навчання та формуванню професійних компетентностей майбутніх фахівців комп'ютерного профілю.

Ключові слова: здобувачі освіти, професійна підготовка, доповнена реальність, візуалізація інформації, цифровізація, ARBook.

IHOR HEVKO

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor
Ternopil Volodymyr Hnatiuk
National Pedagogical University
2 Maksyma Krivonosy Str., Ternopil

OLHA POTAPCHUK

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor
Ternopil Volodymyr Hnatiuk
National Pedagogical University
2 Maksyma Krivonosy Str., Ternopil

VIKTORIIA YAVORSKA

Doctor of Geographical Sciences, Professor
Odesa I.I. Mechnikov National University
2 Champagne Lane Str., Odesa, Ukraine

IRYNA LUTSYK

Candidate of Technical Sciences, Docent
Ternopil Volodymyr Hnatiuk
National Pedagogical University
2 Maksyma Krivonosy Str., Ternopil

USING AUGMENTED REALITY FOR INFORMATION VISUALIZATION IN THE PROCESS OF TRAINING COMPUTER SCIENCE STUDENTS

The article explores the potential of augmented reality technologies as an effective means of visualising educational information during the training of computer-related education applicants. The relevance of the problem in the context of the digital transformation of education, which necessitates ensuring the interactivity of the educational process, is substantiated. An analysis of modern scientific approaches to interpreting the concept of augmented reality is presented, clarifying its essence in the context of visualising educational information and proposing the author's definition as an interactive pedagogical technology.

The possibilities of modern augmented reality platforms are considered, and the expediency of using the ARBook environment as an effective tool for creating interactive educational content is substantiated. The proposed methodology for using the ARBook environment involves a phased organisation of educational activities of education seekers – visualisation-orientation, research-experimental and analytical-reflective stages, which ensures the transition from passive perception of information to active research learning. The practical significance of the study was confirmed by the implementation of an educational case study on the study of sound vibrations using AR technologies, which demonstrated an increase in the clarity of educational material and the development of students' spatial thinking and visual-analytical skills. It was established that the use of augmented reality contributes to the activation of cognitive activity, increased motivation for learning and the formation of professional competencies of future computer specialists.

The results obtained give grounds to assert that the purposeful use of augmented reality technologies in the educational process contributes to the transition from reproductive forms of learning to activity-oriented ones, creates conditions for the formation of digital and professional competencies, the development of spatial and visual-analytical thinking, and also significantly improves the quality of perception of complex three-dimensional objects, algorithmic structures and technical systems, which is important for the training of computer specialists. Prospects for further research include experimental verification of the effectiveness of the proposed methodology across a wide sample of education seekers and the development of criteria and indicators for assessing the formation of professional competencies using AR technologies.

Key words: *students, learners, professional training, augmented reality, information visualization, digitalization, ARBook.*

Цифрова трансформація освітнього середовища зумовлює перегляд усталених підходів до візуалізації навчальної інформації у освітньому процесі, в тому числі і для підготовки фахівців комп'ютерного профілю. Сучасні вимоги до таких фахівців передбачають не лише ґрунтовне володіння теоретичними знаннями, а й сформованість просторового мислення, здатність до роботи з тривимірними об'єктами, інтерактивними моделями та складними візуалізаційними системами. У цьому контексті особливої значущості набувають інноваційні технології, здатні забезпечити новий рівень наочності, інтерактивності та занурення у навчальний матеріал.

Однією з таких технологій є доповнена реальність (Augmented Reality, AR), яка інтегрує віртуальні об'єкти в реальне середовище та створює умови для інтерактивної взаємодії користувача з цифровим контентом у режимі реального часу. Використання AR у навчанні відкриває нові можливості для візуалізації складних абстрактних понять, моделювання технічних процесів, демонстрації просторових структур і об'єктів, що особливо важливо для дисциплін комп'ютерного профілю, таких як інженерна графіка, 3D-моделювання, комп'ютерна анімація, програмування, тощо.

Актуальність дослідження зумовлена суперечністю між зростаючими можливостями технологій доповненої реальності та недостатнім рівнем їх методичного впровадження у процес професійної підготовки майбутніх фахівців. Сучасні Концепція розвитку цифрових компетентностей [3] та Стратегія розвитку вищої освіти в Україні [4] акцентують увагу на необхідності впровадження інноваційних засобів навчання, орієнтованих на активну діяльність здобувачів освіти, розвиток критичного мислення, креативності та здатності до самостійного конструювання знань. Доповнена реальність у цьому аспекті виступає не лише інструментом візуалізації, а й потужним дидактичним засобом, що сприяє формуванню професійних компетентностей майбутніх фахівців. Це зумовлює потребу у теоретичному обґрунтуванні доцільності впровадженні технологій доповненої реальності для підвищення ефективності візуалізації навчальної інформації у процесі підготовки здобувачів освіти комп'ютерного профілю, а також необхідності розробки відповідних методичних підходів до їх використання в освітньому середовищі.

Проблематика використання доповненої реальності в освітньому процесі є предметом активних досліджень як в Україні, так і за кордоном. AR-технології розглядаються як ефективний засіб підвищення наочності, інтерактивності та практичної спрямованості навчання. Одними з найбільш цитованих у цій галузі є праці М. Тіса, С. Каппа, М. Стризиса [13] у яких закладено теоретичні та емпіричні засади використання AR у навчанні. Учені доводять, що доповнена реальність має суттєвий потенціал для підтримки візуалізації, залучення й розуміння навчального матеріалу, хоча її ефективність залежить від способу педагогічного проєктування. М. Акчаір у системному огляді зазначає, що AR сприяє підвищенню навчальних результатів, мотивації та зацікавленості, проте одночасно виявили типові проблеми впровадження: складність використання, технічні збої та перевантаження користувача [6].

У вітчизняному науковому просторі проблема використання AR в освіті також активно розробляється. Зокрема, І. Книш, І. Пальшкова, О. Балалаєва, Г. Коберник, В. Тягур розглядають доповнену реальність як інструмент реалізації STEM-освіти у вищій школі та підкреслюють її важливість для організації сучасного інноваційного освітнього середовища [9]. У свою чергу, В. Іванов, І. Павленко, А. Євтухов у праці «Доповнена реальність в інженерній графіці» акцентують, що AR дає змогу покращити візуалізацію технічних креслень, розуміння складальних вузлів, контекстуалізацію й ітеративне проєктування, а також сприяє кращому розумінню правил побудови складних графічних зображень [8]. Саме ця лінія досліджень найближча до теми підготовки здобувачів освіти комп'ютерного профілю.

Важливим етапом розвитку цієї проблематики стали дослідження О. Потапчук, І. Гевка, І. Луцик, які у ширшому контексті цифровізації освіти розглядають доповнену реальність як складову сучасних освітніх технологій поряд із штучним інтелектом, хмарними сервісами та аналітикою даних, що формують нову парадигму освітнього середовища. Це дозволяє трактувати AR не ізольовано, а як елемент комплексної цифрової трансформації освіти. Дослідники зазначають, що доповнену реальність слід розглядати як: інструмент підвищення якості навчання, засіб формування цифрових компетентностей, елемент імерсивного освітнього середовища, складова професійної підготовки майбутніх педагогів і IT-фахівців [1].

Особливо значущим для підготовки здобувачів освіти комп'ютерного профілю є їх висновок про доцільність поєднання AR з метакогнітивною підтримкою та практичними діями, а не лише з демонстраційною візуалізацією.

У новітньому систематичному огляді та метааналізі, показано, що у вищій освіті AR використовується насамперед для підтримки знань, емоційного залучення та практичних умінь. Водночас автори (С. Семеріков, А. Стрюк, М. Шишкіна, А. Ків) підкреслюють, що вплив AR на більш складні освітні результати – зокрема просторове мислення, що потребує глибшого методичного проєктування та стандартизованого опису результатів. Дослідження доводить необхідність переходу від фрагментарного використання AR до цілісних педагогічних моделей її інтеграції у професійну підготовку [12].

Окремий напрям сучасних студій стосується застосування доповненої реальності в інженерній освіті, яка є методично близькою до підготовки фахівців комп'ютерного профілю. У систематич-

ному дослідженні Н. Рашевської встановлено, що AR позитивно впливає на залученість, академічну успішність і навчання в інженерних дисциплінах, але ефективність значною мірою залежить від того, наскільки AR-інструмент адаптовано до конкретних цілей курсу. Авторка також наголошує на проблемах доступності AR-засобів та необхідності розроблення спеціалізованих рішень для окремих інженерних галузей [5]. Це корелює з підготовкою здобувачів комп'ютерного профілю, для яких важливо не просто використовувати AR, а інтегрувати її у зміст дисциплін – інженерної графіки, 3D-моделювання, комп'ютерної анімації, програмування. Отже, це зумовлює перехід від поодиноких кейсів до формування сталого міждисциплінарного напрямку досліджень, у межах якого проблеми візуалізації навчальної інформації набувають центрального значення.

Важливу роль у формуванні українського наукового поля з AR-освіти відіграє й серія міжнародних воркшопів AREdu, що доводить активний розвиток в Україні досліджень, пов'язаних із поєднанням AR, AI, аналітики навчання та цифрових освітніх середовищ [7]. Це засвідчує, що вітчизняна наукова спільнота поступово переходить від загальнотеоретичних розвідок до проектування конкретних освітніх рішень на основі доповненої реальності.

Аналіз таких досліджень дає підстави стверджувати, що доповнена реальність розглядається сучасними науковцями як перспективний засіб візуалізації, підвищення мотивації, розвитку просторового мислення, практичних навичок і залученості студентів. Водночас у науковій літературі все ще недостатньо висвітлено питання цілісного методичного використання AR саме у процесі підготовки здобувачів освіти комп'ютерного профілю, зокрема в контексті фахових дисциплін, що визначає наукову доцільність подальшого дослідження обраної теми.

Метою статті є обґрунтування доцільності використання технологій доповненої реальності як ефективного засобу візуалізації навчальної інформації у процесі підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю задля підвищення рівня їхніх професійних компетентностей.

Для досягнення мети використано комплекс теоретичних методів: аналіз наукової, психолого-педагогічної та технічної літератури з проблем використання AR в освіті дав змогу визначити стан дослідженості проблеми та виявити лакуни; синтез та узагальнення дозволили сформулювати авторське визначення поняття «AR-візуалізація навчальної інформації»; систематизація наукових підходів забезпечила основу для розроблення класифікації дидактичних функцій AR.

Поняття доповненої реальності у контексті візуалізації навчальної інформації. Доповнена реальність сьогодні визначається як технологія, що поєднує реальний світ із комп'ютерно згенерованими елементами (тривимірними моделями, анімацією, текстом, відео), які накладаються на фізичне середовище та доповнюють його інформаційним змістом. На відміну від віртуальної реальності, яка повністю занурює користувача у штучно створене середовище, AR забезпечує збереження зв'язку з реальним світом, що робить її особливо ефективною у навчальному процесі.

Згідно з теорією мультимедійного навчання Р. Маєра, ефективність засвоєння знань значно зростає за умови поєднання вербального та візуального каналів сприйняття інформації [10]. У цьому аспекті доповнена реальність реалізує ефект подвійного кодування, оскільки дозволяє одночасно сприймати реальний об'єкт і його цифрову модель, що сприяє глибшому розумінню навчального матеріалу та підвищенню рівня його запам'ятовування.

Аналіз наукових підходів до визначення доповненої реальності (Іванов, Рашевська, Семеріков) свідчить про еволюцію її розуміння: від технічного трактування як системи інтеграції реального та віртуального середовищ до педагогічного – як ефективного інструменту візуалізації, інтерактивного навчання та формування професійних компетентностей [8; 5; 12]. Спільним для більшості визначень є акцент на поєднанні реального і цифрового середовищ, інтерактивності та можливості візуалізації складних об'єктів і процесів.

На основі проведеного аналізу, доповнену реальність розглядаємо як інтерактивну цифрову педагогічну технологію, що забезпечує поєднання реального освітнього середовища з віртуальними об'єктами та створює умови для мультимодальної візуалізації навчальної інформації, інтерактивної взаємодії здобувачів освіти з навчальним контентом [11].

У контексті візуалізації навчальної інформації доповнена реальність виступає як засіб, що забезпечує:

- наочність – представлення складних абстрактних понять у візуальній формі;
- інтерактивність – можливість маніпулювання об'єктами (обертання, масштабування, деталізація);
- контекстуалізацію – розміщення навчального контенту у реальному середовищі;

– мультимодальність – поєднання різних каналів подання інформації (візуального, аудіального, текстового).

Особливого значення AR набуває у підготовці здобувачів освіти комп'ютерного профілю, де значна частина навчального матеріалу пов'язана з просторовими структурами, алгоритмами та моделями. Використання доповненої реальності дозволяє візуалізувати тривимірні об'єкти, складні технічні конструкції, алгоритмічні процеси, що є складними для сприйняття у традиційних двовимірних формах подання інформації. Це, у свою чергу, сприяє розвитку просторового мислення, візуально-аналітичних умінь і здатності до моделювання.

Важливою характеристикою доповненої реальності як засобу навчання є її здатність до інтерактивного навчання, що відповідає сучасним діяльнісним підходам. Здобувач освіти виступає не пасивним споживачем інформації, а активним учасником навчального процесу, який взаємодіє з навчальними об'єктами, досліджує їх властивості та моделює різні ситуації.

Таким чином, доповнена реальність у контексті візуалізації навчальної інформації є ефективним педагогічним інструментом, що забезпечує інтеграцію реального та віртуального компонентів навчання, підвищує рівень наочності, сприяє активізації пізнавальної діяльності здобувачів освіти та створює умови для формування професійних компетентностей майбутніх фахівців комп'ютерного профілю.

Аналіз можливостей платформ доповненої реальності для візуалізації навчальної інформації. Сучасні AR-платформи забезпечують створення інтерактивного освітнього середовища, у якому поєднуються віртуальні об'єкти, мультимедійний контент і реальний контекст навчання.

Серед найбільш поширених підходів до використання AR у навчанні можна виокремити [2]:

– платформи для створення AR-контенту (Unity, Vuforia, ARCore), що дозволяють розробляти складні інтерактивні додатки, проте потребують високого рівня технічної підготовки;

– освітні AR-додатки (Merge Cube, JigSpace, Assemlr), орієнтовані на візуалізацію навчального матеріалу через готові 3D-моделі;

– AR-книги та інтерактивні видання, які поєднують друкований матеріал із цифровими візуалізаціями, підвищуючи рівень залученості та розуміння навчального контенту.

Разом із тим аналіз зазначених платформ засвідчує, що більшість із них орієнтовані або на технічну розробку, або на демонстраційне використання контенту, що обмежує їх застосування у комплексному освітньому процесі, особливо у підготовці здобувачів освіти комп'ютерного профілю.

У цьому контексті доцільно виокремити освітню платформу ARBook, яка поєднує функції створення, управління та використання навчального контенту в єдиному цифровому середовищі. Платформа ARBook являє собою інтегровану екосистему, що дозволяє викладачам проєктувати навчальні матеріали з використанням доповненої реальності, а здобувачам освіти – взаємодіяти з ними в інтерактивному форматі.

Ключові можливості платформи ARBook включають:

– створення інтерактивних уроків із використанням 3D-моделей, анімацій та віртуальних лабораторій;

– інтеграцію мультимедійного контенту (тексту, відео, графіки) у єдине навчальне середовище;

– використання гейміфікації та міні-ігор для підвищення мотивації здобувачів освіти;

– забезпечення доступу до навчальних матеріалів з різних пристроїв (смартфонів, планшетів, ПК);

– наявність аналітики та інструментів управління навчальним процесом.

Особливістю ARBook є можливість трансформації традиційного навчального матеріалу у інтерактивний формат, що сприяє підвищенню рівня наочності та глибшому розумінню складних понять. Зокрема, використання AR дозволяє візуалізувати абстрактні або складні для сприйняття об'єкти, що є особливо важливим у підготовці фахівців комп'ютерного профілю, де значну роль відіграють просторові моделі, алгоритмічні структури та технічні системи.

Крім того, платформа забезпечує можливість організації як очного, так і дистанційного або змішаного навчання, що відповідає сучасним тенденціям розвитку освіти. Завдяки використанню інтерактивних елементів і технологій доповненої реальності навчальний процес стає більш динамічним, адаптивним і орієнтованим на індивідуальні потреби здобувачів освіти.

Важливою перевагою ARBook є також наявність великої бази готових навчальних матеріалів та можливість їх адаптації до конкретних освітніх потреб. Це дозволяє значно спростити процес впровадження AR у навчання, що є критично важливим для педагогів, які не мають глибокої технічної підготовки.

Таким чином, робимо висновок, що ARBook є ефективним інструментом для вирішення завдань візуалізації навчальної інформації, оскільки поєднує технологічні можливості AR із педагогічною доцільністю їх використання. Це забезпечує підвищення ефективності навчального процесу, розвиток професійних компетентностей здобувачів освіти та створення сучасного цифрового освітнього середовища.

Методика візуалізації інформації на прикладі застосування навчального кейсу в середовищі ARBook. Для візуалізації навчальної інформації було розроблено та реалізовано навчальний кейс у середовищі ARBook на тему: «Дослідження звукових коливань різноманітних джерел звуку за допомогою сучасних цифрових засобів». Запропонована методика передбачає поетапне занурення здобувачів освіти у процес дослідження фізичних явищ через інтерактивну взаємодію з AR-об'єктами, що відображають реальні експериментальні процеси.

Для ознайомлення здобувачів освіти з об'єктом дослідження їм пропонується взаємодія з AR-маркером, який активує навчальну сцену. У середовищі доповненої реальності відображається робоче середовище: комп'ютер, планшет та інтерфейс цифрової обробки сигналу (рис. 1, а). У процесі роботи студенти спостерігають графічне представлення звукової хвилі, аналізують форму сигналу, співвідносять візуалізацію із часовими характеристиками (таймлайн запису). Таким чином формується первинне уявлення про природу звукових коливань та їх цифрове представлення.



Рис. 1. Навчальний кейс у середовищі ARBook

На другому етапі майбутні фахівці здійснюють активну взаємодію з AR-середовищем (рис. 1, б).

Тут навчальне середовище доповнюється віртуальною моделлю експериментальної установки, яка включає генератор звукових частот, мікрофон, акустичну систему, комп'ютер для обробки сигналу. Здобувачі освіти отримують можливість змінювати параметри сигналу (частоту, амплітуду), спостерігати зміну графіка звукової хвилі в реальному часі та аналізувати залежність між параметрами звуку та його візуальним відображенням.

Інтерактивність AR-середовища забезпечує ефект «занурення в експеримент», що дозволяє моделювати процеси, які складно або неможливо реалізувати в традиційних умовах.

На третьому етапі (рис. 2) здобувачі освіти здійснюють аналіз отриманих результатів: порівнюють різні типи сигналів, визначають закономірності зміни звукових коливань, формують висновки щодо впливу параметрів звуку на його візуалізацію.

Також у даній роботі передбачається виконання практичних завдань: побудова власної моделі звукового сигналу, пояснення фізичної природи явища, інтерпретація результатів експерименту.

Педагогічний ефект використання ARBook на основі застосування кейсу дозволяє забезпечити наочну візуалізацію абстрактних фізичних процесів, підвищити рівень розуміння складних понять через інтерактивну взаємодію, сформулювати просторове та візуально-аналітичне мислення, розвинути дослідницькі вміння та цифрову компетентність, підвищити мотивацію до навчання завдяки ефекту імерсивності.

Запропонована методика використання середовища ARBook демонструє, що інтеграція технологій доповненої реальності у навчальний процес забезпечує перехід від пасивного сприйняття інформації до активного дослідницького навчання, що сприяє більш глибокому розумінню навчального матеріалу та формуванню професійних компетентностей здобувачів освіти комп'ютерного профілю.

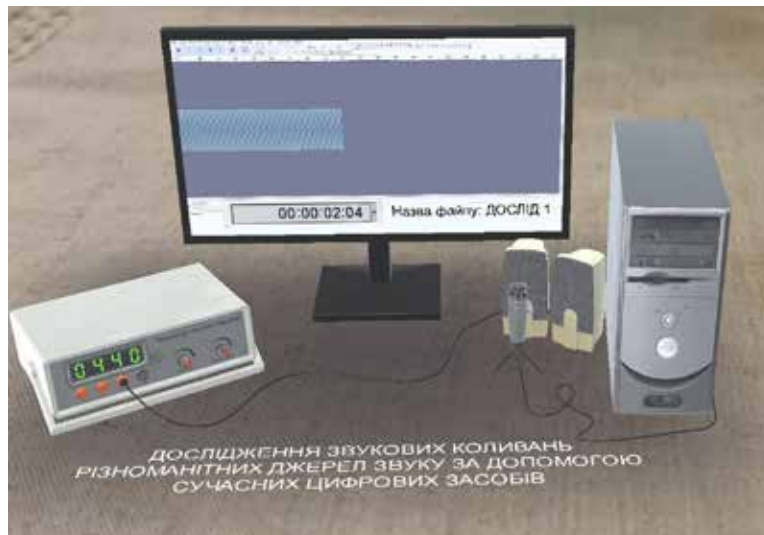


Рис. 2. Аналіз отриманих результатів практичного кейсу

У результаті проведеного дослідження, доповнена реальність у сучасному освітньому дискурсі розглядається як інноваційна технологія, яка поєднує реальне та віртуальне середовище, забезпечує мультимодальність подання інформації та сприяє активізації пізнавальної діяльності здобувачів освіти. Встановлено, що використання AR узгоджується з положеннями теорії мультимедійного навчання та ефектом подвійного кодування, що підсилює її дидактичний потенціал. У дослідженні уточнено сутність поняття доповненої реальності у контексті візуалізації навчальної інформації та запропоновано авторське трактування, відповідно до якого AR розглядається як інтерактивна педагогічна технологія, спрямована на формування професійних компетентностей шляхом інтеграції віртуальних об'єктів у реальне освітнє середовище.

Проведений аналіз сучасних платформ доповненої реальності дозволив визначити їхні функціональні можливості та обмеження, а також обґрунтувати доцільність використання середовища ARBook як ефективного інструменту для створення інтерактивного навчального контенту та організації освітнього процесу.

Розроблено методику використання середовища ARBook, яка передбачає поетапну організацію навчальної діяльності здобувачів освіти (візуалізаційно-орієнтаційний, дослідницько-експериментальний та аналітико-рефлексивний етапи) і забезпечує інтеграцію AR-технологій у зміст професійної підготовки. Практична реалізація методики на прикладі навчального кейсу з дослідження звукових коливань продемонструвала її ефективність у підвищенні рівня наочності навчального матеріалу, розвитку просторового мислення та формуванні візуально-аналітичних умінь.

Отримані результати дають підстави стверджувати, що використання доповненої реальності у навчальному процесі сприяє переходу від репродуктивних форм навчання до діяльнісно-орієнтованих, забезпечує підвищення мотивації здобувачів освіти та створює умови для формування професійних компетентностей майбутніх фахівців комп'ютерного профілю.

Перспективи подальших досліджень пов'язані з експериментальною перевіркою ефективності запропонованої методики на широкій вибірці здобувачів освіти, розробленням критеріїв та показників оцінювання сформованості професійних компетентностей.

ЛІТЕРАТУРА

1. Потапчук О., Гевко І., Луцик І. Підготовка майбутніх педагогів до використання імерсивних технологій у професійній діяльності. *Інформаційні технології і засоби навчання*. 2025. Т. 110, № 6. С. 151–164. DOI: <https://doi.org/10.33407/itlt.v110i6.6257>.
2. Потапчук О. І. Теоретичні та методичні засади підготовки майбутніх фахівців комп'ютерного профілю до застосування цифрових технологій : дис. ... д-ра пед. наук : 13.00.04. Тернопіль, 2024. 496 с. URL: <https://bit.ly/4k1e48H> (дата звернення: 04.03.2026).

3. Про схвалення Концепції розвитку цифрових компетентностей та затвердження плану заходів з її реалізації : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 03.03.2021 № 167-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/167-2021-%D1%80> (дата звернення: 04.02.2026).
4. Про схвалення Стратегії розвитку вищої освіти в Україні на 2022–2032 роки : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 23.02.2022 № 286-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/286-2022-%D1%80> (дата звернення: 13.02.2026).
5. Рашевська Н. В. Перспективи використання доповненої реальності в процесі навчання майбутніх інженерів. *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія : Педагогіка. Соціальна робота.* 2018. Вип. 2 (43). С. 226–229. DOI: <https://doi.org/10.24144/2524-0609.2018.43.226-229>.
6. Akçayır M., Akçayır G. Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review.* 2017. Vol. 20. P. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>.
7. AREdu 2025: Augmented Reality in Education 2025 : Proceedings of the 8th Workshop on Augmented Reality in Education. *CEUR Workshop Proceedings.* 2025. Vol. 4060. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-4060/> (дата звернення: 24.01.2026).
8. Ivanov V., Pavlenko I., Evtuhov A., Trojanowska J. Augmented Reality for Engineering Graphics. *Lecture Notes in Mechanical Engineering.* Cham : Springer, 2024. P. 123–134. URL: https://www.researchgate.net/publication/377036059_Augmented_Reality_for_Engineering_Graphics (дата звернення: 13.03.2026).
9. Кныш І., Палшкова І., Балалаєва О., Коберник Н., Тіахур В. Augmented reality in higher school as a tool for implementation of STEM education. *Amazonia Investiga.* 2024. Vol. 13, no. 74. P. 180–192. DOI: <https://doi.org/10.34069/AI/2024.74.02.15>.
10. Mayer R. E. *Multimedia Learning.* 2nd ed. Cambridge : Cambridge University Press, 2009. 304 p. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511811678>.
11. Potapchuk O., Hevko I., Lutsyk I., Rak V., Hiltay L., Monko R. The Use of Immersive Technologies to Implement a Multimodal Approach in the Educational Process. *2023 13th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT).* IEEE, 2023. P. 660–665. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACIT58437.2023.10275587>.
12. Semerikov S. O., Striuk A. M., Shyshkina M. P., Kiv A. E. Augmented Reality in Education: introduction and overview. *CEUR Workshop Proceedings.* 2024. Vol. 3844. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3844/paper00.pdf> (дата звернення: 04.03.2026).
13. Thees M., Kapp S., Strzys M., Klein P., Lukowicz P., Kuhn J. Effects of augmented reality on learning and cognitive load in university physics education. *Frontiers in Education.* 2022. Vol. 7. Art. 861107. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8957074/> (дата звернення: 06.02.2026).

REFERENCES

1. Potapchuk, O., Hevko, I., & Lutsyk, I. (2025). Pidhotovka maibutnikh pedahohiv do vykorystannia imersyvnykh tekhnolohii u profesiinii diialnosti [Training future teachers to use immersive technologies in professional activity]. *Informatsiini tekhnolohii i zasoby navchannia* [Information Technologies and Learning Tools], 110(6), 151–164. <https://doi.org/10.33407/itlt.v110i6.6257> [in Ukrainian].
2. Potapchuk, O. I. (2024). *Teoretychni ta metodychni zasady pidhotovky maibutnikh fakhivtsiv kompiuternoho profilu do zastosuvannia tsyfrovnykh tekhnolohii* [Theoretical and methodological foundations of training future specialists of the computer profile for the use of digital technologies] (Doctoral dissertation). Ternopil. Retrieved March 4, 2026, from <https://bit.ly/4k1e48H> [in Ukrainian].
3. Verkhovna Rada Ukrainy. (2021). Pro skhvalennia Kontseptsii rozvytku tsyfrovnykh kompetentnostei ta zatverdzhennia planu zakhodiv z yii realizatsii [On approval of the Concept for the development of digital competencies and approval of the action plan for its implementation]. Retrieved February 4, 2026, from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/167-2021-%D1%80> [in Ukrainian].
4. Stratehiia rozvytku vyshchoi osvity v Ukraini na 2022–2032 roky [Strategy for the development of higher education in Ukraine for 2022–2032]. (2022). Cabinet of Ministers of Ukraine. Retrieved February 13, 2026, from <https://zakon.rada.gov.ua/go/286-2022-%D1%80> [in Ukrainian].
5. Rashevskaya, N. (2018). Perspektivy vykorystannia dopovnenoї realnosti v protsesi navchannia maibutnikh inzheneriv [Prospects for the use of augmented reality in the process of training future engineers]. *Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho universytetu* [Scientific Bulletin of Uzhhorod University], 2(43), 226–229. <https://doi.org/10.24144/2524-0609.2018.43.226-229> [in Ukrainian].
6. Akçayır, M., & Akçayır, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature. *Educational Research Review*, 20, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002>

7. AREdu 2025: Augmented Reality in Education 2025. (2025). Retrieved January 24, 2026, from <https://ceur-ws.org/Vol-4060/>
8. Ivanov, V., Pavlenko, I., Evtuhov, A., & Trojanowska, J. (2024). Augmented reality for engineering graphics. In *Lecture Notes in Mechanical Engineering* (pp. 123–134). Springer. Retrieved March 13, 2026, from https://www.researchgate.net/publication/377036059_Augmented_Reality_for_Engineering_Graphics
9. Knysh, I., Palshkova, I., Balalaieva, O., Kobernyk, H., & Tiahur, V. (2024). Augmented reality in higher school as a tool for implementation of STEM education. *Amazonia Investiga*, 13(74), 180–192. <https://doi.org/10.34069/AI/2024.74.02.15>
10. Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511811678>
11. Potapchuk, O., Hevko, I., Lutsyk, I., Rak, V., Hiltay, L., & Monko, R. (2023). The use of immersive technologies to implement a multimodal approach in the educational process. In *Advanced Computer Information Technologies (ACIT)* (pp. 660–665). <https://doi.org/10.1109/ACIT58437.2023.10275587>
12. Semerykov, S. O., Striuk, A. M., Shyshkina, M. P., & Kiv, A. Ye. (2024). Augmented reality in education: Introduction and overview. *CEUR Workshop Proceedings*. Retrieved March 4, 2026, from <https://ceur-ws.org/Vol-3844/paper00.pdf>
13. Thees, M., Kapp, S., Strzys, M., et al. (2022). Effects of augmented reality on learning and cognitive load in engineering education. *Frontiers in Education*. Retrieved February 6, 2026, from <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8957074/>



Стаття поширюється
на умовах ліцензії
відкритого доступу (CC BY 4.0)

Дата першого надходження статті до видання: 06.03.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 30.03.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026