

Секція Освітні науки	
УДК 37.091.3:004.946:796	
DOI	
Дата першого надходження статті до видання	19.06.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування	28.07.2026
Дата публікації/оприлюднення	11.08.2026

Формування просторового мислення здобувачів освіти засобами імерсивних VR-технологій: педагогічний аспект

Козяр Микола Миколайович,

доктор педагогічних наук, професор кафедри теоретичної механіки, інженерної графіки та машинознавства, Національний університет водного господарства та природокористування,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, Україна,
e-mail: nikolaynuvgp@ukr.net,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1074-886X>.

Мардаренко Олена Вікторівна,

кандидат історичних наук, доцент кафедри іноземних мов, Військова академія (м. Одеса),
вул. Фонтанська дорога, 10, м. Одеса, Україна,
e-mail: mardarenkoelena@gmail.com,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0330-124X>.

Франовський Анатолій Цезарович,

кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри алгебри та геометрії фізико-математичного факультету, Житомирський державний університет імені Івана Франка, вул. Велика Бердичівська, 40, м. Житомир, Україна,
e-mail: integral140752@gmail.com,
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4176-0990>.

Анотація. Актуальність дослідження зумовлена зростанням ролі просторового мислення у професійній підготовці фахівців різних галузей та поширенням імерсивних технологій віртуальної реальності в освітньому процесі. Використання тривимірних цифрових середовищ розширює можливості розвитку просторової візуалізації, ментального обертання, просторової орієнтації та моделювання, проте ефективність їх застосування значною мірою залежить від педагогічних підходів до інтеграції VR у навчання.

Метою статті є визначення педагогічних умов, що забезпечують ефективне використання імерсивних технологій віртуальної реальності для розвитку просторового мислення здобувачів освіти, а також обґрунтування їхнього потенціалу в удосконаленні освітнього процесу.

У дослідженні використано аналіз і систематизацію сучасних наукових публікацій, порівняльний аналіз педагогічних підходів до використання технологій VR, узагальнення результатів вітчизняних і зарубіжних досліджень та логічне узагальнення

для формулювання авторських висновків. Джерельну базу становили праці українських і зарубіжних учених, а також матеріали міжнародних освітніх проєктів і практик використання технологій віртуальної реальності.

Досліджено роль просторового мислення у формуванні професійних компетентностей здобувачів освіти та проаналізовано педагогічні можливості імерсивних технологій VR у розвитку його основних компонентів. Систематизовано сучасні підходи до інтеграції VR в освітній процес і визначено їх освітні можливості. Виявлено, що найбільшу результативність забезпечує використання віртуального середовища під час виконання практичних і професійно орієнтованих завдань, які потребують просторового аналізу, моделювання та прийняття рішень. Встановлено, що широке впровадження VR стримується недостатньою методичною розробленістю моделей навчання, складністю оцінювання просторового мислення, обмеженою адаптивністю освітніх платформ, високою вартістю обладнання й цифрового контенту, потребою у підготовці викладачів та недостатністю довготривалих емпіричних досліджень. Доведено, що підвищення ефективності використання технологій VR пов'язане із системною інтеграцією їх в освітній процес, розробленням адаптивних навчальних сценаріїв, удосконаленням методичного забезпечення та сучасних підходів до оцінювання результатів навчання.

Зроблено висновок, що технології віртуальної реальності мають значний потенціал для розвитку просторового мислення та підвищення якості професійної підготовки здобувачів освіти. Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробленням стандартизованих методик оцінювання просторового мислення, вивченням довготривалого впливу VR на результати навчання та дослідженням можливостей персоналізації освітнього процесу із застосуванням технологій ШІ.

Ключові слова: когнітивний розвиток, професійна підготовка, цифрове освітнє середовище, інтерактивне навчання, тривимірне моделювання, педагогічний дизайн, просторові компетентності.

Formation of students' spatial thinking using immersive vr technologies: a pedagogical perspective

Koziar Mykola Mykolaiovych,

Doctor of Pedagogical Sciences, Professor of the Department of Theoretical Mechanics, Engineering Graphics and Machine Science, National University of Water and Environmental Engineering, 11 Soborna St., Rivne, Ukraine,
e-mail: nikolaynuvgp@ukr.net,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1074-886X>.

Mardarenko Olena Viktorivna,

PhD in History, Associate Professor of the Department of Foreign Languages, Military Academy (Odesa), 10 Fontanska Road, Odesa, Ukraine,
e-mail: mardarenkoelena@gmail.com,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0330-124X>.

Franovskyi Anatolii,

Candidate (PhD) of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Algebra and Geometry, Faculty of Physics and Mathematics, Zhytomyr Ivan Franko State University, 40 Velyka Berdychivska St., Zhytomyr, Ukraine,
e-mail: integral140752@gmail.com,
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4176-0990>.

Abstract. The relevance of the study is determined by the growing importance of spatial thinking in the professional training of specialists across various fields and the increasing integration of immersive VR technologies into educational practice. Three-dimensional digital environments expand opportunities for developing spatial visualization, mental rotation, spatial orientation, and spatial modeling; however, the educational effectiveness of VR largely depends on the pedagogical approaches used for its integration into the learning process.

The purpose of the article is to identify the pedagogical conditions that ensure the effective use of immersive virtual reality technologies for developing learners' spatial thinking and to substantiate their potential for improving the educational process.

The study employed methods of analysis and systematization of contemporary scientific literature, comparative analysis of pedagogical approaches to the use of VR technologies, generalization of findings reported in Ukrainian and international studies, and logical synthesis to formulate the author's conclusions. The information base consisted of scientific publications, as well as materials from international educational projects and practical cases of virtual reality implementation.

The role of spatial thinking in the formation of professional competencies was investigated, and the pedagogical potential of immersive VR technologies for developing its key components was analyzed. Contemporary approaches to integrating VR into the educational process were systematized, and their educational opportunities were identified. It was found that the greatest educational effect is achieved when virtual environments are used to perform practice-oriented and professionally focused tasks requiring spatial analysis, modeling, and decision-making. It was established that the wider implementation of VR is constrained by the insufficient methodological development of instructional models, the complexity of assessing spatial thinking, the limited adaptability of educational platforms, the high cost of equipment and digital content, the need for teacher training, and the lack of long-term empirical studies. It was demonstrated that improving the effectiveness of VR implementation requires its systematic integration into the educational process, the development of adaptive learning scenarios, the improvement of methodological support, and the application of modern approaches to learning assessment.

It was concluded that virtual reality technologies have considerable potential for developing spatial thinking and improving the quality of professional education. Prospects for further research include the development of standardized methods for assessing spatial thinking, the investigation of the long-term educational impact of VR, and the study of opportunities for personalizing the learning process through the use of artificial intelligence technologies.

Keywords: cognitive development, professional training, digital learning environment, interactive learning, three-dimensional modeling, instructional design, spatial competencies.

Вступ

Актуальність проблеми. Зростання ролі просторових даних, цифрового моделювання та тривимірної візуалізації істотно змінює вимоги до підготовки сучасних фахівців. Просторове мислення стає необхідною складовою професійної компетентності не лише в інженерних і природничих спеціальностях, а й у медицині, військовій справі, архітектурі, геоінформаційних системах, робототехніці та інших галузях, де якість прийняття рішень безпосередньо пов'язана зі здатністю аналізувати просторові взаємозв'язки. За цих умов недостатній рівень розвитку просторового мислення перетворюється на чинник, що обмежує ефективність професійної підготовки навіть за високого рівня засвоєння теоретичного матеріалу.

Одночасно ускладнюється зміст навчальних дисциплін, зростає частка цифрових моделей, симуляцій і візуалізацій, які потребують активного оперування просторовими образами. Використання двовимірних ілюстрацій та статичних макетів не завжди забезпечує формування відповідних когнітивних навичок, оскільки значна частина просторових характеристик об'єктів залишається недоступною для безпосереднього сприйняття. Це актуалізує пошук таких засобів навчання, які дають можливість поєднати візуалізацію, практичну взаємодію з моделями та активну пізнавальну діяльність.

У цьому контексті особливого значення набуває використання технологій віртуальної реальності (Virtual Reality, VR), що забезпечують роботу з тривимірними цифровими об'єктами в інтерактивному середовищі. Їх застосування розглядається як один із напрямів удосконалення навчального процесу, орієнтованого на розвиток просторового мислення та підвищення якості професійної підготовки здобувачів освіти.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасний науковий доробок із проблематики використання імерсивних технологій охоплює педагогічні, когнітивні, технологічні та дизайнерські аспекти розвитку просторового мислення здобувачів освіти. К. Гілевська розглядає системний педагогічний аудит як засіб оцінювання якості освітньої діяльності та формування репутаційного капіталу організацій. Запропоновані дослідницею положення мають методологічне значення для визначення критеріїв результативності впровадження віртуальної реальності (Virtual Reality, VR) в освітній процес, зокрема відповідності цифрових засобів навчальним цілям, потребам здобувачів освіти та інституційним стандартам [1]. М. Жалдак досліджує ревіталізацію промислових об'єктів і створення на їх основі багатофункціональних просторів неформальної освіти. Результати дослідження розширюють уявлення про просторову організацію навчання та можливості поєднання фізичного освітнього середовища з його цифровими й віртуальними моделями [2].

Р. Чигрин аналізує естетичне регулювання психоемоційного стану засобами авторських флористичних композицій, розкриваючи значення композиції, форми, кольору та просторового розміщення елементів у сприйнятті візуальних об'єктів [3]. Є. Мацапура досліджує цифрове моделювання композицій у сфері візуального дизайну, зосереджуючись на масштабуванні, пропорціях, контурах і попередній візуалізації майбутнього об'єкта. Напрацювання автора можуть бути використані під час розроблення віртуальних завдань, спрямованих на формування здатності оперувати

просторовими образами та прогнозувати результати перетворення двовимірних моделей у тривимірному середовищі [4].

Я. С. Ангелов обґрунтовує педагогічні можливості комплексного застосування доповненої реальності (Augmented Reality, AR), віртуальної реальності (Virtual Reality, VR) та змішаної реальності (Mixed Reality, MR) у професійній підготовці майбутніх учителів. Результативність імерсивних технологій автор пов'язує з практико-орієнтованим навчанням, моделюванням професійних ситуацій і формуванням цифрової компетентності педагогів [5]. О. В. Кабацький та співавтори безпосередньо досліджують розвиток просторового мислення майбутніх технічних фахівців засобами сучасних інформаційних технологій. Увагу зосереджено на тривимірному моделюванні, інтерактивній візуалізації та цифровому конструюванні, які допомагають здобувачам освіти встановлювати просторові зв'язки, аналізувати конфігурацію об'єктів і виконувати мисленнєві операції з їх перетворення [6].

Н. А. Хміль та співавтори узагальнюють напрями використання VR та AR в українській освіті. Дослідники визначають потенціал цих технологій для візуалізації складних явищ, організації інтерактивної взаємодії та підвищення залученості здобувачів освіти. Водночас окреслено проблеми недостатнього технічного забезпечення, обмеженої кількості україномовного цифрового контенту й недостатньої підготовленості педагогів до роботи з імерсивними засобами [7]. М. Я. Велущак та співавтори аналізують застосування AR в освітньому процесі закладів вищої освіти України. Автори розкривають її можливості під час демонстрації просторових моделей, пояснення будови складних об'єктів і поєднання теоретичного матеріалу з інтерактивними цифровими елементами [8].

Г. С. Лазаренко та співавтори розглядають адаптивні стратегії викладання у вищій школі в контексті навчання з використанням AR. У дослідженні наголошено на необхідності врахування рівня підготовки студентів, індивідуального темпу засвоєння матеріалу та результатів поточного оцінювання під час добору імерсивних завдань. Така позиція має значення для розвитку просторового мислення, оскільки складність операцій із тривимірними об'єктами повинна поступово зростати відповідно до сформованих когнітивних умінь здобувачів освіти [9]. М. П. Матківський та співавтори досліджують застосування VR у викладанні природничих дисциплін. Автори підкреслюють можливість моделювання процесів і явищ, які складно відтворити в традиційній аудиторії, зокрема просторової будови молекул, внутрішніх структур організмів і фізичних закономірностей [10].

Б. Б. Беседін та Є. П. Одінцова розкривають роль імерсивних технологій у розвитку просторового мислення на уроках математики. Науковці пов'язують їх ефективність із візуалізацією геометричних тіл, виконанням просторових побудов і можливістю досліджувати об'єкти з різних ракурсів. Такий формат сприяє переходу від абстрактного сприйняття математичних понять до усвідомленого оперування їх тривимірними моделями [11]. С. М. Яшанов та співавтори аналізують трансформацію когнітивного простору вищої освіти під впливом штучного інтелекту (ШІ) та імерсивних технологій. Дослідники визначають інтеграцію ШІ з VR як передумову персоналізації навчання, створення адаптивних моделей і формування нових способів взаємодії з освітнім контентом [12].

І. Димова характеризує імерсивний підхід як напрям оновлення університетської освіти, заснований на ефекті присутності, інтерактивній взаємодії та моделюванні навчальних ситуацій. У дослідженні наголошено, що результативність імерсивного навчання залежить від педагогічно обґрунтованого поєднання цифрового середовища зі змістом дисципліни та активною діяльністю студентів [13]. О. Пінчук і Л. Лупаренко розкривають дидактичний потенціал використання цифрового контенту з AR. Автори акцентують увагу на його наочності, інтерактивності, мобільності та можливості доповнювати традиційні навчальні матеріали просторовими моделями, що полегшують розуміння структури й взаємного розташування об'єктів [14].

С. М. Ванг (S. M. Wang) та співавтори експериментально досліджують вплив імерсивного досвіду у VR на просторове міркування. Науковці встановлюють, що безпосередня взаємодія з тривимірним середовищем сприяє точнішому сприйняттю просторових відношень, покращенню ментального обертання об'єктів і розвитку здатності прогнозувати зміну їх положення [15]. А. Хамдан (A. Hamdan) та співавтори розробляють концепцію географічної VR, призначеної для формування просторового мислення у метавсесвіті. Запропонований підхід дає змогу моделювати географічні об'єкти й процеси, аналізувати масштаб, відстань, рельєф і взаємне розташування територіальних елементів [16].

С. Ді (X. Di) і С. Чжен (X. Zheng) у межах метааналізу узагальнюють результати досліджень впливу віртуальних технологій на просторові здібності здобувачів освіти. Отримані висновки підтверджують позитивний вплив VR на розвиток просторової візуалізації, орієнтації та ментального обертання. Водночас величина освітнього ефекту залежить від тривалості навчання, типу завдань, віку учасників і способу взаємодії з цифровими моделями [17]. Л. Лісл (L. Lisle) та співавтори оцінюють переваги імерсивного простору для розв'язання мисленнєвих завдань. Дослідники доводять, що розміщення інформаційних об'єктів у тривимірному середовищі допомагає користувачам краще структурувати дані, виявляти просторові закономірності та знижувати когнітивне навантаження під час аналізу складної інформації [18].

С. Азарбі (S. Azarby) і А. Райс (A. Rice) досліджують вплив використання систем VR на просторове сприйняття та прийняття проектних рішень. Автори встановлюють, що занурення у цифрове середовище змінює оцінювання масштабу, пропорцій, відстані й розташування елементів, що має особливе значення для підготовки фахівців у галузях архітектури, дизайну та просторового планування [19]. М. Гіттіnger (M. Gittinger) і Д. Віше (D. Wiesche) у систематичному огляді аналізують взаємозв'язок просторових здібностей, VR та характеру інтерактивної діяльності. Дослідники доходять висновку, що активне маніпулювання об'єктами, зміна ракурсів, навігація та виконання просторових операцій забезпечують вищу результативність порівняно з пасивним переглядом тривимірного контенту [20].

М. Багер (M. Bagher) та співавтори досліджують використання VR у геопросторовій освіті та визначають відчуття втіленості одним із провідних механізмів навчального впливу. Перебування користувача всередині змодельованого простору поглиблює розуміння масштабу, напрямку, відстані та взаємозв'язків між географічними об'єктами [21]. П. Сафадел (P. Safadel) і Д. Вайт (D. White) оцінюють ефективність комп'ютерно згенерованої VR у навчальних середовищах із просторовими структурами. Автори

підтверджують, що цифрові симуляції полегшують сприйняття складних просторових систем і дають змогу багаторазово відпрацьовувати операції без матеріальних обмежень, характерних для фізичних моделей [22].

Х. К. Гомес-Тоне (H. C. Gómez-Tone) та співавтори аналізують розвиток просторових умінь під час перетворення двовимірних креслень на тривимірні моделі в імерсивній VR. Дослідження підтверджує, що робота з цифровими об'єктами сприяє кращому розумінню проєкцій, геометричних співвідношень і конструктивної будови предметів [23]. Дж. Конеса (J. Conesa) та співавтори вивчають вплив імерсивних і колаборативних віртуальних середовищ на просторові навички. Автори встановлюють, що спільне виконання завдань, обговорення просторових рішень і координація дій у цифровому середовищі посилюють навчальний ефект та сприяють розвитку комунікації, взаємодії й колективного розв'язання проблем [24].

Е. Серрано-Аусехо (E. Serrano-Ausejo) і Е. Морелл-Олссон (E. Mårell-Olsson) систематизують можливості та проблеми використання імерсивних технологій для підтримки просторових здібностей і навичок XXI століття у шкільній освіті. До основних переваг автори відносять інтерактивну візуалізацію, залучення учнів, експериментування та розвиток співпраці. Серед обмежень визначено високу вартість обладнання, технічні труднощі, ризик фізичного дискомфорту, недостатню підготовленість педагогів і потребу в узгодженні віртуальних завдань із результатами навчання [25].

Виділення невирішеної частини проблеми. Незважаючи на значний інтерес до використання технологій віртуальної реальності в освіті, результати наявних досліджень залишаються фрагментарними. Більшість із них присвячено оцінюванню окремих цифрових інструментів або навчальних кейсів, тоді як механізми розвитку просторового мислення та педагогічні чинники, що визначають результативність застосування VR у різних освітніх контекстах, висвітлено недостатньо.

Обмеженість комплексних узагальнень ускладнює формування науково обґрунтованих підходів до використання VR в освітньому процесі. Це зумовлює потребу в систематизації сучасних наукових результатів, визначенні ключових умов ефективного застосування таких технологій і узагальненні рекомендацій, які можуть бути використані під час розвитку просторового мислення здобувачів освіти.

Мета статті – обґрунтувати ефективність використання імерсивних технологій VR у розвитку просторового мислення здобувачів освіти та визначити педагогічні умови їх результативного застосування в освітньому процесі.

Завдання статті:

1. Розкрити педагогічне значення просторового мислення та можливості технологій VR для його розвитку.
2. Визначити педагогічні підходи й основні проблеми використання технологій VR в освітньому процесі.
3. Обґрунтувати рекомендації щодо ефективного застосування технологій VR для розвитку просторового мислення.

Наукова новизна полягає в комплексному обґрунтуванні педагогічних умов ефективного використання технологій віртуальної реальності для розвитку просторового мислення здобувачів освіти шляхом систематизації компонентів

просторового мислення, педагогічних можливостей VR та методів їх інтеграції в освітній процес.

Практичне значення дослідження полягає у можливості використання запропонованих підходів під час розроблення освітніх програм, проектування VR-орієнтованих навчальних занять і вдосконалення методичного забезпечення розвитку просторового мислення здобувачів освіти.

Методологія

Методи дослідження. Дослідження виконано із застосуванням комплексу загальнонаукових методів. Аналіз наукових публікацій використано для виявлення сучасних підходів до розвитку просторового мислення засобами технологій віртуальної реальності. Порівняння результатів вітчизняних і зарубіжних досліджень дало змогу визначити спільні тенденції та відмінності у використанні VR в освітньому процесі. Систематизацію застосовано для узагальнення педагогічних можливостей, методів інтеграції та чинників, що впливають на ефективність розвитку просторових компетентностей.

Джерела даних. Інформаційну основу дослідження становили сучасні наукові праці українських і зарубіжних учених, присвячені проблемам просторового мислення, використанню технологій віртуальної, доповненої та змішаної реальності в освіті, а також матеріали міжнародних дослідницьких проєктів, університетів і професійних організацій, що висвітлюють практичний досвід застосування імерсивних технологій у підготовці фахівців.

Інструменти аналізу. Під час дослідження використано тематичне групування, порівняння, класифікацію та узагальнення наукових результатів. Це дало змогу виокремити структурні компоненти просторового мислення, визначити педагогічний потенціал технологій VR, узагальнити підходи до їх інтеграції в освітній процес і встановити основні проблеми практичного впровадження.

Обмеження дослідження. Дослідження має теоретико-аналітичний характер і ґрунтується на узагальненні сучасних наукових публікацій. Отримані висновки не базуються на результатах власного педагогічного експерименту, тому їх практична ефективність потребує подальшої перевірки в реальних умовах освітнього процесу.

Результати

Просторове мислення належить до когнітивних здібностей, від яких залежить успішність навчання й подальшої професійної діяльності у сферах, де необхідно працювати з тривимірними об'єктами. Воно забезпечує сприйняття форми, розмірів і взаємного розташування предметів, дає змогу уявно змінювати їх положення, аналізувати внутрішню будову та прогнозувати результати просторових перетворень. Ці процеси лежать в основі виконання багатьох навчальних і професійних завдань – від читання креслень і картографічних матеріалів до аналізу анатомічних структур, цифрових моделей та інженерних конструкцій.

Розвиток просторового мислення пов'язаний із формуванням кількох взаємодоповнювальних когнітивних умінь. Просторова візуалізація забезпечує створення цілісного образу об'єкта, ментальне обертання дозволяє уявно змінювати його орієнтацію, просторова орієнтація допомагає визначати взаємне розташування об'єктів у середовищі, а просторові перетворення забезпечують прогнозування змін

форми, масштабу або конфігурації. Розвиненість цих умінь визначає здатність майбутнього фахівця виконувати просторовий аналіз, приймати обґрунтовані проєктні рішення та ефективно працювати з цифровими тривимірними моделями. У сучасній освіті для цього широко використовують системи автоматизованого проєктування (Computer-Aided Design, CAD), інформаційного моделювання будівель (Building Information Modeling, BIM), геоінформаційні системи (Geographic Information System, GIS), технології VR, AR та MR (табл. 1).

Таблиця 1

Компоненти просторового мислення та їх значення для формування професійних компетентностей здобувачів освіти

Компонент просторового мислення	Когнітивний зміст	Значення для професійної підготовки
Просторова візуалізація	Формування цілісного образу об'єкта	Аналіз креслень, анатомічних структур, цифрових моделей
Ментальне обертання	Уявна зміна положення об'єкта у просторі	Інженерне проєктування, робототехніка, машинобудування
Просторова орієнтація	Визначення взаємного розташування об'єктів	Навігація, транспортні системи, військова підготовка
Просторові перетворення	Прогнозування змін форми, масштабу або конфігурації	Архітектура, медичне планування, конструкторська діяльність
Просторове моделювання	Побудова та аналіз цифрових тривимірних моделей	CAD, BIM, GIS, VR, AR, MR

Джерело: сформовано автором на основі [5, с. 57; 6; 11, с. 84; 15, р. 650; 17, р. 78; 20, р. 923].

Значення просторового мислення особливо зростає під час підготовки фахівців, діяльність яких пов'язана з аналізом складних просторових об'єктів. Майбутній лікар оцінює взаємне розташування анатомічних структур і планує оперативний доступ, архітектор аналізує просторову організацію будівлі та взаємодію її конструктивних елементів, інженер перевіряє цифрову модель виробу й конструктивні рішення, а фахівець із робототехніки моделює траєкторію руху маніпулятора, оцінює робочу зону та можливість виникнення колізій. У кожному з цих випадків правильність професійного рішення значною мірою залежить від здатності виконувати точний просторовий аналіз.

Розвиток просторового мислення підтримується інтерактивними цифровими середовищами, у яких користувач може багаторазово досліджувати об'єкт із різних ракурсів, змінювати його масштаб, аналізувати внутрішню будову та перевіряти різні варіанти просторових рішень. У Stanford Medicine під час викладання анатомії застосовується платформа Scalpel 2.0, що дає змогу працювати з повнорозмірними тривимірними моделями людського тіла, ізолювати окремі органи та аналізувати їх просторові взаємозв'язки [26]. В Imperial College London технології змішаної реальності інтегровані у викладання нейроанатомії, де цифрові моделі поєднуються з анатомічними препаратами для детального вивчення просторової організації головного

мозку [27, р. 2]. В Україні Національний університет «Львівська політехніка» здійснює підготовку фахівців у сфері VR та AR, а міжнародний проєкт AR4EDU програми Erasmus+ спрямований на розроблення навчальних курсів і лабораторних практикумів із використанням імерсивних технологій [28; 29].

Інтерактивна робота з тривимірними цифровими моделями розширює можливості формування просторового мислення порівняно зі статичними графічними матеріалами. Багаторазове виконання просторових операцій під час аналізу цифрового об'єкта сприяє розвитку просторової візуалізації, ментального обертання, просторової орієнтації та навичок моделювання, що становлять когнітивну основу професійної підготовки у галузях, де вирішальне значення має робота з просторовою інформацією.

Педагогічні можливості VR пов'язані зі зміною способу виконання навчального завдання. Просторовий об'єкт перестає бути лише засобом демонстрації й стає предметом безпосереднього дослідження. Під час роботи у віртуальному середовищі здобувач освіти самостійно визначає послідовність аналізу моделі, змінює точку спостереження, виконує перерізи, приховує окремі елементи конструкції, досліджує внутрішню будову об'єкта та перевіряє взаємне розташування його частин. Завдяки цьому одночасно використовуються кілька когнітивних операцій: просторове сприйняття, ментальна ротація, просторова реконструкція та оцінювання просторових співвідношень, що у традиційному навчанні зазвичай формуються окремо.

Таблиця 2

Педагогічні можливості технологій VR у розвитку просторового мислення

Педагогічний механізм	Реалізація у VR	Освітній результат
Інтерактивне дослідження об'єкта	Довільна зміна точки огляду, масштабу, прозорості та структури моделі	Формування цілісного просторового образу
Просторові перетворення	Обертання, перерізи, віддзеркалення, компонування елементів	Розвиток ментальної ротації та просторової уяви
Симуляційне навчання	Виконання професійних сценаріїв зі зміною вихідних умов	Перенесення просторових знань у практичну діяльність
Проектна діяльність	Створення, редагування й перевірка цифрових моделей	Формування навичок просторового моделювання
Формувальне оцінювання	Аналіз помилок і повторне виконання просторових операцій	Удосконалення стратегій просторового мислення

Джерело: сформовано автором на основі [5, с. 60; 10; 13, с. 291; 14, с. 45; 15, р. 653; 22; 30, р. 920].

Просторове мислення формується під час виконання навчальних завдань, у яких необхідно уявно змінювати положення об'єктів, встановлювати просторові зв'язки між їх елементами та прогнозувати результати геометричних перетворень. Робота лише з кресленнями або плоскими зображеннями потребує постійного переходу від двовимірного подання до тривимірної моделі, що суттєво ускладнює засвоєння матеріалу. Моделювання деталей із простих геометричних поверхонь за двовимірним зображенням засобами систем автоматизованого проєктування (Computer-Aided Design, CAD) сприяє розвитку просторової візуалізації та формуванню вмінь відтворювати

об'ємну форму об'єкта за його плоским зображенням [31, с. 104]. Використання технологій віртуальної реальності (Virtual Reality, VR) переносить такі операції у віртуальний простір, де модель можна досліджувати з будь-якої точки огляду, виконувати довільні перерізи, масштабувати окремі елементи та аналізувати їх взаємне розташування. Такий формат взаємодії розглядається як один із чинників розвитку просторової візуалізації та ментальної ротації [20, р. 920]. В інженерній освіті VR дедалі частіше інтегрується із середовищами автоматизованого проєктування. Моделі, створені у SolidWorks, Autodesk Inventor або Siemens NX, можуть безпосередньо використовуватися для просторового аналізу у віртуальному середовищі. Студенти досліджують внутрішню будову виробів, оцінюють взаємне розташування деталей, перевіряють правильність складання механізмів і виконують віртуальні перерізи конструкцій без виготовлення фізичних макетів. Такий підхід скорочує час переходу від креслення до просторового образу та наближає навчальні вправи до реальних інженерних процедур.

Будівельне проєктування висуває інші вимоги до просторового аналізу, оскільки одночасно враховується велика кількість конструктивних і технологічних компонентів. Під час роботи з моделями, підготовленими в Autodesk Revit, Navisworks або BIM 360, здобувачі освіти можуть переміщуватися всередині цифрової будівлі, перевіряти проходження інженерних мереж, визначати місця колізій між вентиляційними системами, трубопроводами, кабельними трасами та несучими конструкціями. Просторові рішення оцінюються у масштабі 1:1 ще до початку будівництва, що істотно розширює можливості практичної підготовки [32].

У робототехніці VR використовується насамперед для моделювання динамічних просторових процесів. Інтеграція платформ Unity, NVIDIA Isaac Sim, ROS або CoppeliaSim дозволяє відтворювати робочі середовища промислових роботів, перевіряти траєкторії переміщення маніпуляторів, аналізувати досяжність окремих позицій і прогнозувати можливі зіткнення з обладнанням. На відміну від статичних моделей, студент працює з об'єктами, що постійно змінюють положення у просторі, тому просторовий аналіз поєднується з оцінюванням часових параметрів руху.

Суттєві можливості для розвитку просторового мислення відкривають і спеціалізовані освітні VR-платформи. Labster використовується для проведення віртуальних лабораторних занять із природничих дисциплін, Engage підтримує створення інтерактивних навчальних просторів із тривимірними моделями, Spatial забезпечує колективну роботу над цифровими об'єктами, а Meta Horizon Workrooms використовується для групових проєктів і спільного аналізу просторових моделей. Використання готових платформ дозволяє інтегрувати VR у навчальний процес без розроблення спеціалізованого програмного забезпечення та значно розширює спектр практичних просторових вправ [33].

Поширення VR змінює й підходи до педагогічного оцінювання. Цифрові середовища дають можливість аналізувати не лише кінцевий результат виконання завдання, а й послідовність просторових операцій, кількість змін ракурсу, використання інструментів моделювання, тривалість окремих етапів роботи та характер типових помилок. Отримані дані допомагають визначити, які компоненти просторового мислення сформовані недостатньо, і відповідно змінювати зміст практичних занять.

Технології віртуальної реальності можуть інтегруватися в освітній процес різними способами залежно від цілей навчання, змісту дисципліни та професійних компетентностей, що формуються. Вибір педагогічної моделі визначає характер взаємодії здобувачів освіти з віртуальним середовищем, рівень їхньої пізнавальної активності та механізми розвитку просторового мислення. Найбільш поширені методи інтеграції VR у сучасну освітню практику наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Методи інтеграції технологій VR у процес розвитку просторового мислення
здобувачів освіти

Метод інтеграції	Особливості реалізації у VR	Освітній результат
Дослідницьке навчання	Самостійне вивчення просторових моделей, аналіз об'єктів і явищ у VR-середовищі	Розвиток просторового аналізу та дослідницьких умінь
Проблемно-орієнтоване навчання	Розв'язання професійно орієнтованих просторових задач у віртуальному середовищі	Формування навичок просторового обґрунтування рішень
Проектне навчання	Створення, модифікація та тестування тривимірних моделей	Інтеграція просторового мислення з проектною діяльністю
Симуляційне навчання	Виконання професійних сценаріїв і практичних вправ у VR	Формування просторово-моторних умінь і професійних навичок
Колаборативне навчання	Спільне виконання завдань у віртуальному просторі	Розвиток командної взаємодії та просторової комунікації
Змішане навчання	Поєднання VR із традиційними аудиторними формами роботи	Послідовний розвиток просторових компетентностей

Джерело: сформовано автором на основі [5, с. 61; 9; 10; 14, с. 49; 20, р. 928; 25, р. 5583].

Ефективність використання технологій віртуальної реальності у розвитку просторового мислення визначається педагогічною моделлю їх інтеграції в освітній процес. Просторові компетентності формуються не під час спостереження за цифровими моделями, а в процесі виконання навчальних дій, що потребують аналізу просторових зв'язків, уявного перетворення об'єктів, прогнозування результатів власних рішень і перевірки їх у віртуальному середовищі. Саме характер навчального завдання визначає, які когнітивні процеси залучаються найбільшою мірою та як вони трансформуються у професійні вміння. Із цієї причини в сучасній практиці VR інтегрується через різні педагогічні моделі, кожна з яких виконує окрему функцію у формуванні просторового мислення.

У магістерській програмі Building Science Delft University of Technology цифрові BIM-моделі використовуються на всіх етапах архітектурного проектування. Студенти аналізують взаємне розташування конструктивних елементів, перевіряють сумісність інженерних систем, моделюють альтернативні проектні рішення та оцінюють їх вплив

на функціональні характеристики будівлі. Постійне зіставлення просторової конфігурації об'єкта з його технічними параметрами формує здатність працювати зі складними тривимірними структурами та приймати обґрунтовані проєктні рішення [34].

У підготовці майбутніх хірургів розвиток просторового мислення безпосередньо пов'язаний із точністю виконання професійних маніпуляцій. Віртуальні лапароскопічні симулятори відтворюють клінічні ситуації, у яких правильність дій залежить від орієнтації інструментів у тривимірному просторі, координаті рухів і здатності прогнозувати їх результат. Автоматичне оцінювання траєкторії рухів, часу виконання вправ і кількості технічних помилок забезпечує об'єктивний контроль сформованості просторово-моторних навичок та дозволяє індивідуалізувати процес підготовки [35].

У проєкті Mission MARIJN цифрове середовище використовується як спільний простір інженерного проєктування. Студенти аналізують конструкцію марсохода, пропонують альтернативні технічні рішення, узгоджують їх у команді та перевіряють у віртуальній моделі. Такий формат роботи розширює функції просторового мислення, поєднуючи просторовий аналіз із професійною комунікацією, аргументацією технічних рішень і колективним проєктуванням [36, р. 1396].

Подібний напрям розвитку простежується і в українській медичній освіті. Навчально-науковий центр медичних симуляцій Національного медичного університету імені О. О. Богомольця забезпечує практичну підготовку студентів на основі реалістичного моделювання клінічних ситуацій із використанням сучасного симуляційного обладнання. Робота в такому середовищі дозволяє багаторазово відпрацьовувати клінічні алгоритми, удосконалювати просторову орієнтацію, точність професійних дій та навички прийняття рішень без ризику для пацієнтів [37].

Спільною ознакою розглянутих освітніх практик є перенесення просторового мислення із площини візуального сприйняття у площину професійної діяльності. Віртуальне середовище виступає не лише засобом відображення тривимірних об'єктів, а й інструментом моделювання ситуацій, у яких просторовий аналіз стає складовою процесу прийняття професійних рішень. Саме така організація навчання забезпечує стійкий розвиток просторових компетентностей і підвищує готовність здобувачів освіти до роботи з реальними об'єктами професійної діяльності.

Використання технологій VR для розвитку просторового мислення ускладнюється відсутністю узгоджених педагогічних моделей їх інтеграції в освітній процес. У багатьох випадках віртуальне середовище використовується переважно для візуалізації тривимірних об'єктів, тоді як розвиток просторового мислення потребує виконання завдань, пов'язаних із просторовим аналізом, ментальним обертанням, моделюванням і прогнозуванням змін [20, р. 928].

Методичні труднощі посилюються недосконалістю підходів до оцінювання результатів навчання. Правильність виконання вправ не дає змоги повною мірою оцінити рівень сформованості просторових компетентностей, оскільки не відображає когнітивних процесів, що лежать в основі прийняття просторових рішень. Ускладнює оцінювання і відсутність уніфікованих критеріїв та валідних інструментів вимірювання просторового мислення.

Обмежена адаптивність більшості VR-платформ не враховує індивідуальні відмінності здобувачів освіти, рівень їх попередньої підготовки, темп засвоєння матеріалу та когнітивні особливості. Водночас тривала робота у віртуальному середовищі може супроводжуватися кіберхворобою, зоровою втомою, дезорієнтацією та підвищеним когнітивним навантаженням [22], що обмежує тривалість навчальних сесій і потребує спеціального проектування сценаріїв навчання.

Технічні обмеження також впливають на якість формування просторових компетентностей. Недостатня точність трекінгу, затримка відображення рухів, спрощення геометрії цифрових моделей або невисокий рівень графічної деталізації можуть викривляти просторове сприйняття. Додатковими бар'єрами залишаються висока вартість обладнання, регулярне оновлення програмного забезпечення, обмежений доступ до гарнітур і потреба у створенні спеціалізованого навчального контенту.

Складність упровадження VR пов'язана і з кадровим забезпеченням. Ефективне використання віртуального середовища вимагає від викладачів поєднання предметної, методичної та цифрової компетентності, тоді як готовність до розроблення власних VR-сценаріїв поки що залишається недостатньою [5, с. 61]. Не менш важливою проблемою є обмежена кількість довготривалих досліджень, які підтверджували б стійкість сформованих просторових компетентностей і можливість їх перенесення у реальну професійну діяльність [25, р. 5583].

Підвищення ефективності використання технологій VR доцільно пов'язувати передусім із їх системною інтеграцією в освітній процес. Віртуальне середовище має використовуватися не як окремий цифровий ресурс, а як складова методики навчання, узгоджена з результатами навчання, змістом дисципліни та системою оцінювання. Найбільший освітній ефект забезпечують завдання, що потребують просторового аналізу, моделювання, ментального обертання об'єктів і розв'язання професійно орієнтованих ситуацій.

Важливою умовою є адаптація навчальних сценаріїв до рівня підготовки здобувачів освіти. Варіативність складності завдань, індивідуальний темп роботи, поетапне ускладнення просторових операцій і своєчасний зворотний зв'язок сприяють підвищенню навчальної мотивації та розвитку просторових компетентностей.

Особливу увагу доцільно приділяти вдосконаленню систем оцінювання. Поряд із перевіркою правильності виконання завдань варто враховувати швидкість просторового аналізу, точність виконання просторових перетворень, здатність переносити сформовані навички у практичну діяльність та динаміку індивідуального прогресу.

Ефективність упровадження VR значною мірою залежить від якості цифрового контенту, технічної надійності обладнання та професійної підготовки викладачів. Регулярне оновлення програмного забезпечення, створення спеціалізованих навчальних сценаріїв, підвищення цифрової компетентності педагогів і використання сучасних засобів аналітики дозволяють повніше реалізувати потенціал технологій віртуальної реальності.

Подальший розвиток цього напрямку доцільно пов'язувати зі створенням адаптивних VR-платформ, інтеграцією технологій ШІ для персоналізації навчання,

розробленням стандартизованих методик оцінювання просторового мислення та проведенням довготривалих досліджень, спрямованих на підтвердження стійкості отриманих освітніх результатів.

Обговорення

Інтерпретація результатів. Проведений аналіз показав, що розвиток просторового мислення здобувачів освіти значною мірою залежить від педагогічно обґрунтованого використання технологій VR. Їх освітній потенціал визначається не лише можливістю тривимірної візуалізації об'єктів, а й організацією навчальної діяльності, що передбачає виконання просторових перетворень, моделювання, аналізу взаємного розташування об'єктів і розв'язання професійно орієнтованих завдань. За таких умов VR стає інструментом формування просторових компетентностей, які мають практичне значення для інженерної, медичної, архітектурної, військової та інших галузей професійної підготовки.

Результати дослідження також підтвердили, що ефективність використання VR визначається поєднанням технологічних можливостей віртуального середовища з відповідними педагогічними методами. Найбільшої результативності можна досягти за умови інтеграції VR у дослідницьке, проєктне, симуляційне та проблемно-орієнтоване навчання, що забезпечує послідовний розвиток просторового аналізу, ментального обертання, просторового моделювання та перенесення сформованих умінь у професійну діяльність.

Порівняння з іншими дослідженнями. Отримані результати узгоджуються з висновками українських дослідників, які розглядають імерсивні технології як перспективний напрям модернізації освітнього процесу та підвищення ефективності професійної підготовки. У наукових працях наголошується, що використання VR є найбільш результативним за умови поєднання цифрових технологій із сучасними педагогічними методами та чітким визначенням освітніх результатів [5, с. 60; 13, с. 291; 14, с. 45].

Результати дослідження підтверджують положення щодо визначальної ролі просторового мислення у формуванні професійних компетентностей здобувачів освіти. У попередніх дослідженнях встановлено, що розвиток просторової уяви, ментального обертання та просторового моделювання позитивно впливає на якість підготовки майбутніх інженерів, фахівців природничих спеціальностей і педагогів [6; 11, с. 84; 15, р. 650]. Водночас у проведеній роботі ці компоненти розглянуто як взаємопов'язану основу проєктування педагогічних сценаріїв використання VR.

Порівняно із зарубіжними дослідженнями встановлено, що отримані результати відповідають сучасним уявленням про позитивний вплив віртуальної реальності на розвиток просторових здібностей. Проведені метааналізи й експериментальні дослідження підтверджують підвищення рівня просторової візуалізації, ментальної ротації та здатності працювати з тривимірними моделями після використання VR-технологій [17, р. 78; 20, р. 923; 23]. Разом із тим у роботі додатково обґрунтовано доцільність поєднання розвитку просторового мислення з педагогічними методами, що забезпечують перенесення сформованих умінь у професійну діяльність.

Отримані результати також корелюють із дослідженнями, присвяченими використанню симуляційних і колаборативних VR-середовищ у вищій освіті. У цих

роботах відзначено значення інтерактивної взаємодії, адаптивності навчального середовища та практикоорієнтованих сценаріїв для розвитку просторових компетентностей [16; 24; 25, р. 5583]. Проведене дослідження доповнює існуючі підходи комплексним обґрунтуванням педагогічних механізмів інтеграції VR, які охоплюють зміст навчання, методи організації діяльності, способи оцінювання результатів і врахування індивідуальних особливостей здобувачів освіти.

Наукова новизна дослідження полягає у комплексному узагальненні педагогічних підходів до використання технологій віртуальної реальності для розвитку просторового мислення здобувачів освіти. Систематизовано компоненти просторового мислення, педагогічні можливості VR та методи їх інтеграції в освітній процес, що дало змогу сформулювати цілісне уявлення про умови ефективного розвитку просторових компетентностей.

Дістало подальшого розвитку обґрунтування взаємозв'язку між компонентами просторового мислення, педагогічними методами навчання та функціональними можливостями VR-середовищ як взаємодоповнювальних складових професійної підготовки здобувачів освіти.

Практичне значення дослідження полягає у можливості використання отриманих результатів під час розроблення освітніх програм, навчальних курсів і практичних занять із використанням технологій віртуальної реальності у закладах вищої освіти.

Практичну цінність мають узагальнені підходи до добору педагогічних методів, проектування VR-сценаріїв, організації просторово орієнтованих навчальних завдань і оцінювання рівня сформованості просторових компетентностей. Їх використання сприятиме підвищенню якості професійної підготовки здобувачів освіти, розвитку їхнього просторового мислення та розширенню можливостей застосування імерсивних технологій в освітньому процесі.

Висновки

Використання технологій VR сприяє розвитку просторової візуалізації, ментального обертання, просторової орієнтації та моделювання, підвищуючи якість професійної підготовки здобувачів освіти. Найкращі результати забезпечує інтеграція VR у систему навчання через виконання практичних і професійно орієнтованих завдань.

Основними чинниками, що стримують ширше використання VR, є недостатня методична розробленість моделей навчання, складність оцінювання просторового мислення, обмежена адаптивність освітніх платформ, висока вартість обладнання та контенту, потреба у підготовці викладачів і недостатність довготривалих емпіричних досліджень.

Підвищення ефективності використання VR пов'язане з удосконаленням методичного забезпечення, розробленням адаптивних навчальних сценаріїв, створенням якісного цифрового контенту, розвитком цифрової компетентності викладачів і впровадженням сучасних підходів до оцінювання просторового мислення.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробленні стандартизованих методик оцінювання просторового мислення, вивченні довготривалого впливу VR на результати навчання та дослідженні можливостей персоналізації освітнього процесу із застосуванням технологій III.

Список використаних джерел

1. Hilevska K. The Role of Systemic Pedagogical Audit in the Formation of Reputational Capital of Family-Oriented Enterprises and Organizations. *Педагогічна Академія: наукові записки*. 2026. № 28. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.19766392>.
2. Zhaldak M. The Role of Industrial Site Revitalization in the Creation of Multifunctional Creative Spaces for Non-Formal Education. *Педагогічна Академія: наукові записки*. 2025. № 22. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.19219062>.
3. Chyhryn R. Aesthetic Regulation of Psychoemotional State Through Original Floral Compositions. *Humanities Science Current Issues*. 2025. Vol. 2, № 94. P. 251–258. DOI: <https://doi.org/10.24919/2308-4863/94-2-35>.
4. Matsapura Ye. Digital Modeling of Tattoo Compositions as a Field of Visual Design. *Humanities Science Current Issues*. 2025. Vol. 2, № 93. P. 47–53. DOI: <https://doi.org/10.24919/2308-4863/93-2-8>.
5. Ангелов Я. С. Застосування імерсивних технологій у підготовці вчителів у закладах вищої освіти: синергія доповненої, віртуальної та змішаної реальності. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*. 2025. № 76. С. 55–64. DOI: <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2025-76-55-64>.
6. Кабацький О. В., Хорошайло В. В., Шаповалов М. В., Антоненко Я. С. Використання сучасних інформаційних технологій у розвитку просторового мислення технічних спеціалістів у закладах вищої освіти. *Педагогічна Академія: наукові записки*. 2026. № 29. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.20059083>.
7. Хміль Н. А., Галицька-Дідух Т. В., Цяньці В. Використання віртуальної та доповненої реальності в українській освіті. *Академічні візії*. 2023. № 22. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8251886>.
8. Велущак М. Я., Гарачковський О. І., Василенко О. В. Використання доповненої реальності в освітньому процесі закладів вищої освіти України. *Академічні візії*. 2025. № 42. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15192765>.
9. Лазаренко Г. С., Літвіна З. Ю., Кирчата І. М. Адаптивні стратегії викладання у вищій школі в контексті навчання через доповнену реальність. *Академічні візії*. 2025. № 50. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17800695>.
10. Матківський М. П., Притуляк Т. С., Різак Г. В. Застосування віртуальної реальності у викладанні природничих дисциплін у закладах освіти. *Педагогічна Академія: наукові записки*. 2026. № 30. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.20066660>.
11. Беседін Б. Б., Одінцева Є. П. Роль імерсивних технологій у розвитку просторового мислення на уроках математики. *Технології електронного навчання*. 2024. № 8. С. 83–87. DOI: <https://doi.org/10.31865/2709-840082024316952>.
12. Яшанов С. М., Моторіна В. Г., Ключкова Ю. В. Трансформація когнітивного простору вищої освіти через інтеграцію генеративного штучного інтелекту та імерсивних технологій. *Педагогічна Академія: наукові записки*. 2026. № 30. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.20131308>.

13. Димова І. Імерсивний підхід в системі університетської освіти. *Актуальні питання гуманітарних наук*. 2022. Вип. 48, № 1. С. 289–293. DOI: <https://doi.org/10.24919/2308-4863/48-1-45>.
14. Пінчук О., Лупаренко Л. Дидактичний потенціал використання цифрового контенту з доповненою реальністю. *Сучасні інформаційні технології та інноваційні методики навчання в підготовці фахівців: методологія, теорія, досвід, проблеми*. 2022. № 63. С. 39–57. DOI: <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2022-63-39-57>.
15. Wang S. M., Yaqin M. A., Lan V. H. Enhancing Spatial-Reasoning Perception Using Virtual Reality Immersive Experience. *IEEE Transactions on Education*. 2024. Vol. 67, № 5. P. 648–659. DOI: <https://doi.org/10.1109/TE.2024.3401839>.
16. Hamdan A., Putra A. K., Tan I., Farihah S. N. Geo-Virtual Reality: The Creative Materials to Construct Spatial Thinking Skills Using Virtual Learning Based Metaverse Technology. *Thinking Skills and Creativity*. 2024. Vol. 54. Article 101664. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2024.101664>.
17. Di X., Zheng X. A Meta-Analysis of the Impact of Virtual Technologies on Students' Spatial Ability. *Educational Technology Research and Development*. 2022. Vol. 70, № 1. P. 73–98. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11423-022-10082-3>.
18. Lisle L., Chen X., Gitre J. E., North C., Bowman D. A. Evaluating the Benefits of the Immersive Space to Think. In: *2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops*. Atlanta: IEEE, 2020. P. 331–337. DOI: <https://doi.org/10.1109/VRW50115.2020.00073>.
19. Azarby S., Rice A. Understanding the Effects of Virtual Reality System Usage on Spatial Perception: The Potential Impacts of Immersive Virtual Reality on Spatial Design Decisions. *Sustainability*. 2022. Vol. 14, № 16. Article 10326. DOI: <https://doi.org/10.3390/su141610326>.
20. Gittinger M., Wiesche D. Systematic Review of Spatial Abilities and Virtual Reality: The Role of Interaction. *Journal of Engineering Education*. 2024. Vol. 113, № 4. P. 919–938. DOI: <https://doi.org/10.1002/jee.20568>.
21. Bagher M. M., Sajjadi P., Wallgrün J. O., LaFemina P., Klippel A. Virtual Reality for Geospatial Education: Immersive Technologies Enhance Sense of Embodiment. *Cartography and Geographic Information Science*. 2023. Vol. 50, № 3. P. 233–248. DOI: <https://doi.org/10.1080/15230406.2022.2122569>.
22. Safadel P., White D. Effectiveness of Computer-Generated Virtual Reality in Learning and Teaching Environments with Spatial Frameworks. *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10, № 16. Article 5438. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10165438>.
23. Gómez-Tone H. C., Martín-Gutierrez J., Bustamante-Escapa J., Bustamante-Escapa P. Spatial Skills and Perceptions of Space: Representing 2D Drawings as 3D Drawings Inside Immersive Virtual Reality. *Applied Sciences*. 2021. Vol. 11, № 4. Article 1475. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11041475>.
24. Conesa J., Mula F. J., Bartlett K. A., Naya F., Contero M. The Influence of Immersive and Collaborative Virtual Environments in Improving Spatial Skills. *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13, № 14. Article 8426. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13148426>.
25. Serrano-Ausejo E., Mårell-Olsson E. Opportunities and Challenges of Using Immersive Technologies to Support Students' Spatial Ability and 21st-Century Skills in K–12 Education.

Education and Information Technologies. 2024. Vol. 29, № 5. P. 5571–5597. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11981-5>.

26. Educators will use virtual reality to teach anatomy. *Stanford Medicine: вебсайт*. 2020. URL: <https://med.stanford.edu/news/all-news/2020/10/educators-will-use-virtual-reality-to-teach-anatomy.html> (дата звернення: 27.07.2026).

27. Kasbia H., Baig R. A., Boynton L., Mozu-Simpson F., Fattal A., Clare B., Sharma P., Dalton A., Brown C., Baptista A., Pinder R. J., Rezaei Haddad A., Sam A. H. Exploring Student Perceptions of Integrating Mixed Reality with Cadaveric Teaching in Undergraduate Neuroanatomy Education: A Qualitative Study. *Anatomical Sciences Education*. 2026. Vol. 00. P. 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1002/ase.70273>.

28. Кафедра систем віртуальної реальності. *Національний університет «Львівська політехніка»: вебсайт*. 2026. URL: <https://xr.net.ua/> (дата звернення: 27.05.2026).

29. AR4EDU. *Національний університет «Львівська політехніка»: вебсайт*. 2026. URL: <https://lpnu.ua/ar4edu> (дата звернення: 27.05.2026).

30. Gittinger M., Wiesche D. Systematic Review of Spatial Abilities and Virtual Reality: The Role of Interaction. *Journal of Engineering Education*. 2024. Vol. 113, № 4. P. 919–938. DOI: <https://doi.org/10.1002/jee.20568>.

31. Козяр М. М., Фещук Ю. В. «Електронний конструктор» як засіб розвитку просторового мислення майбутніх учителів трудового навчання. *Нова педагогічна думка*. 2008. С. 104–107.

32. Radianti J., Majchrzak T. A., Fromm J., Wohlgenannt I. A Systematic Review of Immersive Virtual Reality Applications for Higher Education: Design Elements, Lessons Learned, and Research Agenda. *Computers & Education*. 2020. Vol. 147. Article 103778. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>.

33. Cabrera-Duffaut A., Pinto-Llorente A. M., Iglesias-Rodríguez A. Immersive Learning Platforms: Analyzing Virtual Reality Contribution to Competence Development in Higher Education – A Systematic Literature Review. In: *Frontiers in Education*. 2024. Vol. 9. Article 1391560. DOI: <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1391560>.

34. Shahverdi A. F., Mostafavi F., Roodkoly S. H., Zomorodian Z. S., Homayouni H. Developing a Pedagogical Framework for an Integrated and BIM-Based High-Performance Design Studio: Experimental Case Study. *Journal of Architectural Engineering*. 2024. Vol. 30, № 1. Article 05024001. DOI: <https://doi.org/10.1061/JAEIED.AEENG-1550>.

35. Bogar P. Z., Virag M., Bene M., Hardi P., Matuz A., Schlegl A. T., та співавтори. Validation of a Novel, Low-Fidelity Virtual Reality Simulator and an Artificial Intelligence Assessment Approach for Peg Transfer Laparoscopic Training. *Scientific Reports*. 2024. Vol. 14, № 1. Article 16702. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-67435-6>.

36. Balbin I. U., Gavioli M. Mission MARIJN: A Case Study on Improving Undergraduate Aerospace Engineering Education. In: *2024 IAF Space Education and Outreach Symposium at the 75th International Astronautical Congress (IAC 2024)*. 2024. P. 1396–1403. DOI: <https://doi.org/10.52202/078378-0174>.

37. Навчально-науковий центр медичних симуляцій Національного медичного університету імені О. О. Богомольця. Офіційний сайт Національного медичного університету імені О. О. Богомольця. URL: <https://nmuofficial.com/ua/navchalno-naukovyj-tsentr-medychnyh-symulyatsij/> (дата звернення: 27.05.2026).

References

1. Hilevska, K. (2026). The role of systemic pedagogical audit in the formation of reputational capital of family-oriented enterprises and organizations. *Pedahohichna Akademiia: naukovyi zapysky – Pedagogical Academy: Scientific Notes*, (28). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.19766392>.
2. Zhaldak, M. (2025). The role of industrial site revitalization in the creation of multifunctional creative spaces for non-formal education. *Pedahohichna Akademiia: naukovyi zapysky – Pedagogical Academy: Scientific Notes*, (22). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.19219062>.
3. Chyhryn, R. (2025). Aesthetic regulation of psychoemotional state through original floral compositions. *Humanities Science Current Issues*, 2(94), 251–258. DOI: <https://doi.org/10.24919/2308-4863/94-2-35>.
4. Matsapura, Ye. (2025). Digital modeling of tattoo compositions as a field of visual design. *Humanities Science Current Issues*, 2(93), 47–53. DOI: <https://doi.org/10.24919/2308-4863/93-2-8>.
5. Anhelov, Ya. S. (2025). Zastosuvannia imersyvnykh tekhnolohii u pidhotovtsi vchyteliv u zakladakh vyshchoi osvity: synerhiia dopovnenoї, virtualnoi ta zmishanoi realnosti [Application of immersive technologies in teacher training in higher education institutions: The synergy of augmented, virtual and mixed reality]. *Suchasni informatsiini tekhnolohii ta innovatsiini metodyky navchannia v pidhotovtsi fakhivtsiv: metodolohiia, teoriia, dosvid, problemy – Modern Information Technologies and Innovative Teaching Methods in Professional Training: Methodology, Theory, Experience, Problems*, (76), 55–64. DOI: <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2025-76-55-64>.
6. Kabatskyi, O. V., Khoroshailo, V. V., Shapovalov, M. V., & Antonenko, Ya. S. (2026). Vykorystannia suchasnykh informatsiinykh tekhnolohii u rozvytku prostorovoho myslennia tekhnichnykh spetsialistiv u zakladakh vyshchoi osvity [The use of modern information technologies in developing spatial thinking of technical specialists in higher education institutions]. *Pedahohichna Akademiia: naukovyi zapysky – Pedagogical Academy: Scientific Notes*, (29). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.20059083>.
7. Khmil, N. A., Halytska-Didukh, T. V., & Tsyantsi, V. (2023). Vykorystannia virtualnoi ta dopovnenoї realnosti v ukrainskii osviti [The use of virtual and augmented reality in Ukrainian education]. *Akademichni vizii – Academic Visions*, (22). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.8251886>.
8. Velushchak, M. Ya., Harachkovskyi, O. I., & Vasylenko, O. V. (2025). Vykorystannia dopovnenoї realnosti v osvitnomu protsesi zakladiv vyshchoi osvity Ukrainy [The use of augmented reality in the educational process of higher education institutions of Ukraine]. *Akademichni vizii – Academic Visions*, (42). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15192765>.
9. Lazarenko, H. S., Litvina, Z. Yu., & Kyrchata, I. M. (2025). Adaptivni stratehii vykladannia u vyshchii shkoli v konteksti navchannia cherez dopovnenu realnist [Adaptive teaching strategies in higher education in the context of learning through augmented reality]. *Akademichni vizii – Academic Visions*, (50). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.17800695>.
10. Matkivskyi, M. P., Prytuliak, T. S., & Rizak, H. V. (2026). Zastosuvannia virtualnoi realnosti u vykladanni pryrodnychykh dystsyplin u zakladakh osvity [Application of virtual

reality in teaching natural sciences in educational institutions]. *Pedahohichna Akademiia: naukovy zapysky – Pedagogical Academy: Scientific Notes*, (30). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.20066660>.

11. Besedin, B. B., & Odintsova, Ye. P. (2024). Rol imersyvnykh tekhnolohii u rozvytku prostorovoho myslennia na urokakh matematyky [The role of immersive technologies in the development of spatial thinking in mathematics lessons]. *Tekhnolohii elektronnoho navchannia – Technologies of E-Learning*, (8), 83–87. DOI: <https://doi.org/10.31865/2709-840082024316952>.

12. Yashanov, S. M., Motorina, V. H., & Klochkova, Yu. V. (2026). Transformatsiia kohnityvnogo prostoru vyshchoi osvity cherez intehtratsiiu heneratyvnogo shtuchnoho intelektu ta imersyvnykh tekhnolohii [Transformation of the cognitive space of higher education through the integration of generative artificial intelligence and immersive technologies]. *Pedahohichna Akademiia: naukovy zapysky – Pedagogical Academy: Scientific Notes*, (30). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.20131308>.

13. Dymova, I. (2022). Imersyvnyi pidkhid v systemi universytetskoi osvity [Immersive approach in the system of university education]. *Aktualni pytannia humanitarnykh nauk – Current Issues of Humanities*, 48(1), 289–293. DOI: <https://doi.org/10.24919/2308-4863/48-1-45>.

14. Pinchuk, O., & Luparenko, L. (2022). Dydaktychnyi potentsial vykorystannia tsyfrovoho kontentu z dopovnenoiu realnistiu [Didactic potential of using digital content with augmented reality]. *Suchasni informatsiini tekhnolohii ta innovatsiini metodyky navchannia v pidhotovtsi fakhivtsiv: metodolohiia, teoriia, dosvid, problemy – Modern Information Technologies and Innovative Teaching Methods in Professional Training: Methodology, Theory, Experience, Problems*, (63), 39–57. DOI: <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2022-63-39-57>.

15. Wang, S. M., Yaqin, M. A., & Lan, V. H. (2024). Enhancing spatial-reasoning perception using virtual reality immersive experience. *IEEE Transactions on Education*, 67(5), 648–659. DOI: <https://doi.org/10.1109/TE.2024.3401839>.

16. Hamdan, A., Putra, A. K., Tan, I., & Farihah, S. N. (2024). Geo-virtual reality: The creative materials to construct spatial thinking skills using virtual learning based metaverse technology. *Thinking Skills and Creativity*, 54, 101664. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2024.101664>.

17. Di, X., & Zheng, X. (2022). A meta-analysis of the impact of virtual technologies on students' spatial ability. *Educational Technology Research and Development*, 70(1), 73–98. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11423-022-10082-3>.

18. Lisle, L., Chen, X., Gitre, J. E., North, C., & Bowman, D. A. (2020). Evaluating the benefits of the immersive space to think. In *2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops* (pp. 331–337). Atlanta: IEEE. DOI: <https://doi.org/10.1109/VRW50115.2020.00073>.

19. Azarby, S., & Rice, A. (2022). Understanding the effects of virtual reality system usage on spatial perception: The potential impacts of immersive virtual reality on spatial design decisions. *Sustainability*, 14(16), 10326. DOI: <https://doi.org/10.3390/su141610326>.

20. Gittinger, M., & Wiesche, D. (2024). Systematic review of spatial abilities and virtual reality: The role of interaction. *Journal of Engineering Education*, 113(4), 919–938. DOI: <https://doi.org/10.1002/jee.20568>.

21. Bagher, M. M., Sajjadi, P., Wallgrün, J. O., LaFemina, P., & Klippel, A. (2023). Virtual reality for geospatial education: Immersive technologies enhance sense of embodiment. *Cartography and Geographic Information Science*, 50(3), 233–248. DOI: <https://doi.org/10.1080/15230406.2022.2122569>.
22. Safadel, P., & White, D. (2020). Effectiveness of computer-generated virtual reality in learning and teaching environments with spatial frameworks. *Applied Sciences*, 10(16), 5438. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10165438>.
23. Gómez-Tone, H. C., Martin-Gutierrez, J., Bustamante-Escapa, J., & Bustamante-Escapa, P. (2021). Spatial skills and perceptions of space: Representing 2D drawings as 3D drawings inside immersive virtual reality. *Applied Sciences*, 11(4), 1475. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11041475>.
24. Conesa, J., Mula, F. J., Bartlett, K. A., Naya, F., & Contero, M. (2023). The influence of immersive and collaborative virtual environments in improving spatial skills. *Applied Sciences*, 13(14), 8426. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13148426>.
25. Serrano-Ausejo, E., & Mårell-Olsson, E. (2024). Opportunities and challenges of using immersive technologies to support students' spatial ability and 21st-century skills in K–12 education. *Education and Information Technologies*, 29(5), 5571–5597. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11981-5>.
26. Stanford Medicine. (2020). *Educators will use virtual reality to teach anatomy*. Retrieved from <https://med.stanford.edu/news/all-news/2020/10/educators-will-use-virtual-reality-to-teach-anatomy.html>.
27. Kasbia, H., Baig, R. A., Boynton, L., Mozu-Simpson, F., Fattal, A., Clare, B., Sharma, P., Dalton, A., Brown, C., Baptista, A., Pinder, R. J., Rezaei Haddad, A., & Sam, A. H. (2026). Exploring student perceptions of integrating mixed reality with cadaveric teaching in undergraduate neuroanatomy education: A qualitative study. *Anatomical Sciences Education*, 00, 1–12. DOI: <https://doi.org/10.1002/ase.70273>.
28. Natsionalnyi universytet «Lvivska politehnika». (2026). *Kafedra system virtualnoi realnosti* [Department of Virtual Reality Systems]. Retrieved from <https://xr.net.ua/>.
29. Natsionalnyi universytet «Lvivska politehnika». (2026). *AR4EDU*. Retrieved from <https://lpnu.ua/ar4edu>.
30. Gittinger, M., & Wiesche, D. (2024). *Systematic review of spatial abilities and virtual reality: The role of interaction*. *Journal of Engineering Education*, 113(4), 919–938. DOI: <https://doi.org/10.1002/jee.20568>.
31. Koziar, M. M., & Feshchuk, Yu. V. (2008). «Elektronnyi konstruktor» yak zasib rozvytku prostorovoho myslennia maibutnikh uchyteliv trudovoho navchannia [“Electronic constructor” as a means of developing spatial thinking of future teachers of labor education]. *Nova pedahohichna dumka – New Pedagogical Thought*, 104–107.
32. Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). *A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda*. *Computers & Education*, 147, 103778. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>.
33. Cabrera-Duffaut, A., Pinto-Llorente, A. M., & Iglesias-Rodríguez, A. (2024). *Immersive learning platforms: Analyzing virtual reality contribution to competence development in higher*

education – A systematic literature review. In *Frontiers in Education*, 9, 1391560. DOI: <https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1391560>.

34. Shahverdi, A. F., Mostafavi, F., Roodkoly, S. H., Zomorodian, Z. S., & Homayouni, H. (2024). *Developing a pedagogical framework for an integrated and BIM-based high-performance design studio: Experimental case study*. *Journal of Architectural Engineering*, 30(1), 05024001. DOI: <https://doi.org/10.1061/JAEIED.AEENG-1550>.

35. Bogar, P. Z., Virag, M., Bene, M., Hardi, P., Matuz, A., Schlegl, A. T., et al. (2024). *Validation of a novel, low-fidelity virtual reality simulator and an artificial intelligence assessment approach for peg transfer laparoscopic training*. *Scientific Reports*, 14(1), 16702. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-67435-6>.

36. Balbin, I. U., & Gavioli, M. (2024). *Mission MARIJN: A case study on improving undergraduate aerospace engineering education*. In *2024 IAF Space Education and Outreach Symposium at the 75th International Astronautical Congress (IAC 2024)* (pp. 1396–1403). DOI: <https://doi.org/10.52202/078378-0174>.

37. Bogomolets National Medical University. (2026). *Navchalno-naukovyj tsentr medychnykh symuliatsii* [Educational and Scientific Center for Medical Simulation]. Retrieved from <https://nmuofficial.com/ua/navchalno-naukovyj-tsentrmedychnyhsymulyatsij/>.