

МЕТОДИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВІРТУАЛЬНОЇ І ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ПІД ЧАС ВИКЛАДАННЯ ФІЗИКИ ЗДОБУВАЧАМ ВИЩОЇ МЕДИЧНОЇ ОСВІТИ

Bohdan Palasyuk

Ivan Horbachevsky Ternopil National Medical University of the Ministry of Health of Ukraine

METHODOLOGICAL ASPECTS OF USING VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY TECHNOLOGIES IN PHYSICS EDUCATION FOR STUDENTS OF MEDICAL UNIVERSITIES

Анотація. У статті досліджено роль і значення технологій віртуальної реальності (VR) та доповненої реальності (AR) у процесі викладання медичної фізики здобувачам освіти вищих медичних навчальних закладів. Обґрунтовано актуальність їх використання з метою підвищення якості засвоєння навчального матеріалу та створення умов для практико-орієнтованого навчання без ризику для здоров'я студентів. Проаналізовано виклики традиційного навчання, пов'язані з обмеженим доступом до дорогого або потенційно небезпечного медичного обладнання. Підкреслено, що віртуальна реальність та доповнена реальність – це сучасні технології, які кардинально змінюють підходи до навчання в медицині та фармації. Продемонстровано, як інтерактивні VR-симуляції дають змогу візуалізувати складні фізичні процеси та безпечно відпрацьовувати практичні навички без ризику опромінення. Доведено, що впровадження VR суттєво підвищує рівень активності студентів, покращує просторове мислення та забезпечує глибоке розуміння теоретичного матеріалу через практичний досвід. Наголошено, що інтеграція технологій віртуальної реальності докорінно змінює підходи до вивчення молекулярної біофізики, відкриває нові можливості для вивчення розділу «Оптика та лазерна медицина». Окрему увагу приділено проблемі інтеграції у навчальний процес технологій доповненої реальності, які створюють нові перспективи для інтерактивного тривимірного моделювання. Акцентовано, що серед найбільш ефективних сфер застосування доповненої реальності є демонстрація принципу роботи ультразвукових діагностичних систем. Зроблено висновок, що технології віртуальної і доповненої реальності на заняттях із медичної фізики допомагають здобувачам вищої освіти формувати чіткі внутрішні моделі роботи складної медичної апаратури. Вони перетворюють студентів на активних учасників навчального процесу, стимулюють їхній інтерес до наукового пошуку, формують клінічне мислення та розвивають навички глибокого аналізу фізичних закономірностей, на яких базуються сучасні діагностичні системи.

Ключові слова: технології віртуальної реальності; технології доповненої реальності; медична фізика; здобувачі освіти; медична освіта; інтерактивне навчання; візуалізація.

Abstract. The article examines the role and significance of Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR) technologies in teaching Medical Physics to students pursuing higher medical education. The relevance of integrating these technologies into the educational process is substantiated as a means of improving the quality of learning outcomes and creating conditions for practice-oriented education without posing health risks to students. The study analyzes the limitations of traditional teaching approaches associated with restricted access to expensive or potentially hazardous medical equipment. It is emphasized that Virtual Reality and Augmented Reality are innovative technologies that are fundamentally transforming educational approaches in medicine and pharmacy. The paper demonstrates how interactive VR simulations enable the visualization of complex physical processes and provide a safe environment for developing practical skills without the risk of radiation exposure. It is shown that the implementation of VR significantly enhances student engagement, improves spatial reasoning, and promotes a deeper understanding of theoretical concepts through experiential learning. The study highlights that the integration of Virtual Reality technologies fundamentally changes approaches to teaching molecular biophysics and opens new opportunities for studying the topics of Optics and Laser Medicine. Particular attention is paid to the integration of Augmented Reality technologies into the educational process, as they create new opportunities for interactive three-dimensional visualization and modeling. It is emphasized that one of the most effective applications of AR is the demonstration of the operating principles of ultrasound diagnostic systems. The study concludes that the use of Virtual Reality and Augmented Reality technologies in Medical Physics courses enables students to develop accurate mental models of the operation of complex medical equipment. These technologies transform students into active participants in the learning process, stimulate their interest in scientific inquiry, foster clinical thinking, and develop their ability to analyze the physical principles underlying modern diagnostic systems.

Keywords: Virtual Reality (VR); Augmented Reality (AR); Medical Physics; medical students; higher medical education; interactive learning; visualization.

Вступ. За останні кілька десятиліть у медицині відбулися значні зміни, пов'язані насамперед із досягненнями у сфері фундаментальних наук та інженерних знань. Сучасні успіхи в медицині та фармацевтиці тісно пов'язані з використанням точних наук, насамперед фізики. Фізика забезпечує теоретичну базу та методологічні інструменти, які є фундаментом для створення інноваційних технологій і діагностичного обладнання (Gambo & Shehu, 2024). Без розуміння фізичних законів неможливо досягти високого рівня підготовки майбутніх лікарів і фармацевтів, адже функціонування як живих систем, так і принципи роботи медичного обладнання та методи лікування базуються на фізичних явищах та законах, тому вивчення медичної фізики вимагає від здобувачів освіти високого рівня абстрактного мислення та вміння застосовувати теоретичні знання на практиці.

Сучасна медична освіта перебуває на етапі інтенсивної цифрової трансформації, що зумовлено стрімким розвитком високотехнологічних методів діагностики та лікування. Традиційні методи викладання медичної фізики не завжди забезпечують достатній рівень засвоєння складного навчального матеріалу. У цьому контексті особливої актуальності набуває упровадження інтерактивних методів навчання, спрямованих на активне залучення студентів у навчальний процес. Проблемне навчання, кейс-методи, групові форми роботи, використання цифрових освітніх технологій та інші інтерактивні методи навчання створюють, передусім, умови для активної взаємодії між викладачем та студентами. Вони сприяють розвитку аналітичних навичок, самостійного мислення та професійної комунікації, що особливо важливо для вивчення біофізики.

У зв'язку із цим актуальним є вивчення можливостей та ефективності застосування інтерактивних методів та інших методичних засобів у викладанні медичної фізики здобувачам освіти вищих медичних навчальних закладів.

Аналіз сучасних наукових досліджень засвідчує, що теоретичні засади та практичні результати впровадження інноваційних педагогічних технологій систематично висвітлюються в науково-педагогічній літературі (Pometun & Sushchenko, 2020). У багатьох працях розкрито доцільність їх використання під час вивчення навчальних дисциплін медичного профілю (Kucher, Chernets, Ruda, et al., 2026). Палітра авторів, які досліджували теоретичні аспекти раціонального поєднання класичних традиційних методів навчання з інноваційними підходами, досить широка. Попри це, проблема потенціалу технологій віртуальної реальності (Virtual Reality, VR) під час вивчення медичної фізики залишилася поза увагою вчених. Низкою досліджень (Wang et al., 2023; Müller & Schmidt, 2024) уже підтверджено ефективність

застосування доповненої реальності (Augmented Reality, AR) для вивчення топографічної анатомії та розвитку мануальних навичок у хірургії. Водночас використання технологій доповненої реальності для візуалізації абстрактних, невидимих фізичних полів (зокрема, електромагнітних, акустичних чи радіаційних) під час викладання медичної фізики у вищому медичному навчальному закладі не набуло належного висвітлення. У цьому контексті необхідність дослідження методичних особливостей використання технологій віртуальної та доповненої реальності у процесі викладання фізики здобувачам вищої медичної освіти зумовила актуальність нашої статті.

Мета дослідження полягає у теоретичному обґрунтуванні та систематизації методичних аспектів інтеграції технологій віртуальної та доповненої реальності в процес викладання фізики для студентів вищих медичних навчальних закладів із метою підвищення якості їхньої фундаментальної підготовки та формування професійних компетентностей.

Теоретична частина. За останні роки значно активізувалась інтеграція технологій віртуальної реальності та доповненої реальності у медичну освіту та професійну підготовку медичного персоналу. Завдяки імерсійному та інтерактивному середовищам ці технології пропонують інноваційний підхід до передачі медичних знань, відпрацювання практичних навичок і формування професійних компетенцій (Tang, Chau, Kwok et al., 2022).

Віртуальна реальність – це технологія занурення, яка переносить користувачів в іншу, змодельовану реальність за допомогою спеціалізованих пристроїв і програмного забезпечення. Доповнена реальність поєднує фізичний та віртуальний світ, додаючи в реальний простір цифрову інформацію (Brown, 2021).

Віртуальна реальність та доповнена реальність – це сучасні технології, які кардинально змінюють підходи до навчання в медицині та фармацевтиці. Ці технології широко використовуються на стику фізики та медицини для створення високоточних симуляцій, візуалізації складних процесів та навчання. Вони створюють інтерактивні та безпечні середовища, у яких студенти можуть практикуватися та отримувати досвід роботи з високотехнологічним обладнанням, і відіграють важливу роль у формуванні глибокого розуміння фізичних принципів, які лежать в основі медичних приладів – ультразвукових апаратів (УЗД), магнітно-резонансних томографів (МРТ) та ін.

Технологія віртуальної реальності формує цифрову симуляцію, адаптовану для освітніх цілей, включаючи вивчення медичної техніки. Симулятори віртуальної реальності створюють умови для формування практичних навичок без

реального обладнання, використовуючи віртуальні датчики для сканування і спостерігаючи результати у реальному часі. Вони візуалізують складні фізичні процеси – взаємодію ультразвукових хвиль із тканинами або вплив магнітного поля на атоми водню в МРТ. Слід зазначити, що віртуальне навчання з використанням моделей МРТ- та КТ-сканерів має додаткові дидактичні переваги, оскільки забезпечує інтерактивну візуалізацію складних біофізичних процесів, які лежать в основі цих методів медичної візуалізації, зокрема явища ядерного магнітного резонансу та закономірностей ослаблення рентгенівського випромінювання в біологічних тканинах. При цьому навчання відбувається без використання реальних джерел іонізуючого випромінювання, що усуває будь-який ризик опромінення здобувачів освіти.

У медичних закладах вищої освіти вивчення медичної та біологічної фізики часто стикається з проблемою високої абстрактності біофізичних процесів. Однією з найскладніших для розуміння тем є серцева електрофізіологія, зокрема механізми формування та поширення потенціалу дії у кардіоміоцитах та провідній системі серця. Графіки та математичні формули (наприклад, рівняння Нернста або Гольдмана – Ходжкіна – Каца) не формують у студентів просторово-часового уявлення про те, як зміни іонних струмів (Na^+ , K^+ , Ca^{2+}) через потенціалкеровані мембранні канали кардіоміоцитів визначають фази потенціалу дії (деполяризацію, плато та реполяризацію), а також як сукупність цих електрофізіологічних процесів формує електричну активність серця, що реєструється на електрокардіограмі. Технологія віртуальної реальності ефективно усуває цей бар'єр, трансформуючи пасивне сприйняття інформації в активне інтерактивне дослідження процесів на мікро- та макрорівні. Завдяки цьому студенти мають можливість у режимі реального часу спостерігати за поширенням електричного збудження в міокарді під час аритмій, а також змінювати параметри цього процесу для кращого розуміння його механізмів.

Упровадження технологій віртуальної реальності у викладання медичної фізики сприяє переходу від простого запам'ятовування етапів потенціалу дії до усвідомленого розуміння фізико-хімічних механізмів функціонування серця. Такий підхід формує ґрунтовну основу для подальшого опанування фізіології, кардіології та методів функціональної діагностики, а також підвищує рівень професійної підготовки майбутніх лікарів відповідно до сучасних вимог цифрової медицини (Ustun, Yilmaz & Yilmaz, 2020).

Під час вивчення гемодинаміки та механіки рідин технологія віртуальної реальності візуалізує кровотік, тобто здобувачі освіти можуть ніби

увійти всередину кровоносних судин і побачити дію законів гідродинаміки, швидкість кровотоку та ефект звуження артерій. Студенти бачать відмінність між ламінарним та турбулентним потоками крові, що дає змогу в реальному часі спостерігати, як змінюється профіль швидкості потоку під час звуження судини. За допомогою VR-симуляторів можна змінювати в'язкість крові, радіус судини або тиск і в реальному часі миттєво бачити реакцію кровоносної системи. Під час занять із клінічних дисциплін майбутні лікарі можуть моделювати різні клінічні ситуації, зокрема порушення серцевого ритму або масивні кровотечі, та аналізувати їхній вплив на гемодинаміку без будь-якого ризику для реальних пацієнтів.

Інтеграція технологій віртуальної реальності докорінно змінює підходи до вивчення молекулярної біофізики, де розуміння живих систем базується на суворих законах фізики. Використання технологій VR стає містком між складними математичними моделями та їх реальним біологічним утіленням. Завдяки тривимірній візуалізації студенти отримують унікальну можливість заглянути всередину клітинного простору і безпосередньо взаємодіяти зі складними білковими структурами, іонними каналами та рецепторами в реальному часі.

Сучасна парадигма підготовки медиків вимагає не лише засвоєння теоретичного апарату класичної оптики та квантової механіки, а й формування чітких практичних навичок роботи з високотехнологічним медичним обладнанням. У цьому контексті технології віртуальної реальності (VR) відкривають принципово нові можливості для вивчення розділу «Оптика та лазерна медицина», ізолюючи студентів від потенційних ризиків, пов'язаних з експлуатацією лазерів високої інтенсивності, та унаочнюючи приховані біофізичні процеси. Студенти можуть у реальному часі спостерігати заломлення світлових пучків на межах розділу плівки слізної рідини, рогівки, передньої камери ока, кришталика та склистого тіла.

Віртуальний інструментарій дає змогу змінювати радіус кривизни рогівки або позадвожню вісь очного яблука, миттєво візуалізуючи фізичну картину міопії, гіперметропії чи астигматизму, а також розраховувати параметри оптичної корекції за допомогою циліндричних та сферичних лінз. Завдяки 3D-візуалізації стає можливим наочно продемонструвати, як неоднорідність показника заломлення шарів кришталика мінімізує сферичну аберацію, що дуже складно продемонструвати за допомогою звичайних креслень. З огляду на те, що суворі нормативні вимоги щодо радіаційної та пожежної безпеки під час роботи з клінічними лазерами унеможливають прямий допуск здобувачів освіти на початкових

етапах до самостійного оперування технікою, упровадження технологій віртуальної реальності виступає ефективним інструментом подолання безпекових обмежень через створення інтерактивного цифрового полігону.

До найперспективніших напрямів цифровізації навчального процесу автори наукових досліджень (Rozhkov & Kovalova, 2024) відносять використання технологій доповненої реальності, які забезпечують інтеграцію віртуальних тривимірних об'єктів у реальний простір. У процесі вивчення медичної фізики технології доповненої реальності дають змогу візуалізувати фізичні явища, невидимі для людського ока або складні для безпосереднього спостереження. Особливо цінною є можливість моделювання принципів роботи сучасних діагностичних приладів, що сприяє формуванню професійних компетентностей майбутніх медиків.

На відміну від віртуальної реальності, яка передбачає повне занурення та ізоляцію від зовнішнього простору, доповнена реальність гармонійно впроваджує цифрові об'єкти в реальні умови лабораторій чи навчальних аудиторій. Технології доповненої реальності створюють нові перспективи для інтерактивного тривимірного моделювання. Однією з найбільш ефективних сфер застосування доповненої реальності є демонстрація принципу роботи ультразвукових діагностичних систем. Під час традиційного навчання студенти ознайомлюються лише зі схемами або двовимірними ілюстраціями, що не забезпечують повного розуміння процесу поширення ультразвукових хвиль.

Використання технологій доповненої реальності дає змогу відобразити процес генерації ультразвукових хвиль датчиком у реальному масштабі, показати поширення ультразвуку в тканинах різної щільності, змодельовати явища відбиття, заломлення, розсіювання та поглинання ультразвукових хвиль, візуалізувати формування ехосигналу та принцип побудови ультразвукового зображення, а також демонструвати вплив кута падіння хвилі на якість отриманого сигналу (Garcia-Pareja, Lazaro-Ponce, Pardo-Montero, 2024). Здобувачі освіти можуть змінювати положення датчика, характеристики середовища або частоту ультразвуку і відразу ж спостерігати зміни у процесі поширення хвиль. Такий підхід значно покращує розуміння фізичних основ ультразвукової діагностики.

Автори наукових досліджень (Zotti, D'Alessio, 2024) наголошують, що важливим напрямом використання доповненої реальності є моделювання роботи рентгенодіагностичних систем. Оскільки рентгеновське випромінювання є невидимим, студенти часто не можуть зрозуміти механізм формування рентгеновського зображення.

Технології доповненої реальності у режимі реального часу дають змогу демонструвати утворення рентгеновських променів у рентгеновській трубці, траєкторію проходження випромінювання від джерела до детектора, взаємодію рентгеновських променів із тканинами різної густини, процес ослаблення випромінювання залежно від атомного номера та товщини тканин, формування контрастності рентгеновського зображення, вплив положення пацієнта та параметрів експозиції на якість отриманого зображення.

Завдяки поєднанню просторової візуалізації та інтерактивності доповнена реальність ефективно реалізує принципи мультимедійного навчання, оскільки поєднує візуальні, просторові та інтерактивні способи подання інформації.

Висновки. Віртуальна реальність та доповнена реальність – це сучасні технології, які кардинально змінюють підходи до навчання в медицині та фармації. Вони створюють інтерактивні та безпечні середовища, у яких студенти мають можливість формувати навички роботи з високотехнологічним обладнанням. Технологія віртуальної реальності формує цифрову симуляцію, адаптовану для освітніх цілей, включаючи вивчення медичної техніки. Симулятори віртуальної реальності створюють умови для формування практичних навичок без реального обладнання, використовуючи віртуальні датчики для сканування і спостерігаючи результати у реальному часі. Проведене дослідження показує, що впровадження технологій віртуальної та доповненої реальності у процес викладання медичної фізики відіграє важливу роль у візуалізації складних, невидимих для людського ока процесів, сприяє підвищенню наочності навчального матеріалу, має велике значення для розуміння фізичних принципів, які лежать в основі медичних приладів – ультразвукових апаратів (УЗД), магнітно-резонансних томографів (МРТ) та ін.

Віртуальна реальність передбачає повне занурення та ізоляцію від зовнішнього простору, а доповнена реальність гармонійно впроваджує цифрові об'єкти в реальні умови лабораторій чи навчальних аудиторій. Під час вивчення складних фізичних явищ ці технології допомагають здобувачам вищої освіти формувати чіткі внутрішні моделі роботи складної медичної апаратури. Технології доповненої реальності створюють нові перспективи для інтерактивного тривимірного моделювання. Інтерактивний характер технологій віртуальної та доповненої реальності сприяє формуванню професійних компетентностей майбутніх медичних працівників, підвищує якість засвоєння навчального матеріалу та створює умови для практико-орієнтованого навчання без ризику для здоров'я студентів і пацієнтів.

Важливим напрямом подальших досліджень є розроблення методичних рекомендацій щодо

впровадження VR- і AR-технологій у навчальні програми з медичної фізики, визначення критеріїв оцінювання їх педагогічної ефективності та обґрунтування організаційно-педагогічних умов їх широкого використання в закладах вищої медичної освіти. Реалізація зазначених напрямів сприятиме модернізації професійної підготовки майбутніх медичних фахівців, підвищенню якості медичної освіти та її відповідності сучасним тенденціям цифрової трансформації системи охорони здоров'я.

Інформація про фінансування. Автор заявляє про відсутність фінансування для проведення цього дослідження та написання цієї статті.

Інформація щодо конфлікту інтересів. Автор заявляє про відсутність будь-яких реальних або потенційних конфліктів інтересів.

References

1. Boichenko, O. M., & Sidash, Yu. V. (2018). Upravdzhennia innovatsiinykh metodiv navchannia u vyshchii medychnii shkoli [Implementation of innovative teaching methods in higher medical school]. *Visnyk problem biologii i medytsyny – Bulletin of Problems in Biology and Medicine*, (4), 65–67. DOI: <https://doi.org/10.31718/2409-0255.4.2018.12> [in Ukrainian].
2. Brown, J. (2021). Interdisciplinary approaches in pharmaceutical sciences. *Cambridge University Press*. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781108915123>
3. Gambo, N., & Shehu, M. (2024). The role of diagnostic medical physics in medicine. *An Overview. Sahel Journal of Life Sciences FUDMA*, 2 (1), 103–109. DOI: <https://doi.org/10.33003/sajols-2024-0201-012>
4. Garcia-Pareja, S., Lazaro-Ponce, A., & Pardo-Montero, J. (2024). Augmented Reality Technologies for Radiation Safety Training: A Systematic Review of Sensor Integration and Visualization Approaches. *Sensors*, 24 (8), 2541. DOI: <https://doi.org/10.3390/s24082541>
5. Kucher, S. V., Chernets, T. Yu., Ruda, M. M., Vereshchahina, N. Ya., & Myndziv, K. V. (2026). Innovatsiyni pidkhody do pidhotovky maybutnikh likariv: vid nastavnytstva do symulyatsiynoho navchannia ta shtuchnoho intelektu [Innovative approaches to training future physicians: from mentorship to simulation-based learning and artificial intelligence]. *Akademichni viziyyi – Academic Visions*, (55). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.10825313> [in Ukrainian].
6. Kahn, M. J., & Inui, T. S. (2021). The digital transformation of medical education: Innovations accelerated by the COVID-19

Внесок автора. Автор єдиним виконавцем даного дослідження, відповідальним за розроблення концепції, написання та редагування тексту рукопису.

Інформація про використання штучного інтелекту. Автор рукопису свідомо засвідчує, що у процесі проведення дослідження та підготовки цього рукопису не використовував жодних інструментів або сервісів генеративного штучного інтелекту для виконання будь-яких завдань, перелічених у Таксономії делегування завдань генеративному штучному інтелекту “GAIDeT” (Generative Artificial Intelligence Delegation Taxonomy, 2025 p.). Усі етапи роботи – від концептуалізації до фінального редагування – виконано без залучення генеративного штучного інтелекту, виключно автором.

Автор схвалив остаточний варіант рукопису.

pandemic. *Academic Medicine*, 96 (11S), S1–S5. DOI: <https://doi.org/10.1097/ACM.0000000000004312>

7. Pometun, O. I., & Sushchenko, A. T. (2020). Pidhotovka vykladachiv vyshchoi shkoly do zas-tosuvannia interaktyvnykh tekhnolohii navchannia [Training of higher school teachers for the application of interactive learning technologies]. *Zhytomyr Ivan Franko State University Journal. Pedagogical Sciences – Journal of the Ivan Franko State University of Zhytomyr. Educational Sciences*, (1), 45–56. DOI: [https://doi.org/10.35433/pedagogy.1\(100\).2020.45-56](https://doi.org/10.35433/pedagogy.1(100).2020.45-56) [in Ukrainian].

8. Rozhkov, I. M., & Kovalova, O. M. (2024). Tsyfrovizatsiya medychnoyi osvity: vykorystannya tryvymirnykh anatomichnykh modeley ta VR-tekh-nolohiy u navchal'nomu protsesi [Digitalization of medical education: the use of 3D anatomical models and VR technologies in the educational process]. *Medychni perspektyvy – Medical Perspectives*, 29 (1), 154–161. DOI: <https://doi.org/10.26641/2307-0404.2024.1.300512> [in Ukrainian].

9. Tang, Y. M., Chau, K. Y., Kwok, A. P., Zhu, T., & Ma, X. (2022). A systematic review of immersive technology applications for medical practice and education – Trends, application areas, recipients, teaching contents, evaluation methods, and performance. *Educational Research Review*, 35, Article 100429. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2021.100429> [in English].

10. Ustun, A. B., Yilmaz, R., & Yilmaz, F. G. (2020). Virtual reality in medical education. In *Mobile Devices and Smart Gadgets in Medical Sciences* (pp. 56–73). IGI Global. DOI: <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-1754-3.ch003>

11. Zotti, V., & D'Alessio, A. (2024). Exploring Augmented Reality Integration in Diagnostic Imaging: Myth or Reality? *Diagnostics*, 14 (3), 298. DOI: <https://doi.org/10.3390/diagnostics14030298>

Електронна адреса відповідального за подання статті: palasyukbm@tdmu.edu.ua

Дата першого надходження статті до видання: 19.07.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 12.08.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 02.10.2026



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