

УДК 004.932  
DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2024.4.19>

**Олександр СТОРОЖУК**

кандидат технічних наук, доцент,  
завідувач кафедри інформаційних систем та комп'ютерного моделювання,  
Національний лісотехнічний університет України, [stotozhuk@nltu.edu.ua](mailto:stotozhuk@nltu.edu.ua)  
ORCID: 0000-0001-6566-5271

**Квітослава-Ольга ЯЦИНА**

магістр за спеціальністю 122 «Комп'ютерні науки»,  
Національний лісотехнічний університет України, [acinakvitka@gmail.com](mailto:acinakvitka@gmail.com)  
ORCID: 0009-0008-9009-7796

**ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ AR У ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТА АНАЛІЗІ АНАТОМІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ  
З ВИКОРИСТАННЯМ ЕВКЛІДОВОЇ МЕТРИКИ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ ПІДГОТОВКИ  
МЕДИЧНИХ ФАХІВЦІВ**

**Анотація.** У статті проведено аналіз використання технологій доповненої реальності (AR) у навчанні студентів-медиків, зокрема для покращення засвоєння анатомії, розвитку хірургічних навичок та вивчення функціонування органів у інтерактивному середовищі. AR надає можливість інтерактивної роботи з тривимірними моделями, що дозволяє студентам не лише спостерігати, але й безпосередньо взаємодіяти з навчальним матеріалом, сприяючи його кращому розумінню та засвоєнню.

**Метою роботи** є дослідження можливостей інтеграції технологій доповненої реальності (AR) у навчальний процес для покращення засвоєння студентами-медиками знань з анатомії, розвитку практичних навичок та вивчення функціонування анатомічних структур в інтерактивному середовищі.

**Методологія.** У статті застосовано методи аналізу сучасних AR-технологій, включаючи математичні підходи до візуалізації тривимірних об'єктів та їх інтеграції в освітній процес. Проведено тестування функціональних можливостей AR-додатка, орієнтованого на взаємодію з 3D-об'єктами та адаптивне оцінювання знань студентів.

**Наукова новизна.** Запропоновано систему інтеграції AR-технологій у медичну освіту, що базується на використанні математичних методів для точного позиціонування, орієнтації та масштабування віртуальних об'єктів. Розроблено адаптивну систему тестування, яка дозволяє фокусувати навчальний процес на найскладніших аспектах за допомогою індивідуалізованого підходу.

**Висновки.** Інтеграція доповненої реальності у навчання сприяє підвищенню зацікавленості студентів, поліпшенню засвоєння знань та розвитку практичних навичок. Використання AR-додатків дозволяє створити інтерактивне навчальне середовище, яке долає обмеження традиційних методів навчання та забезпечує доступ до детальної інформації про анатомічні структури. Такий підхід підвищує ефективність освітнього процесу, сприяє формуванню критичного мислення та забезпечує якісну підготовку студентів-медиків.

**Ключові слова:** AR, доповнена реальність, AR-додаток, 3D-об'єкти.

**Oleksandr STOROZHUK, Kvitoslava-Olha YATSYNA. FEATURES OF THE APPLICATION OF AR IN VISUALIZATION AND ANALYSIS OF ANATOMICAL OBJECTS USING EUCLIDIAN METRICS IN THE EDUCATIONAL PROCESS OF TRAINING MEDICAL SPECIALISTS**

**Abstract.** The article analyzes the use of augmented reality (AR) technologies in the education of medical students, in particular to improve the acquisition of anatomy, the development of surgical skills and the study of the functioning of organs in an interactive environment. AR provides the opportunity to work interactively with three-dimensional models, which allows students not only to observe, but also to directly interact with the educational material, contributing to its better understanding and assimilation.

**The purpose of the article** is to study the possibilities of integrating augmented reality (AR) technologies into the educational process to improve the acquisition of knowledge of anatomy by medical students, the development of practical skills and the study of the functioning of anatomical structures in an interactive environment.

**Methodology.** The article applies methods of analysis of modern AR technologies, including mathematical approaches to the visualization of three-dimensional objects and their integration into the educational process. The functional capabilities of the AR application focused on interaction with 3D objects and adaptive assessment of students' knowledge were tested.

**Scientific novelty.** A system for integrating AR technologies into medical education is proposed, based on the use of mathematical methods for accurate positioning, orientation and scaling of virtual objects. An adaptive testing system has been developed, which allows focusing the educational process on the most complex aspects using an individualized approach.

**Conclusions.** The integration of augmented reality into learning helps to increase student interest, improve knowledge acquisition and develop practical skills. The use of AR applications allows you to create an interactive learning environment that overcomes the limitations of traditional teaching methods and provides access to detailed information about anatomical structures. This approach increases the efficiency of the educational process, promotes the formation of critical thinking and ensures high-quality training of medical students.

**Key words:** AR, augmented reality, AR application, 3D objects.

**Вступ. Постановка проблеми.** Впровадження технології доповненої реальності (AR) відкриває нові перспективи для інтеграції віртуальних елементів у реальний світ, створюючи інтерактивні та візуально насичені середовища для навчання. Завдяки цій технології навчання стає більш наочним і залученим, що робить AR корисним інструментом у різних галузях, зокрема в медицині та освіті. Наприклад у медичній освіті ця технологія перетворює складні теоретичні концепції на наочні візуалізації та забезпечує проведення реалістичних симуляцій, що спрощує процес засвоєння матеріалу та тренування навичок.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Проблематика використання доповненої реальності (AR) у навчальному процесі знаходить широке відображення в сучасних дослідженнях. Наприклад, у роботі [4] розглядаються переваги інтерактивних технологій у загальній освіті, зокрема підвищення залученості учнів до навчального процесу завдяки візуалізації складних понять. Організація економічного співробітництва та розвитку (OECD) у своєму звіті [3] аналізує можливості та ризики використання віртуальної реальності в освітньому середовищі, акцентуючи на потенціалі інтерактивних технологій для стимулювання критичного мислення.

У статті Vondrek, Baggili, Casey, Mekni [5] розглядаються технічні аспекти безпеки у віртуальній реальності, що також мають значення для AR, особливо у контексті забезпечення надійної роботи додатків для навчання. Дослідження [6] акцентує увагу на інтеграції AR у вищій освіті, зокрема у підготовці IT-фахівців, що має значну схожість із медичною освітою через необхідність практичної взаємодії з тривимірними об'єктами.

Національні дослідження, такі як робота [1], акцентують увагу на педагогічних аспектах впровадження AR, демонструючи, як ці технології сприяють глибшому розумінню навчального матеріалу. Okремо варто зазначити дослідження [2], яке аналізує використання AR у викладанні математики та підкреслює значення бібліометричного аналізу для вивчення ефективності таких технологій.

**Метою статті** є визначити вплив AR на медичну практику та освітній процес, а також застосування математичних методів для взаємодії з тривимірними об'єктами.

Дослідження ґрунтується на теоретичних засадах, що обґрунтовують використання доповненої реальності в медичній освіті.

**Виклад основного матеріалу.** У галузі медицини доповнена реальність (AR) набуває важливого значення, створюючи нові можливості для підвищення ефективності терапевтичних методів та вдосконалення професійних навичок медичних спеціалістів. Технологія дозволяє лікарям інтегрувати віртуальні елементи в реальний світ, що покращує отримання важливої інформації про пацієнтів. Наприклад, під час хірургічних операцій AR може проєктувати тривимірні моделі органів безпосередньо на тілі пацієнта, що сприяє більш точному виконанню маніпуляцій.

Дослідження проблеми починається з декомпозиції, яка дозволяє виявити основну проблему та її підпроблеми (рис. 1.):

1) Брак інтерактивності та залучення студентів до процесу навчання може бути пояснений кількома причинами, які деталізовано розглянуті нижче:

1.1) відсутність доступу до тривимірних моделей анатомічних структур обмежує можливість студентів краще розуміти складні анатомічні концепції та сприяє менш ефективному навчанню;

1.2) необхідність використання новітніх технологій, таких як доповнена реальність, для поліпшення процесу навчання вимагає відповідного технічного забезпечення та навчання викладачів для ефективного їх впровадження [4];

1.3) потреба у віртуальних симуляціях та практичних завданнях створює можливості для активного залучення студентів до процесу навчання, забезпечуючи їм можливість застосовувати теоретичні знання на практиці та поглиблювати їх розуміння [3].

2) Недостатня доступність деталізованої інформації про анатомічні структури зумовлена відсутністю достатньо обсяжних джерел інформації або обмеженим доступом до них, що ускладнює процес вивчення анатомії студентами. А також, складність анатомічних структур ускладнює їх розуміння для студентів.

3) Відсутність можливості практичної взаємодії з анатомічними моделями ускладнює засвоєння матеріалу студентами, оскільки вони не мають можливості візуально та тактильно досліджувати анатомічні структури.

4) Складнощі зі засвоєнням матеріалу через традиційний метод навчання можуть виникати через недостатню інтерактивність та практичність лекцій і підручників, які не враховують індивідуальні потреби студентів.

5) Низький рівень зацікавленості студентів в вивченні анатомії може бути викликаний кількома факторами:



**Рис. 1. Графічне представлення структури проблем у вигляді дерева**

*Розроблено авторами*

5.1) нецікавий або нестимулюючий метод презентації матеріалу про анатомію призводить до втрати інтересу студентів та погіршення їхнього сприйняття і засвоєння інформації;

5.2) потреба у стимулюючих та цікавих методах навчання, таких як використання інтерактивних симуляцій або доповненої реальності, для підвищення інтересу студентів та залучення їх до вивчення анатомії [5].

Зважаючи на виявлені проблеми у навчанні анатомії, впровадження AR трансформує освіту медичних фахівців, що робить освітній процес більш інноваційним та ефективним. Завдяки підтримці створення динамічного та інтерактивного середовища AR технологіями в медичній практиці, краще засвоюється анатомія людини в тривимірному форматі. Це, у свою чергу, полегшує розуміння складних концепцій і покращує комунікацію між медичними спеціалістами, а також сприяє індивідуалізації підходів у медичній сфері. Студенти мають можливість навчатися у власному темпі, використовуючи віртуальні об'єкти для відпрацювання конкретних навичок відповідно до своїх потреб і рівня знань, що значно знижує ризики помилок під час реальних процедур [6]. Це дозволяє не лише розвивати професійні якості, а й підвищувати впевненість у своїх діях під час роботи з пацієнтами та дає змогу краще адаптуватися до складних клінічних ситуацій, що зменшує тривалість операцій та поліпшує результати лікування.

На основі аналізу існуючих AR-застосунків для медичної освіти виділяють декілька ключових напрямків їх використання:

1) Практика хірургічних маніпуляцій. Застосунки, такі як Touch Surgery та Proximie, завдяки покроковим симуляціям, дають змогу студентам без ризику для пацієнта відпрацьовувати хірургічні навички. Такі віртуальні операції значно покращують готовність студентів до реальних клінічних маніпуляцій.

2) Вивчення анатомії. Complete Anatomy, 3D Organon Anatomy та HoloHuman, показує, що завдяки можливості масштабування і обертання, полегшує розуміння студентам просторових взаємозв'язків між органами та системами тіла. А отже це суттєво підвищує якість засвоєння знань, порівняно з використанням традиційних друкованих атласів.

3) Фізіологічні процеси. Visible Body відображає віртуальні симуляції роботи органів і систем. Наприклад, дозволяє бачити динамічні процеси, як-от кровообіг чи дихання, у реальному часі. Таким чином, допоможе сформувати у студентів краще уявлення про функціонування систем органів, що складно досягти безпосередньо в навчальній аудиторії.

Проте AR має свої недоліки. Одним із головних викликів є висока вартість обладнання та програмного забезпечення, що може обмежити доступ до цієї технології для багатьох навчальних закладів. Крім того, ефективне використання AR вимагає високого рівня технічної підготовки викладачів і медичних працівників [1]. Існують також технічні обмеження, такі як можливі похибки в позиціонуванні об'єктів або затримки у візуалізації, що можуть знижувати якість взаємодії.

Для роботи з тривимірними об'єктами в AR широко використовуються різноманітні математичні підходи, які дозволяють коректно позиціонувати, переміщувати та змінювати орієнтацію віртуальних елементів у реальному світі. Один із фундаментальних математичних інструментів це «Евклідова метрика», що використовується для визначення відстані між об'єктами у тривимірному просторі. Нехай координати точки захоплення позначимо  $(x_1, y_1, z_1)$ , а координати центру об'єкта  $(x_2, y_2, z_2)$ . Тоді формула для визначення відстані  $d$  між ними запишеться, як:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

Евклідова метрика допомагає розраховувати просторові відстані між точками, що є ключовим фактором для правильної інтеграції віртуальних об'єктів у реальне середовище. Для коректної взаємодії з AR об'єктами важливо точно знати, де знаходяться ці об'єкти відносно користувача або інших елементів у просторі.

Іншим ключовим математичним методом, що застосовується в AR, є лінійна алгебра. Вона використовується для розрахунку рухів та орієнтації об'єкта під час захоплення і допомагає виконувати такі математичні операції, як:

1) Зміщення – використовується для зміщення об'єкта відносно точки захоплення. Нехай позначимо  $(x_c, y_c, z_c)$  – це координати центру об'єкта, а  $(x_g, y_g, z_g)$  – координати точки хватання, тоді нові координати об'єкта після хватання  $(x', y', z')$  будуть обчислені як:

$$x' = x + (x_g - x_c) \quad (1)$$

$$y' = y + (y_g - y_c) \quad (2)$$

$$z' = z + (z_g - z_c) \quad (3)$$

2) Обертання – використовується для зміни орієнтації об'єкта.  $x$ ,  $y$  та  $z$  – початкові координати об'єкта.  $(x', y', z')$  – нові координати об'єкта після обертання. Кут обертання  $\theta$  задається в радіанах.

Для обертання навколо вісі  $x$  формула набуде вигляду:

$$x' = x \quad (4)$$

$$y' = y \times \cos(\theta) - z \times \sin(\theta) \quad (5)$$

$$z' = y \times \sin(\theta) + z \times \cos(\theta) \quad (6)$$

Формула для обертання навколо вісі  $y$  матиме наступний вигляд:

$$x' = x \times \cos(\theta) + z \times \sin(\theta) \quad (7)$$

$$y' = y \quad (8)$$

$$z' = -x \times \sin(\theta) + z \times \cos(\theta) \quad (9)$$

Для обертання навколо вісі  $z$  формула буде мати такий вигляд:

$$x' = x \times \cos(\theta) - y \times \sin(\theta) \quad (10)$$

$$y' = x \times \sin(\theta) + y \times \cos(\theta) \quad (11)$$

$$z' = z \quad (12)$$

3) Масштабування-використовується для зміни розміру об'єкта. Нехай  $s_x$ ,  $s_y$  та  $s_z$  представляють коефіцієнти масштабування по відповідним осям  $x$ ,  $y$  та  $z$ , тоді для масштабування об'єкта можна використовувати наступну формулу:

$$x' = x \times s_x \quad (13)$$

$$y' = y \times s_y \quad (14)$$

$$z' = z \times s_z \quad (15)$$

Якщо  $s_x$ ,  $s_y$  та  $s_z$  менші за 1, то це зменшить розміри об'єкта відповідно до кожної відповідної осі. Якщо вони більші за 1, то це збільшить розміри. Якщо вони рівні 1, то об'єкт залишиться без змін.

Наприклад, коли студент взаємодіє з 3D моделлю у віртуальному середовищі, методи лінійної алгебри дозволяють точно змінювати її орієнтацію та масштаб відповідно до рухів користувача.

Включаючи особливості AR, розроблено систему, у якій студенти медицини проходять тести (рис. 2) та взаємодіють з 3D-об'єктом (рис. 3) в інтерактивному середовищі. Алгоритм тестування побудовано таким чином, що під час проходження тесту всі неправильні відповіді зберігаються в окремому списку. Під час наступної спроби цей список використовується, і студенти знову отримують питання, на які раніше відповіли неправильно. А для взаємодії з 3d моделлю було використано Евклідову метрику та лінійну алгебру для того, щоб користувач мав змогу зміщувати, обертати та масштабувати об'єкт.

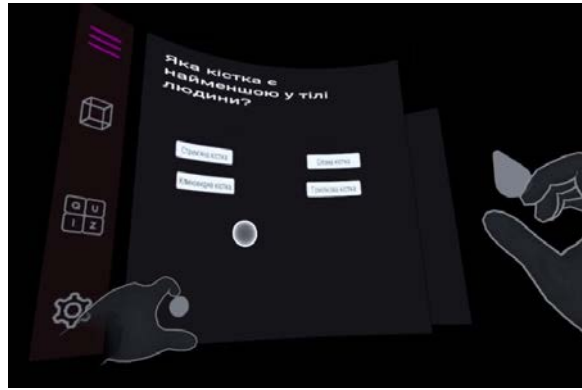


Рис. 2. Проходження тесту



Рис. 3. Розміщення 3д моделі в просторі

Попри значні досягнення в цих галузях, є можливості для подальшого вдосконалення. Наприклад, покращення алгоритмів комп'ютерної графіки може ще більше наблизити візуальні елементи до реальності. Також дослідження нових математичних підходів до розрахунку тривимірних перетворень та орієнтації об'єктів може підвищити швидкість і точність обробки даних, що особливо важливо для складних операцій у реальному часі [2]. Вдосконалення методів машинного навчання також може сприяти автоматизації та оптимізації роботи з AR-середовищами, роблячи їх ще більш ефективними в різних сферах застосування.

**Висновки.** В освітньому процесі AR має значний вплив, надаючи нові можливості для навчання та професійного розвитку. Математичні методи, що лежать в основі доповненої реальності, забезпечують її точність та ефективність, що робить AR потужним інструментом у різних галузях, зокрема в медицині. Евклідова метрика, лінійна алгебра та алгоритми комп'ютерної графіки допомагають точно позиціонувати й маніпулювати віртуальними об'єктами в реальному просторі, створюючи інтерактивні навчальні та практичні середовища.

З такими можливостями AR має потенціал для трансформації медичної практики, підвищуючи якість надання медичних послуг та забезпечуючи більш безпечний і ефективний процес лікування.

#### Список використаних джерел:

1. Єфімов Д. В. Використання доповненої реальності (AR) в освіті. *Педагогічні науки: теорія та практика*. 2021. Т. 2, № 1. С. 219–225. URL: <https://doi.org/10.26661/2522-4360-2021-1-2-34>
2. Hakim L. L., Hidayat H., Salmun A., Sulastrі Y. L. Application of Augmented Reality in mathematics learning: A bibliometric and content analysis. 2024. P. 10–13. URL: [https://doi.org/10.2991/978-2-38476-206-4\\_29](https://doi.org/10.2991/978-2-38476-206-4_29)
3. OECD. Virtual reality and its opportunities and risks. In *OECD Digital Economy Outlook 2024*. 2024. Vol. 1. P. 122–124.
4. Soroko Nataliia V., Lytvynova Svitlana H. The benefits of using immersive technologies at general school. 2023. Vol. 2. P. 480. URL: <https://icteri.org/icteri-2023/proceedings/olume-2/202110480.pdf>
5. M. Vondrek, Ibrahim Baggili, Peter Casey, Mehdi Mekni. Rise of the Metaverse's Immersive Virtual Reality Malware and the Man-in-the-Room Attack & Defenses. *Computer & Security*. 2022. P. 1–5.
6. Vladyslav V. Babkin, Viktor V. Sharavara, Volodymyr V. Sharavara, Vladyslav V. Bilous, Andrei V. Voznyak, Serhiy Ya. Kharchenko. Using augmented reality in university education for future IT specialists: educational process and student research work. 2021. Vol. 2898. P. 11–13. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-2898/paper14.pdf>