

УДК 61:004.946:371.134(477)

[https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-12\(46\)-1859-1873](https://doi.org/10.52058/2786-4952-2024-12(46)-1859-1873)

Шпряха Ярослав Степанович кандидат медичних наук, доцент кафедри хірургічних хвороб, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», м. Ужгород, <http://orcid.org/0000-0002-9779-4155>

Лисецький Богдан Любомирович, студент 6 курсу медичного факультету №1, Львівський національний медичний університет ім. Данила Галицького, м. Львів, <https://orcid.org/0009-0002-5907-631X>

Льбіна-Стогнієнко Вікторія Юріївна, кандидат медичних наук, доцент кафедри загальної хірургії, дитячої та військової хірургії з курсом урології та офтальмології, Одеський національний медичний університет, м. Одеса, <https://orcid.org/0000-0002-0564-9621>

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ В НАВЧАЛЬНИХ ПРОГРАМАХ ДЛЯ ХІРУРГІВ В УКРАЇНІ

Анотація. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю модернізації медичної освіти в Україні, зокрема підготовки хірургів, через впровадження інноваційних технологій, таких як доповнена реальність (далі – AR). Установлено, що AR забезпечує створення інтерактивного та безпечного освітнього середовища, яке дозволяє відпрацьовувати складні маніпуляції, моделювати клінічні сценарії та розвивати практичні навички без ризику для пацієнтів. Водночас виявлено, що реалізація таких технологій в Україні супроводжується низкою викликів, подолання яких вимагає застосування системного підходу.

Метою дослідження є аналіз можливостей та обмежень впровадження технології доповненої реальності в навчальні програми для хірургів в Україні, ідентифікація ключових проблем, розробка рекомендацій для їх подолання та окреслення перспектив подальших досліджень у цій галузі.

Методологія дослідження включає аналіз сучасних наукових публікацій щодо використання AR, порівняння міжнародного досвіду впровадження таких технологій у медичній освіті та вивчення умов та можливостей реалізації в контексті української системи. Системний підхід застосовано для виявлення основних проблем і розробки стратегічних рішень.

Доведено, що AR має високий потенціал для інтеграції в медичну освіту, зокрема для вдосконалення вивчення анатомії, симуляції операцій та розвитку критичного мислення здобувачів вищої освіти. Водночас виявлено обмеження, такі як висока вартість обладнання, недостатній рівень цифрової

інфраструктури, відсутність локалізованих навчальних матеріалів і дефіцит кваліфікованих викладачів.

Результати дослідження підтверджують необхідність розробки національної стратегії впровадження технології AR у медичну освіту, що передбачає створення фінансових механізмів підтримки, розвиток технічної бази, адаптацію навчальних програм і підготовку фахівців. Запропоновано заходи, що сприятимуть підвищенню якості медичної освіти та формуванню висококваліфікованих спеціалістів.

Окреслено перспективи подальших досліджень, які включають оцінку довгострокового впливу AR на якість підготовки хірургів, створення методик для вимірювання ефективності інтерактивного навчання та пошук оптимальних моделей співпраці між закладами вищої освіти, медичними закладами та розробниками технологій. Це дозволить сформувати сталу систему інтеграції AR у медичну освіту України.

Ключові слова: медична освіта, хірургічні навички, віртуальні технології, інноваційні методики, професійний розвиток.

Shpryakhya Yaroslav Stepanovych PhD, Associate Professor, Department of Surgical Diseases, Uzhhorod National University, Uzhhorod, <http://orcid.org/0000-0002-9779-4155>

Lysetskyi Bohdan Lyubomirovych Student of the Medical Faculty № 1, Lviv National Medical University named after Danylo Halytskyi, Lviv, <https://orcid.org/0009-0002-5907-631X>

Ilna-Stohniienko Viktoriia Yuriivna Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Department of General Surgery, Pediatric and Military Surgery, with a Course in Urology and Ophthalmology, Odessa National Medical University, Odesa, <https://orcid.org/0000-0002-0564-9621>

APPLICATION OF AUGMENTED REALITY IN TRAINING PROGRAMS FOR SURGEONS IN UKRAINE

Abstract. The relevance of the study lies in the necessity to modernize medical education in Ukraine, particularly in the training of surgeons, by integrating innovative technologies such as augmented reality (AR). It has been established that AR creates an interactive and safe learning environment, enabling students to practice complex procedures, simulate clinical scenarios, and develop practical skills without risking patient safety. At the same time, it has been revealed that implementing such technologies in Ukraine faces numerous challenges, necessitating a systematic approach to overcome them.

The purpose of the study is to analyze the opportunities and limitations of integrating augmented reality into surgical training programs in Ukraine, identify key issues, develop recommendations for addressing them, and outline prospects for further research in this field.

The research methods include an analysis of current scientific publications, a comparison of international practices in using AR in medical education, and an examination of the conditions for implementing these technologies in the Ukrainian context. A systematic approach was employed to identify key challenges and develop strategic solutions.

It has been proven that AR has significant potential for integration into medical education, particularly in improving anatomy studies, simulating surgeries, and fostering critical thinking among students. At the same time, limitations have been identified, such as the high cost of equipment, insufficient digital infrastructure, a lack of localized educational materials, and inadequately trained teaching staff.

The results of the study confirm the necessity of developing a national strategy for integrating AR into medical education, which should include financial support mechanisms, the development of technical infrastructure, the adaptation of curricula, and staff training. Proposed measures aim to enhance the quality of medical education and prepare highly qualified specialists.

The prospects for further research include evaluating the long-term impact of AR on the quality of surgical training, creating methodologies for assessing the effectiveness of interactive learning, and identifying optimal models of collaboration between universities, medical institutions, and technology developers. These efforts will enable the establishment of a sustainable system for integrating AR into Ukraine's medical education.

Keywords: medical education, surgical skills, virtual technologies, innovative methodologies, professional development

Постановка проблеми. В умовах сучасного розвитку медичної освіти важливим аспектом є інтеграція інноваційних технологій для підвищення якості підготовки фахівців. Доповнена реальність є потужним інструментом, що дозволяє забезпечити інтерактивний і реалістичний освітній процес, особливо у сфері хірургічної підготовки. В Україні, де медична освіта активно трансформується відповідно до світових стандартів, застосування AR у навчальних програмах для хірургів є актуальним і перспективним напрямом. Це сприяє вдосконаленню професійних навичок, скороченню часу адаптації молодих лікарів до клінічної практики та мінімізації ризиків у реальній медичній діяльності.

З наукового погляду, використання технологій AR у навчальних програмах для хірургів відкриває нові можливості для дослідження процесів навчання, адаптації складних медичних процедур до віртуального середовища та створення ефективних методологій. Практичне значення цього

підходу полягає в можливості формування безпечного середовища для навчання, де майбутні фахівці можуть опановувати складні навички без ризику для пацієнтів. Крім того, інтеграція AR в освітній процес дозволяє вдосконалювати міждисциплінарну взаємодію, забезпечуючи доступ до сучасних симуляційних технологій.

В умовах обмеженого фінансування та доступу до передових освітніх ресурсів упровадження та розвиток AR-технологій в Україні вимагає розв'язання низки наукових і практичних завдань. Серед них – визначення оптимальних моделей використання AR, адаптація навчальних програм до специфіки української медичної системи, а також забезпечення технічної бази та підготовка викладачів до роботи з новими технологіями. Упровадження таких програм може стати важливим кроком до модернізації медичної освіти, сприяючи не лише підвищенню якості підготовки хірургів, але й покращенню загального рівня медичного обслуговування в країні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літератури, присвяченої проблемі застосування AR у навчальних програмах для хірургів, охоплює широкий спектр досліджень, які висвітлюють технічні, педагогічні, організаційні аспекти та міжнародний досвід.

У працях О. А. Повча та В. М. Сидоренка розглянуто інноваційні технології в хірургічній освіті в Україні, зокрема застосування AR для створення інтерактивного середовища, що сприяє покращенню засвоєння практичних навичок здобувачами. Автори наголошують на важливості впровадження цих технологій у національний освітній контекст, враховуючи особливості української медичної системи [1]. В іншій праці О. А. Повч та О. Б. Біляков-Бельський зосереджуються на змішаному навчанні, яке об'єднує традиційні методи з використанням AR. Автори доводять, що така комбінація дозволяє значно підвищити ефективність засвоєння інформації майбутніми хірургами [2].

Ю. В. Шабатура та В. Р. Рибак досліджують упровадження технологій AR у підготовку медичних фахівців, акцентуючи на можливостях віртуальних тренажерів для моделювання клінічних ситуацій. Робота науковців демонструє, що використання AR значно підвищує якість освітнього процесу та мотивацію здобувачів освіти [3]. А. О. Боєчко-Немовча зосереджується на симуляційних методах у нейрохірургії. Авторка доводить, що використання AR у цій галузі забезпечує підвищення точності процедур та зниження операційних ризиків [4].

Організаційні аспекти впровадження AR у медичну освіту розглядаються в праці Н. В. Ламекіна та його співавторів, які наголошують на необхідності розвитку цифрової інфраструктури та підготовки кадрів для роботи з новітніми технологіями. Автори стверджують, що адаптація AR до умов української системи освіти потребує залучення значних ресурсів та міждисциплінарної співпраці [5].

Технічні аспекти та міжнародний досвід упровадження AR висвітлено в роботі О. І. Ковальчука (O. I. Kovalchuk) та співавторів, які аналізують використання віртуальних і доповнених технологій у медичній практиці, зокрема їхній вплив на покращення анатомічної візуалізації [6]. Я. Цехмістер (Ya. Tsekhmister) та його колеги зосереджують увагу на використанні AR у реабілітації пацієнтів і навчанні медиків у країнах ЄС. Автори підкреслюють, що AR сприяє вдосконаленню медичної підготовки через інтерактивні навчальні сценарії [7].

Колектив авторів на чолі з П. Іванчовим (P. Ivanchov) досліджує роль симуляційного навчання в підготовці хірургів в умовах воєнного стану, наголошуючи на необхідності адаптації цих технологій до обмежених ресурсів [8]. Дж. Х. Шухайбер (J. H. Shuhaiber) розглядає потенціал AR у хірургії, включаючи її застосування для планування операцій і навігації. Автор демонструє, що AR допомагає зменшити ризики та підвищити ефективність втручань [9].

С. Бруннер (S. Brunner) та її колеги досліджують використання хірургічних симуляторів, які створюють безпечне середовище для навчання майбутніх фахівців складним маніпуляціям [10]. І. Онораті, Д. М. Раду та Е. Мартінод (I. Onorati, D. M. Radu та E. Martinod) аналізують використання AR у мінімально інвазивній торакальній хірургії, підкреслюючи її роль у покращенні освітнього процесу [11].

У статті К. Бодекера (C. Boedecker) та співавторів висвітлюється використання 3D-моделей у плануванні хірургічних втручань, підкреслюючи важливість AR для мінімізації ускладнень [12]. Колектив авторів на чолі з Н. Касом (N. Kass) досліджує змішану реальність у пластичній хірургії, наголошуючи на її ролі у вдосконаленні хірургічних технік [13].

В. В. Сірічароен (W. V. Siricharoen) аналізує використання AR-застосунків з інфографікою для підтримки охорони здоров'я. Автор підкреслює важливість інтеграції AR для покращення візуального сприйняття складних медичних даних і забезпечення ефективної комунікації в освітньому процесі [14].

Аналіз цих праць демонструє, що AR має значний потенціал для покращення медичної освіти, однак попри значний прогрес у дослідженні доповненої реальності в медичній освіті, залишаються аспекти, які потребують подальшого аналізу для ефективного впровадження в Україні. Однією з головних прогалин є відсутність локалізованих програм та сценаріїв, адаптованих до освітніх стандартів і специфіки підготовки медичних кадрів в Україні. Наявні рішення розроблені для міжнародного контексту, що обмежує їхнє практичне застосування у вітчизняних умовах.

Також недостатньо вивченими залишаються технічні, педагогічні та організаційні аспекти інтеграції AR в освітній процес. Недостатньо уваги приділено розробці методик підготовки викладачів до роботи з AR та способам ефективного включення технологій у навчальні плани. Відсутність

систематизованого підходу ускладнює їхнє використання в повсякденній практиці.

Ще одним нерозв'язаним питанням є недостатня емпірична база щодо ефективності AR в умовах української медичної системи. Дослідження здебільшого базуються на західному досвіді, що не враховує обмеженої цифрової інфраструктури та фінансових ресурсів українських університетів.

Пропоноване дослідження спрямоване на заповнення цих прогалин. У перспективі планується розробити адаптовані до українських умов інтерактивні сценарії та методики підготовки викладачів. Особливу увагу буде приділено оцінці економічної доцільності впровадження AR, включаючи розробку моделей співфінансування через міжнародні гранти та державно-приватні партнерства.

Розв'язання цих проблем дозволить створити ефективну систему використання AR у медичній освіті України, підвищивши її якість і конкурентоспроможність, а також закласти підґрунтя для подальших досліджень у галузі інноваційних освітніх технологій.

Мета статті – дослідити можливості застосування доповненої реальності в навчальних програмах для хірургів в Україні, визначити її вплив на розвиток професійних навичок, а також розробити рекомендації щодо інтеграції цієї технології у медичну освіту.

Завдання статті:

1. Проаналізувати сучасний стан використання доповненої реальності в медичній освіті в Україні та за кордоном, дослідивши її потенціал щодо створення інтерактивного та безпечного освітнього середовища для підготовки хірургів.

2. Вивчити практичні аспекти впровадження доповненої реальності в навчальні програми, зокрема технічні, педагогічні та організаційні фактори, а також виявити ключові проблеми та обмеження, характерні для української медичної системи.

3. Розробити рекомендації для інтеграції доповненої реальності в навчальні програми з урахуванням специфіки української медичної освіти, визначивши оптимальні шляхи розв'язання наявних проблем.

Виклад основного матеріалу. Використання технологій доповненої реальності в медичній освіті є одним із ключових напрямів інноваційного розвитку, що забезпечує інтерактивний та ефективний освітній процес. Упровадження AR дозволяє майбутнім лікарям моделювати складні клінічні сценарії, вивчати анатомічні структури в тривимірному форматі та вдосконалювати практичні навички без ризику для пацієнтів. Технологія AR активно застосовується в США, Німеччині, Франції та Великобританії, де стала невіддільною частиною медичної освіти, а в Україні перебуває на етапі становлення, проте вже є перспективні приклади її використання, зокрема у вигляді симуляційних програм та пілотних проєктів (табл. 1).

Таблиця 1

**Особливості впровадження доповненої реальності в медичній освіті
у різних країнах та результати її використання**

Країна	Особливості впровадження AR у медичну освіту	Результати
США	Використання симуляційних платформ, таких як Touch Surgery та Proximie	Програми дозволяють майбутнім лікарям тренуватися у віртуальних операційних умовах, наприклад, у Гарвардській медичній школі
Німеччина	Центри симуляційного навчання з AR-компонентами для хірургічних практик	Технологія застосовується у клініках Берліна для навчання мінімально інвазивної хірургії
Франція	Інтеграція AR у післядипломну освіту та спеціалізовані тренінги для хірургів	Університет Сорбонни впровадив навчальні курси з AR для практики лапароскопічних операцій
Україна	Пілотні проєкти в медичних університетах із використанням AR-симуляторів	Львівський медичний університет запустив програму для навчання основних хірургічних маніпуляцій

Джерело: сформовано авторами на основі [7–10]

Доповнена реальність у сучасних умовах працює як потужний інструмент для підготовки медичних фахівців, особливо в хірургії, де важливо поєднувати теоретичні знання з практичними навичками. У США AR дозволяє здобувачам відпрацьовувати техніки операцій, використовуючи симулятори, які імітують реакції реальних пацієнтів, що значно скорочує час адаптації до клінічної практики. У Німеччині ця технологія сприяє вивченню мінімально інвазивних хірургічних технік, забезпечуючи високу точність і відсутність ризиків. У Франції, де AR інтегрується в післядипломну освіту, лікарі мають можливість практикуватися в умовах, максимально наближених до реальних операційних, що сприяє їхньому професійному вдосконаленню. В Україні перспективні проєкти, такі як програма у Львівському медичному університеті, демонструють, що навіть на етапі становлення ця технологія може суттєво підвищити якість підготовки майбутніх хірургів.

Застосування технологій доповненої реальності в медичній освіті відкриває нові можливості для створення інтерактивного та безпечного освітнього середовища, яке сприяє вдосконаленню професійних навичок майбутніх хірургів. Завдяки AR-технологіям здобувачі вищої освіти отримують можливість опанувати складні клінічні маніпуляції у віртуальному середовищі, що дозволяє уникнути ризиків для пацієнтів і підвищує якість навчання. Доповнена реальність об'єднує анатомічні візуалізації, інтерактивні сценарії та симуляції операцій, що сприяє глибшому розумінню клінічних процесів (табл. 2).

Таблиця 2

**Елементи доповненої реальності в медичній освіті та їхнє
практичне значення**

Елементи технології	Особливості застосування в освітньому середовищі	Практичні переваги
Тривимірні віртуальні моделі	Забезпечують деталізовану візуалізацію органів, тканин та систем	Покращують розуміння анатомічних особливостей і підготовку до реальних маніпуляцій
Імітація хірургічних процедур	Відтворення операцій із віртуальним зворотним зв'язком	Знижують ризик помилок у реальній практиці, дають можливість повторного тренування
Інтерактивні клінічні сценарії	Моделювання складних медичних випадків для відпрацювання прийняття рішень	Розвивають критичне мислення, сприяють швидкому аналізу ситуацій

Джерело: сформовано авторами на основі [15,16]

Доповнена реальність відкриває нові можливості для медичної освіти завдяки інструментам, які дозволяють створити інтерактивне та безпечне освітнє середовище. Наприклад, Medivis SurgicalAR [13] пропонує візуалізацію анатомічних структур у режимі реального часу, яка дозволяє хірургам моделювати операції безпосередньо перед втручанням. Цей інструмент широко використовується в США для навчання складних технік, таких як нейрохірургія, завдяки його здатності забезпечувати високоточне відображення анатомічних деталей.

Ще одним цікавим прикладом є ARnatomy [14], розроблений для інтерактивного вивчення анатомії майбутніми лікарями. Програма дозволяє користувачам вивчати органи й системи в деталях, здійснювати «розрізи» в тривимірному просторі та імітувати різні патологічні стани. Це дає змогу не лише запам'ятати інформацію, але й зрозуміти її функціональні аспекти.

На практиці ці інструменти демонструють такі покращення: по-перше, здобувачі можуть неодноразово моделювати сценарії, які у звичайному навчанні виконуються лише один раз; по-друге, інтерактивний підхід сприяє глибшому засвоєнню матеріалу, оскільки візуалізація доповнюється зворотним зв'язком; по-третє, AR робить навчання більш доступним, оскільки зменшується залежність від фізичних моделей і матеріалів.

Європейські країни активно використовують AR для спеціалізованої медичної підготовки. Наприклад, у співпраці з компанією Augmedix в Італії розроблено систему навчання хірургів, яка об'єднує віртуальні симуляції з можливістю спільної роботи викладача та здобувача освіти в реальному часі. У Польщі працюють симуляційні лабораторії з використанням AR, які дозволяють майбутнім фахівцям проходити практику на віртуальних пацієнтах, зокрема при навчанні лапароскопії та кардіохірургії [16].

В Україні впровадження AR також починає набувати ширшого застосування. Одним із цікавих прикладів є інтеграція Proximie у медичні симуляційні центри, де здобувачі можуть дистанційно спостерігати за операціями або навіть брати участь у них через віртуальну реальність. Крім того, з'являються локальні ініціативи з використання програм, таких як HoloMed, які дозволяють моделювати прості хірургічні маніпуляції в інтерактивному форматі [17]. Це не лише підвищує ефективність навчання, але й сприяє популяризації інноваційних технологій у медичній освіті. Для подальшого прогресу важливо підтримувати такі ініціативи, інтегруючи найкращі світові практики.

Упровадження технологій доповненої реальності в навчальні програми для хірургів відкриває нові можливості для створення інтерактивного та безпечного середовища, що здатне значно підвищити якість медичної освіти. AR сприяє не лише вивченню теоретичного матеріалу, а й практичному відпрацюванню складних маніпуляцій у віртуальному середовищі, що мінімізує ризики та дозволяє майбутнім лікарям краще підготуватися до реальної клінічної практики. Особливе значення мають такі аспекти, як можливість багаторазового повторення процедур, детальне моделювання анатомічних структур та інтерактивний зворотний зв'язок, який забезпечує індивідуалізований підхід до навчання (табл. 3).

Таблиця 3

Основні аспекти впровадження доповненої реальності в навчальні програми для хірургів

Фактор	Практичні аспекти впровадження	Очікувані результати впровадження
Технічний	Вибір сучасного обладнання та програмного забезпечення	Підвищення точності навчання, доступ до інноваційних технологій
Педагогічний	Розробка інтерактивних сценаріїв, адаптація навчальних програм	Формування практичних навичок, розвиток критичного мислення
Організаційний	Інтеграція AR у навчальні плани, залучення фінансування	Підвищення ефективності освітнього процесу, зміцнення кадрового потенціалу

Джерело: сформовано авторами

На практиці впровадження доповненої реальності дозволяє значно покращити якість навчання шляхом інтерактивності та адаптивності технологій. Зокрема, здобувачі отримують можливість багаторазово відпрацювати складні процедури без ризику для пацієнтів. Віртуальні симуляції дозволяють оцінювати прогрес у реальному часі та забезпечують персоналізований підхід до навчання. Такі методи підготовки сприяють формуванню впевненості в майбутніх лікарях, що є важливим фактором у роботі з пацієнтами.

Для України впровадження доповненої реальності стане вагомим кроком у модернізації медичної освіти. Це дозволить створити умови, які забезпечать доступ здобувачів вищої медичної освіти до найсучасніших технологій, навіть за відсутності фізичних ресурсів, таких як дорогі анатомічні моделі або обладнані лабораторії. Упровадження AR допоможе оптимізувати освітній процес, скоротити час адаптації молодих лікарів до реальної клінічної роботи та зменшити кількість помилок у практиці. Крім того, інтеграція таких технологій сприятиме посиленню міжнародного іміджу українських університетів, залученню іноземних здобувачів та розширенню можливостей для співпраці з іноземними партнерами.

У довгостроковій перспективі використання AR у навчальних програмах дозволить готувати висококваліфікованих спеціалістів, які відповідатимуть сучасним вимогам медичної галузі, сприяючи підвищенню рівня охорони здоров'я в Україні.

Використання доповненої реальності в умовах української медичної системи зіштовхується з комплексом системних та технологічних викликів, які потребують стратегічного підходу для їх подолання. Однією з ключових проблем є обмежена доступність високотехнологічного обладнання, необхідного для реалізації AR-технологій у навчальних програмах. Заклади вищої освіти часто не мають доступу до сучасних пристроїв, таких як AR-окуляри чи інтегровані симулятори, які дозволяють створювати повноцінні віртуальні середовища. Це обумовлено не лише їхньою високою вартістю, але й відсутністю локальних виробників або партнерських програм для зниження витрат на імпорт.

Іншою значною проблемою є низький рівень цифрової інфраструктури в медичних закладах вищої освіти, що включає недостатню пропускну здатність мереж, нестабільний інтернет-зв'язок та застаріле комп'ютерне забезпечення. Це створює труднощі в інтеграції AR-систем, які потребують стабільних і оперативних технічних ресурсів для коректної роботи. Відсутність централізованих платформ для обміну даними між різними закладами обмежує можливості використання AR для міжуніверситетської співпраці або спільних освітніх проєктів.

Педагогічний аспект також зазнає труднощів через відсутність адаптованих сценаріїв навчання, які враховували б специфіку української медичної системи. Значна частина AR-програм створена для західних ринків і не відповідає стандартам або актуальним викликам вітчизняної медицини. Розробка локальних матеріалів є ресурсозатратною, а доступ до вже наявних програм часто обмежений через ліцензійну політику.

Ще однією суттєвою перешкодою є недостатній рівень підготовки викладацького складу. AR вимагає глибокого розуміння як технологічних, так і дидактичних аспектів для її ефективного використання в навчанні. У більшості медичних університетів бракує спеціалістів, здатних інтегрувати

такі технології в освітній процес. Це ускладнюється тим, що програми професійного розвитку для викладачів не включають навчання використання AR.

На організаційному рівні відсутність єдиної стратегії впровадження AR у медичну освіту створює нерівномірність її використання між різними університетами. Це призводить до того, що навіть успішні пілотні проекти залишаються ізольованими й не масштабуються на національному рівні. Крім того, слабка інтеграція між університетами, медичними установами та розробниками програмного забезпечення обмежує можливості для залучення інноваційних рішень.

Сукупність цих проблем демонструє необхідність багаторівневого підходу до впровадження доповненої реальності в медичну освіту України. Це включає створення централізованої технічної інфраструктури, розробку локальних навчальних матеріалів, підготовку викладачів та формування національної стратегії з чіткими пріоритетами й механізмами підтримки. Лише за умови комплексного розв'язання цих питань AR зможе стати дієвим інструментом для трансформації української медичної освіти.

Інтеграція технологій доповненої реальності в навчальні програми з урахуванням специфіки медичної освіти в Україні вимагає системного підходу, що охоплює технічні, педагогічні, організаційні та фінансові аспекти. Одним із ключових етапів є створення національної стратегії розвитку технологій AR у медичній освіті, яка визначатиме пріоритети, ресурси та очікувані результати. Така стратегія повинна передбачати розробку єдиних стандартів використання AR у закладах освіти, що забезпечить узгодженість програм та ефективність їхньої реалізації.

У технічному аспекті першочерговим завданням є створення базової інфраструктури, що дозволить університетам використовувати сучасне обладнання та програмне забезпечення для AR. Це включає закупівлю пристроїв, таких як окуляри доповненої реальності, симуляційні тренажери та високопродуктивні сервери для роботи з великими обсягами даних. Крім того, необхідно створити технічні центри підтримки, які забезпечуватимуть належне функціонування обладнання та допомогу в разі технічних труднощів.

У педагогічному вимірі важливо адаптувати навчальні програми до використання AR, інтегруючи її в курси з анатомії, хірургії та інших дисциплін. Розробка інтерактивних сценаріїв, які враховуватимуть реальні клінічні ситуації та потреби майбутніх лікарів, дозволить підвищити ефективність навчання. Особливу увагу варто приділити підготовці викладачів, які мають володіти як технічними, так і дидактичними компетенціями. Програми підвищення кваліфікації для педагогів повинні включати тренінги з використання AR-технологій та обмін досвідом із міжнародними експертами.

Організаційна інтеграція AR у навчальні програми потребує координації між закладами вищої освіти, медичними установами та розробниками техно-

логій. Необхідно створити партнерства для розробки локальних навчальних матеріалів, що враховуватимуть специфіку української медичної системи. Наприклад, локалізація програмного забезпечення та адаптація сценаріїв під вітчизняні стандарти дозволять забезпечити їхню відповідність потребам здобувачів і викладачів. Залучення міжнародних грантів та інвестицій може стати додатковим джерелом фінансування для впровадження цих технологій.

Фінансове забезпечення є важливим складником успішної інтеграції AR у медичну освіту. Для зменшення навантаження на бюджет університетів доцільно впроваджувати державні програми співфінансування, які передбачають субсидії для закупівлі обладнання та розробки програмного забезпечення. Крім того, слід активізувати співпрацю з приватним сектором, який може стати джерелом додаткових ресурсів.

Висновки. Здійснене дослідження дозволило дійти висновків, згідно з якими використання технологій AR у медичній освіті є перспективним напрямом для вдосконалення підготовки хірургів в Україні. Результати підтверджують, що AR сприяє створенню інтерактивного та безпечного освітнього середовища, дозволяючи майбутнім лікарям розвивати практичні навички, уникати ризиків для пацієнтів й адаптуватися до складних клінічних ситуацій. Особливий акцент зроблено на потенціалі технології для вдосконалення анатомічної візуалізації, моделювання операційних процедур і розвитку критичного мислення в майбутніх фахівців.

Серед основних проблем упровадження AR в умовах української медичної системи визначено високу вартість технологій, низький рівень цифрової інфраструктури та обмеженість адаптованих до національних умов навчальних матеріалів. Крім того, вказано на недостатню кількість підготовленого викладацького складу й відсутність чіткої державної стратегії, яка регламентує використання AR у навчальних програмах. Ці фактори ускладнюють масштабну інтеграцію технології, обмежуючи її застосування окремими пілотними проєктами.

Рекомендовано створення централізованої стратегії розвитку AR у медичній освіті України, яка має включати фінансування інновацій, локалізацію програмного забезпечення, розробку інтерактивних сценаріїв навчання та підготовку кадрів. Також пропонується залучення міжнародних грантів та партнерів для розширення технічної бази й підвищення доступності технологій для закладів вищої медичної освіти. Організація міжуніверситетської співпраці сприятиме обміну досвідом та швидшому впровадженню новітніх рішень.

Перспективи подальших досліджень полягають у глибшому аналізі впливу AR на якість освітнього процесу, розробці методологій оцінки ефективності інтерактивного навчання, а також вивченні довгострокового впливу технологій на підготовку медичних фахівців. Необхідним є розроблення моделей співпраці між освітніми, медичними та технологічними установами для забезпечення сталого розвитку AR в освітньому процесі.

Література:

1. Повч О. А., Сидоренко В. М. Інноваційні технології в хірургічній освіті: досвід та перспективи застосування в Україні. *Академічні візії*. 2024. Вип. 30. URL: <https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/1020> (дата звернення: 16.11.2024).
2. Повч О. А., Біляков-Бельський О. Б. Змішане навчання як інструмент підвищення ефективності хірургічної освіти в українських медичних освітніх закладах. *Академічні візії*. 2024. Вип. 32. URL: <https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/1154> (дата звернення: 16.11.2024).
3. Шабатура Ю. В., Рибак В. Р. Технології virtual reality у підготовці медичних фахівців. *Комп'ютерні ігри та мультимедіа як інноваційний підхід до комунікації: матеріали II Всеукр. наук.-техн. конф. молодих вчених, аспірантів та студентів* (Одеса, 29–30 вересня 2022 р.). Одеса, 2022. С. 155–156. URL: <https://card-file.ontu.edu.ua/items/7176cdd9-126a-4403-9e07-407f1fc8fe47> (дата звернення: 16.11.2024).
4. Боєчко-Немовча А. О. Сучасні симуляційні методи в нейрохірургії. *Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем СІПРН-2023: матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції* (м. Вінниця, 15–17 листопада 2023 р.). Вінниця, 2023. С. 1–3. URL: <https://openarchive.nure.ua/entities/publication/10b20173-04f2-49b6-b315-083940dc1557> (дата звернення: 16.11.2024).
5. Ламекін Н. В., Кривоконь В. О., Константинова Л. В. Дослідження застосування доповненої реальності. *Інформаційна безпека та комп'ютерні технології: Матеріали ІV Міжнародної науково-практичної конференції* (м. Кропивницький 15–16 квітня 2021 р.). Кропивницький: ЦНТУ. 2021. С. 46–47. URL: <https://kntu.kr.ua/doc/zbirnyki/teachers/2021/1.pdf#page=46> (дата звернення: 16.11.2024).
6. Features of using immersive technologies (virtual and augmented reality) in medical education and practice / O. I. Kovalchuk et al. *Morphologia*. 2020. Vol. 14. № 3. P. 158–164. DOI: <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2020.3.158-164>
7. Virtual Reality in EU Healthcare: Empowering Patients and Enhancing Rehabilitation / Ya. Tsekhmister et al. *Journal of Biochemical Technology*. 2023. Vol. 14. № 3. URL: <https://jbiochemtech.com/storage/files/article/86d1630b-3805-4c4b-a514-bc4ab2c730dd-b1K0mRvRhS5aIEz7/2154ZFsacTmGfEh.pdf> (date of access: 16.11.2024).
8. Integrated Simulation Training for Surgical Skill Development in Ukrainian Medical Universities During War / P. Ivanchov et al. *Academia*. 2024. Vol. 35–36. P. 9–27. DOI: <https://doi.org/10.26220/aca.5000>
9. Shuhaiber J. H. Augmented Reality in Surgery. *Archives of Surgery*. 2004. Vol. 139. № 2. P. 170–174. DOI: <https://doi.org/10.1001/archsurg.139.2.170>
10. Use of surgical simulators in further education - A nationwide analysis in Germany / S. Brunner et al. *Der Chirurg*. 2021. P. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00104-021-01511-7>
11. Onorati I., Radu D. M., Martinod E. What's new in minimally invasive thoracic surgery? Clinical application of augmented reality and learning opportunities in surgical simulation. *Frontiers in Surgery*. 2023. Vol. 10. Art. 1254039. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsurg.2023.1254039>
12. Using virtual 3D-models in surgical planning: workflow of an immersive virtual reality application in liver surgery / C. Boedecker et al. *Langenbeck's Archives of Surgery*. 2021. Vol. 406. P. 911–915. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00423-021-02167-3>
13. Mixed Reality in the Operating Room: Utility within Facial Feminization Surgery/ N. Kass et al. *Plastic and Reconstructive Surgery – Global Open*. 2023. Vol. 11(10S). DOI: <https://doi.org/10.1097/01.GOX.0000992516.43935.ee>
14. Siricharoen W. V. The Approach of Applying Augmented Reality Application with Infographic for Supporting Health Care. *EAI Endorsed Transactions on Context-aware Systems and Applications*. 2018. Vol. 4. № 14. DOI: <https://eudl.eu/doi/10.4108/eai.18-6-2018.154823>

15. A review on the applications of virtual reality, augmented reality and mixed reality in surgical simulation: an extension to different kinds of surgery/ Lungu A. et al. *Expert review of medical devices*. 2021. Vol. 18. № 1. P. 47–62. DOI: <https://doi.org/10.1080/17434440.2021.1860750>

16. Boyko V. V., Lisovyi V. M., Kapustnyk V. A., Goncharenko L. Y., Taraban I. A., Makarov V. V. et al. *Emergency surgery: textbook for the 6th year students of medicine*. Kharkiv, 2019. 512 p. URL: <https://repo.knmu.edu.ua/items/a3da0b44-ebf1-4c73-8fe9-e401069ceb9d> (date of access: 16.11.2024).

17. Best J. From Ukraine to remote robotics: how videoconferencing and next generation technology are transforming surgery. *BMJ*. 2022. Vol. 377. URL: <https://www.bmj.com/content/377/bmj.o1078.full> (date of access: 16.11.2024).

References:

1. Povch, O. A., & Sydorenko, V. M. (2024). Innovatsiini tekhnolohii v khirurhichnii osviti: dosvid ta perspektyvy zastosuvannia v Ukraini [Innovative technologies in surgical education: experience and prospects for application in Ukraine]. *Akademichni vizii – Academic Visions*, 30. Retrieved from <https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/1020> [in Ukrainian].

2. Povch, O. A., & Biliakov-Bielskyi, O. B. (2024). Zmishane navchannia yak instrument pidvyshchennia efektyvnosti khirurhichnoi osvity v ukraïnskykh medychnykh osvitnikh zakladakh [Blended learning as a tool to improve the effectiveness of surgical education in Ukrainian medical educational institutions]. *Akademichni vizii – Academic Visions*, 32. Retrieved from <https://academy-vision.org/index.php/av/article/view/1154> [in Ukrainian].

3. Shabatura, Y. V., & Ribak, V. R. (2022). Tekhnolohii virtual reality u pidhotovtsi medychnykh fakhivtsiv [Virtual reality technologies in the training of medical professionals]. *Kompiuterni ihry ta multymedia yak innovatsiinyi pidkhid do komunikatsii: materialy II Vseukr. nauk.-tekhn. konf. molodykh vchenykh, aspirantiv ta studentiv – Computer games and multimedia as an innovative approach to communication: materials II Vseukr. science and technology conf. of young scientists, graduate students and students* (Odesa, September 29–30, 2022) (pp. 155–156). Odesa. Retrieved from <https://card-file.ontu.edu.ua/items/7176cdd9-126a-4403-9e07-407f1fc8fe47> [in Ukrainian].

4. Boiechko-Nemovcha, A. O. (2023). Suchasni simuliatsiini metody v neirokhirurhii [Modern simulation methods in neurosurgery]. *Suchasni problemy infokomunikatsii, radioelektroniky ta nanosystem SPIRN-2023: materialy IX Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii – Modern problems of information communications, radio electronics and nanosystems SPIRN-2023: materials of the IX International Scientific and Technical Conference* (Vinnytsia, November 15–17, 2023) (pp. 1–3). Vinnytsia. Retrieved from <https://openarchive.nure.ua/entities/publication/10b20173-04f2-49b6-b315-083940dc1557> [in Ukrainian].

5. Lamekin, N. V., Kryvokon, V. O., & Konstantinova, L. V. (2021). Doslidzhennia zastosuvannia dopovnienoï realnosti [Study of augmented reality application]. *Informatsiina bezpeka ta kompiuterni tekhnolohii: Materialy IV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii – Information security and computer technologies: Materials of the IV International Scientific and Practical Conference* (Kropyvnytskyi, April 15–16, 2021) (pp. 46–47). Kropyvnytskyi. Retrieved from <https://kntu.kr.ua/doc/zbirnyki/teachers/2021/1.pdf#page=46> [in Ukrainian].

6. Kovalchuk, O. I., Bondarenko, M.P., Okhrei, A. Prybytko, Y., & Reshetnyk, E. M. (2020). Features of using immersive technologies (virtual and augmented reality) in medical education and practice. *Morphologia*, 14(3), 158–164. <https://doi.org/10.26641/1997-9665.2020.3.158-164>.

7. Tsekhmister, Y., Konovalova T., Bashkirova L., Savitskaya, M., & Tsekhmister, B. (2023). Virtual reality in EU healthcare: empowering patients and enhancing rehabilitation. *Journal of Biochemical Technology*, 14(3), Retrieved from <https://jbiochemtech.com/storage/files/article/86d1630b-3805-4c4b-a514-bc4ab2c730dd-b1K0mRvRhS5aIEz7/2154ZFsacTmGfEh.pdf>

8. Ivanchov, P., Povch, O., Sydorenko, V., Kurbanov, A., & Loboda, S. (2024). Integrated simulation training for surgical skill development in Ukrainian medical universities during war. *Academia*, 35–36, 9–27. <https://doi.org/10.26220/aca.5000>
9. Shuhaiber, J. H. (2004). Augmented reality in surgery. *Archives of Surgery*, 139(2), 170–174. <https://doi.org/10.1001/archsurg.139.2.170>
10. Brunner, S., Kröplin, J., Meyer, H., Schmitz-Rixen, T., & Fritz, T. (2021). Use of surgical simulators in further education: a nationwide analysis in Germany. *Der Chirurg*, 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00104-021-01511-7>
11. Onorati, I., Radu, D. M., & Martinod, E. (2023). What's new in minimally invasive thoracic surgery? Clinical application of augmented reality and learning opportunities in surgical simulation. *Frontiers in Surgery*, 10, 1254039. <https://doi.org/10.3389/fsurg.2023.1254039>
12. Boedecker, C., Huettl, F., Saalfeld, P., Paschold, M., Kneist, W., Baumgart, J. et al. (2021). Using virtual 3D-models in surgical planning: workflow of an immersive virtual reality application in liver surgery. *Langenbeck's Archives of Surgery*, 406, 911–915. <https://doi.org/10.1007/s00423-021-02167-3>
13. Kass N., Cheng, L., Irgebay, Z., Goldstein, J., Moroni, E., & Dvoracek, L. (2023). Mixed Reality in the Operating Room: Utility within Facial Feminization Surgery. *Plastic and Reconstructive Surgery–Global Open*, 11(10S). <https://doi.org/10.1097/01.GOX.0000992516.43935.ee>
14. Siricharoen, W. V. (2018). The approach of applying augmented reality application with infographic for supporting health care. *EAI Endorsed Transactions on Context-aware Systems and Applications*, 4(14). Retrieved from <https://eudl.eu/doi/10.4108/eai.18-6-2018.154823>
15. Lungu, A., Swinkels, W., Claesen, L., Tu, P., Egger J., & Chen, X. (2021). A review on the applications of virtual reality, augmented reality and mixed reality in surgical simulation: an extension to different kinds of surgery. *Expert review of medical device*, 18 (1), 47–62. <https://doi.org/10.1080/17434440.2021.1860750>
16. Boyko, V. V., Lisovyi, V. M., Kapustnyk, V. A., Goncharenko, L. Y., Taraban, I. A., Makarov, V. V. et al. (2019). *Emergency surgery: Textbook for the 6th year students of medicine*. Kharkiv. Retrieved from <https://repo.knmu.edu.ua/items/a3da0b44-ebf1-4c73-8fe9-e401069ceb9d>
17. Best, J. (2022). From Ukraine to remote robotics: how videoconferencing and next generation technology are transforming surgery. *BMJ*, 377. Retrieved from <https://www.bmj.com/content/377/bmj.o1078.full>