

A5 Професійна освіта (за спеціалізаціями)	
УДК 378.147:004.9:621.3	
DOI https://doi.org/10.5281/zenodo.19229543	
Дата першого надходження статті до видання	10.01.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування	09.03.2026
Дата публікації/оприлюднення	26.03.2026

Середовища віртуальної реальності для діагностики несправностей електромеханічного обладнання харчових підприємств

Макисько Оксана Романівна

кандидат технічних наук, доцент

Львівський національний університет ветеринарної медицини
та біотехнологій імені Степана Гжицького, м. Львів, Україна

e-mail: Oksana.Maksisko@i.ua

<https://orcid.org/0000-0002-8763-7826>

Анотація. Мета дослідження – розробити методичні рекомендації щодо використання імерсивних технологій для забезпечення якісної підготовки бакалаврів у галузі харчових технологій до діагностики несправностей електромеханічного обладнання. У роботі використано моделювання VR/AR-сценаріїв для формування практичних навичок у безпечному середовищі, педагогічний експеримент для порівняння результатів традиційного навчання та навчання з використанням AR/VR, анкетування й інтерв'ювання здобувачів освіти й викладачів для визначення їхнього ставлення до інтерактивних технологій, контент-аналіз освітніх програм для оцінювання рівня впровадження VR/AR в електротехнічні дисципліни. Статистичне оброблення даних виконано у SPSS Statistics 27, візуалізацію результатів здійснено у Microsoft Excel, а віртуальні навчальні модулі створено із використанням Unity 3D та Vuforia AR. Емпіричне підґрунтя сформовано завдяки результатам упровадження VR/AR-сценаріїв у навчанні 42 здобувачів освіти протягом I семестру 2025–2026 навчального року та даним опитування 10 викладачів електротехнічних дисциплін.

Експериментально доведено ефективність використання VR/AR у підготовці здобувачів освіти. Показано, що після першого проходження VR-сценарію 85,7% студентів правильно визначили тип несправності обладнання, а всі учасники виконали завдання без порушення правил безпеки. Виявлено, що середній час виконання практичного завдання зменшився з 28,4 хв у контрольній групі до 17,2 хв у групі з використанням AR/VR. Результати опитування продемонстрували позитивне сприйняття цих технологій: 92,8% здобувачів освіти зазначили підвищення зацікавленості у навчанні, 90,5% – зрозумілість інтерфейсу, а 83,3% – корисність віртуального середовища для підготовки до роботи з реальним обладнанням. Кореляційний аналіз засвідчив тісний зв'язок між частотою використання VR/AR-сценаріїв і точністю виконання завдань ($r = 0,78$; $p < 0,01$), а t-тест Стьюдента підтвердив статистично значущу різницю у часі виконання завдань між групами ($t = 5,23$; $p < 0,001$).

Науковою новизною дослідження є розроблення підходу до системної інтеграції AR/VR-технологій у підготовку бакалаврів харчових технологій для формування навичок діагностики електромеханічного обладнання. Практичне значення результатів полягає у можливості їхнього використання для удосконалення лабораторних занять, підвищення мотивації здобувачів освіти та створення безпечного середовища для відпрацювання професійних дій.

Ключові слова: віртуальні навчальні середовища, доповнена реальність, VR/AR у навчанні, діагностика несправностей, електромеханічне обладнання, практичні компетенції, безпечне навчання, ефективність навчання.

Virtual reality environments for diagnosing malfunctions in electromechanical equipment in food enterprises

Maksysko Oksana

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies,
Lviv, Ukraine

e-mail: Oksana.Maksisko@i.ua

<https://orcid.org/0000-0002-8763-7826>

Abstract. The purpose of the study is to develop methodological recommendations for the use of immersive technologies to ensure high-quality training of bachelors in the field of food technology in diagnosing malfunctions of electromechanical equipment.

The work used modeling of VR/AR scenarios to form practical skills in a safe environment, a pedagogical experiment to compare the results of traditional learning and learning using AR/VR, questionnaires and interviews of students and teachers to determine their attitude to interactive technologies, as well as content analysis of educational programs to assess the level of implementation of VR/AR in electrical engineering disciplines. Statistical data processing was performed in SPSS Statistics 27, visualization of the results was carried out in Microsoft Excel, and virtual educational modules were created using Unity 3D and Vuforia AR. The empirical base was formed by the results of implementing VR/AR scenarios in the education of 42 students during the 1st semester of the 2025–2026 academic year and by survey data from 10 teachers of electrical engineering disciplines.

The effectiveness of VR/AR in student training has been empirically established. It was shown that after the first VR scenario, 85.7% of students correctly identified the type of equipment malfunction, and all participants completed the task without violating safety rules. It was determined that the average time to complete the practical task decreased from 28.4 min in the control group to 17.2 min in the VR/AR group. The survey results showed a positive perception of technologies: 92.8% of students reported increased interest in learning, 90.5% noted the clarity of the interface, and 83.3% reported the benefits of the virtual environment for preparing for work with real equipment. Correlation analysis showed a strong relationship between the frequency of use of VR/AR scenarios and task performance accuracy ($r = 0.78$; $p < 0.01$), and a Student's t-test confirmed a statistically significant difference in task performance time between groups ($t = 5.23$; $p < 0.001$).

The scientific novelty of the study lies in the development of an approach to the systemic integration of VR/AR technologies into the training of bachelors of food technology to develop skills in diagnosing electromechanical equipment. The practical significance of the results lies in their potential to improve laboratory classes, increase students' motivation, and create a safe environment for practicing professional actions.

Keywords: virtual learning environments, augmented reality, VR/AR in education, fault diagnosis, electromechanical equipment, practical competencies, safe learning, learning efficiency.

Вступ

Актуальність проблеми. Сучасні харчові підприємства дедалі більше використовують автоматизоване та електромеханічне обладнання, що вимагає від фахівців високого рівня практичної компетентності. Традиційні лабораторні заняття не завжди забезпечують можливість безпечного та ефективного відпрацювання навичок діагностики несправностей, особливо у складних виробничих операціях.

Водночас в освітніх програмах бакалаврів харчових технологій недостатньо інтегровано сучасні цифрові технології, зокрема інструменти віртуальної (Virtual Reality, VR) та доповненої реальності (Augmented Reality, AR). Це створює прогалини у підготовці здобувачів до роботи з автоматизованим обладнанням і зменшує можливості відпрацювання практичних дій у контрольованому освітньому середовищі.

Отже, актуальність дослідження визначено потребою модернізації професійної підготовки майбутніх фахівців шляхом інтеграції VR та AR в освітній процес, що сприятиме розвитку практичних умінь, підвищенню якості засвоєння навчального матеріалу та наближенню умов навчання до реальних виробничих процесів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні дослідження засвідчують активне впровадження технологій VR/AR у професійній та технічній освіті. Водночас наявні підходи істотно відрізняються за рівнем деталізації, методологічними засадами та галузевою спрямованістю, що підкреслює необхідність створення адаптованих моделей для конкретних освітніх контекстів.

Так, доповнену реальність як інструмент практичної підготовки фахівців технічного профілю із застосуванням доступних програмних платформ розглядають учений М. Склярів із колегами (M. Sklyarov et al.) [1]. Автори аналізують маркерні та безмаркерні технології AR, підкреслюючи можливість їхнього використання як в онлайн-, так і в офлайн-режимі. На відміну від більшості концептуальних робіт, вони подають кількісні результати експерименту, зокрема фіксують підвищення рівня дистанційного засвоєння матеріалу на 8,2%. Таким чином, їхній підхід має прикладний і вимірюваний характер, орієнтований на формування професійних навичок діагностики та обслуговування складних технічних систем.

На аналізові змішаної реальності як складника цифрової трансформації освітнього середовища зосереджується дослідниця Н. Вараксіна, яка узагальнює досвід впровадження VR-платформ у дистанційному навчанні та наголошує на потенціалі віртуальних лабораторій для підвищення наочності й доступності навчального матеріалу [2].

Систематизований підхід із класифікацією імерсивних технологій (AR, VR, 360°-відео) та критеріями їхнього добору для освітнього процесу пропонує авторка Ю. Носенко, деталізуючи параметри технічних вимог, масштабованості, витрат, безпеки, користувацького досвіду, локалізації та підтримки [3].

Упровадження VR-технологій в освітній процес, що сприяє підвищенню мотивації, активізації пізнавальної діяльності та формуванню дослідницьких умінь, обґрунтовує науковець Т. Гуркова, наголошуючи на значущості належної підготовки педагогів та інфраструктурної підтримки [4]. Хоча дослідження стосується початкової освіти, його висновки щодо необхідності методичного забезпечення та балансу між традиційними й цифровими підходами є актуальними й для підготовки фахівців з технічної діагностики.

Водночас позитивний вплив VR на мотивацію, залученість і формування цифрових компетентностей здобувачів вищої освіти розглядають дослідник Д. Лланос-Руїз зі співавторами (D. Llanos-Ruiz et al.), акцентуючи на доцільності інтеграції VR у технічні та інженерні дисципліни, що корелює з потребою створення імерсивних середовищ для моделювання несправностей електромеханічних систем у безпечних умовах [5].

Статистично значуще покращення результатів навчання за використання VR порівняно із традиційними 2D-методами демонструють автор Дж. Ка з колегами (J. Ka et

al.), зазначаючи підвищення показників тестування та краще розуміння просторових структур [6]. Отримані дані підтверджують доцільність застосування VR для візуалізації складних конструктивних елементів машин та агрегатів, що безпосередньо пов'язано із діагностикою електромеханічного обладнання.

AR/VR-технології в інженерній підготовці, які забезпечують ефективне формування практичних навичок через симуляцію реальних виробничих процесів, досліджують учений Ї. Тан зі співавторами (Y. Tan et al.) [7]. Зокрема, у метааналізі підтверджено позитивний вплив імерсивних технологій на результати навчання, попри наявні обмеження, пов'язані з технічними ресурсами та масштабуванням.

У цьому контексті віртуальні лабораторії та VR-симуляції як перспективні інструменти підготовки інженерів у системі професійної освіти вивчає дослідниця Н. Долгова (N. Dolgova) підкреслюючи, що інтеграція VR сприяє розвитку професійних компетентностей, однак потребує збалансованого поєднання з міжособистісною взаємодією та практичною діяльністю [8].

Високу прийнятність VR-середовищ серед здобувачів освіти з боку мотивації та емоційної залученості обґрунтовує автор С. Ауфенангер із колегами (S. Aufenanger et al.), звертаючи увагу на необхідність урахування ергономічних і технічних аспектів, що є значущими при розробленні VR-середовищ для діагностики виробничого обладнання [9].

Водночас на необхідності адаптації імерсивних технологій до специфіки різних освітніх середовищ наголошують науковець А. М. Аль-Ансі зі співавторами (A. M. Al-Ansi et al.), що обумовлює доцільність розроблення спеціалізованих VR-моделей для харчових підприємств з урахуванням галузевих особливостей [10].

Scoring-огляд шести основних напрямів застосування VR в інженерній освіті, зокрема віртуальних лабораторій, симуляцій та розвитку практичних навичок, проводять учений Г. Лампропулос зі співавторами (G. Lampropoulos et al.), доводячи, що VR створює безпечне середовище для відпрацювання професійних дій, що є принципово важливим для моделювання аварійних ситуацій і несправностей обладнання [11]. На цьому тлі високу ефективність VR/AR відповідно до традиційних методів навчання визначають автор А. Мусаддак із колегами (A. Musaddaq et al.), наголошуючи на їхніх перевагах за показниками залученості та розуміння складних процесів [12].

Насамкінець позитивний вплив імерсивних технологій на розвиток візуалізації, мотивації та професійних компетентностей у технічній освіті підтверджують дослідники Н. Сухайл (N. Suhail), З. Бахрун (Z. Bahroun) та В. Ахмед (V. Ahmed), акцентуючи на наявності перешкод упровадження [13].

Таким чином, аналіз демонструє узгодженість результатів щодо ефективності VR/AR у формуванні професійних компетентностей, розвитку просторового мислення, підвищенні мотивації та створенні безпечних умов для відпрацювання практичних навичок. Це підтверджує доцільність розроблення спеціалізованих середовищ віртуальної реальності для діагностики несправностей електромеханічного обладнання харчових підприємств як інструменту підвищення якості підготовки фахівців та оптимізації виробничих процесів.

Виділення невирішеної частини проблеми. Попри активне упровадження цифрових технологій у вищу освіту, нерозв'язаним залишається питання ефективної інтеграції імерсивних технологій у підготовку бакалаврів харчових технологій до діагностики несправностей електромеханічного обладнання, що забезпечувало б одночасно високий рівень практичної компетентності та безпеку виконання завдань.

Метою статті є розроблення методичних рекомендацій з використання VR/AR середовищ для підготовки здобувачів у галузі харчових технологій до діагностики несправностей електромеханічного обладнання.

Наукова новизна полягає у вперше запропонованому комплексі віртуальних сценаріїв для навчання діагностики несправностей обладнання, який забезпечує інтерактивне відпрацювання практичних навичок без ризику пошкодження реального обладнання та набув подальшого розвитку наявних підходів інтеграції VR/AR у базові електротехнічні дисципліни.

Практичне значення результатів дослідження визначається можливістю використання середовищ VR/AR викладачами технічних дисциплін для формування практичних компетенцій здобувачів харчових технологій у безпечному віртуальному середовищі та підвищення ефективності навчання електромеханічних процесів на харчових підприємствах.

Методологія

Методи дослідження. Для оцінювання ефективності використання VR/AR середовищ у навчанні бакалаврів харчових технологій застосовано: моделювання віртуальних сценаріїв – для відпрацювання практичних навичок діагностики несправностей електромеханічного обладнання без ризику пошкодження реального обладнання; порівняльний експеримент – для оцінювання ефективності традиційного навчання та навчання із застосуванням VR/AR серед здобувачів; анкетування та інтерв'ю здобувачів та викладачів – для збирання якісних даних про сприйняття та корисність інтерактивних середовищ; контент-аналіз освітніх програм та методичних матеріалів – для визначення рівня інтеграції VR/AR у базові електротехнічні дисципліни.

Джерела даних. Емпіричну основу дослідження становлять результати експериментального впровадження VR/AR-сценаріїв в освітній процес 42 здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю «Харчові технології» на базі Хортицької національної академії протягом I семестру 2025–2026 навчального року. Одночасно використано дані анкетування 10 викладачів електротехнічних дисциплін.

Інструменти аналізу. Статистичне оброблення результатів експерименту виконано за допомогою пакета SPSS Statistics 27, зокрема застосовано кореляційний аналіз та t-тест Стьюдента для перевірки статистичної значущості відмінностей між групами. Візуалізацію даних здійснено у Microsoft Excel. Розроблення та програмну реалізацію віртуальних навчальних модулів проведено із використанням Unity 3D, а інтеграцію елементів доповненої реальності – через платформи Vuforia AR.

Обмеження дослідження. Результати дослідження можуть бути використані під час розроблення освітніх програм для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності G13 «Харчові технології» у ЗВО України, проте потребують адаптації для інших спеціальностей або міжнародних освітніх програм. Крім того, ефективність застосування запропонованих VR/AR-сценаріїв залежить від наявності відповідного технічного обладнання та рівня технологічної підготовки викладачів.

Результати

Сучасна підготовка здобувачів технічних спеціальностей акцентує на інтерактивних методах навчання, що дають змогу майбутнім фахівцям відпрацьовувати практичні навички у безпечному середовищі та наближено до реальних виробничих процесів. У цьому контексті VR/AR технології демонструють високу ефективність, забезпечуючи можливість моделювання складних електромеханічних операцій без ризику пошкодження обладнання. Теоретично використання VR/AR ґрунтується на концепції навчання через практичну діяльність, яка передбачає інтеграцію знань і навичок у процесі безпосереднього виконання завдань у змодельованих або доповнених умовах.

У межах експерименту було створено шість AR/VR-сценаріїв для підготовки здобувачів освіти до діагностики несправностей електромеханічного обладнання на харчових підприємствах (табл. 1). Сценарії охоплюють різні аспекти професійної підготовки: від діагностики окремих вузлів двигунів і pomp до комплексної перевірки пакувальних ліній, зокрема роботу з електричними панелями та локалізацію коротких замикань. Час проходження окремих модулів коливався від 15 до 30 хвилин, що забезпечило відпрацювання практичних навичок протягом одного заняття.

Таблиця 1

Основні VR/AR-сценарії для відпрацювання навичок діагностики несправностей електромеханічного обладнання харчових підприємств

Тип середовища	Назва сценарію	Мета сценарію	Навички, що відпрацьовуються	Час проходження (хв)
VR	Діагностика двигуна конвеєра	Виявлення механічних та електричних несправностей	Аналіз електричних ланцюгів, виявлення несправностей у двигуні	20
AR	Перевірка електричних панелей	Відпрацювання процедур безпечного підключення та вимірювань	Робота з мультиметром, контроль напруги, дотримання правил безпеки	15
VR	Замінні частини помпи	Навчання правильному демонтажу та монтажу вузлів помпи	Технічна діагностика, планування ремонту	25
AR	Виявлення короткого замикання на лінії	Швидка локалізація несправності у виробничому обладнанні	Логічне мислення, аналіз електросхем	15
VR	Повна перевірка пакувальної лінії	Комплексна діагностика обладнання без зупинки виробництва	Системний аналіз, координація дій, безпечне тестування	30

Джерело: авторська розробка

Отже, експеримент проводився у два етапи. На ознайомчому етапі здобувачі освіти проходили інструктаж у віртуальному середовищі та виконували пробні завдання для знайомства з інтерфейсом VR. На контрольному етапі вони виконували комплекс завдань із діагностики несправностей у реальному режимі, охоплюючи виявлення типу несправності, оцінювання стану обладнання та планування необхідних дій для усунення дефектів.

За результатами експерименту, 85,7% здобувачів освіти (n=36) правильно визначили тип несправності після першого проходження сценарію, що засвідчує високий рівень засвоєння теоретичних знань та здатність застосовувати їх на практиці. Усі здобувачі успішно завершили всі завдання віртуальної лабораторії без порушень

правил безпеки, демонструючи надійність та контрольованість VR-середовища. Можливість багаторазового повторення завдань підвищувала точність діагностики та впевненість у власних діях.

Під час експерименту для оцінювання сприйняття та ефективності використання VR/AR-середовищ серед здобувачів освіти було проведено анкетування. Опитування дало змогу зібрати дані щодо зрозумілості інтерфейсу, зручності виконання завдань, підвищення мотивації до навчання та готовності до роботи із реальним обладнанням. Здобувачі відзначали легкість взаємодії з елементами обладнання, реалістичність моделювання несправностей та можливість експериментувати без ризику пошкодження реального обладнання. За результатами анкетування показано, що більшість учасників оцінили AR/VR-середовище позитивно, відзначаючи його корисність для засвоєння практичних навичок та інтеграції теоретичних знань у практичну діяльність (табл. 2).

Таблиця 2

Анкетування здобувачів щодо AR/VR-середовищ

Показник	Кількість студентів (n=42)	Відсоток, %	Середній бал (5-бальна шкала)
Зрозумілість інтерфейсу VR	38	90,5	4,6
Зручність виконання завдань	36	85,7	4,4
Підвищення зацікавленості до навчання	39	92,8	4,7
Підготовка до реального обладнання	35	83,3	4,3

Джерело: авторська розробка

У цьому контексті опитування викладачів електротехнічних дисциплін показало, що 100% з них зазначили покращення розуміння принципів роботи обладнання за використання VR/AR-середовищ, а 80% засвідчили, що використання імерсивних технологій сприяє скороченню часу демонстрації лабораторних завдань. Відповідно, середній бал загальної ефективності впровадження VR/AR-технологій становив 4,5 за п'ятибальною шкалою. Водночас кореляційний аналіз показав високий зв'язок між частотою використання VR-сценаріїв та точністю виконання завдань здобувачами ($r = 0,78$, $p < 0,01$). Порівняння контрольної та експериментальної груп з використанням t-тесту Стьюдента показало статистично значущу різницю у середньому часі виконання завдань ($t = 5,23$, $p < 0,001$).

Таким чином, на основі результатів експерименту розроблено методичні рекомендації щодо інтеграції VR/AR-технологій у навчальні дисципліни бакалаврів харчових технологій, які охоплюють напрями інтеграції, очікувані результати та форми контролю ефективності освітнього процесу (див. табл. 3).

Таблиця 3

Методичні рекомендації щодо інтеграції VR/AR-технологій у навчальні дисципліни бакалаврату харчових технологій

Напрямок інтеграції	Рекомендації	Очікуваний результат	Форми контролю
Вивчення електричних ланцюгів	Використовувати VR-моделі електричних схем для відпрацювання	Підвищення точності та швидкості виконання практичних завдань	Тестування в VR, оцінювання результатів лабораторних робіт

	з'єднань і вимірювань напруги		
Діагностика несправностей обладнання	Створювати AR-сценарії для локалізації несправностей у помпах, двигунах, конвеєрах	Формування практичних навичок без ризику пошкодження реального обладнання	Практичні завдання в AR, оцінювання за критеріями точності та безпеки
Безпека на виробництві	Використовувати VR-тренажери для відпрацювання правил безпеки під час роботи з електрообладнанням	Зменшення кількості помилок і травматизму при реальній роботі	Симуляції аварійних ситуацій, оцінювання дотримання правил
Підготовка до лабораторних робіт	Запроваджувати VR/AR-підготовчі етапи перед реальними лабораторними роботами	Економія часу та підвищення ефективності навчання	Порівняння часу виконання завдань у контрольній та експериментальній групах
Оцінювання навчальних досягнень	Інтегрувати автоматизовані VR/AR-тести для перевірки знань і навичок	Об'єктивне оцінювання компетенцій здобувачів	Статистичне оброблення результатів тестування

Джерело: авторська розробка

Показано, що запропоновані рекомендації охоплюють кілька базових аспектів використання VR/AR у професійній підготовці здобувачів. По-перше, технології застосовуються для моделювання технічних процесів і відпрацювання практичних операцій, зокрема під час вивчення електричних ланцюгів і діагностики несправностей обладнання. По-друге, окремий напрям становить використання імерсивних середовищ для формування навичок безпечної роботи з електрообладнанням шляхом моделювання потенційно небезпечних ситуацій. По-третє, VR/AR-інструменти запропоновано як підготовчий етап перед виконанням реальних лабораторних робіт, що дає змогу оптимізувати освітній процес.

Отже, узагальнення рекомендацій засвідчує, що контроль результатів навчання передбачається здійснювати шляхом поєднання різних форм оцінювання: симуляційних завдань у VR/AR-середовищі, практичних вправ, тестування та статистичного аналізу отриманих результатів. Такий підхід забезпечує можливість комплексного оцінювання сформованості професійних компетенцій здобувачів і сприяє інтегруванню VR/AR-технології на різних етапах навчання.

Обговорення

Апробація розроблених AR/VR-сценаріїв продемонструвала їхню високу ефективність для підготовки фахівців технічного профілю. Отримані результати демонструють, що імерсивні технології створюють умови для поєднання теоретичних знань із практичною діяльністю у змодельованому виробничому середовищі, що наближене до реальних умов експлуатації обладнання.

Важливим чинником ефективності такого підходу є можливість багаторазового виконання професійних операцій у безпечному та контрольованому середовищі, що дає

змогу здобувачам експериментувати із різними варіантами рішень, аналізувати власні помилки та поступово формувати алгоритми діагностики несправностей. Повторюваність вправ і поступове ускладнення сценаріїв сприяють формуванню стійких практичних навичок та розвитку професійного мислення, необхідного для роботи з електромеханічними системами.

Перспектива відпрацьовувати складні виробничі ситуації без ризику пошкодження обладнання чи виникнення небезпечних ситуацій знижує психологічний бар'єр під час роботи з технічними системами та підвищує впевненість здобувачів у власних діях. Це особливо важливо для дисциплін, пов'язаних з експлуатацією електрообладнання та виробничих механізмів.

Крім того, імерсивне середовище забезпечує високий рівень наочності та інтерактивності навчання. Для здобувачів візуалізація внутрішніх процесів обладнання у поєднанні з можливістю взаємодії з його елементами забезпечує краще розуміння принципів роботи технічних систем та визначення причинно-наслідкових зв'язків між параметрами їхнього функціонування та можливими несправностями. Це сприяє формуванню не лише операційних умінь, а й аналітичних навичок, пов'язаних із діагностикою та ухваленням технічних рішень.

Отже, використання AR/VR-технологій в освітньому процесі підвищує ефективність підготовки здобувачів технічних спеціальностей завдяки поєднанню імітаційного моделювання виробничих процесів, можливості безпечної багаторазової практики та інтерактивної візуалізації технічних систем. Сукупність цих чинників гарантує формування професійних компетентностей, необхідних для діагностики та обслуговування електромеханічного обладнання у реальних виробничих умовах.

Порівняння з іншими дослідженнями. Отримані результати узгоджуються із висновками інших авторів. Зокрема, даними науковців Ю. Лонг (Y. Long), К. Жанг (X. Zhang) та К. Зенг (X. Zeng), які показали, що 90% студентів оцінюють реалістичність віртуального середовища як високу, 95% визнають його корисним для навчання, а 85% відзначають значний вплив на розвиток професійних навичок [14].

Водночас початкову стадію становлення освітньої методології VR/AR технології та обмежене вивчення цього питання засвідчує авторка О. Соколюк [15], що підтверджено результатами проведеного експерименту. У порівнянні з її оглядовим підходом, представлене дослідження надає емпіричні дані щодо конкретних сценаріїв використання та кількісних показників ефективності імерсивних інструментів, особливо щодо точності діагностики, швидкості виконання завдань і дотримання правил безпеки.

Виявлені відмінності у показниках можуть бути зумовлені специфікою навчальної дисципліни, рівнем інтерактивності VR-сценаріїв та особливостями організації освітнього процесу у різних закладах освіти. Важливу роль відіграють рівень сформованості цифрових і методичних компетентностей викладачів щодо використання AR/VR-технологій, наявність відповідної матеріально-технічної бази, програмного забезпечення та доступу до сучасної інфраструктури. Усі ці чинники безпосередньо впливають на ефективність інтеграції інноваційних технологій в освітній процес.

Порівняння результатів навчання здобувачів контрольної групи, яка працювала за традиційною методикою, з результатами групи, що використовувала AR/VR-технології, засвідчує, що інтеграція VR/AR в освітні програми сприяє підвищенню ефективності засвоєння навчального матеріалу та рівня практичної підготовки майбутніх фахівців. Це узгоджується з результатами попередніх досліджень і водночас розширює їх, демонструючи конкретні кількісні переваги застосування технологій доповненої та віртуальної реальності у фаховій підготовці.

Наукова новизна. Уперше розроблено комплекс методичних рекомендацій з інтеграції VR/AR-середовищ у навчальні дисципліни бакалаврів харчових технологій для підготовки до діагностики несправностей електромеханічного обладнання. Удосконалено традиційні підходи до лабораторних робіт шляхом створення інтерактивних VR/AR-сценаріїв, що дають змогу моделювати реальні виробничі ситуації на конвеєрних лініях, помпах, двигунах та пакувальних механізмах.

Розроблені сценарії впровадження VR/AR-технологій апробовано в умовах освітнього процесу для опанування складних операцій та показано їхню придатність для відпрацювання здобувачами правил безпеки. Емпірично підтверджено поглиблення розуміння принципів роботи обладнання та можливість економії часу для демонстрації лабораторних робіт.

Практичне значення. Розроблені VR/AR-сценарії та методичні рекомендації можуть використовуватися викладачами технічних дисциплін та керівниками лабораторій для модернізації освітнього процесу бакалаврів спеціальності G13 «Харчові технології». Результати дослідження сприяють ухваленню обґрунтованих рішень щодо інтеграції VR/AR-тренажерів у практичні та лабораторні заняття для формування фахової компетентності здобувачів та об'єктивного контролю їхніх навчальних досягнень. Також потенційними користувачами розроблених методик є виробничі підприємства харчової промисловості, що прагнуть підвищувати кваліфікацію своїх працівників.

Висновки

1. Обґрунтовано, що використання VR/AR-середовищ для підготовки бакалаврів харчових технологій до діагностики несправностей електромеханічного обладнання дає змогу підвищити точність виконання практичних завдань на 35–40% та зменшити середній час виконання завдань на 38–40% порівняно з традиційним навчанням.

2. Виявлено, що 85–93% здобувачів позитивно оцінюють зрозумілість інтерфейсу, зручність виконання завдань та підвищення мотивації до навчання, що засвідчує високий рівень ефективності інтерактивних середовищ для формування практичних компетенцій.

3. Визначено, що впровадження VR/AR-технологій гарантує безпечні умови для опрацювання складних операцій: усі студенти виконали практичні завдання без порушень правил безпеки, тоді як викладачі підтвердили глибше розуміння принципів роботи обладнання та економію часу під час демонстрації лабораторних робіт.

4. З'ясовано високий кореляційний зв'язок між частотою використання VR/AR-сценаріїв і точністю виконання завдань ($r = 0,78$, $p < 0,01$), що доводить безпосередній вплив регулярного застосування інтерактивних технологій на ефективність навчання.

5. Розроблені методичні рекомендації щодо інтеграції VR/AR у навчальні дисципліни дають змогу системно поєднувати теоретичну підготовку та практичні навички, підвищують мотивацію здобувачів та створюють контрольоване і безпечне середовище для відпрацювання виробничих ситуацій.

6. Перспективи подальших досліджень полягають у масштабуванні AR/VR-технологій на інші спеціальності харчових та технологічних напрямів, оцінюванні їхнього впливу на довгострокове збереження практичних навичок майбутніх фахівців, зокрема у вивченні економічної ефективності впровадження інтерактивних середовищ в освітній процес.

Список використаних джерел

1. Sklyarov M., Shapovalov O., Chernenko P., Semenchenko S., Kashkanov A., Kashkanov V. The use of augmented reality technology in the training of specialists in the operation and repair of multi-purpose armored military vehicles. *Journal of Mechanical*

Engineering and Transport. 2023. Vol. 17, № 1. P. 153–162. DOI: <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2023-17-1-153-162>.

2. Вараксіна Н. Використання технологій змішаної реальності в освіті. *Науково-педагогічні студії*. 2022. № 6. С. 168–180. DOI: <https://doi.org/10.32405/2663-5739-2022-6-168-180>.

3. Носенко Ю. Класифікація імерсивних технологій і сервісів для освітнього процесу. *Наукові записки. Серія: Педагогічні науки*. 2024. Т. 1, № 216. С. 237–242. DOI: <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2024-1-216-237-242>.

4. Гуркова Т. Використання технологій віртуальної реальності для вивчення природничих наук у початковій школі. *Молодь і ринок*. 2025. № 1/233. С. 119–123. DOI: <https://doi.org/10.24919/2308-4634.2025.320387>.

5. Llanos-Ruiz D., Abella-García V., Ausín-Villaverde V. Virtual reality in higher education: a systematic review aligned with the sustainable development goals. *Societies*. 2025. Vol. 15, № 9. Article 251. DOI: <https://doi.org/10.3390/soc15090251>.

6. Ka J., Kim H., Kim J., Kim W. Analysis of virtual reality teaching methods in engineering education: assessing educational effectiveness and understanding of 3D structures. *Virtual Reality*. 2025. Vol. 29, № 1. Article 17. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10055-024-01081-1>.

7. Tan Y., Xu W., Li S., Chen K. Augmented and virtual reality (AR/VR) for education and training in the AEC industry: A systematic review of research and applications. *Buildings*. 2022. Vol. 12, № 10. Article 1529. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings12101529>.

8. Dolgova N. Next-gen learning: The role of advanced technologies in preparing technical vocational education and training engineering educators. *Vocation, Technology, Education*. 2025. P. 1–4. DOI: <https://doi.org/10.54844/vte.2025.0927>.

9. Aufenanger S., Bastian J., Bastos G., Castelhana M., Dias-Ferreira C., Fokides E., Gavalas D., Kasapakis V., Agelada A., Kostas A., Koutromanos G., Makrides G., Morgado L., Pedrosa D., Szemberg T., Sofos A., Szpond J. Immersive virtual reality learning environments for higher education: a student acceptance study. *Computers Education: X Reality*. 2025. Vol. 7. Article 100105. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2025.100105>.

10. Al-Ansi A. M., Jaboob M., Garad A., Al-Ansi A. Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent development in education. *Social Sciences Humanities Open*. 2023. Vol. 8, № 1. Article 100532. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100532>.

11. Lampropoulos G., Fernández-Arias P., de Bosque A., Vergara D. Virtual reality in engineering education: A scoping review. *Education Sciences*. 2025. Vol. 15, № 8. Article 1027. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci15081027>.

12. Musaddaq A., Akhtar S., Rasool K., Filipovic D., Iftikhar A., Stuckler D. Using immersive augmented reality (AR) or virtual reality (VR) in a classroom is as effective as traditional classrooms in higher education: a systematic review. *Journal of Higher Education Theory and Practice*. 2025. Vol. 25, № 1. P. 153–167. DOI: <https://doi.org/10.33423/jhetp.v25i1.7571>.

13. Suhail N., Bahroun Z., Ahmed V. Augmented reality in engineering education: enhancing learning and application. *Frontiers in Virtual Reality*. 2024. Vol. 5. Article 1461145. DOI: <https://doi.org/10.3389/frvir.2024.1461145>.

14. Long Y., Zhang X., Zeng X. Application and effect analysis of virtual reality technology in vocational education practical training. *Education and Information Technologies*. 2024. № 30. P. 9755–9786. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10639-024-13197-7>.

15. Соколюк О. Вплив VR/AR на технології навчання й освітянські практики. *Modern Information Technologies and Innovation Methodologies of Education in Professional Training Methodology Theory Experience Problems*. 2022. № 60. С. 108–116. DOI: <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2021-60-108-116>

References

1. Sklyarov, M., Shapovalov, O., Chernenko, P., Semenchenko, S., Kashkanov, A., & Kashkanov, V. (2023). The use of augmented reality technology in the training of specialists in the operation and repair of multi-purpose armored military vehicles. *Journal of Mechanical Engineering and Transport*, 17(1), 153–162. <https://doi.org/10.31649/2413-4503-2023-17-1-153-162>
2. Varaksina, N. (2022). Vykorystannia tekhnolohii zmishanoi realnosti v osviti [Using mixed reality technologies in education]. *Naukovo-pedahohichni studii - Scientific and pedagogical studios*, (6), 168–180. <https://doi.org/10.32405/2663-5739-2022-6-168-180> [in Ukrainian].
3. Nosenko, Yu. (2024). Klasyfikatsiia imersyvnykh tekhnolohii i servisiv dlia osvitnoho protsesu [Classification of immersive technologies and services for the educational process]. *Naukovi zapysky. Serii: Pedahohichni nauky - Scientific notes. Series: Pedagogical sciences*, (1(216)), 237–242. <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2024-1-216-237-242> [in Ukrainian].
4. Hurkova, T. (2025). Vykorystannia tekhnolohii virtualnoi realnosti dlia vyvchennia pryrodnych nauk u pochatkovii shkoli [Using virtual reality technologies for learning science in elementary school]. *Molod i rynek - Youth and the market*, (1/233), 119–123. <https://doi.org/10.24919/2308-4634.2025.320387> [in Ukrainian].
5. Llanos-Ruiz, D., Abella-García, V., & Ausín-Villaverde, V. (2025). Virtual reality in higher education: A systematic review aligned with the sustainable development goals. *Societies*, 15(9), 251. <https://doi.org/10.3390/soc15090251>
6. Ka, J., Kim, H., Kim, J., & Kim, W. (2025). Analysis of virtual reality teaching methods in engineering education: Assessing educational effectiveness and understanding of 3D structures. *Virtual Reality*, 29(1), 17. <https://doi.org/10.1007/s10055-024-01081-1>
7. Tan, Y., Xu, W., Li, S., & Chen, K. (2022). Augmented and virtual reality (AR/VR) for education and training in the AEC industry: A systematic review of research and applications. *Buildings*, 12(10), 1529. <https://doi.org/10.3390/buildings12101529>
8. Dolgova, N. (2025). Next-gen learning: The role of advanced technologies in preparing technical vocational education and training engineering educators. *Vocation, Technology Education*, 1-4. <https://doi.org/10.54844/vte.2025.0927>
9. Aufenanger, S., Bastian, J., Bastos, G., Castelhana, M., Dias-Ferreira, C., Fokides, E., Gavalas, D., Kasapakis, V., Agelada, A., Kostas, A., Koutromanos, G., Makrides, G., Morgado, L., Pedrosa, D., Szemberg, T., Sofos, A., & Szpond, J. (2025). Immersive virtual reality learning environments for higher education: A student acceptance study. *Computers Education: X Reality*, 7, 100105. <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2025.100105>
10. Al-Ansi, A. M., Jaboob, M., Garad, A., & Al-Ansi, A. (2023). Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent development in education. *Social Sciences Humanities Open*, 8(1), 100532. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2023.100532>
11. Lampropoulos, G., Fernández-Arias, P., de Bosque, A., & Vergara, D. (2025). Virtual reality in engineering education: A scoping review. *Education Sciences*, 15(8), 1027. <https://doi.org/10.3390/educsci15081027>
12. Musaddaq, A., Akhtar, S., Rasool, K., Filipovic, D., Iftikhar, A., & Stuckler, D. (2025). Using immersive augmented reality (AR) or virtual reality (VR) in a classroom is as effective as traditional classrooms in higher education: A systematic review. *Journal of Higher Education Theory and Practice*, 25(1), 153–167. <https://doi.org/10.33423/jhetp.v25i1.7571>
13. Suhail, N., Bahroun, Z., & Ahmed, V. (2024). Augmented reality in engineering education: Enhancing learning and application. *Frontiers in Virtual Reality*, 5, 1461145. <https://doi.org/10.3389/frvir.2024.1461145>

14. Long, Y., Zhang, X., & Zeng, X. (2024). Application and effect analysis of virtual reality technology in vocational education practical training. *Education and Information Technologies*, (30), 9755–9786. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-13197-7>
15. Sokoliuk, O. (2022). Vplyv VR /AR na tekhnolohii navchannia y osvitianski praktyky [The impact of VR/AR on learning technologies and educational practices]. *Modern information technologies and innovation methodologies of education in professional training methodology theory experience problems*, 60, 108–116. <https://doi.org/10.31652/2412-1142-2021-60-108-116> [in Ukrainian].