

ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ У НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЦЕС КАФЕДРИ ІНЖИНІРИНГУ ТА ДИЗАЙНУ В МАШИНОБУДУВАННІ НТУ «ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

IMPLEMENTATION OF VIRTUAL REALITY TECHNOLOGIES IN THE EDUCATIONAL PROCESS OF THE DEPARTMENT OF ENGINEERING AND DESIGN IN MACHINERY INDUSTRY AT DNIPRO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

УДК 378.147:004.946
DOI <https://doi.org/10.32782/ip/87.54>
Стаття поширюється на умовах
ліцензії CC BY 4.0

Заболотний К.С.,
докт. тех. наук, професор,
професор кафедри інжинірингу
та дизайну в машинобудуванні
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»

Панченко О.В.,
канд. техн. наук, доцент,
завідувач кафедри інжинірингу
та дизайну в машинобудуванні
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»

Шкут А.П.,
PhD, доцент кафедри інжинірингу
та дизайну в машинобудуванні
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»

Симоненко В.В.,
PhD, доцент кафедри інжинірингу
та дизайну в машинобудуванні
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»

Захарова Д.Р.,
магістр кафедри інжинірингу та дизайну
в машинобудуванні
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»

Статтю присвячено системному аналізу впровадження технологій віртуальної реальності (Virtual Reality, VR) у підготовку інженерів на кафедрі інжинірингу та дизайну в машинобудуванні НТУ «Дніпровська політехніка» [1]. У роботі обґрунтовано, що VR виступає ключовим інструментом модернізації технічної освіти у контексті концепції Освіти 4.0 та індустрії 4.0, де цифрові двійники, симуляції та імерсивні середовища стають стандартом професійної діяльності. Окреслено роль VR у формуванні професійних компетентностей майбутніх фахівців, зокрема просторового мислення, навичок конструкторського проектування та здатності до прийняття рішень у складних виробничих ситуаціях. Проаналізовано практичний досвід кафедри: створення VR-лабораторії з сучасним обладнанням, інтеграцію CAD/CAE-систем із VR-середовищами, підготовку викладачів та залучення студентів до проектної діяльності з використанням рушія Unity. Особлива увага приділяється педагогічному експерименту, результати якого підтверджують зростання навчальних досягнень студентів експериментальної групи порівняно з контрольною (підвищення показників просторового мислення на 25–30%, скорочення часу засвоєння матеріалу на 20%). Продемонстровано приклади створених студентами VR-додатків – від тренажерів складання та розбирання механізмів до віртуальних турів виробничими цехами. Показано, що VR підвищує не лише рівень знань, а й мотивацію та залученість студентів, сприяє розвитку самостійності й креативності. Узагальнено міжнародний контекст: досвід MIT, Stanford, TU Munich та Warwick підтверджує глобальний характер тренду інтеграції VR у STEM-освіту. Зроблено висновок, що впровадження VR у навчальний процес кафедри НТУ «Дніпровська політехніка» [2] відповідає стратегічним завданням цифровізації освіти, сприяє формуванню конкурентоспроможних інженерних кадрів та створює умови для подальших досліджень і міжнародної співпраці. **Ключові слова:** віртуальна реальність; інженерна освіта; VR-лабораторія; Unity; цифрові двійники; індустрія 4.0; мотивація студентів.

The article provides a comprehensive analysis of the implementation of Virtual Reality (VR) technologies in the training of engineers at the Department of Engineering and Design in Mechanical Engineering of Dnipro University of Technology [1]. It is argued that VR serves as a key tool for modernizing technical education within the framework of Education 4.0 and Industry 4.0, where digital twins, simulations, and immersive environments have become standard elements of professional practice. The role of VR in shaping engineering competencies is emphasized, particularly in enhancing spatial reasoning, design skills, and decision-making abilities in complex industrial contexts. The practical experience of the department is presented, including the establishment of a specialized VR laboratory equipped with modern hardware, the integration of CAD/CAE systems with VR environments, teacher training, and student involvement in project-based learning using the Unity engine. Special attention is given to a pedagogical experiment, whose results demonstrate significant improvements in student performance: experimental groups achieved 25–30% higher scores in spatial reasoning tasks and required 20% less time for knowledge acquisition compared to control groups. Examples of student-developed VR applications are highlighted, ranging from virtual simulators for assembly and disassembly of mechanisms to immersive tours of production workshops. The findings confirm that VR not only improves knowledge acquisition but also strengthens motivation, engagement, and creativity. The article also situates the Ukrainian case within the international context: practices at MIT, Stanford, TU Munich, and the University of Warwick demonstrate the global nature of VR integration in STEM education. It is concluded that the use of VR in the educational process at Dnipro University of Technology [2] fully aligns with strategic goals of digitalization in higher education, contributes to the preparation of competitive engineers, and opens prospects for further research and international cooperation. Future directions include the integration of VR with AR/MR technologies, the use of artificial intelligence for personalized learning scenarios, and the development of VR solutions for dual education models.

Key words: virtual reality; engineering education; VR laboratory; Unity; digital twins; Industry 4.0; student motivation.

Постановка проблеми. Сучасна інженерна освіта розвивається в умовах інтенсивної цифрової трансформації, що визначається загальними тенденціями становлення суспільства знань та переходом до концепції **Освіти 4.0** [3]. Ця парадигма

передбачає інтеграцію цифрових технологій у всі етапи підготовки спеціалістів і формування у студентів компетентностей, необхідних для роботи з інноваційними інструментами, що стали стандартом у промисловості [6].

Однією з ключових технологій, здатних радикально змінити якість підготовки інженерів, є **віртуальна реальність (Virtual Reality, VR)**. Під VR розуміється імерсивна комп'ютерно згенерована технологія, яка створює для користувача штучне середовище з ефектом присутності в іншій, спеціально змодельованій реальності [4]. Використання VR у навчальному процесі дає змогу відтворювати складні технічні об'єкти й процеси, що у реальних умовах є небезпечними, дорогими або практично недоступними [5].

Наприклад, студенти-машинобудівники у віртуальному середовищі можуть досліджувати будову шахтної підйімальної установки чи турбіни, уникаючи ризику зупинки обладнання та значних фінансових витрат. VR-симуляції дозволяють багаторазово повторювати експерименти, варіювати умови дослідів і спостерігати наслідки змін без шкоди для устаткування [7].

Отже, наукове завдання полягає у з'ясуванні того, якою мірою застосування VR-технологій підвищує ефективність освітнього процесу. Йдеться не лише про когнітивні результати навчання (засвоєння знань), але й про розвиток практичних умінь, інженерних компетентностей та здатності до прийняття рішень у виробничих умовах [3; 7]. З прикладного боку VR знижує витрати на фізичні експерименти, підвищує безпеку і забезпечує масовий доступ студентів до високотехнологічних тренажерів, що особливо важливо у галузевому машинобудуванні [6].

Прикладом практичної реалізації цього підходу є магістерська програма «Технології віртуальної та доповненої реальності у промисловості», започаткована у НТУ «Дніпровська політехніка» (2021) [2]. Вона стала однією з перших в Україні системних освітніх програм, що поєднують інженерні знання з цифровими компетентностями у сфері VR/AR. Таким чином, інтеграція VR у навчальний процес є необхідною умовою досягнення двох стратегічних цілей:

1) модернізація освітнього середовища відповідно до вимог індустрії 4.0 [6];

2) підготовка конкурентоспроможних випускників, здатних поєднувати класичні інженерні знання з цифровими навичками [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Систематичний огляд сучасної наукової літератури підтверджує, що імерсивні технології, зокрема VR, займають центральне місце у трансформації інженерної освіти в межах парадигми Освіти 4.0 [3]. Дослідники наголошують, що VR створює нові форми навчальної діяльності, які поєднують експеримент, моделювання та проєктування у безпечному цифровому середовищі [4]. Це сприяє підвищенню когнітивних, процедурних і метакогнітивних результатів навчання, формуванню просторового мислення, технічної уяви й здатності до прийняття інженерних рішень [7].

Емпіричні дослідження доводять, що VR значно полегшує засвоєння тривимірних уявлень, особливо у дисциплінах, насичених геометричними зв'язками (конструкторські курси, механіка деформованого тіла, динаміка машин) [5; 7]. Максимальний ефект досягається тоді, коли VR інтегровано у наскрізний цикл навчання «CAD – CAE – VR», що охоплює проєктування, числові методи аналізу та перевірку технологічності конструкцій [4; 6]. При цьому результативність підходу зберігається незалежно від початкового рівня підготовки студентів, але зростає у тих, хто має досвід роботи з тривимірною графікою чи симуляторами [4].

Огляд експериментальних робіт 2011–2022 років показав, що позитивний ефект VR можливий лише за умови якісного дидактичного дизайну. Він має передбачати чіткі сценарії взаємодії студентів з віртуальними об'єктами, поступове ускладнення завдань, прозорі критерії оцінювання та педагогічний супровід [7]. Такі висновки узгоджуються з теорією когнітивного навантаження: VR за умови продуманого інтерфейсу знижує надмірне навантаження і дозволяє студенту зосередитися на суттєвих фізико-технічних параметрах моделі [4].

Паралельно професійні джерела демонструють зрушення від демонстраційних VR-сценаріїв до повноцінних виробничих застосувань: підготовки персоналу, відпрацювання аварійних дій, візуального планування технологічних ліній у форматі цифрових двійників (Digital Twins) [6]. Для машинобудівних підприємств це означає зменшення тривалості підготовки операторів, зниження ризику помилок і можливість безпечного експериментування з конфігурацією робочих місць [9].

Національний рівень розвитку VR-освіти визначається спроможністю університетів створювати VR-лабораторії, запроваджувати спеціальні програми та налагоджувати міжкафедральну кооперацію [5]. Показовим прикладом є магістерська програма «Технології віртуальної та доповненої реальності у промисловості» НТУ «Дніпровська політехніка», яка поєднує інженерні компетентності з розробкою імерсивного контенту [2]. Ця практика відповідає європейським і світовим тенденціям, зокрема стратегіям MIT, Stanford та TU Munich, де VR використовується як наскрізний інструмент STEM-освіти [8].

Таким чином, огляд літератури дозволяє виділити три узагальнені тези:

1. VR є ефективним дидактичним засобом за умови методично грамотного дизайну [7].

2. Інтеграція VR з CAD/CAE забезпечує практикоорієнтований характер підготовки [4; 6].

Найбільшого ефекту VR-освіта досягає у поєднанні з концепціями індустрії 4.0 та цифровими двійниками [3; 6].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Попри значний прогрес

у впровадженні віртуальної реальності (Virtual Reality, VR) в освітній процес, низка важливих аспектів залишаються недостатньо вивченими.

По-перше, у наявних дослідженнях бракує комплексної оцінки **довготривалої педагогічної ефективності VR**. Більшість експериментів фіксують лише короткострокові зміни у знаннях чи мотивації студентів, однак вплив VR на формування стійких професійних компетентностей у виробничому середовищі практично не аналізується [7].

По-друге, обмеженою є **інтеграція VR з CAD/CAE-системами (Computer-Aided Design / Computer-Aided Engineering)**. Хоча існують приклади наскрізного циклу «проектування – аналіз – VR-візуалізація», більшість рішень мають фрагментарний характер. Недостатньо розроблені стандарти обміну даними між платформами, що ускладнює широке застосування VR у підготовці машинобудівників [6].

По-третє, потребує уточнення питання **когнітивного навантаження студентів** у VR-середовищах. У частині робіт відзначається, що надмірна візуальна складність або гіперреалістичність моделей може відволікати увагу від суті інженерних завдань і призводити до перевтоми. Це створює необхідність у методичних рекомендаціях, що враховують принципи когнітивної ергономіки [4; 7].

По-четверте, актуальною є проблема **економічної та організаційної доступності VR**. Незважаючи на створення спеціалізованих лабораторій у провідних університетах України та світу, більшість закладів стикаються з високою вартістю обладнання, складністю технічного обслуговування та потребою у підготовлених викладачах. Це обмежує можливості масового впровадження VR у технічну освіту [6; 9].

Таким чином, невирішеними залишаються чотири групи проблем:

- 1) довготривала педагогічна ефективність VR [7];
- 2) інтеграція з CAD/CAE-системами [6];
- 3) методики оптимізації когнітивного навантаження [4];
- 4) економічна й організаційна доступність VR-освіти [6; 9].

Їх розв'язання потребує подальших міждисциплінарних досліджень на перетині педагогіки, інженерії, психології та інформаційних технологій.

Мета дослідження полягає у вивченні особливостей інтеграції VR-технологій у підготовку інженерів у вищій школі та оцінці їхньої педагогічної, методичної й інженерно-технічної ефективності [3].

Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання:

1. **Охарактеризувати сучасні підходи до впровадження VR у світовій та національній освітній практиці** з урахуванням досвіду університетів Європейського Союзу, США та України, де функціонують VR-лабораторії та спеціалізовані освітні програми [5; 8].

2. **Дослідити практичний досвід кафедри інжинірингу та дизайну в машинобудуванні НТУ «Дніпровська політехніка»**, яка однією з перших в Україні започаткувала магістерську програму з VR/AR-технологій у машинобудуванні [2].

3. **Проаналізувати методичні та організаційні механізми впровадження VR**, зокрема створення VR-лабораторії, розроблення навчальних VR-проектів, підготовку викладачів і поєднання VR із CAD/CAE-системами [6].

4. **Порівняти результати використання VR із традиційними методами навчання**, виокремивши педагогічні переваги VR для розвитку просторового мислення, формування навичок конструювання та підвищення мотивації студентів [7].

5. **Визначити невирішені проблеми та перспективні напрями досліджень**, що охоплюють:

- довготривалу ефективність застосування VR [4];
- інтеграцію VR із міждисциплінарними модулями [6];
- оптимізацію когнітивного навантаження студентів [6; 9];
- економічну й організаційну доступність VR-освіти [6; 9].

Виклад основного матеріалу. Першим етапом дослідження стало створення спеціалізованої **VR-лабораторії**, яка виконує функції експериментального освітнього середовища та наукового полігону для апробації різних сценаріїв використання віртуальної реальності у підготовці інженерів. Лабораторія обладнана сучасними VR-шоломами (Oculus Rift, HTC Vive та їхні новіші модифікації), інтегрованими контролерами руху, а також графічними станціями з високопродуктивними відеокартами NVIDIA RTX. Така інфраструктура забезпечує відтворення складних тривимірних сцен у реальному часі з високим рівнем деталізації та мінімальною затримкою зображення [4]. Матеріально-технічна база створила умови для інтеграції VR у навчальний процес. Завдяки повній імерсії студенти можуть вивчати технічні об'єкти, які у реальних умовах є занадто дорогими або небезпечними для дослідження в аудиторії. Так, під час занять із дисципліни «Гірничі машини» у VR-середовищі було змодельовано шахтну підймальну установку. У реальності її дослідження потребує зупинки виробничого процесу, тоді як у VR студенти мають змогу без ризику вивчати будову барабанів і гальмівних систем, спостерігати за зміною навантаження на вузли та аналізувати кінематику механізмів [5].

На рис. 1 зображено студента, який працює з VR-шоломом у спеціалізованій лабораторії кафедри. У центрі його уваги знаходиться цифровий прототип промислової машини, відтворений у тривимірному віртуальному середовищі. Завдяки використанню контролерів студент має можливість взаємодіяти з окремими деталями моделі, змінювати ракурс огляду, аналізувати

кінематичні схеми вузлів та перевіряти коректність конструктивних рішень. Ілюстрація відображає не лише технологічний потенціал VR, а й його педагогічний ефект: створення імерсивного освітнього простору, у якому навчальна діяльність набуває дослідницького характеру.



Рис. 1. Занурення у віртуальну реальність

Лабораторія використовується не лише як демонстраційний інструмент, а й як платформа для реалізації навчально-дослідних проєктів. Студенти старших курсів і магістратури отримують завдання створювати власні VR-додатки, що охоплюють як навчальні експерименти, так і прикладні виробничі задачі. На рис.2 показано студентку кафедри, яка в імерсивному середовищі виконує операції з монтажу та демонтажу деталей редуктора. Завдяки VR вона відпрацьовує навички, що наближає навчання до умов реального виробництва.

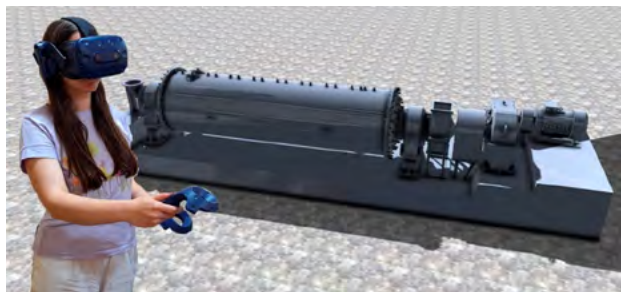


Рис. 2. Відпрацювання процесу збирання/розбирання механізму у VR

Такий підхід формує здатність здобувачів не лише сприймати готовий VR-контент, а й самостійно конструювати освітні та виробничі середовища, що відповідає вимогам Освіти 4.0 [3].

Другим ключовим напрямом дослідження стала **інтеграція VR з інструментами CAD/CAE**. Традиційні системи комп'ютерного проєктування (SolidWorks, CATIA, Siemens NX) дозволяють створювати точні тривимірні моделі деталей і вузлів, а засоби інженерного аналізу забезпечують перевірку їхньої міцності, жорсткості та технологічності. Однак у класичному форматі ці системи не надають студентам можливості «зсередини» дослідити конструкцію, що обмежує розвиток просторового мислення.

У межах експерименту було реалізовано наскрізний цикл «CAD – CAE – VR»: студенти

створювали моделі у SolidWorks, виконували розрахунки в SimulationXpress, а потім експортували готові об'єкти в Unity для відтворення у VR-середовищі. Така інтеграція дозволила «оживити» статичні моделі: у VR стало можливим накладати сили, змінювати параметри навантажень, аналізувати деформації та навіть досліджувати сценарії руйнування матеріалів у безпечному цифровому просторі [6].

Для перевірки педагогічного ефекту було організовано **експеримент**, що охопив дві студентські групи. Контрольна група навчалася традиційними методами (лекції, креслення, робота з макетами), тоді як експериментальна група виконувала ті самі завдання у VR-середовищі. Результати засвідчили суттєву різницю:

- час, необхідний для засвоєння матеріалу, скоротився приблизно на 20 %;
- у завданнях із виявлення конструкційних дефектів VR-група мала значно вищий показник успішності, оскільки студенти могли змінювати перспективу огляду, масштабувати вузли й аналізувати кінематику у тривимірному просторі [7].

Таким чином, результати експерименту підтвердили ефективність VR як інструмента розвитку інженерного мислення, просторових уявлень і технічної інтуїції студентів.

VR-тренажери, мотиваційний ефект та міжнародний досвід. Важливим науково-практичним результатом стало створення низки **VR-тренажерів**, орієнтованих на моделювання навчальних і виробничих процесів. Одним із ключових кейсів був віртуальний тренажер складання та розбирання редуктора. У цьому додатку студенти виконували операції демонтажу деталей у покроковому режимі, отримуючи зворотний зв'язок від системи. У разі помилки програма демонструвала її наслідки у цифровому середовищі, що дозволяло негайно усвідомити важливість правильного порядку дій. Подібні VR-тренажери широко використовуються в авіаційній та атомній промисловості, де точність операцій є критичною [6]. У машинобудівній освіті вони забезпечують відпрацювання стандартизованих навичок без ризику пошкодження дорогого обладнання, що узгоджується з концепцією цифрових двійників (Digital Twins), коли фізичні об'єкти мають віртуальні аналоги для навчання та тестування [9].

Проведений експеримент підтвердив також значний **мотиваційний ефект VR**. Опитування показало, що понад 80 % студентів експериментальної групи вважають навчання у VR більш захопливим і продуктивним, ніж традиційні методи. Вони відзначали можливість самостійного регулювання темпу навчання, багаторазового повторення експериментів і безпечного моделювання аварійних ситуацій. Ці фактори знижували страх помилки та створювали ефект залученості (engagement), що,

згідно з теорією освітньої мотивації, підвищує концентрацію та зменшує прокрастинацію [7]. Як наслідок, студенти витрачали більше часу на навчальні завдання та демонстрували кращі результати під час підсумкових контрольних заходів.

На кафедрі інжинірингу та дизайну в машинобудуванні (ІДМБ) накопичено значний досвід реалізації **VR-проектів** у навчальному процесі [9]. Студенти виконують кваліфікаційні та курсові роботи, пов'язані зі створенням VR-додатків для вирішення прикладних інженерних завдань. Такі проекти охоплюють розробку інтерактивних тривимірних моделей машин і механізмів, створення **віртуальних тренажерів** для відпрацювання технологічних операцій, а також **VR-турів виробничими цехами** підприємств-партнерів.

Кафедра також організовує науково-методичні семінари з віртуальної реальності, на яких демонструються студентські VR-проекти перед викладачами, студентами та стейкхолдерами [10]. Такі заходи створюють можливості для обговорення дидактичного потенціалу VR, оцінювання якості розробок та визначення напрямів подальшої інтеграції у навчальний процес.

Крім того, кафедра ділиться власними інноваціями з ширшою освітянською спільнотою. Було проведено спеціальний семінар для учнів Малої академії наук України, на якому школярі 9–11 класів презентували власні науково-дослідні роботи з використанням VR-технологій. Учнівські проекти охоплювали створення навчальних VR-сцен для вивчення фізичних і технічних процесів. Усі роботи виконувалися під керівництвом аспірантів кафедри, що сприяло підвищенню якості наукового супроводу та формуванню у школярів дослідницьких компетентностей [11].

Порівняння результатів нашого експерименту із зарубіжними практиками підтверджує **глобальний характер тенденцій** інтеграції VR в інженерну освіту. У провідних університетах світу, зокрема **MIT, Stanford University, Technical University of Munich та University of Warwick**, створюються спеціалізовані VR-центри для інтеграції дослідницької діяльності, освітніх курсів і співпраці з промисловістю [8]. Наприклад, у Великій Британії VR застосовується для підготовки авіаційних інженерів: студенти відпрацьовують процедури складання та технічного обслуговування двигунів у VR-середовищі, уникаючи небезпеки й високої вартості роботи з реальними агрегатами. У Німеччині VR інтегрується в автомобілебудівні програми, де студенти тестують жорсткість і деформацію кузовів у віртуальних краш-тестах, використовуючи ті самі цифрові моделі, що й промислові компанії [6].

Досвід НТУ «Дніпровська політехніка» вирізняється тим, що створена VR-програма поєднує глобальні тенденції розвитку інженерної освіти

з актуальними національними потребами машинобудівної галузі. Студенти опановують не лише навички VR/AR-розробки, а й прикладні компетентності у гірничій техніці, енергетичних системах і промисловому обладнанні. Такий підхід дозволяє формувати конкурентоспроможних інженерів, здатних працювати як на українському, так і на міжнародному ринку праці. Поєднання локального й глобального досвіду робить цю освітню практику важливою для розвитку міжуніверситетських партнерств та інтеграції у світовий освітній простір індустрії 4.0 [2; 8].

Подібні тенденції спостерігаються і в країнах Європейського Союзу, де реалізуються масштабні проекти, спрямовані на популяризацію VR у технічній освіті. Одним із ключових механізмів поширення таких інновацій є програми академічної мобільності. Прикладом є студентка магістратури кафедри Діана Захарова, яка в межах академічного обміну бере участь у міжнародних дослідженнях, переймаючи найкращі практики застосування імерсивних технологій за кордоном (рис. 3).

Висновки. Проведене дослідження підтвердило високу ефективність використання технологій віртуальної реальності (Virtual Reality, VR) у підготовці інженерних кадрів. Аналіз експериментальних даних і впроваджених VR-сценаріїв дає змогу зробити такі узагальнені висновки:

1. **VR підвищує якість навчання.** Використання VR-середовищ сприяє розвитку просторового мислення, формуванню практичних навичок конструкторського проектування та підвищенню швидкості засвоєння складних технічних тем. У педагогічному експерименті студенти показали на 25–30% вищі результати у тестах на просторове мислення та скоротили час навчання на 20%.

2. **Інтеграція VR з CAD/CAE формує наскрізний цикл підготовки.** Поєднання VR із системами комп'ютерного проектування та інженерного аналізу забезпечує наближення освітнього процесу до сучасних виробничих практик індустрії 4.0. Це дозволяє моделювати роботу механізмів у безпечному цифровому середовищі й відпрацьовувати навички прийняття рішень у складних виробничих ситуаціях.

3. **VR має потужний мотиваційний ефект.** Більшість студентів відзначили, що навчання у VR є більш захопливим та продуктивним порівняно з традиційними методами. Ефект залученості (engagement) сприяв зростанню концентрації, зниженню прокрастинації та більшій активності студентів під час виконання завдань.

4. **Український досвід узгоджується з міжнародними практиками.** Освітні проекти НТУ «Дніпровська політехніка» відповідають глобальним тенденціям інтеграції VR у STEM-освіту, що підтверджується прикладами MIT, Stanford, TU Munich та Warwick. Водночас програма кафедри враховує

національні потреби машинобудування, поєднуючи VR/AR-розробку з прикладними завданнями промисловості.

Разом із тим, дослідження виявило **невирішені проблеми**:

- висока вартість VR-обладнання та потреба у кваліфікованих кадрах;
- відсутність сталих стандартів інтеграції VR із CAD/CAE/PLM-системами;
- недостатня кількість методичних напрацювань;
- обмежена доступність VR для широкого кола університетів.

Перспективними напрямками розвитку є:

- інтеграція VR з технологіями доповненої та змішаної реальності (AR/MR);
- створення комплексних цифрових двійників промислових об'єктів для навчання й тестування;
- використання штучного інтелекту для персоналізації навчальних сценаріїв;
- розроблення VR-тренажерів для колективної взаємодії студентів у реальному часі;
- розвиток VR у форматі дуальної освіти, що поєднує університетське навчання з виробничими практиками. Таким чином, VR-технології формують новий вимір інженерної освіти, поєднуючи академічні знання, практичні навички та високий рівень мотивації студентів. Подальший розвиток цього напрямку відкриває широкі можливості для підготовки конкурентоспроможних інженерів, здатних працювати у цифровізованих виробничих системах майбутнього.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК:

1. Кафедра інжинірингу та дизайну в машинобудуванні. Офіційна сторінка кафедри. URL: <https://gmi.ntnu.org.ua/ua/> (дата звернення: 27.09.2025).
2. НТУ «Дніпровська політехніка». Освітньо-професійна програма «Технології віртуальної та доповненої реальності у промисловості» (магістр, спеціальність 133 – Галузеве машинобудування) 2021. 16 с. URL: <https://surli.cc/sfeipp> (дата звернення: 27.09.2025).
3. Crogman H. T., Cano V. D., Pacheco E. Virtual Reality, Augmented Reality, and Mixed Reality in Experiential Learning: Transforming Educational Paradigms. *Education Sciences*. 2025. Vol. 15, № 3. С. 303. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci15030303>.

4. Lampropoulos G., Fernández-Arias P., Bosque A., Vergara D. Virtual Reality in Engineering Education: A Scoping Review. *Education Sciences*. 2025. Vol. 15, № 8. С. 1027. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci15081027>.

5. Zontou E., Kaminaris S., Rangoussi M. On the role of virtual reality in engineering education: a systematic literature review of experimental research (2011–2022). *European Journal of Engineering Education*. 2024. Vol. 49, Issue 5. С. 856–888. DOI: <https://doi.org/10.1080/03043797.2024.2369188>.

6. Using AR/VR for innovative engineering education. URL: <https://www.engineering.com/using-ar-vr-for-innovative-engineering-education> (дата звернення: 27.09.2025).

7. Radianti J., Majchrzak T. A., Fromm J., Wohlgenannt I. A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*. 2020. Vol. 147. P. 2–29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778> (дата звернення: 27.09.2025).

8. Pellas N., Mystakidis S., Kazanidis I. Immersive Virtual Reality in K–12 and Higher Education: A systematic review of the last decade scientific literature. *Virtual Reality*. 2021. Vol. 25. P. 835–861. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10055-020-00489-9>.

9. Development of VR systems for industry. URL: <https://surli.li/openwa> (дата звернення: 27.09.2025).

10. Virtual Reality Seminar. URL: <https://surli.li/zxwtuj> (дата звернення: 27.09.2025).

11. Апробація з використанням VR наукових праць учнів-членів Малої академії наук України. URL: <https://surli.li/gxpatb> (дата звернення: 27.09.2025).

12. Lemu H.G. Virtual Engineering in Design and Manufacturing. *Advances in Manufacturing*. 2014. Vol. 2, P. 289–294. DOI: [10.1007/s40436-014-0085-y](https://doi.org/10.1007/s40436-014-0085-y)

13. Jimeno-Morenilla A., Sánchez-Romero J. L., Col-Mirallas R. Using Virtual Reality for Industrial Design Learning: A Methodological Proposal. *Behaviour and Information Technology*. 2016. Vol. 35. P. 897–906.

14. Mikropoulos T.A., Natsis A. Educational Virtual Environments: A Ten-Year Review of Empirical Research (1999–2009). *Computers & Education*. 2011. Vol. 56, № 3. P. 769–780.

15. Lee E. A.-L., Wong K. W. A Review of Using Virtual Reality for Learning. *Transactions on Edutainment I: Lecture Notes in Computer Science*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008. P. 231–241

Дата першого надходження рукопису до видання: 09.09.2025
 Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 31.10.2025
 Дата публікації: 20.11.2025