

УДК 378:004.9

DOI: 10.31652/2412-1142-2023-68-168-181

Ткачук Вікторія Василівна

кандидат педагогічних наук, доцент,
доцент кафедри професійної та соціально-гуманітарної освіти,
Криворізький національний університет,
м. Кривий Ріг, Україна
ORCID ID 0000-0002-5879-5147
viktoriya.tkachuk@gmail.com

Єчкало Юлія Володимирівна

кандидат педагогічних наук, доцент,
доцент кафедри професійної та соціально-гуманітарної освіти,
Криворізький національний університет,
м. Кривий Ріг, Україна
ORCID ID 0000-0002-0164-8365
uliaechk@gmail.com

Хоцкіна Світлана Миколаївна

кандидат педагогічних наук, доцент,
завідувач кафедри професійної та соціально-гуманітарної освіти,
Криворізький національний університет,
м. Кривий Ріг, Україна
ORCID ID 0000-0002-0297-930X
khotskinasv@knu.edu.ua

Маркова Оксана Миколаївна

кандидат педагогічних наук, доцент,
старший викладач кафедри комп'ютерних систем та мереж,
Криворізький національний університет,
м. Кривий Ріг, Україна
ORCID ID 0000-0002-5236-6640
markova@knu.edu.ua

Хоцкіна Валентина Борисівна

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри інформатики і прикладного програмного забезпечення,
Державний університет економіки і технологій,
м. Кривий Ріг, Україна
ORCID ID 0000-0001-8963-4189
hotskina_yb@duet.edu.ua

ВИКОРИСТАННЯ ІМЕРСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У ПІДГОТОВЦІ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ

Анотація. Цифровізація усіх сфер діяльності людини призвела до значного підвищення вимог до підготовки сучасних інженерів. Це зумовило необхідність цифровізації процесу підготовки майбутніх фахівців. На думку науковців, найбільш ефективними і безпечними є технології віртуальної та доповненої реальності. Автори статті аналізують переваги та недоліки застосування цих технологій, а також описують приклади успішного впровадження імерсивних технологій у навчальний процес. Стаття також наголошує на необхідності підготовки викладачів до використання імерсивних технологій в навчальному процесі. Мета статті: аналіз особливостей використання імерсивних технологій у підготовці майбутніх інженерів. Завдання дослідження: проаналізувати досвід використання імерсивних технологій у підготовці майбутніх інженерів; навести елементи методики використання імерсивних технологій у підготовці майбутніх інженерів; дібрати засоби імерсивних технологій, таких як доповнена та віртуальна реальність, для супроводу навчання майбутніх інженерів у закладах вищої освіти. Об'єкт дослідження: використання імерсивних технологій у закладах вищої освіти. Предмет дослідження:

використання імерсивних технологій у підготовці майбутніх інженерів. Результати дослідження: у статті подано методику використання технологій віртуальної та доповненої реальності у процесі підготовки майбутніх інженерів. Методика була успішно впроваджена в лабораторіях Криворізького національного університету та довела свою ефективність під час дистанційного навчання в умовах пандемії COVID-19 та російської агресії в Україні. Висновок: застосування імерсивних технологій у навчанні майбутніх інженерів може значно поліпшити якість підготовки здобувачів і допомогти їм краще розуміти складні концепції та процеси. Тим не менш, необхідні подальші наукові розвідки у напрямі впровадження сучасних цифрових технологій у підготовку інженерів в університетах задля формування конкурентоспроможного компетентного фахівця.

Ключові слова: імерсивні технології; доповнена реальність; віртуальна реальність; підготовка майбутніх інженерів; цифровізація освіти; дистанційне навчання; пандемія COVID-19; російська агресія в Україні.

1. ВСТУП

Постановка проблеми. Останнім часом відбувається зростання кількості проектів із впровадження технологій доповненої (AR) та віртуальної реальності (VR), які активно застосовуються у різних сферах людського життя, від промисловості до освіти.

AR та VR є одними з ключових складових концепції «Індустрія 4.0» (рис. 1), і тому компанії по всьому світу інвестують значні кошти у їх розвиток. Наприклад, Google і Microsoft, які спочатку орієнтували свої продукти на споживчий ринок, зараз передбачили і промислове, і освітнє використання своїх технологій. Індустрія 4.0, що характеризується кіберфізичними системами, Інтернетом речей і комплексними мережами, що поєднують промислове виробництво з найсучаснішими інформаційно-комунікаційними технологіями, передбачає створення розумних, наприклад мережових і автоматизованих заводів [1].

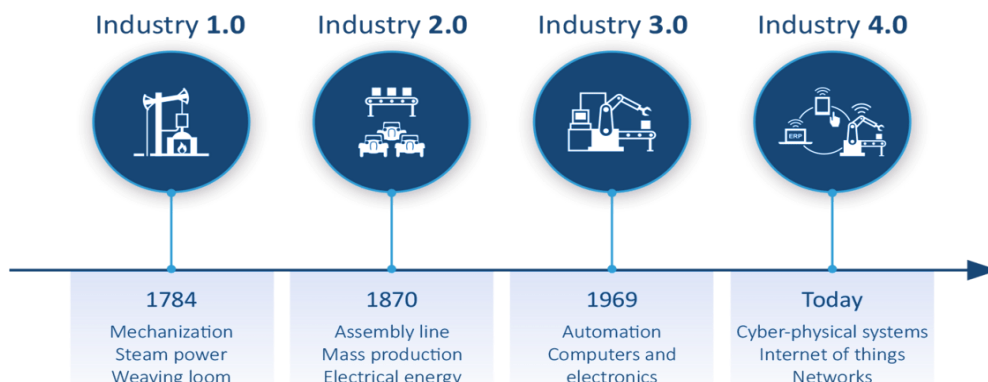


Рис. 1. Чотири промислові революції [1]

За останні роки відбувся перехід від традиційного виробництва до інтелектуального, що значно розширило можливості щодо виявлення небезпек і подальшого прийняття рішень для забезпечення безпеки виробництва.

Сучасні технології значно розширюють межі практичної підготовки майбутніх інженерів. Завдяки цим технологіям процес навчання можливо забезпечити високим рівнем симуляції виробничого середовища, яке сприймається людиною практично як реальне.

У процесі підготовки майбутніх інженерів технології AR та VR використовуються для вирішення різних завдань: від проектування нових промислових ліній та кінцевих виробів до навчання персоналу та сприяння при проведенні ремонтно-відновлювальних робіт. Завдяки застосуванню цих технологій під час навчання знижуються ризики неправильної експлуатації об'єктів та обладнання та роль людського фактору під час роботи на потенційно небезпечних об'єктах.

Взаємодія закладів вищої освіти та виробничників із розробниками імерсивних технологій дозволяє вирішити завдання, пов'язані з формуванням фахових компетентностей у майбутніх інженерів (рис. 2).

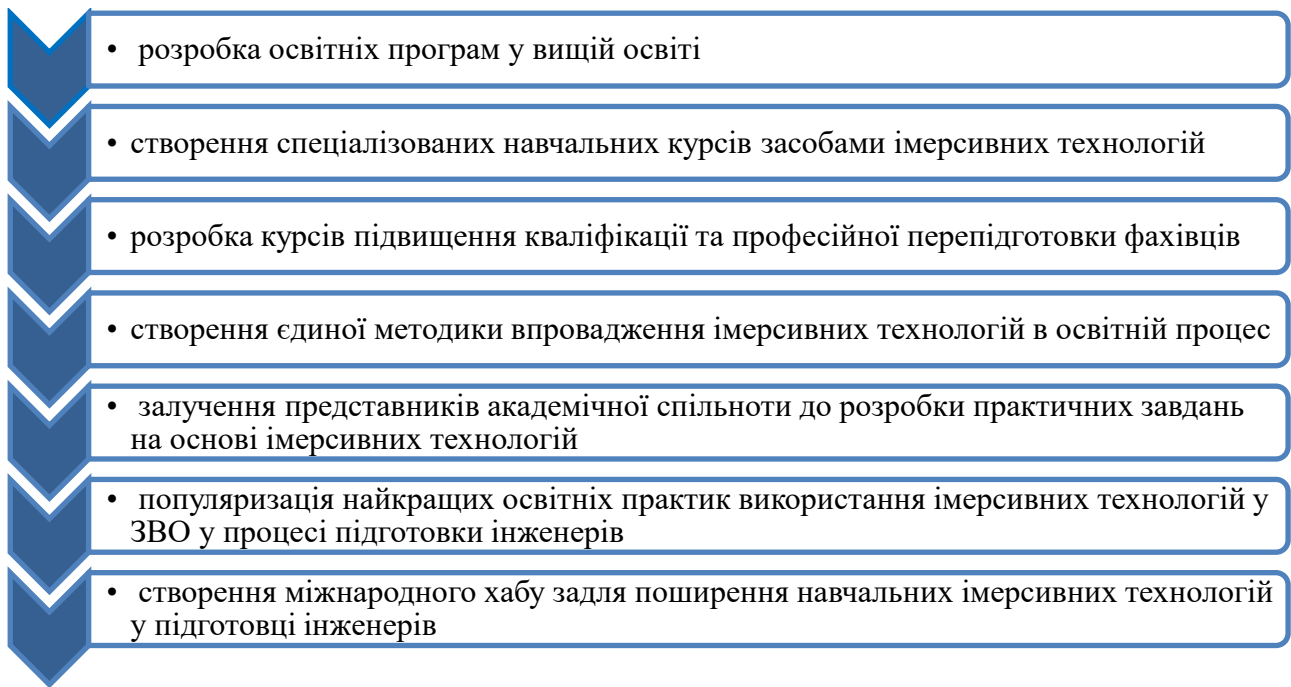


Рис. 2. Переваги співпраці ЗВО та виробників із розробниками імерсивних технологій

Основні переваги використання AR/VR у підготовці гірничих інженерів полягають в тому, що ці технології дозволяють навчати у AR/VR-середовищах, наближених до реального, а також імітувати віртуальні сценарії [2]. Очевидно, що впровадження в освітніх технологіях AR/VR потребує нових навчальних методик, які враховують рівень підготовки майбутніх інженерів та зміну ролі викладача [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. AR/VR-технології активно проваджуються у сучасну промисловість. Багато підприємств вже використовують їх для підвищення продуктивності та безпеки праці. Тому впровадження цих технологій у процес підготовки майбутніх інженерів є вимогою часу.

Австралія, Велика Британія та Сполучені Штати є лідерами з використання навчального середовища VR для симуляції гірничих робіт, реконструкції та розслідування аварій, техніки безпеки. Великобританія, зокрема, має насичену історію розробки та використання технологій віртуальної реальності в навчанні безпеки проведення робіт на підприємствах. Продукти VR, такі як SafeVR і Vroom, дуже відомі завдяки навчанню операторів вантажівок на відкритих кар'єрах [4].

Університети Австралії активно впроваджують технології VR при підготовці гірничих інженерів:

– Університет Квінсленду займається дослідженнями з розробки навчальних додатків VR, які включають: модель бурової установки, модель випробування породи Instron UCS та модель вентиляції [5];

– Університет Нового Південного Уельсу впроваджує VR середовище iCinema, яке містить 18 модулів для інтенсифікації навчальної діяльності під час навчання за інженерними напрямками [6]. Навчання з використанням iCinema (рис. 3) дозволяє здобувачам освіти розпізнавати складні робочі ситуації, а також проходити навчання в безпечному середовищі. Технологія дозволяє здобувачам взаємодіяти з VR-програмою, яка реагує на рух у просторі, та містить виробничі ситуації.



Рис. 3. Технологія iCinema в Університеті Нового Південного Уельсу [6]

Науковці Національного інституту безпеки та гігієни праці США дослідили, як гірничодобувна промисловість ефективно використовує гейміфікацію та VR для навчання рятуванню від пожежі. Дослідницька лабораторія Spokane розробила навчальне програмне забезпечення з пожежної евакуації для курсу навчання з безпеки в умовах проведення робіт в шахтах (рис. 4). У дослідженні було зазначено, що за результатами навчання з використанням VR суттєво покращуються навички здобувачів освіти щодо визначення належних шляхів евакуації під час можливих аварійних ситуацій [7].



Рис. 4. Додаток VR для перегляду стажером імітованої шахти [7]

Досвід навчальних закладів та підприємств Китаю полягає у використанні VR для навчання безпеки аварійно-рятувальних робіт. Науковці [8; 9] розробили хмарну систему VR для навчання інженерів, яка включає апаратне забезпечення VR, панорамну систему відображення на основі проєкцій, VR окуляри, дисплей, планшет та інші пристрої (рис. 5).



Рис. 5. Віртуальна система навчання та експериментальної лабораторії Китайського університету гірничої справи та технологій [9]

Для забезпечення дистанційного навчання майбутніх інженерів в умовах пандемії COVID-19 та російської агресії в Україні, викладачі кафедри фізики Криворізького національного університету розробили посібник з доповненою реальністю для виконання лабораторних робіт [10]. Майбутні інженери використовують смартфони для розпізнавання маркерів AR. У результаті на екрані з'являється демонстрація реальної лабораторної установки та процес її використання (рис. 6).

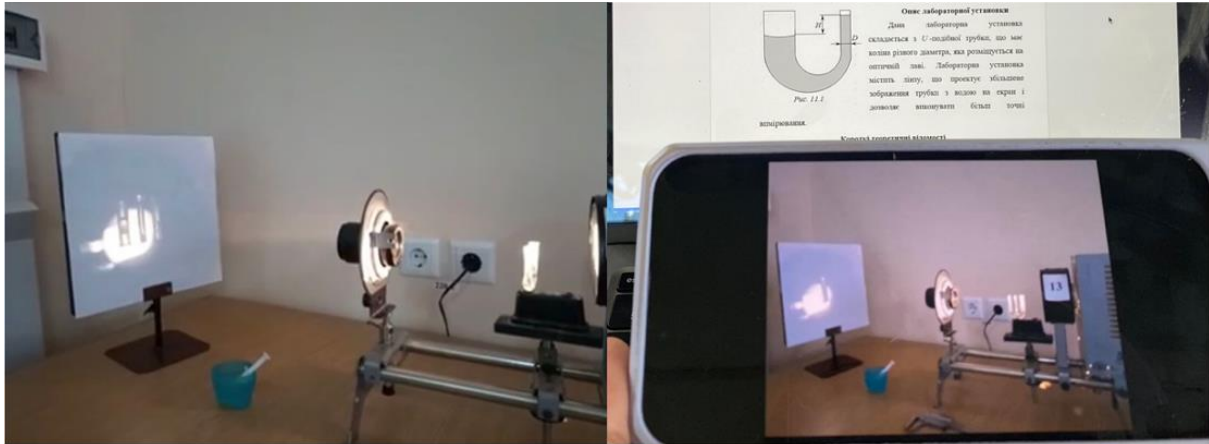


Рис. 6. Візуалізація інструкції до лабораторної роботи

Узагальнюючи вітчизняний та міжнародний досвід, можна зробити висновок, що у процесі підготовки майбутніх інженерів у ЗВО було створено багато курсів, навчальних лабораторій, науково-дослідницьких центрів з використанням імерсивних технологій. Таке навчання майбутніх інженерів допомагає підготувати їх до працевлаштування та заощаджує витрати на навчання.

Мета статті: аналіз особливостей використання імерсивних технологій у підготовці майбутніх інженерів.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Сучасні AR/VR-технології моделювання виробничих процесів розширюють межі практичної підготовки інженерів. У освітньому процесі важливо забезпечити високий рівень симуляції виробничого середовища, яке сприймається здобувачами освіти як реальне. Професійна підготовка майбутніх інженерів на базі використання технологій AR/VR дозволяє включити здобувачів освіти у виробничі процеси підприємства та залучити їх до майбутньої професійної діяльності.

Фундаментом розвитку VR/AR у промисловості стала автоматизація технологічних процесів в умовах цифрової трансформації сучасного суспільства. Значний ефект від впровадження VR/AR-технологій у процес практичної підготовки інженерів досягається шляхом формування фахових компетентностей у роботі з обладнанням.

Досвід використання VR у процесі підготовки майбутніх інженерів. Мобільний зв'язок, Інтернет речей, штучний інтелект і хмарні обчислення забезпечують інформаційну інфраструктуру, необхідну для інтелектуального виробництва. Завдяки цим сучасним технологіям створюються VR-системи наступного покоління, що покращують процес професійної адаптації та безпеки праці майбутніх інженерів [11; 12; 13; 14; 15; 16].

Особливості навчання за допомогою засобів VR дослідив автор [17]; у його дослідженнях зазначено, що ті, хто навчалися з використанням VR, навчалися у чотири рази швидше, ніж під час аудиторного навчання. Це навчання здійснювалось з використанням тренажерів VR (рис. 7) для навчання операторів і тренажерів технічного обслуговування, які є ключовими програмами VR для промисловості. Ці системи дозволяють викладачам контролювати навчання і надавати зворотний зв'язок здобувачам освіти. Особливість VR-навчання полягає в гейміфікації, що дає можливість повторювати навчальні дії до тих пір, доки не буде досягнуто бажаного рівня компетентності та продуктивності.



Рис. 7. VR та гейміфікація у підготовці майбутніх інженерів [17]

Компанія Maptek у співпраці з LlamaZOO MineLife розробили цифрові засоби VR для візуалізації виробничих процесів у гірничодобувних компаніях Канади, Австралії, Південної Африки. За допомогою LlamaZOO MineLife було створено цифрову модель шахти, яку можна досліджувати за допомогою гарнітури VR або комп'ютера (рис. 8). Дану технологію можна використовувати із навчальною метою у процесі фахової підготовки та перепідготовки майбутніх інженерів. Використання цифрової моделі шахти робить процес навчання майбутніх інженерів наближеним до реальних умов праці та, відповідно, безпечнішим [18].

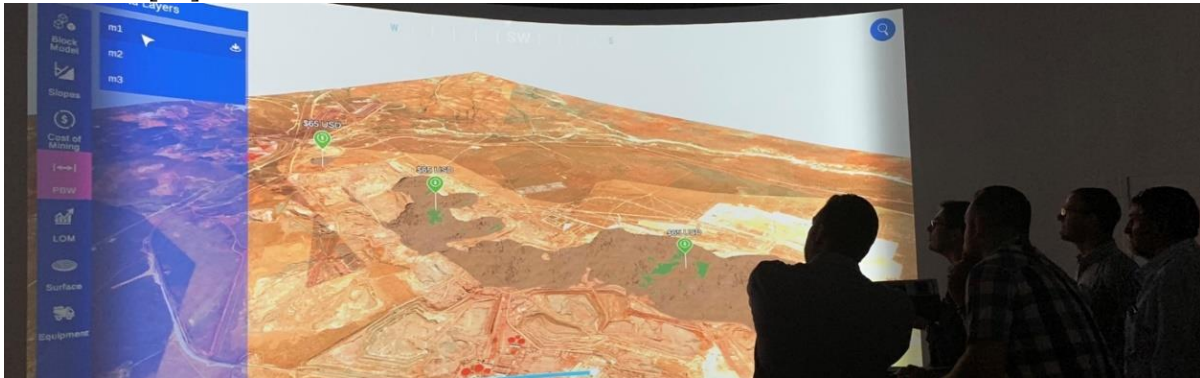


Рис. 8. Використання VR для моніторингу продуктивності в режимі реального часу [18]

Гірничодобувна компанія First Quantum Minerals встановила симулятори-тренажери Cybermine 5 Full-Mission від ThoroughTec на своєму підприємстві для навчання операторів шахтного обладнання. Кабіни-симулятори (рис. 9) є копіями реального шахтного обладнання, де інструменти працюють так само, як у справжньому шахтному просторі. Симулятори дозволяють операторам випробувати та відпрацювати необхідні навички під час надзвичайних ситуацій (несправність гальм, пожежі тощо). Слід відзначити здатність двох симуляторів взаємодіяти між собою та навчати працівників командній роботі у реальних виробничих ситуаціях [19].



Рис. 9. VR кабіна-симулятор [19]

Отже, VR є важливою частиною інтелектуального виробництва, але при цьому існує ряд проблем при впровадженні цих технологій у процес підготовки інженерів: 1) вони є коштовними; 2) відсутність методик розрахунку ефективності впровадження таких технологій; 3) VR-технології потребують попереднього навчання інструкторів; 4) VR-технології мають складний процес адаптації до різних виробничих ситуацій у різних регіонах.

Досвід використання AR у процесі підготовки майбутніх інженерів. Технології AR у різних галузях промисловості швидко розвиваються та сприяють еволюції методів і засобів підготовки фахівців. Під час використання AR цифровий контент накладається на реальне виробниче середовище та робить процес навчання максимально наближеним до виробничих умов. Перевагою таких технологій є малий коефіцієнт капіталовкладень та для їх застосування достатньо мати смартфон.

AR-тренажери дозволяють готувати майбутніх інженерів до роботи на виробництві, не виїжджаючи на промислові об'єкти. Використання AR створює умови до залучення провідних фахівців підприємств до дистанційного консультування майбутніх інженерів.

При проведенні досліджень науковцями розроблена платформа AR для безпілотного процесу проведення технологічного процесу видобутку в шахтах, яка продемонструвала хороші результати та стабільну роботу. Дослідники зазначили ряд переваг такого підходу до навчання проведення технологічного процесу видобутку, основним з яких є висока ефективність, безпека та низька вартість [20].

Компанія RealWear розробила ергономічний пристрій (рис. 10), який кріпиться під каску та не заважає використанню захисних окулярів у промисловому середовищі. Пристрій допомагає робітникам отримувати доступ до документів (інструкцій, креслень), прискорює взаємодію з іншими співробітниками, а також полегшує навігацію на підприємстві [21].

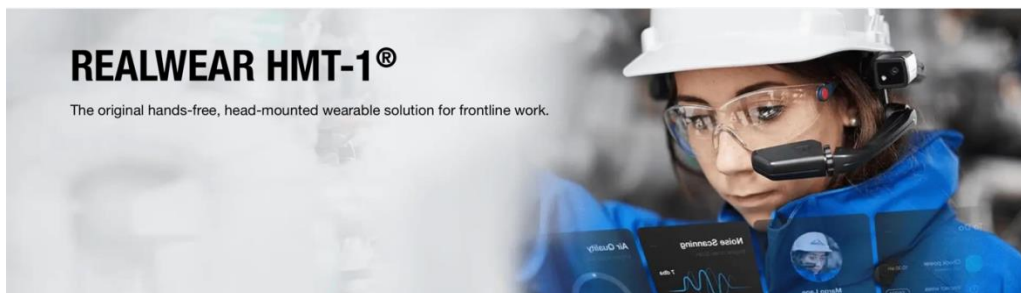


Рис. 10. Hands-Free AR з візуальними інструкціями [21]

Компанія DAQRI розробила AR-гарнітуру (рис. 11) для потреб інженерів та технічних фахівців, яка призначена для використання під час проведення ремонтно-відновлювальних робіт, технічного обслуговування та інспекції промислових об'єктів. Під час роботи на підприємстві для співробітника на екран виводяться інструкції з завданням. Крім того, робітник може дистанційно підключити до своєї роботи наставника чи експерта [22].

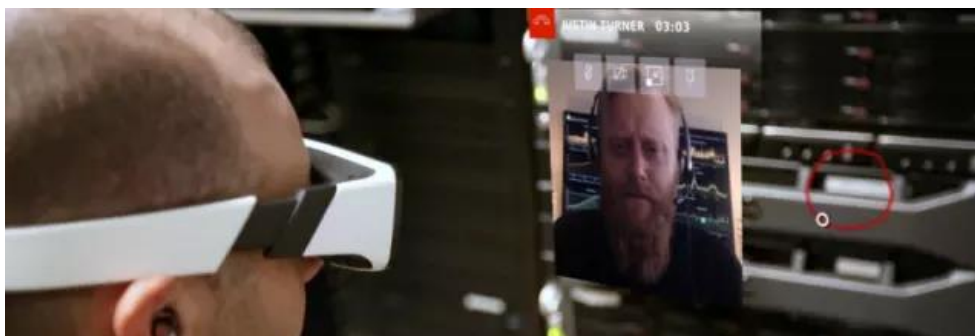


Рис. 11. Шолом AR від DAQRI [22]

Компанія Plutomen проектує та розробляє інноваційні технології AR (рис. 12), які покращують виробничі процеси, навчають інженерів та усувають обмеження місця та часу для спілкування між працівниками та експертами. За допомогою цієї технології експерти, які перебувають на великій відстані від технологічних установок, можуть бачити виробничу ситуацію за допомогою майбутнього інженера в AR-окулярах і віддалено давати йому консультації щодо діагностики, ремонту або управління обладнанням [23].



Рис. 12. AR і VR у промисловості [23]

Компанія VSight розробляє додатки на основі технології AR (рис. 13), які призначені для удосконалення процесів технічного обслуговування та ремонту устаткування, буріння, віддаленої допомоги оператору в режимі реального часу, навчання майбутніх фахівців [24].



Рис. 13. Промислова платформа віддаленого обслуговування на базі AR [24]

AR-засоби SensPlus Buddy (рис. 14) забезпечують комунікацію за допомогою смартфона задля віддаленої підтримки технічних спеціалістів на об'єктах промисловості. Обмін інформацією відбувається шляхом надсилання зображень та тексту, що підвищує ефективність робіт з технічного обслуговування та знижує кількість помилок [25].



Рис. 14. Служба комунікаційної підтримки SensPlus Buddy [25]

Особливістю AR-технології TOMRA Visual Assist (рис. 15) є три види підтримки: 1) підтримка за допомогою телефону та електронної пошти; 2) підтримка за допомогою функцій моніторингу в реальному часі; 3) дистанційний вхід у систему клієнта сервісних інженерів TOMRA [26].



Рис. 15. Інструмент AR для віддаленої допомоги TOMRA Visual Assist [26]

Отже, використання AR-технологій дозволяє забезпечити високий рівень операційної готовності і підвищити загальну ефективність процесу підготовки майбутніх інженерів. Однак, необхідні подальші дослідження для стимулювання більш інтенсивного впровадження навчання на основі віртуальної та доповненої реальності. Навчання з використанням AR є ефективним, оскільки воно повністю занурює майбутнього інженера в середовище промислового підприємства та дозволяє виконувати виробничі завдання на тренажерах, отримуючи дистанційні консультації експертів та більш досвідчених фахівців. Практично спрямоване навчання має значний вплив на формування фахових компетентностей, необхідних для роботи на підприємстві.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Ключовими факторами для підготовки інженерів є формування фахових компетентностей під час навчання, спрямованих на усунення розриву між університетською освітою та реальним виробництвом.

У процесі підготовки здобувачів вищої освіти інженерних спеціальностей викладачі Криворізького національного університету розробили методичні матеріали із використанням AR-технологій. Використання таких матеріалів ефективно для самостійної роботи здобувачів освіти під час дистанційного навчання, особливо в умовах пандемії COVID-19 та російської агресії в Україні.

Пропонуємо методику підготовки навчальних матеріалів для майбутніх інженерів на базі AR для модернізації і цифровізації інженерної освіти.

1

- відео з цифровими навчальними матеріалами, які відповідають темі вашого заняття, є у вільному доступі в Інтернеті, наприклад на таких ресурсах:

–<https://www.imaker.ca/portfolio>;
–<https://www.herrenknecht.com/en/products/productdetail/gripper-tbm/>;
–<https://www.youtube.com/@HerrenknechtAG>.

Пропонуємо як приклад відео від компанії Herrenknecht AG (рис. 16).



Рис. 16. Розточувальний верстат

2

- можна використати різні програми AR для візуалізації навчального матеріалу, наприклад:

- програми для створення об'єктів AR (<https://arize.io>; <https://www.augment.com>);
- програми для створення QR-кодів (<https://goqr.me>; <https://www.qrstuff.com>) (рис. 17).

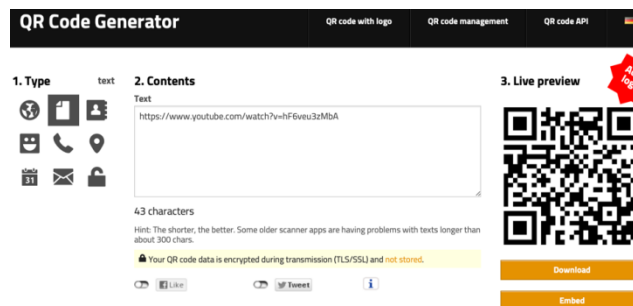


Рис. 17. Програми для створення QR-кодів (<https://goqr.me>)

3

- за допомогою обраної програми можна створити QR-код або об'єкт AR

У підготовці навчальних матеріалів ми обрали програму для створення QR-кодів (<https://goqr.me>) та отримали QR-код із посиланням на відео (рис. 18).



Рис. 18. QR-код із посиланням на відео <https://youtu.be/hF6veu3zMbA>

4

- у методичні вказівки до лабораторних робіт додаються QR-коди із посиланням на навчальні відео

Під час виконання лабораторних робіт здобувачі освіти мають виконати наступну послідовність дій: 1) відкрити додаток Камера на смартфоні; 2) навести камеру на маркер AR або QR-код і відсканувати його; 3) у результаті на екрані демонструється навчальне відео (рис. 19).



Рис. 19. Візуалізація навчальних відео під час виконання лабораторних робіт

Такий спосіб викладення матеріалу був дуже ефективний під час дистанційного навчання в умовах пандемії COVID-19 та російської агресії в Україні. Так, у процесі вивчення дисципліни «Безпека вибухових робіт» викладачі візуалізували навчальні матеріали за допомогою QR-кодів. Здобувачам достатньо відсканувати QR-код (рис. 20) і переглянути різні види вибухів. Слід зазначити, що здобувачі освіти залишаються у безпечному місці і отримують усю повноту інформації.

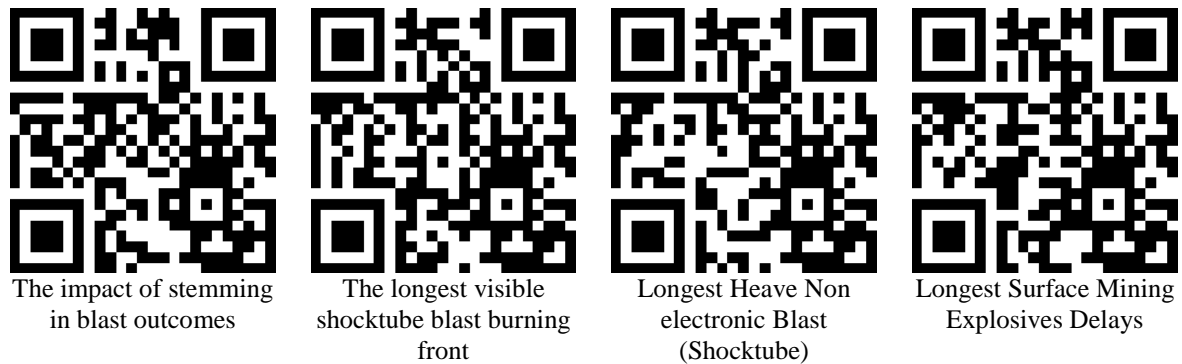


Рис. 20. Види вибухів у кар'єрах [27]

Використання AR у процесі виконання лабораторних робіт майбутніми інженерами є ефективним інструментом мотивації здобувачів до навчальної діяльності та веде до розвитку дослідницьких компетентностей. Здобувачі краще розуміють абстрактні теоретичні моделі виробничих процесів завдяки візуалізації AR.

Отже, у результаті аналізу поданих матеріалів, робимо висновок, що впровадження AR/VR-технологій у процес підготовки майбутніх інженерів в Україні є перспективним напрямом подальших досліджень. Перспективи подальших досліджень подано на рис. 21.

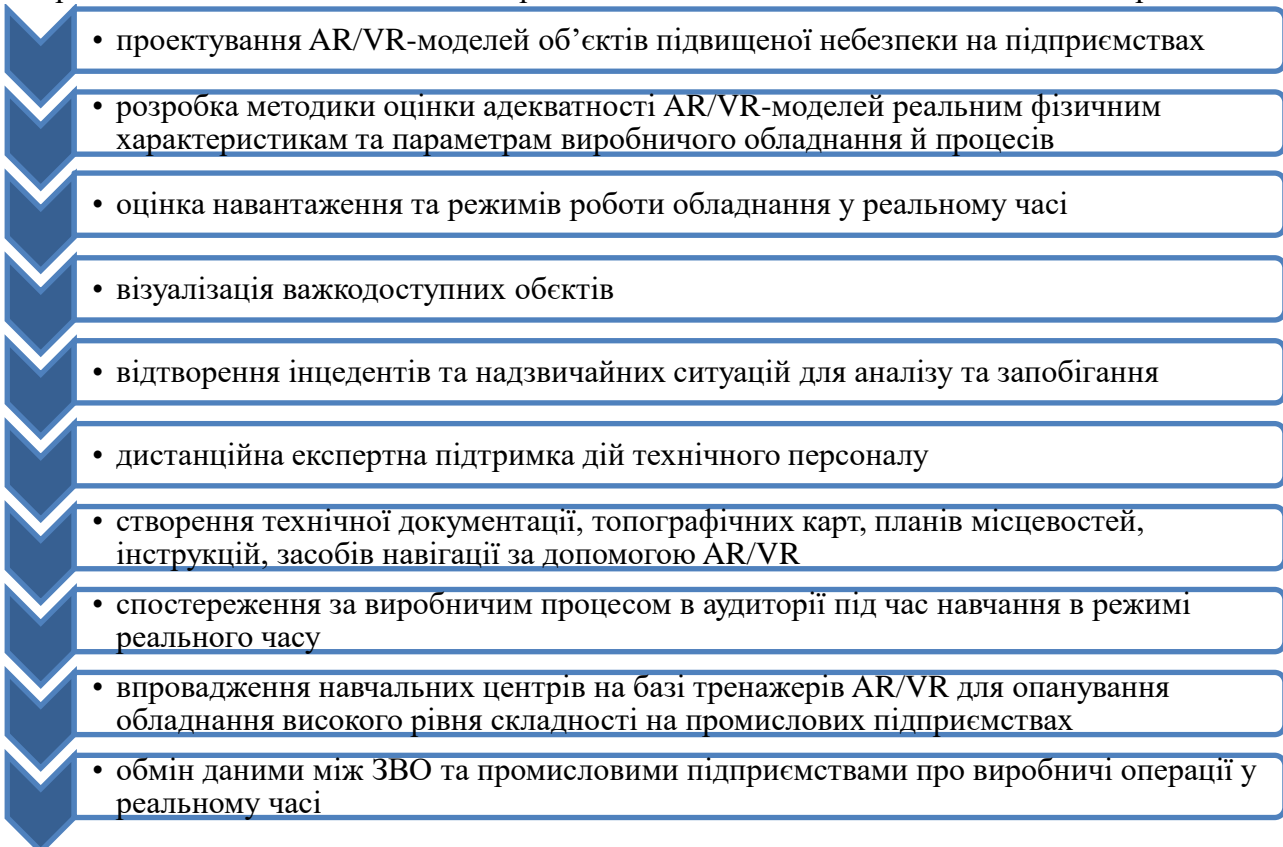


Рис. 21. Перспективні напрями досліджень щодо впровадження AR/VR-технологій у процес підготовки інженерів в Україні

4. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Аналіз джерел з проблеми підготовки майбутніх інженерів показав, що міжнародний досвід використання AR/VR-технологій у промисловості є позитивним та демонструє тенденції до розвитку.

AR/VR-технології як засіб інтелектуального виробництва є новим інструментом у підготовці інженерів до управління виробничими процесами. Особливо ефективними ці технології є для візуалізації розташування персоналу, моніторингу безпеки та керування обладнанням. Слід зазначити, що технології AR/VR є доцільними для формування безпекової складової фахової компетентності під час навчання техніки безпеки та проведення технологічних процесів на підприємствах, що дозволяє уникнути аварійних ситуацій. Перевагою AR/VR-технологій у процесі підготовки інженерів є можливість наочно представити майбутній виробничий процес.

Подана у цій статті методика використання AR/VR-технологій у підготовці майбутніх інженерів дала змогу викладачам легко та ефективно впровадити ці технології у навчальний процес під час дистанційного навчання в умовах пандемії COVID-19 та російської агресії в Україні. Навчальні матеріали на базі AR/VR-технологій сприяють модернізації процесу підготовки конкурентоспроможних фахівців.

У якості можливих напрямів подальших досліджень виділимо: розробку AR/VR-середовищ для навчання; використання AR/VR-технологій для підвищення інтерактивності та залучення здобувачів; використання AR/VR-технологій для покращення дистанційного навчання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] IoT & Industry 4.0. (2020). b.telligent. <https://www.btelligent.com/en/portfolio/industry-40/>
- [2] Abdelrazeq, A., Daling, L., Suppes, R., Feldmann, Y. & Hees, F. (2019, March 11–13). A virtual reality educational tool in the context of mining engineering : the virtual reality mine [Conference session]. 13th International Technology, Education and Development Conference, Valencia, Spain. <https://doi.org/10.21125/inted.2019.2002>
- [3] Daling, L., Kommetter, C., Abdelrazeq, A., Ebner, M. & Ebner, M. (2020). Mixed Reality Books: Applying Augmented and Virtual Reality in Mining Engineering Education. In: V. Geroimenko (Ed.), *Augmented Reality in Education* (pp. 185–195). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-42156-4>
- [4] Schofield, D., Denby, B., Hollands, R. (2001). Mine safety in the twenty-first century: the application of computer graphics and virtual reality. In M. Karmis (Ed.), *Mine Health and Safety Management* (pp. 153–174). Society of Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.
- [5] Kizil, M. S., Kerridge, A. P., Hancock, M. G. (2004, June 15–16). Use of virtual reality in mining education and training [Conference session]. CRC Mining Research and Effective Technology Transfer Conference, Noosa Heads, Australia. <https://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:100045>
- [6] Del Favero, D., Hardjono, F. (2012). Building VR: Project Overview. iCinema. <http://www.icinema.unsw.edu.au/projects/building-vr/project-overview/>
- [7] Orr, T. J., Mallet, L. G., Margolis, K. A. (2009). Enhanced fire escape training for mine workers using virtual reality simulation. *Mining Engineering*, 61(11), 41–44. <https://www.cdc.gov/niosh/mining%5C/UserFiles/works/pdfs/efetfm.pdf>
- [8] Li, M., Sun, Z. M., Lyu, P. Y., Chen, J., & Mao, S. (2018). Study on key technology of multiplayer virtual reality training platform for fully-mechanized coal mining face. *Coal Science and Technology*, 46(1), 156–161. <https://doi.org/10.1155/2020/6243085>
- [9] Li, M., Sun, Zh., Jiang, Zh., Tan, Zh., Chen, J. (2020). A Virtual Reality Platform for Safety Training in Coal Mines with AI and Cloud Computing. *Multi-Goal Decision Making for Applications in Nature and Society*, 2020. <https://doi.org/10.1155/2020/6243085>
- [10] Yechkalo, Y., Tkachuk, V., Hrunтова, T., Brovko, D. & Tron, V. (2019). Augmented reality in training engineering students: Teaching methods. *CEUR Workshop Proceedings*, 2393, 952–959. <http://ceur-ws.org/Vol-2393/>
- [11] Bastug, E., Bennis, M., Medard, M., & Debbah, M. (2017). Toward interconnected virtual reality: opportunities, challenges, and enablers. *IEEE Communications Magazine*, 55(6), 110–117. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2017.1601089>
- [12] Daling, L. M., Khodaei, S., Thurner S. (2021). A decision matrix for implementing AR, 360° and VR experiences into mining engineering education. In C. Stephanidis, M. Antona, S. Ntoa (Eds.), *Communications in Computer and Information Science*, (pp. 225–232). Springer Science and Business Media. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78642-7_30

- [13] Grabowski, A., Jankowski, J. (2015). Virtual reality-based pilot training for underground coal miners. *Safety Science*, 72, 310–314. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2014.09.017>
- [14] Mitra, R., Saydam, S. (2014). Can artificial intelligence and fuzzy logic be integrated into virtual reality applications in mining? *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 114(12), 1009–1016.
https://www.researchgate.net/publication/279325623_Can_artificial_intelligence_and_fuzzy_logic_be_integrated_into_virtual_reality_applications_in_mining
- [15] Someswar, M., Bhattacharya, A. (2018, January 11). MineAr: using crowd knowledge for mining association rules in the health domain [Conference session]. *ACM India Joint International Conference on Data Science and Management of Data*, New York, NY, USA. <https://doi.org/10.1145/3152494.3152504>
- [16] IoT & Industry 4.0. (2020). b.telligent. <https://www.btelligent.com/en/portfolio/industry-40/>
- [17] Bharathy, C. (2021, July 26). Virtual Reality is a Game Changer for the Mining Industry. *Fusion VR*. <https://www.fusionvr.in/blog/2021/07/26/virtual-reality-is-a-game-changer-for-the-mining-industry/>
- [18] Sykes, J. (2019, March 21). How data visualisation is revolutionising mining. *Maptek Pty Limited*. <https://www.maptek.com/blogs/how-data-visualisation-is-revolutionising-mining/>
- [19] Cybermine Full Mission Mining Simulators. (2022). *ThoroughTec Simulation*. https://www.thoroughtec.com/cybermine-full-mission-mining-simulators/?gclid=Cj0KCQiA8aOeBhCWARIsANRFRQHl8DOib0VikhOtAbrAaEr4W1GqVwPflrlddO_HVa8P6JzGj14VpM8aArmzEALw_wcB
- [20] Fang, J., Fan, C., Wang, F. et al. (2022). Augmented Reality Platform for the Unmanned Mining Process in Underground Mines. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 39, 385–395. <https://doi.org/10.1007/s42461-021-00537-1>
- [21] Reality First, Digital Second. (2020). *RealWear*. <https://www.realwear.com/hmt-1/>
- [22] Wheeler, A. (2019, October 9). DAQRI is Closing Up Shop: Another very promising industrial AR startup is biting the proverbial dust. *engineering.com*. <https://www.engineering.com/story/daqri-is-closing-up-shop>
- [23] Kanani, H. (2019, October 1). AR and VR in Mining Industry : Transforming the Future. *Plutomen*. <https://pluto-men.com/ar-and-vr-in-mining-industry-transforming-the-future/#>
- [24] Malecaj, L. (2021, August 9). Augmented Reality Revolutionizing Mining Industry. *VSight*. <https://vsight.io/blog/augmented-reality-revolutionizing-mining-industry/>
- [25] SensPlus Buddy Communication. (2019). *Yokogawa Electric Corporation*. <https://www.yokogawa.com/solutions/products-and-services/lifecycle-services/operation-and-maintenance-improvement/sensplus-buddy-communication/#Details>
- [26] De Paoli, C. (2021, May 14). Tomra Expands Its Mining Services With a New Augmented Reality Tool: Tomra Visual Assist. *Heavy Quip Magazine*. <https://www.heavyquipmag.com/2021/05/14/tomra-expands-its-mining-services-with-a-new-augmented-reality-tool-tomra-visual-assist/>
- [27] Ignite EDD [Video]. (2022). *YouTube*. <https://www.youtube.com/@igniteEDD>

USE OF IMMERSIVE TECHNOLOGIES IN THE TRAINING OF FUTURE ENGINEERS

Tkachuk Viktoriia Vasylivna

PhD, Associate Professor,

Associate Professor of the Department of Vocational and Socio-Humanitarian Education,

Kryvyi Rih National University,

Kryvyi Rih, Ukraine

ORCID ID 0000-0002-5879-5147

viktoriya.tkachuk@gmail.com

Yechkalo Yuliia Volodymyrivna

PhD, Associate Professor,

Associate Professor of the Department of Vocational and Socio-Humanitarian Education,

Kryvyi Rih National University,

Kryvyi Rih, Ukraine

ORCID ID 0000-0002-0164-8365

uliaechk@gmail.com

Khotskina Svitlana Mykolaivna

PhD, Associate Professor,

Head of the Department of Vocational and Socio-Humanitarian Education,

Kryvyi Rih National University,

Kryvyi Rih, Ukraine

ORCID ID 0000-0002-0297-930X

khotskinasv@knu.edu.ua

Markova Oksana Mykolaivna

PhD, Associate Professor,
Senior Lecturer of the Department of Computer Systems and Networks,
Kryvyi Rih National University,
Kryvyi Rih, Ukraine
ORCID ID 0000-0002-5236-6640
markova@knu.edu.ua

Khotskina Valentyna Borysivna

PhD, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Informatics and Applied Software,
State University of Economics and Technology,
Kryvyi Rih, Ukraine
ORCID ID 0000-0001-8963-4189
hotskina_vb@duet.edu.ua

Abstract. The digitalization of all spheres of human activity has led to a significant increase in the requirements for the training of modern engineers. This has been necessitated the digitalization of the process of training future specialists. According to scientists, the most effective and safe technologies are virtual and augmented reality. The authors of the article analyse the advantages and disadvantages of using these technologies and describe examples of successful implementation of immersive technologies in the educational process. The paper also emphasizes the need to train teachers to use immersive technologies in the educational process. The purpose of the paper: analysis the peculiarities of using immersive technologies in the training of future engineers. Objectives of the study: analyse the experience of using immersive technologies in the training of future engineers; present elements of the methodology of using immersive technologies in the training of future engineers, select immersive technologies, such as augmented and virtual reality, support the training of future engineers in higher education institutions. Object of research: use of immersive technologies in higher education institutions. Subject of the study: use of immersive technologies in the training of future engineers. Results of the study: the paper presents a methodology for using virtual and augmented reality technologies in the training of future engineers. The methodology was successfully implemented in the laboratories of Kryvyi Rih National University and proved to be effective in distance learning in the context of the COVID-19 pandemic and russian military aggression against Ukraine. Conclusions: use of immersive technologies in the training of future engineers can significantly improve the quality of training and help them better understand complex concepts and processes. Nevertheless, further research and development is needed to introduce modern digital technologies in the training of engineers at universities to form a competitive and competent specialist.

Keywords: Immersive Technologies; Augmented Reality (AR); Virtual Reality (VR); Training of Future Engineers; Digital Education; Distance Learning; COVID-19 Pandemic; russian Military Aggression Against Ukraine