

УДК 621.311:004.94:378:004.9

ЗАСТОСУВАННЯ ІМЕРСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ В ЕНЕРГЕТИЦІ

Волошинов С.А. - доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри гідротехнічного будівництва, водної та електричної інженерії, Херсонський державний аграрно-економічний університет.

ORCID: 0000-0001-7436-514X

Scopus-Author ID: 57214802832

У статті розглянуто застосування імерсивних технологій в освітньому процесі підготовки майбутніх енергетиків під час вивчення цифрових двійників, що є складовою частиною освітньої компоненти «Інформаційні технології в енергетиці». Метою статті є проведення аналізу особливостей використання імерсивних технологій у підготовці майбутніх енергетиків. Завданням дослідження є проаналізувати досвід використання технологій віртуальної реальності та запропонувати елементи методичної системи їх впровадження. Об'єктом дослідження є використання імерсивних технологій в освітньому процесі. Предметом дослідження є використання технологій віртуальної реальності у підготовці майбутніх енергетиків.

У статті здійснено аналіз застосування імерсивних технологій в освіті та описано приклад використання віртуальної реальності в освітньому процесі. Запропоновані елементи методики використання технологій віртуальної реальності у підготовці майбутніх енергетиків. Проведено аналіз завдань які можна реалізовувати завдяки застосуванню імерсивних технологій. Визначено структуру цифрового двійника та особливості підготовки майбутніх енергетиків в умовах цифрової трансформації енергосистеми України. Визначено, що застосування технологій віртуальної

реальності у системі підготовки майбутніх енергетиків може значно покращити якість підготовки здобувачів й допомогти їм зі швидкою адаптацією на робочому місці, де потрібно на якісно новому рівні розуміти складні концепції та процеси, які все більше використовуються в енергетиці України. Встановлено, що одним з найкращих рішень для вивчення цифрових двійників є застосування технології віртуальної реальності. Визначено, що подальші наукові дослідження необхідно продовжувати у напрямі цифровізації та застосування імерсивних технологій в освітньому процесі.

Ключові слова: електроенергетика; цифровий двійник; імерсивні технології; віртуальна реальність; підготовка майбутніх енергетиків; цифровізація освіти; дистанційне навчання.

Voloshynov S.A. Application of immersive technologies to study digital twins in energy.

Application of immersive technologies in the educational process for training future power engineers during studying digital twins is considered in the article; this is an integral part of the educational component "Information technologies in the energy sector." The article is aimed at analyzing the features of the use of immersive technologies in the process of training of future power engineers. The task of the study is to analyze the experience of using virtual reality technologies and propose a methodological system for their implementation. The object of research is the use of immersive technologies in the educational process. The subject of research is the use of virtual reality technology in the training of future power engineers.

The article analyzes the application of immersive technologies in education and describes an example of the use of virtual reality in the educational process. Elements of the methodology for using virtual reality technologies in the training of future power engineers are proposed. An analysis of exercises available for implementation through the use of immersive technologies has been carried out. Structure of digital twin and peculiarities of training future power engineers under the conditions of digital transformation of the energy system of Ukraine are

determined. It has been determined that the use of virtual reality technologies in the system of training of future power engineers can significantly improve the quality of students' training and help them with rapid adaptation in their workplace; where it is necessary to understand complex concepts and processes that are increasingly used in the energy sector of Ukraine at a qualitatively new level. It is proved that the best solution for studying digital twins is the use of virtual reality technology. It is determined that further scientific research should be continued in the direction of digitalization and application of immersive technologies in the educational process.

Keywords: *electric power industry; digital twin; immersive technologies; virtual reality; training of future power engineers; digitalization of education; distance learning.*

Постановка проблеми. Останнім часом процеси Індустріалізації 4.0 принесли в життя людей та суспільства в цілому суттєві зміни, що призвело до цифровізації усіх сфер діяльності людини. У сучасних умовах трансформації енергетики України, викликаній запровадженням нових систем керування в електроенергетичних системах, зростанням обсягів виробництва децентралізованої генерації, перехід до відновлюваних джерел енергії та збільшенням учасників ринку електричної енергії, розвиток систем зберігання електроенергії, віртуальних електростанцій, підвищення ефективності енергосистеми — цифрові технології стають фундаментальним чинником сталого розвитку енергетичної галузі України. У зв'язку з цим докорінно змінюються вимоги у якості підготовки майбутніх енергетиків, що своєю чергою, висуває нові вимоги до якості організації освітнього процесу, зокрема необхідності цифровізації процесу підготовки майбутніх фахівців.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виклики, пов'язані спочатку з пандемією COVID-19, а потім із російською агресією в Україну, призвели до збільшення частини навчання за допомогою цифрових засобів у порівнянні з очним у системі змішаного навчання. Система освіти України перебуває в процесі цифрової трансформації. Використання цифрових технологій

дозволяє розширити можливості навчання та все більше викладачів усвідомлюють потенціал нових технологій для трансформації викладання.

Університети США активно впроваджують в освітню діяльність імерсивні технології:

– Університет Морхауса, університет Айови, Гарвардський університет, запроваджують проекти в галузі метауніверситету для створення цифрового двійника в кампусі;

— Мічиганський університет розробляє програми XR (наприклад, Лабораторія ядерних реакторів).

Університети Австралії впроваджують технології віртуальної реальності (VR) у навчанні гірничих інженерів. Так Університет Квінсленду займається розробкою застосунків VR, завдяки яким зроблена цифрова модель бурової установки та модель вентиляції. Університет Нового Південного Уельсу впроваджує VR середовище iCinema для навчання інженерів. Технологія дозволяє здобувачам взаємодіяти з віртуальним середовищем, яке реагує на рух у просторі, та містить реальні робочі ситуації [1].

Імерсивні технології (розширена реальність, XR) по всьому світу інтенсивно розвиваються. Розширена реальність (XR) це технології, що дозволяють використовувати доповнену реальність (AR), віртуальну реальність (VR) та змішану реальність (MR), 360⁰-відео та об'ємний звук. Інтеграція імерсивних технологій в освітній процес може відбуватися як синхронно (лекції та презентації в аудиторії, спільні та проектні студії, оцінювання та віртуальні лабораторії) так і асинхронно (асинхронна групова робота та виконання проектів, віртуальні середовища та лабораторії, VR та AR на вимогу здобувачів, масові відкриті онлайн-курси). Використання технологій AR та VR у підготовці майбутніх енергетиків полягають в тому, що створюється цифрове віртуальне середовище максимально наближене до реального яке імітує реальні робочі ситуації. [2].

Особливості навчання за допомогою VR було досліджено Bharathy, S. Він визначив, що ті, хто навчалися із застосуванням технології віртуальної

реальності навчалися у чотири рази швидше, ніж під час навчання в аудиторії. Воно здійснювалось з використанням тренажерів VR для навчання операторів і тренажерів з технічного обслуговування. Ця технологія дозволяє викладачам контролювати хід навчання, отримувати зворотний зв'язок зі здобувачами освіти та проводити якісне оцінювання. Особливість VR-навчання полягає в застосуванні елементів гейміфікації, що дає можливість робити помилки та повторювати навчальні дії до тих пір, доки не буде досягнуто визначеного рівня компетентності без завдання шкоди реальному обладнанню. [3]. Наш досвід впровадження технологій віртуальної реальності цілком збігається з цим дослідженням.

Виклад основного матеріалу. Індустріалізація 4.0 — це нова парадигма цифрової трансформації виробництва, що базується на автоматизації, обміні даними в реальному часі, інтеграції кіберфізичних систем, хмарних технологій та штучного інтелекту. В енергетиці це означає перехід до енергоефективних і високонадійних енергосистем нового покоління із забезпеченням їх гнучкості та надійності.

Цифрова трансформація енергетики базується на наступних принципах: цифровізація, децентралізація, інтелектуалізація та сервіси на вимогу. [4]. Одним з яскравіших прикладом цифровізації енергетики є застосування цифрових двійників. Динамічний розвиток систем автоматизації, прогнозування та моніторингу енергетичних процесів призвів до того, що цифрові двійники швидко перетворилися з концептуального інструменту в критичну технологію для проектування, експлуатації та оптимізації об'єктів енергетичної інфраструктури, які дозволили скоротити витрати на технічне обслуговування до 30% та підвищити ефективність системи до 20%. [5].

Цифровий двійник в енергетиці — це віртуальна модель фізичного об'єкта або системи, яка дозволяє аналізувати стан, прогнозувати поведінку та оптимізувати роботу енергетичних об'єктів у режимі реального часу. Цифровий двійник включає наступні компоненти: фізичний об'єкт (турбіна, генератор, трансформатор, електричний щит керування високовольтною

мережею), віртуальна модель та канал двостороннього обміну даними для синхронізації станів у реальному часі [6].

Фізичний об'єкт — це будь-яке обладнання, оснащене різноманітними сенсорами та IoT-датчиками, які в режимі реального часу збирають дані (навантаження, напругу, температуру та інші) та передають його цифровій копії.

Віртуальна модель — це блок аналітики де відбувається обробка отриманої інформації за допомогою алгоритмів машинного навчання і візуалізація об'єкту. Це дозволяє бачити поточну картину (як об'єкт поводить зараз) і робити прогнози (як об'єкт поводитиметься в майбутньому).

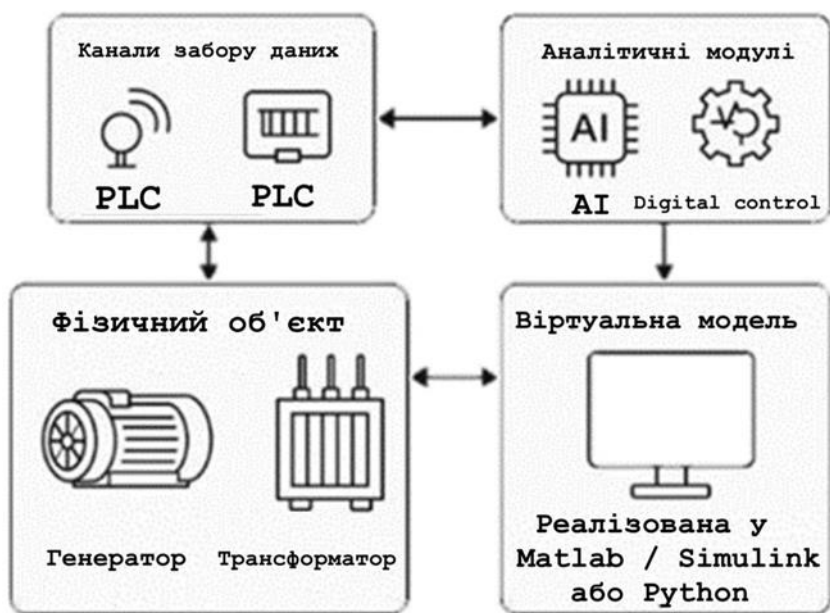


Рис.1. Структура цифрового двійника системи енергопостачання. [7]

Для створення цифрової копії використовують сенсори, датчики та інші smart-об'єкти, а також канали передачі даних. Але в основі процесу, що дозволяє створювати віртуальну копію, яка синхронізується з реальним об'єктом у режимі реального часу, лежать наступні технології:

— Інтернет речей (IoT) — мережа сенсорів та датчиків, які збирають та передають сигнали від фізичного об'єкта у хмару і цим забезпечують взаємодію системи з хмарою.

— Штучний інтелект (AI) головний аналітичний центр системи, обробляє великі масиви даних для виявлення аномалій, прихованих патернів та автоматичного прийняття рішень без участі людини.

— Машинне навчання (ML) — дозволяє двійникові вдосконалюватися, навчаючись на історичних даних і нових подіях, щоб з кожним разом точніше передбачати поведінку об'єкта і будувати достовірніші прогнози.

Під час вивчення освітньої компоненти «Інформаційні технології в енергетиці» тема цифрових двійників є складною для опанування здобувачами. Найбільшою проблемою є недостатнє уявлення про віртуальне середовище.

Для більшого розуміння різноманітних сценаріїв розвитку подій на реальному обладнанні можна застосовувати цифрові двійники, 3D-моделі та технології віртуальної реальності. Але між ними існують принципові відмінності. Цифровий двійник — це віртуальне зображення реального об'єкта, до якого інформація надходить у режимі реального часу. 3D-моделі це статична картинка, що дозволяє поглянути на об'єкт тільки в конкретний момент часу і не враховує його поведінку реального об'єкта. Віртуальна реальність це симуляція яка живе лише у віртуальному світі та не пов'язана з реальними об'єктами. А ні VR, ні 3D-моделі не пов'язані з фізичним світом і не обмінюються з ним даними.

З методичного погляду починати вивчення теми краще з 3D-моделі реального обладнання. Це дає можливість детально вивчити об'єкт. Наступним етапом може бути застосування технології віртуальної реальності. Завдяки її застосуванню можна імітувати робочі можливості відповідного реального обладнання.

На прикладі роботи тренажеру VR можна створювати та імітувати різноманітні умови роботи реального обладнання, які можуть включати

аварійні, небезпечні або незвичайні ситуації, без завдання шкоди реальному обладнанню. Викладач може встановити різні режими тренінгу. Можна включити режим навчання де здобувач буде бачити підказки, що робити та біля кожного елемента системи буде піктограма, натиснувши на яку на екран буде виведена інформація про нього. Можна включити режим контролю де здобувач не буде мати підказок. Наступний режим це на оцінювання. Заздалегідь визначаються компетентності, які здобувач повинен продемонструвати, а потім тренажер сам контролює хід виконання завдань та в кінці видає чек лист з інформацією чи продемонстровані ці компетентності, чи ні.

Розглянемо на прикладі електричного щита високої напруги для керування високовольтною мережею. Для створення цифрового двійника електромережі на кожную ділянку, на кожний вузол та на кожне обладнання необхідно прикріпити різноманітні сенсори, IoT-датчики, які в режимі реального часу збирають дані (навантаження, температуру та інші) та передають його цифровій копії. Слідкувати за роботою мережі та відпрацьовувати навички з обслуговування реального обладнання можна за допомогою тренажера віртуальної реальності.

Одягнувши гарнітуру здобувач опиняється біля електричного щита високої напруги. На власному екрані бачить підказку, що треба зробити.

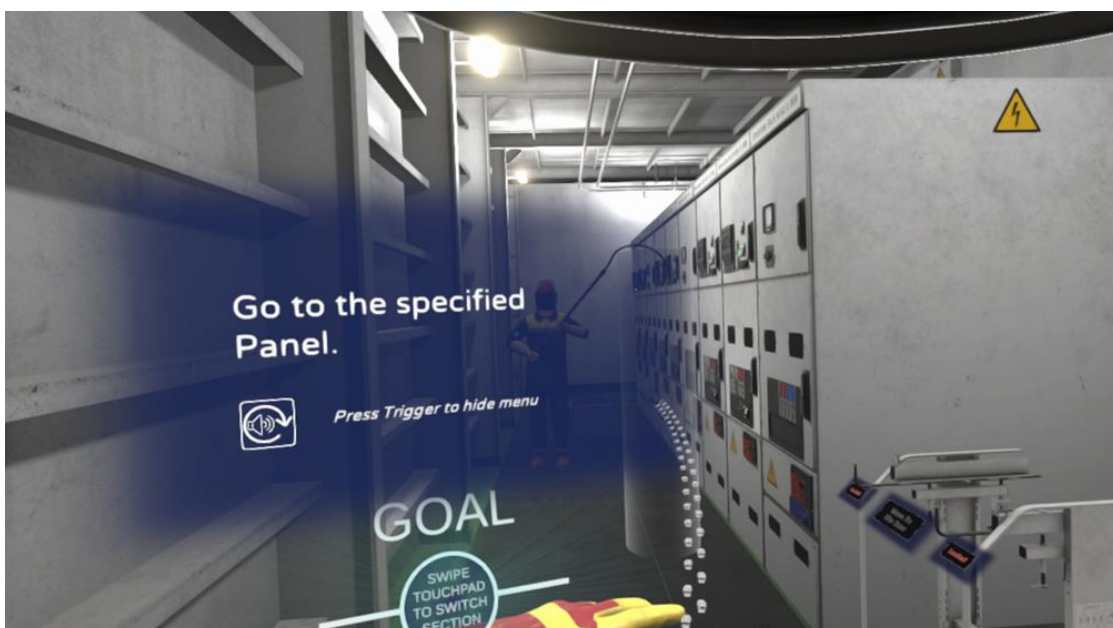


Рис.2. Підказка – перейдіть до вказаної панелі.

Наступна дія показується віртуальною рукою, що треба зробити, а на екрані буде наступна підказка.



Рис.3. Поверніть ручку.

Наступна дія повернути ручку і відкрити дверцята.



Рис. 4. Відкрити дверцята.



Рис.5. Наступна підказка - висуньте засувку та утримуйте її там.



Рис. 6. Підказка - поки фіксатор витягнутий, відкрийте заслінку, яка утримує з'єднувальний кабель.

Далі, після деяких процедур, за правилами необхідно перевірити наявність високої напруги на обладнанні. Для цього необхідно взяти спеціальний детектор і піднести до лівого контакту нижнього ряду і перевірити відсутність залишкової напруги. І так перевірити усі контакти.



Рис. 7. Підказка - піднесіть головку детектора високої напруги до лівого контакту нижнього ряду.

Для подальшої роботи з обладнанням необхідно розмістити відповідну табличку.

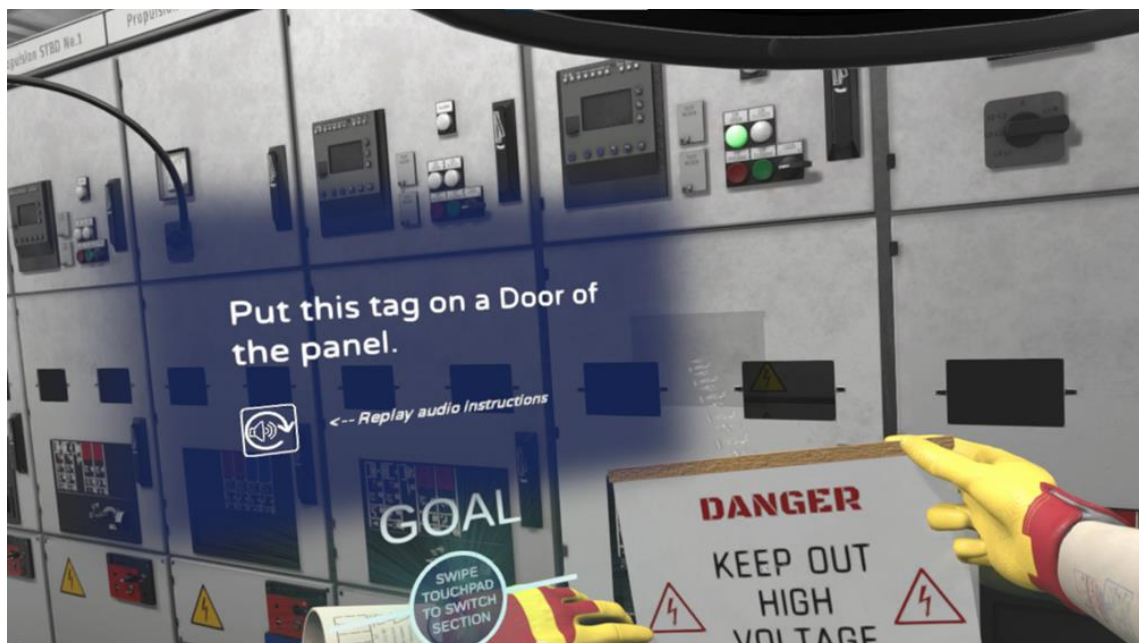


Рис. 8. Помістіть цю етикетку на дверцята панелі.

Після завершення тренінгу викладач отримує результати. В них виписана кожна компетентність, яку необхідно було продемонструвати та позначка продемонстрував чи ні. Далі автоматично робиться звіт про успішність у відсотках та рекомендація чи зарахована вправа, чи ні.

Висновки. Аналіз стану застосування імерсивних технологій у світі показав, що з кожним роком вони демонструють тенденції до розвитку та все більше університетів залучають їх в освітній процес. Також постійно збільшується і кількість запропонованих програмних продуктів. Здійснене дослідження запропонувало застосовувати імерсивні технології в системі підготовки майбутніх енергетиків. З метою покращення якості підготовки при вивченні цифрових двійників в енергетиці запропоновано застосовувати технології віртуальної реальності. Розглянута структура цифрового двійника та склад імерсивних технологій. На прикладі тренажера віртуальної реальності відпрацьовані навички по роботі з електричним щитом високої напруги. Запропонована методика дає змогу викладачам поступово переходити на викладання із застосуванням цифрових технологій, що особливо актуально при дистанційній формі організації освітнього процесу. Перспективи подальших досліджень вбачаємо в розробці навчальних середовищ віртуальної реальності, більш широкого застосування імерсивних технологій в освітньому процесі для кращого залучення здобувачів до навчання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Del Favero, D., Hardjorno, F. (2012). Building VR: Project Overview. iCinema. <http://www.icinema.unsw.edu.au/projects/building-vr/project-overview/>
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. 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/>
4. Лібанова Е. М., Підлісецький І. В. Енергетика 4.0: нова парадигма для майбутнього / Український інститут майбутнього. – Київ: UIF, 2021. – 112 с.
5. Siemens Energy. Digital twins in power industry: White Paper. – Munich: Siemens AG, 2023. – 27 p.70
6. ABB. Asset Health and Digital Twins. Technical White Paper [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://new.abb.com/news/detail/12345/assethealth-and-digital-twins> (дата звернення: 09.02.2026).
7. Cisco. The Internet of Things Reference Model [Електронний ресурс]. – Cisco White Paper, 2014. – Режим доступу: <https://www.cisco.com/c/en/us/about/press/internet-protocol-journal/blogs/201404.html> (дата звернення: 09.12.2025).

REFERENCES:

1. Del Favero, D., Hardjorno, F. (2012). Building VR: Project Overview. iCinema. <http://www.icinema.unsw.edu.au/projects/building-vr/project-overview/>
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. 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/>
4. Libanova E. M., Pidlisetsky I. V. Energy 4.0: a new paradigm for the future / Ukrainian Institute of the Future. – Kyiv: UIF, 2021. – 112 p.
5. Siemens Energy. Digital twins in power industry: White Paper. – Munich: Siemens AG, 2023. – 27 p.70

6. ABB. Asset Health and Digital Twins. Technical White Paper [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://new.abb.com/news/detail/12345/assethealth-and-digital-twins> (дата звернення: 09.02.2026).

7. Cisco. The Internet of Things Reference Model [Электронный ресурс]. – Cisco White Paper, 2014. – Режим доступа: <https://www.cisco.com/c/en/us/about/press/internet-protocol-journal/blogs/201404.html> (дата звернення: 09.12.2025).