Отже, цифрова соціоісторія пошукових запитів дає змогу вивчати колективну увагу на основі аналізу динаміки зміни ставлення, географічної стратифікації а також контексту суміжних запитів. Метод такого дослідження, безумовно, є пріоритетним і може використовуватись для різноманітних досліджень, проте має і обмеження. Найголовнішим є те, що шкала Google Trends є відносною, а не абсолютною. Тому ми не можемо визначити точну кількість людей, які шукали запит. Ймовірно, у період 2004–2010 рр. частотність пошукових запитів була більшою. Проте запит може бути більшим стосовно до сьогоднішнього часу. В минулому менше людей мали доступ до інтернету — нині ситуація змінилась. Зокрема чим новіші дані, тим вони точніші. Зважаючи на розвиток технологій і накопичення даних, такий метод дослідження є перспективним і потребує майбутніх доробок.

О. Супрун, І. Жиляк

ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ ДВІЙНИКІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ІМЕРСИВНИХ ОСВІТНІХ СЕРЕДОВИЩ

O. Suprun, I. Zhyliak

USE OF DIGITAL TWINS FOR CREATING IMMERSIVE EDUCATIONAL ENVIRONMENTS

Цифрова трансформація освіти поступово переходить від використання окремих цифрових ресурсів до формування просторових, інтерактивних і контекстно-адаптивних освітніх середовищ. Одним із перспективних інструментів такого переходу є технологія цифрових двійників, яка забезпечує створення цифрового представлення реального об'єкта, процесу або середовища та його зв'язок із відповідним фізичним прототипом. У поєднанні з технологіями доповненої, віртуальної та змішаної реальності цифровий двійник може перетворитися з пасивної 3D-моделі на динамічний інтерфейс навчання, експериментування та аналізу.

Цифровий двійник в освіті доцільно розглядати як багаторівневу систему. Перший рівень утворюють сенсори та джерела даних, які фіксують стан реального об'єкта або процесу. Другий рівень відповідає за просторове представлення, локалізацію та синхронізацію. Третій рівень забезпечує інтелектуальну обробку даних, аналіз сценаріїв і формування рекомендацій. Четвертий, XR-рівень, забезпечує взаємодію студента із цифровим середовищем через AR, VR або MR. Така чотирирівнева структура узгоджується з підходом до взаємодії сенсорного, просторового, інтелектуального та XR-рівнів, запропонованим у прикладі.

Ключова перевага цифрового двійника для освіти полягає в можливості організувати навчання через досвід. Студент може досліджувати цифрову копію лабораторної установки, промислового агрегату, архітектурного об'єкта, транспортної системи або складного природного процесу без ризику пошкодити реальне обладнання. Водночас цифровий двійник може демонструвати не тільки зовнішній вигляд об'єкта, а й приховані процеси: рух потоків, розподіл навантажень, зміну температури, роботу механізмів, послідовність технологічних операцій. У результаті навчальний матеріал стає просторовим і поведінковим, а не лише текстовим або ілюстративним.

Імерсивність у такому середовищі формується не самим фактом використання VR чи AR, а поєднанням просторової присутності, інтерактивності, зворотного зв'язку та відповідності цифрової моделі реальному об'єкту. У випадку цифрових двійників студент отримує можливість діяти в середовищі, спостерігати наслідки своїх дій і повторювати експеримент. Це створює модель навчання «дія — результат — аналіз — повторна дія».

Важливою характеристикою освітнього цифрового двійника є синхронізація з реальним середовищем. Якщо стан фізичного об'єкта змінюється, відповідні дані можуть передаватися до цифрової моделі. Для навчання це відкриває можливість працювати не лише зі змодельованими, а й з реальними ситуаціями. Наприклад, студенти можуть аналізувати роботу обладнання в режимі, наближеному до реального часу, визначати відхилення параметрів і прогнозувати можливі наслідки. Таким чином, цифровий двійник стає не просто навчальною моделлю, а середовищем дослідження та прийняття рішень.

Для оцінювання ефективності імерсивного освітнього середовища недостатньо використовувати лише точність просторового трекінгу. Для освіти до цього набору доцільно додати педагогічні показники: рівень засвоєння матеріалу, кількість правильних дій, час виконання завдання, кількість помилок, когнітивне навантаження та рівень залучення. Тоді оцінювання цифрового середовища стає багатокритеріальним.

Узагальнений показник ефективності можна представити як функцію технічних і педагогічних параметрів:

$$\mathbf{E = f(A, S, L, R, C, P, K, I),}$$

де A — позиційна точність; S — стабільність реєстрації; L — затримка; R — стійкість; C — обчислювальна ефективність; P — перцептивна якість; K — результативність навчання; I — рівень інтерактивності.

Технічні параметри визначають якість взаємодії користувача із цифровим двійником. Позиційна точність та стабільність реєстрації забезпечують відповідність цифрового об'єкта його реальному положенню, тоді як мінімальна затримка створює природну реакцію системи на дії студента. Стійкість характеризує здатність системи працювати за зміни освітлення, положення користувача, перекриття об'єктів або появи динамічних елементів. Обчислювальна ефективність, своєю чергою, визначає можливість стабільної роботи складної 3D-моделі, spatial mapping та AI-компонентів у режимі, наближеному до реального часу.

Педагогічні параметри K та I визначають, наскільки технологія сприяє досягненню навчальної мети. Результативність може оцінюватися за рівнем засвоєння матеріалу, кількістю правильних дій, часом виконання практичних завдань та кількістю помилок. Інтерактивність характеризує можливість студента змінювати параметри цифрового двійника, виконувати експерименти, спостерігати наслідки власних дій та отримувати зворотний зв'язок. Відповідно, цифровий двійник набуває педагогічної цінності тоді, коли забезпечує не лише якісну візуалізацію, а й активне експериментальне навчання.

Таким чином, технологічно досконалий цифровий двійник не гарантує автоматичного підвищення ефективності освіти. Висока точність позиціонування, стабільність, швидкість реакції та перцептивна якість повинні бути узгоджені з педагогічними завданнями. Саме тому оцінювання імерсивного освітнього

середовища доцільно здійснювати за багатокритеріальною моделлю, яка поєднує технічні характеристики з результатами навчання.

Окремою перевагою цифрових двійників є можливість багаторазового відтворення складних або небезпечних сценаріїв. У традиційному навчанні кількість практичних експериментів може бути обмежена вартістю обладнання, часом викладача, ризиками та фізичним доступом до лабораторії. Цифровий двійник зменшує ці обмеження, дозволяючи створювати контрольовані сценарії: штатний режим, аварійний режим, відмову компонента, перевантаження, неправильне налаштування або зміну зовнішніх умов.

Табл. 1.

Рівні цифрового двійника в імерсивному освітньому середовищі

Рівень	Основна функція	Приклад в освіті	Результат
Сенсорний	Збір даних про фізичний об'єкт	Датчики обладнання	Актуальний стан
Просторовий	Локалізація та 3D-представлення	Spatial mapping	Просторова модель
Інтелектуальний	Аналіз, прогнозування, адаптація	AI-аналітика дій студента	Персоналізований сценарій
XR	Імерсивна взаємодія	AR/VR/MR-інтерфейс	Практичний досвід

Отже, цифровий двійник може виступати центральним елементом імерсивної освітньої екосистеми, яка об'єднує фізичний об'єкт, дані, просторову модель, штучний інтелект та XR-інтерфейс. На відміну від статичної 3D-моделі, цифровий двійник потенційно підтримує динаміку, взаємодію та аналіз. У поєднанні з AI система може не тільки показувати інформацію, а й розуміти контекст, реагувати на дії студента та адаптувати сценарій навчання. У перспективі це створює передумови для переходу від демонстраційної цифрової освіти до експериментальної та персоналізованої.

Таким чином, використання цифрових двійників для створення імерсивних освітніх середовищ є перспективним напрямом цифрової трансформації освіти. Його потенціал визначається не окремою технологією, а інтеграцією кількох рівнів: сенсорного збору даних, просторового картографування, семантичного розуміння, штучного інтелекту та XR-взаємодії.

Р. Яртим, І. Захарова

ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ІНФРАСТРУКТУРА РАЙОННИХ РАД ЯК СЕРЕДОВИЩЕ РЕАЛІЗАЦІЇ СОЦІОКОМУНІКАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

R. Yartym, I. Zakharova

IT INFRASTRUCTURE OF DISTRICT COUNCILS AS A MEDIUM FOR SOCIAL COMMUNICATION PROCESSES

Сучасний етап розвитку публічного управління в Україні характеризується інтенсивною цифровізацією та системною перебудовою інформаційної взаємодії між суб'єктами владних повноважень та інститутами громадянського суспільства.