

ВИКОРИСТАННЯ ІМЕРСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ОСВІТНЬОМУ ПРОЦЕСІ: ПЕРЕВАГИ ПІДХОДУ, АНАЛІЗ КОМЕРЦІЙНИХ СИСТЕМ, КЛАСИФІКАЦІЯ НАВЧАЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩ

Тетяна Цимбалюк¹, Дмитро Федасюк²

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра програмного забезпечення, Львів, Україна

¹ E-mail: tetiana.m.tymbaliuk@lpnu.ua, ORCID: 0000-0001-5934-6485

² E-mail: dmytro.v.fedasyuk@lpnu.ua, ORCID: 0000-0003-3552-7454

© Цимбалюк Т., Федасюк Д., 2024

В останні роки зростає популярність інформаційних технологій, їх роль та ступінь використання у багатьох сферах, зокрема в освітній галузі. Впровадження цифрових навчальних засобів в навчальний процес дозволяє підвищити його гнучкість, застосовувати більш індивідуальні підходи до здобувачів освіти та заохочувати їх до самовдосконалення.

Сьогодні використання багатьох цифрових технологій, таких як аудіо- та відео-пристрої, інтерактивні дошки, комп'ютери, планшети тощо, для кращого засвоєння навчального матеріалу, є звичним в освітніх закладах. Імерсивні технології, такі як віртуальна та доповнена реальності, набувають все більшого розвитку за останнє десятиліття та займають свою нішу в галузі освіти.

Технології віртуальної реальності дозволяють створити штучний інтерактивний тривимірний світ, з яким користувач взаємодіє за допомогою залучення органів чуття. Для взаємодії з об'єктами цього світу необхідно використовувати спеціальні периферійні пристрої, які бувають різного типу, від простих, як шоломи чи рукавички, до складних, як навігаційні панелі чи кімнати. Недоліком такого програмного забезпечення є неможливість забезпечити його кросплатформеність для різних типів апаратного забезпечення, яке може використовуватися в освітньому процесі.

На основі аналізу наукової літератури виявлено шляхи підвищення ефективності навчання шляхом впровадження в освітній процес імерсивних навчальних середовищ, а також підкреслено основні переваги навчання за використання технологій віртуальної реальності порівняно з традиційними методами. Проведено аналіз сучасних шоломів як основного пристрою відтворення віртуального світу для освітніх платформ та визначено, що найпопулярнішим з них є модель Oculus Quest 2.

Завдяки аналізу магазину застосунків Oculus визначено, що серед комерційних систем лише незначний відсоток можна використовувати як допоміжні засоби в навчальному процесі.

У статті представлено сформовану класифікацію імерсивних освітніх середовищ, яка визначає набір функцій у системі визначеного типу. Використовуючи запропоновану класифікацію, можна визначити необхідні характеристики розроблюваного застосунку віртуальної реальності для навчання та обрати оптимальні технології для його реалізації.

Ключові слова: віртуальна реальність; електронне навчання; інформаційна система; віртуальне навчальне середовище; шолом віртуальної реальності.

Вступ

Сьогодні дуже важко переоцінити роль освіти у розвитку суспільства. В даний період, коли оточуючий нас світ розвивається надзвичайно високими темпами, найбільш актуальною стає необхідність набуття знань, формування вмінь та навичок, які дозволятимуть ефективно вирішувати практичні та теоретичні задачі, з якими стикатиметься людина протягом свого життя.

Під терміном «освіта» зазвичай розуміють цілеспрямовану діяльність людей з отримання знань, умінь, або щодо їх удосконалення [1]. Однією з найважливіших функцій освіти є забезпечення безперервного процесу передачі накопичених знань наступному поколінню для розвитку в нього пізнавальних можливостей, вироблення відповідних умінь та навичок для практичного застосування набутих знань. Головною метою освіти є всебічний розвиток, виховання, виявлення талантів, інтелектуальних, творчих і фізичних здібностей та соціалізація особистості в сучасному суспільстві.

Постановка проблеми та формулювання мети статті

В сучасному світі інформаційно-цифрові технології стали його невід'ємною складовою частиною. Паралельно з розвитком цих технологій також зростає їх роль та ступінь використання у сфері освіти.

Системи середньої та вищої освіти з кожним днем зазнають все більших змін, пов'язаних з розробкою нових цифрових навчальних засобів та їх впровадженням в освітній процес. На думку дослідників Г. Коджаспірової і К. Петрова, використання інформаційних технологій з навчальною метою сприяє:

- індивідуалізації навчально-виховного процесу з урахуванням рівня підготовленості, здібностей, індивідуально-типологічних особливостей засвоєння матеріалу, інтересів і потреб здобувачів освіти;
- зміні характеру пізнавальної діяльності здобувачів освіти в бік її більшої самостійності та пошукового характеру;
- стимулюванню прагнення здобувачів освіти до постійного самовдосконалення та готовності до самостійного навчання;
- посиленню міждисциплінарних зв'язків у навчанні, комплексному вивченню явищ та подій;
- підвищенню гнучкості, мобільності навчального процесу, його постійному та динамічному оновленню [2].

Зазвичай навчальні заняття поділяються на два види: теоретичні, які найчастіше організуються у виді лекцій, призначених для систематичної і послідовної подачі навчального матеріалу здобувачам освіти та практичні, що дозволяють застосувати одержані знання на практиці шляхом виконання відповідно поставлених завдань. Використання інформаційно-цифрових технологій у сучасному освітньому процесі можна спостерігати на обох видах занять. Застосування новітнього апаратного та програмного забезпечення дозволяє зробити заняття більш змістовними та цікавими, полегшити вивчення важких понять, забезпечити кращу візуалізацію навчального матеріалу, дає змогу здобувачу освіти контролювати індивідуальний темп навчальної діяльності (за допомогою використання навчальних онлайн-платформ, електронних підручників тощо), а також робить можливим формування умінь та навичок для вирішення практичних задач, які зазвичай вимагають використання складного обладнання.

Застосування інформаційно-цифрових технологій в освітній галузі почалося із використання перших програм аудіовізуального навчання в 1930-х рр. в США. Протягом наступних років воно слідувало за науково-технічним прогресом та все більше нових розроблених технологій впроваджувалися в навчальний процес для підвищення його ефективності. Зараз використання аудіо- та відеопристроїв, інтерактивних дощок, комп'ютерів, планшетів та інших сучасних цифрових пристроїв для кращого засвоєння навчального матеріалу є звичним в освітніх закладах.

Сьогодні все більшій популярності набувають імерсивні інформаційні технології, зокрема доповнена та віртуальна реальність (VR), які, окрім індустрії розваг, займають свою нішу у військовій сфері, медицині та освіті.

Такі технології можуть вже найближчим часом стати одним з провідних освітніх інструментів, оскільки для сучасного покоління здобувачів освіти, які постійно використовують цифрові технології в повсякденному житті, такий формат є найбільш цікавим та зрозумілим. Подібні інструменти сприяють більшій мотивації учнів та студентів до оволодіння новими знаннями, дозволяють

педагогам краще організувати навчальний процес, з можливістю його коригування відповідно до потреб здобувачів освіти та постійного відслідковуванням їхньої успішності. Окрім того, в даних системах можливо реалізувати автоматизоване визначення характеру помилки студента для надання йому необхідної допомоги. Відповідно віртуальне навчальне середовище добре адаптується до рівня знань здобувача освіти, його потреб, досвіду та швидкості сприйняття ним нового матеріалу [3].

Для найбільш ефективного використання імерсивних технологій в освітніх цілях необхідно провести детальний аналіз навчального плану, визначити для яких видів занять доцільно долучити додаткові навчальні системи та які компетентності при цьому будуть сформовані у здобувачів освіти. Отримавши необхідні вхідні дані, можна обрати тип системи VR, який дозволить покращити результати навчання в порівнянні з використанням лише традиційних методів викладання. Для полегшення цього вибору варто ввести класифікацію віртуальних навчальних середовищ згідно функціональних характеристик.

Метою статті є аналіз стану та можливостей щодо застосування технологій VR в освітньому процесі, огляд комерційних застосунків та створення класифікації імерсивних навчальних середовищ.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Дослідження теоретичних та практичних аспектів VR ведеться уже понад 60 років. Відповідно до розвитку інформаційних технологій середини XX століття перші подібні пристрої були доволі громіздкими та дорогорватісними розробками, тому довго відповідні експерименти залишалися в межах лабораторій. Одними з основних рушіїв розвитку VR стали військові розробки та розробки для космічного агентства NASA. Попри тривалий період переважаючої комерціалізації таких систем в галузі розваг, із стрімким розвитком цифрових та комп'ютерних технологій, який сприяв створенню більш доступних пристроїв та методів розробки систем VR дослідники все більше почали вивчати питання можливостей їхнього застосування в навчальному процесі.

VR як навчальний інструмент досліджував К. Хрісту [4], який детально описав технологію VR, складові частини таких систем та їхню взаємодію, провів аналіз впливу віртуальної реальності на органи чуття людини та процесу сприйняття людиною різних факторів як основи навчання. Окрім того, К. Хрісту провів класифікацію навчальних систем VR згідно сфер застосування та визначив найважливіші проблем, пов'язані з їхнім впровадженням та використанням.

Вчені П. Фукс, Г. Моро та П. Гіттон [5] розглянули технічні аспекти VR, реалізацію апаратного та програмного забезпечення, дослідили пристрої та моторні інтерфейси, які можна використовувати в таких галузях як інформатика, механіка, оптика, акустика, фізіологія, психологія, ергономіка тощо.

Д. Ф. Товар, В. Йонкер, В. Харст [6] та М. А. Кухайл, А. ЕльСаярі, Ш. Фарук, А. Альгамді [7] проаналізували процес занурення у систему VR та вплив цього досвіду на формування знань та навичок користувачів, ефективність різних типів навчальних застосунків. К. Шотт та С. Маршалл [8] описують позитивні аспекти такого занурення, а також В. Чунг та М. Барнетт-Ковен [9] відзначають проблему виникнення ефекту «заколювання» у деяких користувачів.

Такі вчені як Х. Мартін-Гутеррес, К. Е. Мора, Б. Аньорбе-Діас, А. Гонсалес-Марреро [10], а також А. Х. Джумані, В. А. Сідік, А. А. Лагарі, А. Ахад, А. А. Хан [11] описують сучасні VR системи, принципи їх роботи та взаємодію з пристроями VR, можливості та перспективи застосування цих систем для навчальних цілей.

Л. Калвет, П. Бурден, Ф. Прадос [12] дослідили практики використання VR у вищій освіті та надали рекомендації для педагогів по запровадженню цієї технології в навчальному процесі. В дослідженні Д. Радянті, Т. А. Майхрзак, Дж.Фромм, І. Вольгенант [13] наведено аналіз частоти застосування різних типів окулярів віртуальної реальності в освітніх віртуальних системах, типи технологій навчання, методи оцінки результатів навчання, спеціальності вищої освіти, в яких застосовуються подібні системи, тип навчального контенту, особливості їхнього проектування та функціоналу, а також зв'язок навчального вмісту із галуззю знань.

На думку Е. Ху-Ау та Дж. Лі [14] використання ВР є корисним для більшого залучення студентів до навчання, одержання конструктивного та автентичного досвіду, надання можливості краще засвоїти та усвідомити новий матеріал, а також для підтримки творчості та вміння візуалізувати складні моделі.

Дослідники М. Мекеля, П. Кілтті, І. Вільпола, Я. Тервонен [15] описали експеримент засвоєння нового матеріалу студентами у ЗВО з використанням ВР технологій. Результати показали, що здобувачі освіти, які навчалися за допомогою такого методу перевершили за підсумковими оцінюваннями тих, хто слухав класичні лекції, а також витратили менше часу на засвоєння нового матеріалу. Вчені А. Б. Рей та С. Деб [16] зазначають, що на першому етапі використання ВР застосунків студенти демонструють гірші показники, ніж при навчанні за допомогою більш звичних пристроїв. Це пов'язане з необхідністю адаптації до нової технології. В свою чергу, Д. Янссен, К. Туммел, А. С. Ріхерт, І. Ізенхардт [17] та Е. Свірідова, Е. Ястребова, Е. Бакірова, Ф. Ребріна [18] зазначають, що на ефективність навчання при використанні систем ВР безпосередньо впливають емоційні особливості кожного користувача.

Аналіз показав, що застосування технології ВР в навчальних цілях є ефективним засобом та дозволяє покращити результати навчання студентів ЗВО при правильному проектуванні програмного засобу з врахуванням особливості галузі знань, яка буде вивчатися. Оскільки створення віртуальних навчальних систем є складним та тривалим процесом, необхідно дослідити їхні типи згідно функціональних характеристик для визначення особливостей та доцільності застосування у визначених освітніх цілях.

Теоретичні основи дослідження

Стів Брайсон пропонує наступне визначення терміну «віртуальної реальності»: «ВР – це використання комп'ютерних технологій для створення ефекту інтерактивного тривимірного світу, в якому об'єкти мають просторову присутність» [19].

Таким чином, система ВР є новим, штучно створеним світом, з яким користувач взаємодіє за допомогою залучення майже всіх органів чуття, таких як зір, дотик, слух тощо.

Можна сказати, що система ВР дозволяє користувачу:

- Перенестися в повністю штучне комп'ютерне середовище;
- Досягнути відчуття присутності в навколишньому середовищі;
- Одержати відчуття контролю над законами фізики;
- Досягти відчуття нереального часу, де ситуації можуть бути представлені в повільному або швидкому темпі;
- Досягти високого рівня взаємодії, який може дорівнювати або перевищувати рівень, досяжний у реальному світі;
- Переконатися, що взаємодія з штучним середовищем повністю природна та інтуїтивно зрозуміла;
- Повторювати дії до тих пір, поки не буде досягнуто бажаного результату;
- Виконувати все в безпечному середовищі.

Моделі об'єктів, які функціонують в середині штучного комп'ютерного світу, створеного завдяки технологіям ВР можуть взаємодіяти як між собою, так і з людьми, що використовують спеціалізовані периферійні пристрої. Взаємодія користувача із системою відбувається через вхідні сигнали, одержані за допомогою цих пристроїв. Після цього програмне забезпечення їх опрацьовує та змінює відповідним чином представлення віртуального середовища (рис. 1).

Залежно від способу і режиму взаємодії з користувачем, дані системи поділяються на:

- Системи типу «Вікно в світ» або настільні системи, що використовують монітори комп'ютерних пристроїв для відображення віртуального світу, який створюється максимально реалістичним за допомогою засобів комп'ютерної графіки;

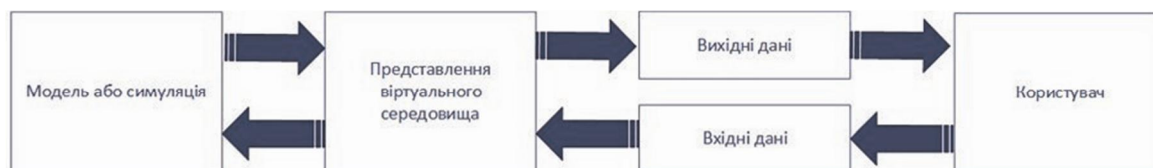


Рис. 1. Схема VR системи

- Системи відеонакладання, головною особливістю яких є накладання силуету користувача на двовимірну картинку за допомогою використання відеокамери, що дозволяє досягти ефекту взаємодії одержаного віртуального тіла з штучним комп'ютерним середовищем;
- Системи дистанційної присутності, які реалізуються через з'єднання віддалених сенсорів, що розташовуються на об'єкті реального світу з користувачем, який ними керуватиме;
- Імерсивні системи або системи з ефектом занурення, які дозволяють досягти ефекту повної присутності користувача у віртуальному світі за допомогою реалістичного зображення з великим кутом огляду та тривимірного звуку, а також якнайбільш реалістичної емуляції кінестетичних ефектів (таких, які досягаються за допомогою тілесних відчуттів);
- Системи змішаної реальності, що одержуються внаслідок злиття об'єктів реального та віртуального світів в нове середовище, де вони співіснують та взаємодіють в режимі реального часу.

Головною перевагою таких системи є можливість більш точно продемонструвати об'єкти чи процеси у випадках, коли це неможливо зробити в реальному світі. Це дозволяє застосовувати технології VR в багатьох сферах діяльності, таких як архітектура, видобування корисних копалин, медицина, військово-промисловий комплекс, туризм, індустрія розваг тощо.

Складність реалізації систем VR, а також досягнення ефекту максимальної реалістичності віртуального світу безпосередньо залежить від пристроїв введення та виведення інформації, які використовуватиме користувач для взаємодії з системою. Якщо відносно прості системи VR можуть використовувати лише класичні пристрої, такі як монітори, клавіатуру, мишу тощо, то імерсивні системи та системи змішаної реальності потребують використання спеціальних VR пристроїв.

Сьогодні більшість популярних та доступних систем VR в основному відтворюються шляхом створення візуальних ефектів за допомогою шолома VR (рис. 2, а) – пристрою із вмонтованим дисплеєм та лінзами, який надягається на голову та дозволяє досягти ефекту часткового чи повного занурення у штучний комп'ютерний світ. Масовому поширенню таких пристроїв сприяла розробка першої версії шолома Oculus Rift в 2015 році, починаючи з якої подібні шоломи стали відносно легкими, портативними та комерційно доступними. Шоломи VR бувають 2-х типів:

- Стационарні, які забезпечують кращу графіку та продуктивність роботи, але потребують підключення до комп'ютера, що робить їх менш маневреними у використанні (HTC Vive, Oculus Rift, Valve Index);
- Мобільні, які працюють автономно завдяки наявності власного процесора, який забезпечує рендеринг віртуального середовища (Oculus Quest, Oculus Quest 2).

Окрім шоломів для відтворення VR існують також шоломи доповненої (технологія, яка дозволяє об'єкти реального світу інтегрувати у віртуальне середовище) та змішаної реальності (технологія, що дозволяє об'єднувати віртуальну та доповнену реальності). Найбільш популярними серед них на сьогодні є моделі Apple Vision Pro, Samsung Odyssey та ASUS Windows Mixed Reality.

Також доволі поширені гаптичні пристрої (рис. 2, б), які забезпечують тактильний зворотній зв'язок з системою, такі як спеціальні рукавички, жилети та костюми.

Додаткові мультисенсорні пристрої (рис. 2, в) можуть використовуватися разом із шоломами та дозволяють генерувати запахи, холод або тепло, а також незначні вібрації для більш глибокого занурення користувача у віртуальний світ.

Найменш поширеними є специфічні пристрої для захоплення пози та відстеження жестів користувача (рис. 2, з), які необхідні для реалізації реалістичного відображення тримірних аватарів у віртуальному світі та його анімацій.

Навігаційні поверхні (рис. 2, д), які також можуть використовувати спеціальне взуття, дозволяють імітувати реальне пересування користувача в штучному комп'ютерному світі, наприклад ходьбу або біг.

Найбільш складною в реалізації є кімната (рис. 2, е) або печера ВР (в англійській літературі така система, як правило, називається CAVE – Computer-Aided Virtual Environment), що складається з декількох екранів (від 3-х до 6-ти, які формують повний куб екранів для оточення людини з усіх боків). Рівень занурення і якість графіки в таких кімнатах є найвищими з доступних пристроїв на сьогоднішній день.

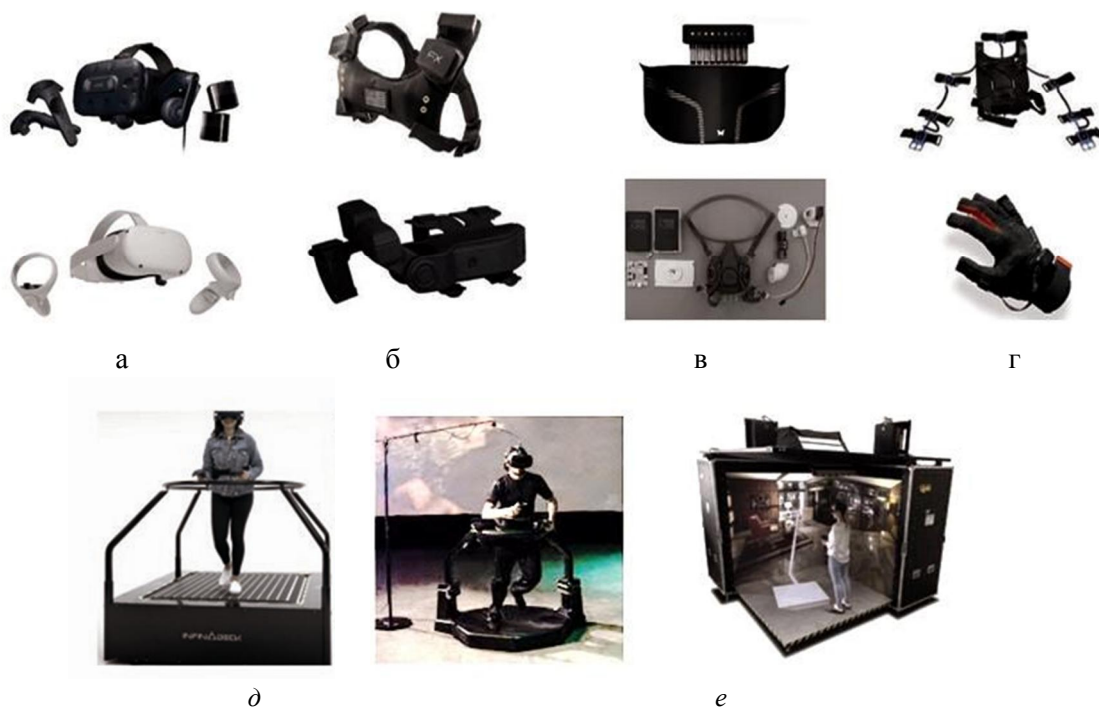


Рис. 2. Типи ВР пристроїв

Більшість сучасних систем ВР для створення ефекту занурення використовують лише шоломи, оскільки вони є найбільш доступними для покупки (продаються в багатьох магазинах електроніки), легкими у освоєнні та можуть використовуватися майже всіма типами користувачів, в тому числі особами з обмеженими можливостями.

Виклад основного матеріалу

1. Використання ВР в освіті

Одним з найбільш перспективних напрямів застосування технологій ВР є освіта, як шкільна (для дітей від 6 років), так і вища або професійна. Згідно з дослідженням Fortune Business Insights [20] очікується, що обсяг світового ринку ВР в сфері освіти досягне 13098 млн доларів США до 2026 року, а темпи його росту складатимуть 43 %. За прогнозами найбільший сегмент ринку отримає вища освіта.

Серед причин такої популярності ВР для навчальних цілей можна виділити:

- Зростання доступності частини апаратних засобів;
- Зростання кількості освітніх програмних застосунків;
- Зростання обсягу інвестицій для розвитку технології;

- Збільшення кількості компаній, які займаються розробкою відповідних апаратних та програмних засобів;
- Стрімке поширення технології в інші галузях.

VR є потужним інструментом для підтримки та полегшення процесів навчання та викладання. За допомогою цієї технології можна створювати високоякісні засоби стереозображень, тривимірні електронні освітні ресурси, презентаційні та інформаційні матеріали, віртуальні лабораторії тощо [21]. А здобувачі освіти з особливими потребами можуть вдома використовувати такі ж навчальні матеріали, як і в освітньому закладі [22].

Згідно досліджень [15; 23] більшість студентів краще запам'ятали те, що вони побачили у VR, і зробили висновок, що подібні системи є більш запам'ятовуваним середовищем, ніж традиційні лекції чи лабораторні демонстрації. За результатами підсумкових тестів користувачі, що використовували такі системи змогли покращити свої результати на 20% [24].

Таким чином, можна стверджувати про великий освітній потенціал VR для навчального процесу [25], враховуючи такі фактори як:

- Підвищення ефективності навчання;
- Ріст мотивації до навчання здобувачів освіти;
- Надання нових можливостей для навчання людям з особливими потребами;
- Прискорення процесу запам'ятовування та засвоєння навчального матеріалу;
- Забезпечення більше можливостей для здобуття практичних навичок в різних галузях.

Найбільш ефективним типом навчальних систем є імерсивні віртуальні застосунки, які дозволяють повністю зануритися в штучний комп'ютерний світ. Перевагами такого підходу в освіті є:

- Наочність. У віртуальному світі можна відтворити будь-який об'єкт чи процес із всіма необхідними деталями в тривимірному просторі, що є більш наглядним для здобувачів освіти, ніж використання двовимірних ілюстрацій;
- Зосередженість. Перебування у віртуальному просторі здобувача освіти унеможливить відволікання на сторонні подразники та дозволить повністю зосередити увагу на представленій інформації;
- Відсутність меж для навчання. За допомогою портативних пристроїв VR, наприклад шоломів, здобувачі освіти можуть підключитися до занять з будь-якого зручного місця та засвоювати новий матеріал, використовуючи навчальні застосунки у будь-який момент часу;
- Надання більш широких можливостей для навчання. VR дозволяє створити тривимірні моделі обладнання чи матеріалів, які не можливо, наприклад з причин високої вартості або обмеженої кількості, забезпечити для впровадження в навчальний процес. Таким чином здобувачі освіти можуть здобути відповідні практичні навички, що було б неможливо в умовах реального світу;
- Безпечність. У віртуальному просторі можна відтворити будь-які ситуації, пов'язані з високим фізичним чи психологічним ризиком для людини, наприклад, при евакуації у екстремній ситуації чи при проведенні складних медичних операцій. Про цьому у штучному світі при невірних діях користувача він не заповдіє шкоди ні собі, ні іншим;
- Інклюзивність. Віртуальний світ можна «налаштувати» згідно потреб і можливостей майже будь-якого здобувача освіти.

До недоліків такого підходу можна віднести:

- Необхідність покупки обладнання для відтворення віртуального світу;
- Обмежену соціальну взаємодію здобувачів освіти;
- Негативний вплив на психіку здобувачів освіти при надто активному використанні методів VR, зокрема зниження працездатності, ріст втомлюваності та уповільнення слухово- та зорово-моторних реакцій;

- Виникнення ефекту «заколисування» у деяких користувачів. Більшість наукових експериментів щодо цього явища проводилося з використанням застарілих апаратних технологій, тому, враховуючи технічний прогрес технологій VR, необхідно провести нові дослідження у цій галузі.

Отже, для досягнення ефективних результатів навчання за допомогою імерсивних систем необхідно обрати оптимальне апаратне забезпечення, скласти план використання такого ПЗ в освітньому процесі, який передбачатиме вид занять, їх тематику та кількість годин для застосування методів VR як допоміжного інструменту. Важливо також відслідковувати індивідуальний прогрес та реакції здобувача освіти для корегування педагогічних підходів та практик для нього. Такий підхід дозволить нівелювати недоліки технології VR та максимально використати її переваги.

2. Аналіз комерційних систем VR

Комерційні застосунки VR розробляються для використання з відповідним пристроєм VR, зазвичай шоломом. Такі системи не є кросплатформенними, для шоломів різних виробників та навіть різних моделей одного виробника використовується різний набір програмного забезпечення.

Згідно дослідження [26], яке було проведено в жовтні 2023 року найбільш популярним шоломом VR є Oculus Quest 2, частка ринку якого становить 46,02 % (рис. 3).

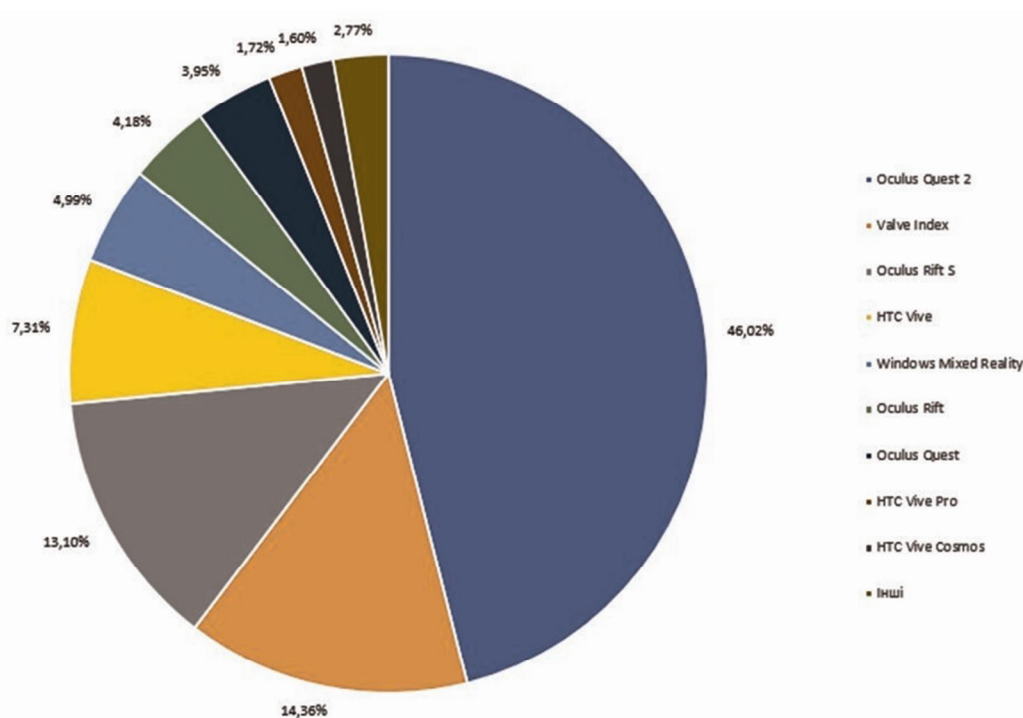


Рис. 3. Розподіл ринку шоломів VR

В табл. 1 представлено характеристики найпопулярніших серед доступних на сьогодні шоломів VR.

Таблиця 1.

Порівняння шоломів VR

Характеристика	OCULUS QUEST 2	OCULUS QUEST	VALVE INDEX	HTC VIVE	OCULUS RIFT
Поле огляду	100°	100°	130°	110°	110°
Роздільна здатність	1832×1920	2560×1440	1440×1600	1080×1200	1080×1200
Тип екрану	Fast Twitch LCD	OLED	LCD	Dual Amoled	Dual Amoled

Продовження табл. 1

Характеристика	OCULUS QUEST 2	OCULUS QUEST	VALVE INDEX	HTC VIVE	OCULUS RIFT
Щільність пікселів	538ppi	538ppi	-	461ppi	456ppi
Частота оновлення	120Hz	72Hz	144Hz	90Hz	90Hz
Трекінг	6DOF Inside Out Tracking (wireless)	6DOF Inside Out Tracking (wireless)	6DOF Inside Out Tracking with Finger Tracking	6DOF IR Laser-based 360-degree tracking	6DOF camera optical 360-degree IR LED tracking
Вага	503g	570g	570g	563g	470g
Ціна	\$350	\$500	\$1000	\$800	\$600

Враховуючи дані показники, доцільним є дослідження магазину застосунків Oculus [27], який надає можливість одержати лише те програмне забезпечення, яке сумісне із шоломами даної компанії. В магазині можна відфільтрувати застосунки за типом шолома, категорією та жанром програмного забезпечення, переглянути характеристики обраного застосунку, оцінити його та залишити відгук.

Розробник, який хоче розмістити своє програму в магазині повинен подати заявку на розгляд, щоб гарантувати відповідність застосунку технічним стандартам та вимогам до вмісту. Після успішного проходження цієї перевірки відбувається розміщення застосунку на сайті у відповідній категорії. Однак розповсюдження власного програмного забезпечення через даний магазин є необов'язковим.

Станом на червень 2022 року в магазині виявлено 352 застосунки, доступних для скачування, у всіх категоріях, що сумісні з шоломом Oculus Quest 2. Визначено таких 11 категорій:

- Ігри;
- Соціальні мережі, месенджери та веб-браузери;
- Застосунки для командної роботи над проектом;
- Інтерактивні художні історії – застосунки, які дозволяють переглянути у віртуальному світі історію з визначеним сюжетом;
- Навчальні застосунки, що використовуються для набуття практичних навичок та засвоєння теоретичних матеріалів;
- Віртуальні чати дозволяють обрати тип віртуального середовища (навчальна аудиторія, робоча кімната, зала кінотеатру тощо) та долучитися до створеної кімнати багатьом користувачам;
- Стрімінгові сервіси – застосунки, які дозволяють транслювати контент користувачу;
- Застосунки для занять фітнесом та медитацій передбачають можливість вибору віртуального середовища або рівня складності занять;
- Застосунки творчої сфери дозволяють створювати віртуальні креативні змісти;
- Віртуальні тури – застосунки, які дозволяють користувачу зануритися у віртуальний світ, який максимально наближений до реальної локації (музею, міста, природної пам'ятки тощо).
- Віртуальні монітори дозволяють відобразити вміст робочого столу комп'ютера у віртуальному світу, а також можуть підтримувати проектування декількох робочих столів одночасно.

Більшість з цих програм належать до категорії ігор. В табл. 2 представлено розподіл застосунків за категоріями із показниками середньої вартості та популярності серед користувачів (розраховано за кількістю виставлених оцінок по 5-бальній шкалі).

Таблиця 2.

Розподіл застосунків для Oculus Quest 2 в магазині

Категорії	Загальна кількість застосунків	Середня вартість, \$	Середня популярність, кількість виставлених оцінок
Ігри	247	19,75	2045
Інтерактивні художні історії	23	4,34	291
Навчальні застосунки	19	10,26	572
Віртуальні чати	13	0	1681
Стрімінгові сервіси	12	1,33	758
Застосунки для занять фітнесом та медитацій	11	6,81	1345
Застосунки творчої сфери	9	15,55	386
Віртуальні тури	8	10,37	702
Соціальні мережі, месенджери та веб-браузери	5	0	390
Застосунки для командної роботи над проектом	3	0	85
Віртуальні монітори	2	10	3077

Навчальні застосунки складають частку 5,4% від всіх розглянутих програм та займають 7 місце за середнім показником згідно кількості оцінок від користувачів. Серед 19 розглянутих програм 9 спрямовані на засвоєння нових теоретичних матеріалів, а 10 – на розвиток практичних навичок. Найбільшу частку складають системи космічної галузі, вивчення технології VR та образотворче мистецтво.

Аналіз застосунків серед інших категорій дозволив встановити, що деякі з них можна також застосовувати в освітньому процесі для забезпечення більшої інтерактивності, а саме:

- Віртуальні чати, які є доволі популярними системами можна застосувати в освітній діяльності для проведення лекцій, семінарів та виконання командних проектів;
- Стрімінгові сервіси можна використовувати як допоміжний інструмент для демонстрації відео матеріалів здобувачам освіти;
- Віртуальні тури дозволяють більш наглядно, ніж фото і відео матеріали демонструвати певні локації, які потребують вивчення;
- Віртуальні монітори можуть стати аналогами проєкційних екранів та інтерактивних дощок;
- Застосунки для занять фітнесом та медитацій можна використовувати для уроків фізичного виховання, наприклад під час дистанційного навчання.

Отже, опираючись на огляд комерційних систем VR можна виділити типи застосунків, які мають перспективи застосування в освітньому процесі, а також визначити їхні особливості та спільні риси. У практичному застосуванні можна провести аналіз освітніх програм та впровадити в навчальний процес обрані застосунки у випадку їх сумісності з наявним апаратним забезпеченням.

3. Класифікація імерсивних віртуальних навчальних середовищ згідно функціональних характеристик

Перед реалізацією імерсивного навчального середовища варто чітко визначити галузь знань, мету застосування та вид занять, для яких його буде застосовано. Згідно з цими даними необхідно чітко визначити набір функцій, які буде надано здобувачу освіти для допомоги в одержанні нових знань.

Провівши аналіз літературних джерел та комерційних систем VR, запропоновано наведену нижче нову класифікацію імерсивних навчальних середовищ згідно їхніх функціональних характеристик.

Тренажери ВР (Oxford Medical Simulation, Robotics in VR, Simodont Dental Trainer, Eyesi Surgical) один з найбільш поширених та найскладніших типів навчальних систем. Вони характеризуються:

- Чіткою орієнтацією на визначені процеси предметної області;
- Реалізацією віртуального світу згідно до предметної області;
- Створенням максимально ідентичних моделей об'єктів навколишнього світу, з якими буде безпосередньо взаємодіяти користувач;
- Вибором можливості підключення лише одного або одночасно декількох користувачів при реалізації;
- Вибором взаємодії користувача з віртуальним світом через аватар або лише через модель рук при реалізації;
- Необхідність залучення фахівця, який “навчатиме” тренажер – задаватиме певну вірну послідовність дій, які повинні максимально точно повторити користувачі для одержання успішного результату;
- Можливістю підключення не лише шолома, але і інших типів пристроїв ВР для покращення відчуття реалістичності виконання запрограмованого процесу.

Віртуальні чати (Rumii, MeetingVR, AltspaceVR, EngageVR) можуть забезпечувати такі функції:

- Створення віртуальних кімнат з обраним типом віртуального середовища;
- Вибір та додання у віртуальний світ моделей об'єктів навколишнього світу;
- Підключення багатьох користувачів;
- Відображення аватару користувача;
- Можливість переміщення по віртуальному світі;
- Передачу звуку.

Ігрові навчальні застосунки ВР (Mondly VR, InMind VR2, Number Hunt) дозволяють проводити навчання у формі інтерактивної гри, що характеризується певним запрограмованим сценарієм. При реалізації такого типу застосунку розробник зазвичай може обирати такі параметри:

- Рівень графіки;
- Можливість підключення лише одного гравця чи декількох одночасно, а також забезпечення обох опцій;
- Можливість вибору різних рівнів складності;
- Додання звукових ефектів;
- Відображення аватара гравця;
- Можливість взаємодії гравця з об'єктами віртуального світу;
- Можливість застосування засобів штучного інтелекту.

Віртуальні тури (National Geographic Explore VR, Anne Frank House VR) реалізують віртуальний світ, відтворюючи максимально всі деталі реального світу та дозволяють користувачам переміщатися в межах змодельованої локації.

Класи ВР (ClassVR, TeachVR, Lenovo VR Classroom) – це системи для змішаного навчання, які складаються з ряду спеціалізованих пристроїв, програмного забезпечення (зазвичай з доволі простою графікою) та комплексних розроблених навчальних програм, які використовуються в освітньому процесі для підвищення ефективності засвоєння нових знань. Найчастіше використовуються для середньої освіти.

Використовуючи запропоновану класифікацію, можливо спростити процес розробки імерсивних віртуальних навчальних середовищ за рахунок оптимізації підбору типу системи, яка краще підходить для визначених цілей навчання. Також, послуговуючись даною класифікацією, можна визначити набір функціональних характеристик, які необхідно реалізувати у розроблюваному застосунку.

4. Засоби реалізації імерсивних систем

Для створення таких систем розробники зазвичай використовують спеціальні ігрові рушії, які дозволяють створювати інтерактивність у 3D-сценах.

Ігровий рушій – це основне ядро відеогри чи іншої інтерактивної системи, базове програмне забезпечення, на основі якого будуються всі складові розроблюваної системи.

Найбільш поширені і відомі рушії – це Unity та Unreal Engine. Для того, щоб почати ними користуватись достатньо завантажити їх онлайн, а їхній користувацький інтерфейс дозволяє максимально швидко зрозуміти основи користування.

Unity був одним з перших доступних ігрових рушіїв, який набув неабиякої популярності. Завдяки зручності використання, Unity робить створення інтерактивних систем максимально простим і комфортним, також є підтримка усіх сучасних VR та AR платформ, як стаціонарних так і мобільних. Для написання коду в Unity використовується мова програмування C#.

Переваги:

- Unity має доволі низький поріг «входження», завдяки зручному інтерфейсу користувача, а також візуальному відображенню створеного графічного контенту у вікні рушії (розробник завжди бачить створені рівні, може з легкістю переносити на нього різні об'єкти, джерела світла тощо);
- Має багато вбудованих розширень, наприклад, внутрішній редактор анімацій, звуковий компонент, систему візуальних ефектів тощо;
- Рушій має магазин з доступними бібліотеками плагінів (там є як платні, так і безкоштовні варіанти), які дозволяють додати у свій проект безліч контенту одним кліком мишки;
- Доступна обширна документація, яка допомагатиме програмістам будь-якого рівня;
- Добре підходить як для 2D, так і для 3D систем (хоча найчастіше використовується саме для 3D);
- Можливість «збирати» програмне забезпечення для будь-якої платформи;
- Легка інтеграція багатьох сторонніх API (рекламні провайдери, системи збору даних тощо).

Недоліки:

- Розмір програмного забезпечення буде займати більше пам'яті на фізичному носії, ніж аналогічна система, але розроблена на власному рушії;
- Швидкодія роботи рушії, наприклад при знаходженні слабких місць чи оптимізації програмного забезпечення, є невисокою;
- Unity дозволяє створити графіку неабиякої якості, але це значно складніше, ніж у головного конкурента цього рушії – Unreal Engine. Зазвичай для цього необхідно залучати вузькопрофільних графічних програмістів доволі високого рівня.

Unreal Engine – ігровий рушій, створений компанією Epic Games. Перша програмне забезпечення, створене на цьому рушії – комп'ютерна гра Unreal, яка з'явилася в 1998 році. Уже тоді даний рушій демонстрував універсальність, поєднуючи в собі графічний і фізичний рушії, систему штучного інтелекту, управління файловою і мережевою системами, а також включав готове середовище для розробки інтерактивних систем.

Для спрощення портування рушії використовує модульну систему залежних компонентів: підтримує різні системи рендерингу, відтворення звуку, засоби голосового відтворення тексту, розпізнавання мовлення, модулі для роботи з мережею й підтримку різних пристроїв вводу.

Для написання коду в Unreal Engine використовується мова C++, хоча це і відзначається такими недоліками як тривалий процес компіляції і певними складнощами в написанні коду. Проте рушій надає доступне для розуміння API.

Переваги:

- Unreal Engine демонструє неабияку якість графіки без суттєвих зусиль, притому що рівень швидкодії залишається дуже високим;
- Окрім можливості писати код на C++, цей рушій містить в собі дуже потужну систему для візуального скриптування – Blueprints. За допомогою таких блок-схем можна створювати

програмне забезпечення без глибоких знань у програмуванні (хоча, звісно, в ньому є певні обмеження і з допомогою чистого C++ коду можна досягнути суттєво більшої гнучкості);

- Як і Unity, цей рушій підтримує багато платформ VR та AR;
- Unreal Engine має безліч пресетів для початку роботи. Створюючи новий проект, можна одразу обрати платформу, а також тип проекту, що економить безліч часу на початку розробки;
- Unreal Engine – це відкрите програмне забезпечення (open-source), а це означає, що його можна допрацьовувати відносно власних потреб.
- Величезна бібліотека різноманітних плагінів і візуального контенту (безкоштовного та платного);
- Підтримка багатокористувацького режиму фактично «з коробки».

Недоліки:

- Програмне забезпечення, написане на Unreal Engine зазвичай є доволі великим за обсягом пам'яті;
- Почати програмувати на C++ складніше, аніж на C#;
- Для комфортного користування рушієм потрібен більш потужний комп'ютер, ніж для користування Unity;
- Ціна за користування: при перевищенні вищевказаного доходу, Epic Games вимагатиме 5% від доходу на постійній основі. Unity, у свою чергу, потребує лише ліцензію рушія (\$150 в місяць за 1 ліцензію).

Таким чином для розробки імерсивної навчальної системи необхідно використовувати ігровий рушій, який дозволяє створювати інтерактивні 3D застосунки та компілювати їх під обрані пристрої VR. Вибір такого середовища залежить від знання певної мови програмування, складності функціональних характеристик, які необхідно реалізувати та реалістичності графіки, яка передбачається.

5. Схема впровадження імерсивної системи в освітній процес

Дослідження показує, що технології VR мають великий потенціал для одержання позитивних освітніх результатів, забезпечуючи більш наочне середовище, стимулюючи різні типи сприйняття навчального матеріалу.

В першу чергу, при впровадженні імерсивного навчального середовища необхідно проаналізувати робочу програму дисципліни, яку вивчатимуть здобувачі освіти та визначити для яких видів занять буде використовуватися така система, які теми за допомогою неї можуть розглядатися та скільки часу необхідно їй використовувати. При цьому потрібно враховувати негативні реакції, які можуть виникати як індивідуально у деяких користувачів (такі як «заколисання»), так і при тривалому зануренні у віртуальне середовище.

Більшість сучасних існуючих рішень використовують шоломи VR як основне апаратне забезпечення, які дозволяють повністю зануритися в віртуальне 3D середовище, що імітує реальність. Головною проблемою таких систем є неможливість забезпечити їхню кросплатформеність. Тому вибір шолома є одним з ключових етапів впровадження імерсивної системи у навчальний процес. Для кожного шолома VR наявна множина комерційних застосунків, серед яких можуть бути системи, які готові для використання як педагогічні інструменти, зокрема віртуальні тури, чати або монітори, стрімінгові сервіси та застосунки для формування певних вмій та навичок.

При необхідності розробки ефективного імерсивного навчального середовища для забезпечення визначених компетентностей обраної початкової дисципліни необхідно, перш за все, визначити тип системи згідно запропонованої класифікації, набір необхідних функціональних характеристик та рівень графіки відтворюваного середовища. Реалізація такої системи здійснюється за допомогою ігрового рушія, який повинен мати підтримку обраної апаратної платформи та набір інструментів для забезпечення визначених функціональних вимог.

На рис. 4 представлено схему, яка відображає основні кроки впровадження імерсивної навчальної системи в освітній процес.

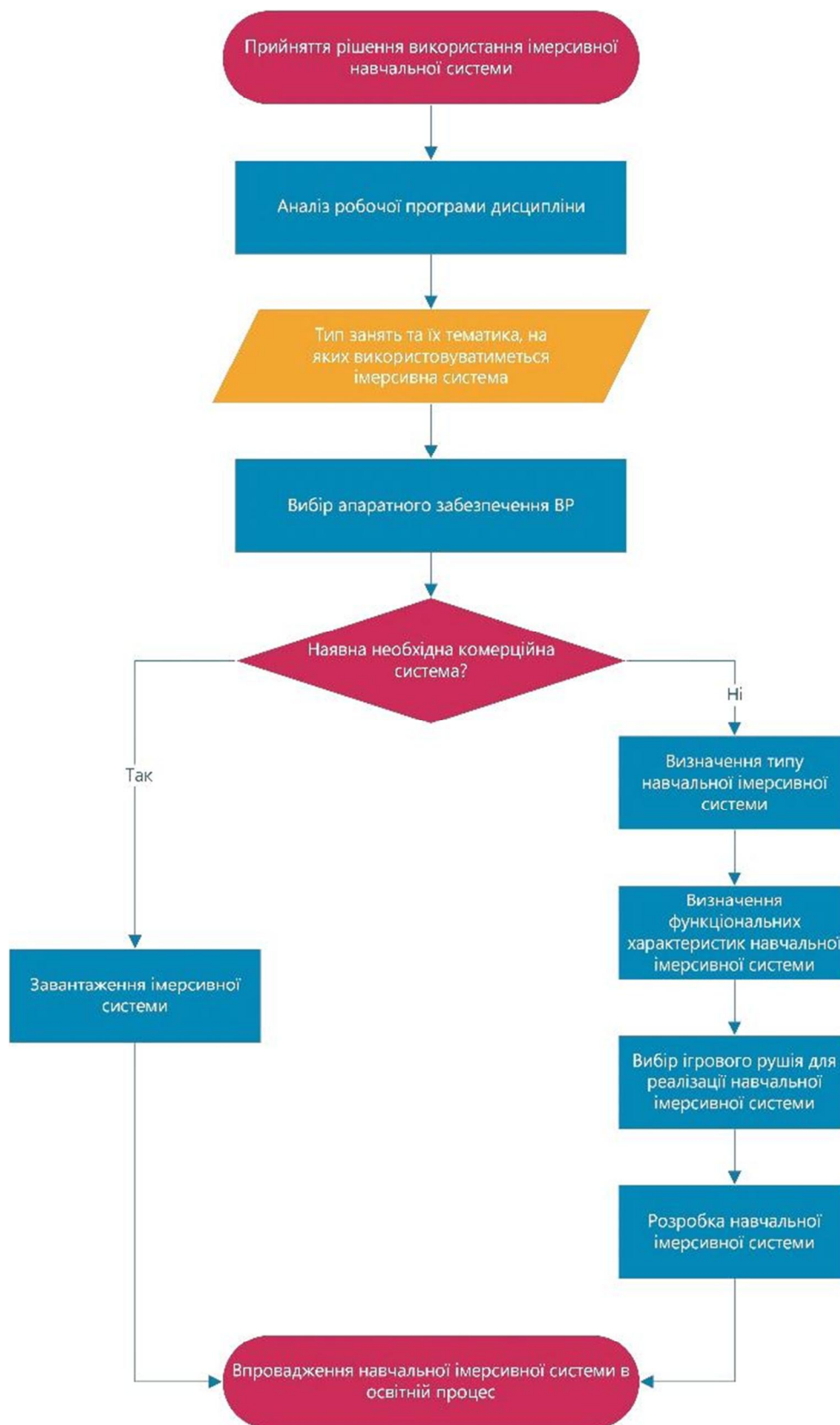


Рис. 4. Схема впровадження імерсивної навчальної системи в освітній процес

Даний алгоритм дозволяє використати результати дослідження щодо перспектив впровадження імерсивних технологій в освітній процес, комерційного ринку таких застосунків та створену класифікацію імерсивних навчальних середовищ для виявлення основних задач, які необхідно вирішити для ефективного застосування технологій ВР в педагогічній практиці.

Висновки

Сьогодні в освіті з'являються нові галузі знань, стрімко зростають обсяги інформації, що доступні для вивчення, а також з'являються нові підходи та можливості для впровадження в навчальний процес, зокрема використання сучасних інформаційних технологій, таких як віртуальна та доповнена реальність.

Використання імерсивних технологій в освітньому процесі здатне підвищити результати навчання при правильному виборі типу розроблюваної системи та її функціональних характеристик у відповідності до обраної галузі знань та компетентностей, які необхідно набути здобувачам освіти.

Також важливим чинником успішного впровадження в освітній процес імерсивного навчального середовища є правильний вибір пристроїв ВР, які забезпечуватимуть відтворення віртуального світу. Від типів обраних пристроїв залежить складність реалізації такої системи, а також досягнення ефекту максимальної реалістичності тривимірного середовища. Найоптимальнішим пристроєм у даний час для більшості застосунків є шолом віртуальної реальності завдяки його доступності, ціні, можливості віддаленого використання та застосування людьми з обмеженими можливостями.

На прикладі застосунків для шолома ВР Oculus Quest 2 визначено типи розроблених комерційних систем, які можна використовувати в навчальному процесі як допоміжних засобів, серед яких є віртуальні чати, тури, монітори та стрімінгові сервіси.

Відповідно до проведеного дослідження створено нову класифікацію імерсивних навчальних середовищ за їхніми функціональними характеристиками, що дає можливість обрати найбільш придатний тип розроблюваного імерсивного ПЗ визначеним для нього задачам та цілям навчання, а також середовище для його реалізації.

Запропоновано алгоритм впровадження імерсивної системи в освітній процес для ефективного використання з ціллю підвищення результатів навчання здобувачів освіти.

Одержані результати дослідження дають змогу в подальшому спроектувати імерсивну навчальну систему для студентів закладів вищої освіти, створити відповідне ПЗ та експериментально перевірити ефективність його впровадження в освітній процес.

Список літератури

1. Кремень, В. Г. (Ред.). (2021). *Енциклопедія освіти* (2-ге вид.). Юрінком Інтер.
2. Коджаспірова, Г. М., & Петров, К. В. (2021). *Технічні засоби навчання та методика їх використання*. Видавничий центр «Академія».
3. Мельник, І., Задерей, Н., & Нефьодова, Г. (2018, 14–19 травня). Доповнена та віртуальна реальність як ресурс навчальної діяльності студентів. *Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання: матеріали статей Міжнародної науково-практичної конференції* (с. 61–64). ПНУ ім. В. Стефаника.
4. Christou, C. (2010). Virtual Reality in Education. In *Affective, Interactive and Cognitive Methods for e-Learning Design: Creating an Optimal Education Experience* (pp. 228–243). IGI Global, Hershey.
5. Fuchs, P., Moreau, G., & Guitton, P. (2011). *Virtual Reality: Concepts and Technologies*. Boca Raton, CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b11612>
6. Tovar, D. F., Jonker, V., & Hürst, W. (2020). *Virtual Reality and Augmented Reality in Education: A review*. https://educate-it.uu.nl/wp-content/uploads/2020/02/20200204_rapportage-literatuurstudie-AR-VR.pdf
7. Kuhail, M. A., ElSayary, A., Farooq, Sh., & Alghamdi, A. (2022). Exploring Immersive Learning Experiences: A Survey. *Informatics*. (9). <https://doi.org/10.3390/informatics9040075>

8. Schott, C., & Marshall, S. (2020). Full-immersion virtual reality for experiential education: An exploratory user experience analysis. *Australasian Journal of Educational Technology*. (37), 96–110. <https://doi.org/10.14742/ajet.5166>.
9. Chung, W., & Barnett-Cowan, M. (2023). Sensory reweighting: a common mechanism for subjective visual vertical and cybersickness susceptibility. *Virtual Reality*. (27), 2029–2041. <https://doi.org/10.1007/s10055-023-00786-z>
10. Martín-Gutiérrez, J., Mora, C. E., Añorbe-Díaz, B., & González-Marrero, A. (2017). Virtual Technologies Trends in Education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. 13(2), 469–486. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00626a>
11. Jumani, A. K., Waqas, A. S., Laghari, A. A., Abro, A., & Abdullah, A. K. (2022). Virtual Reality and Augmented Reality for Education. In *Multimedia Computing Systems and Virtual Reality*. Boca Raton. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003196686-9>.
12. Calvet, L., Bourdin, P., & Prados, F. (2019, 5–7 November). Immersive Technologies in Higher Education: Applications, Challenges, and Good Practices. *3rd International Conference on Education and E-Learning* (pp. 95–99). Atlantis Press. <https://doi.org/10.1145/3371647.3371667>.
13. Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*. (147). <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>.
14. Hu-Au, E. & Lee, J. (2018). Virtual reality in education: a tool for learning in the experience age. *International Journal of Innovation in Education*. 4(4), 215–226. <https://doi.org/10.1504/IJIE.2017.10012691>.
15. Mäkelä, M., Kiltti, P., Vilpola, I. & Tervonen, J. (2012). Suitability of a Virtual Learning Environment for Higher Education. *Electronic Journal of e-Learning*. 3(1), 23–32.
16. Ray, A. B., & Deb, S. (2016). Smartphone Based Virtual Reality Systems in Classroom Teaching – A Study on the Effects of Learning Outcome. *2016 IEEE Eighth International Conference on Technology for Education (T4E)* (pp. 68–71). <https://doi.org/10.1109/T4E.2016.022>.
17. Janssen, D., Tummel, C., Richert, A., & Isenhardt, I. (2016). Towards Measuring User Experience, Activation and Task Performance in Immersive Virtual Learning Environments for Students. *Immersive Learning Research Network, Second International Conference (ILRN)* (pp. 45–58). https://doi.org/10.1007/978-3-319-41769-1_4.
18. Sviridova, E., Yastrebova, E., Bakirova, G., & Rebrina, F. (2023) Immersive technologies as an innovative tool to increase academic success and motivation in higher education. *Front. Educ.* (8). <https://doi.org/10.3389/educ.2023.1192760>
19. Bryson, S. (2013). *Virtual reality: A definition history – A personal essay*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1312.4322>.
20. Fortune Business Insights. (2021, 4 May). *Virtual Reality in Education Market to Reach USD 13,098.2 Million by 2026; Introduction of Virtuosi, an on-demand Educational Platform by Quality Executive Partners to Bolster Growth: states Fortune Business Insights™*. <https://www.globenewswire.com/news-release/2021/05/04/2222262/0/en/Virtual-Reality-in-Education-Market-to-Rreach-USD-13-098-2-Million-by-2026-Introduction-of-Virtuosi-an-on-demand-Educational-Platform-by-Quality-Executive-Partners-to-Bolster-Growth.html>
21. Неводник, Л. О. (б. д.). *Віртуальна екскурсія як одна із ефективних форм організації навчального процесу*. http://osvita.ua/school/lessons_summary/education/36910/.
22. Creed, C., Al Kalbani, M., Theil, A., Sarcar, S., & Williams, I. (2023). Inclusive AR/VR: accessibility barriers for immersive technologies. *Universal Access in the Information Society*. (23), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s10209-023-00969-0>.
23. Slavova, Y., & Mu, M. (2018, 18–22 March). A comparative study of the learning outcomes and experience of VR in education. *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* (pp. 685–686). <https://doi.org/10.1109/VR.2018.8446486>
24. KOCH News. (2019, 14 March). *Virtual Reality is Transforming Koch Facilities*. <https://news.kochind.com/news/2019/virtual-reality-is-transforming-koch-facilities>
25. Березовский, В. С., & Стеценко, И. В. (2013). *Створення електронних навчальних ресурсів і онлайн навчання*. Видав. група BHV.
26. Statista. (2023, October). Share of Steam users with a virtual reality (VR) headset worldwide as of September 2023, by device. <https://www.statista.com/statistics/265018/proportion-of-directx-versions-on-the-platform-steam/>
27. Oculus Store. (n. d.). Explore VR Experiences. <https://www.oculus.com/experiences/>

References

1. Kremen, V. H. (Red.). (2021). *Entsyklopediia osvity* (2-he vyd.) [Encyclopedia of Education (2nd ed.)]. Yurinkom Inter.
2. Kodzhaspirova, H. M., & Petrov, K. V. (2021). *Tekhnichni zasoby navchannia ta metodyka yikh vykorystannia* [Technical teaching aids and methods of their use]. Vydavnychiy tsentr «Akademiia».
3. Melnyk, I., Zaderei, N., & Nefodova, H. (2018, 14–19 May). Dopovнена ta virtualna realnist yak resurs navchalnoi diialnosti studentiv [Augmented and virtual reality as a resource for students educational activities]. *Informatsiini tekhnolohii ta komp'uterne modeliuвання* [Information technologies and computer modeling]: *materialy statei Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii* (pp. 61–64). Vasyl Stefanyk PNU.
4. Christou, C. (2010). Virtual Reality in Education. In *Affective, Interactive and Cognitive Methods for e-Learning Design: Creating an Optimal Education Experience* (pp. 228–243). IGI Global, Hershey.
5. Fuchs, P., Moreau, G., & Guitton, P. (2011). *Virtual Reality: Concepts and Technologies*. Boca Raton, CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b11612>
6. Tovar, D. F., Jonker, V., & Hürst, W. (2020, January). *Virtual Reality and Augmented Reality in Education: A review*. https://educate-it.uu.nl/wp-content/uploads/2020/02/20200204_rapportage-literatuurstudie-AR-VR.pdf
7. Kuhail, M. A., ElSayary, A., Farooq, Sh., & Alghamdi, A. (2022). Exploring Immersive Learning Experiences: A Survey. *Informatics*. (9). <https://doi.org/10.3390/informatics9040075>
8. Schott, C. & Marshall, S. (2020). Full-immersion virtual reality for experiential education: An exploratory user experience analysis. *Australasian Journal of Educational Technology*. (37), 96–110. <https://doi.org/10.14742/ajet.5166>.
9. Chung, W., & Barnett-Cowan, M. (2023). Sensory reweighting: a common mechanism for subjective visual vertical and cybersickness susceptibility. *Virtual Reality*. (27), 2029–2041. <https://doi.org/10.1007/s10055-023-00786-z>
10. Martín-Gutiérrez, J., Mora, C. E., Añorbe-Díaz, B., & González-Marrero, A. (2017). Virtual Technologies Trends in Education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. 13(2), 469–486. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00626a>
11. Jumani, A. K., Waqas, A. S, Laghari, A. A, Abro, A., & Abdullah, A. K. (2022). Virtual Reality and Augmented Reality for Education. In *Multimedia Computing Systems and Virtual Reality*. Boca Raton. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003196686-9>.
12. Calvet, L., Bourdin, P., & Prados, F. (2019, 5-7 November). Immersive Technologies in Higher Education: Applications, Challenges, and Good Practices. *3rd International Conference on Education and E-Learning* (pp. 95–99). Atlantis Press. <https://doi.org/10.1145/3371647.3371667>.
13. Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers & Education*. (147). <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>.
14. Hu-Au, E. & Lee, J. (2018). Virtual reality in education: a tool for learning in the experience age. *International Journal of Innovation in Education*. 4(4), 215–226. <https://doi.org/10.1504/IJIE.2017.10012691>.
15. Mäkelä, M., Kiltti, P., Vilpola, I. & Tervonen, J. (2012). Suitability of a Virtual Learning Environment for Higher Education. *Electronic Journal of e-Learning*. 3(1), 23–32.
16. Ray, A. B., & Deb, S. (2016). Smartphone Based Virtual Reality Systems in Classroom Teaching — A Study on the Effects of Learning Outcome. *2016 IEEE Eighth International Conference on Technology for Education (T4E)* (pp. 68–71). <https://doi.org/10.1109/T4E.2016.022>.
17. Janssen, D., Tummel, C., Richert, A., & Isenhardt, I. (2016). Towards Measuring User Experience, Activation and Task Performance in Immersive Virtual Learning Environments for Students. *Immersive Learning Research Network, Second International Conference (ILRN)* (pp. 45–58). https://doi.org/10.1007/978-3-319-41769-1_4.
18. Sviridova, E., Yastrebova, E., Bakirova, G., & Rebrina, F. (2023) Immersive technologies as an innovative tool to increase academic success and motivation in higher education. *Front. Educ.* (8). <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1192760>
19. Bryson, S. (2013). *Virtual reality: A definition history – A personal essay*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1312.4322>.

20. Fortune Business Insights. (2021, 4 May). *Virtual Reality in Education Market to Reach USD 13,098.2 Million by 2026; Introduction of Virtuosi, an on-demand Educational Platform by Quality Executive Partners to Bolster Growth: states Fortune Business Insights™*. <https://www.globenewswire.com/news-release/2021/05/04/2222262/0/en/Virtual-Reality-in-Education-Market-to-Rreach-USD-13-098-2-Million-by-2026-Introduction-of-Virtuosi-an-on-demand-Educational-Platform-by-Quality-Executive-Partners-to-Bolster-Growth.html>
21. Nevodnyk, L. O. (n. d.). *Virtuálna ekskursiia yak odna iz efektyvnykh form orhanizatsii navchalnoho protsesu* [Virtual excursion as one of the effective forms of organizing the educational process]. http://osvita.ua/school/lessons_summary/education/36910/.
22. Creed, C., Al Kalbani, M., Theil, A., Sarcar, S., & Williams, I. (2023). Inclusive AR/VR: accessibility barriers for immersive technologies. *Universal Access in the Information Society*, (23), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s10209-023-00969-0>.
23. Slavova, Y., & Mu, M. (2018, 18–22 March). A comparative study of the learning outcomes and experience of VR in education. *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* (pp. 685–686). <https://doi.org/10.1109/VR.2018.8446486>
24. KOCH News. (2019, 14 March). *Virtual Reality is Transforming Koch Facilities*. <https://news.kochind.com/news/2019/virtual-reality-is-transforming-koch-facilities>
25. Berezovskyi, V. S., & Stetsenko, I. V. (2013). *Stvorennia elektronnykh navchalnykh resursiv i onlain navchannia* [Creation of electronic educational resources and online training]. Vydav. hrupa BHV.
26. Statista. (2023, October). Share of Steam users with a virtual reality (VR) headset worldwide as of September 2023, by device. <https://www.statista.com/statistics/265018/proportion-of-directx-versions-on-the-platform-steam/>
27. Oculus Store. (n. d.). Explore VR Experiences. <https://www.oculus.com/experiences/>

**USE OF IMMERSIVE TECHNOLOGIES IN THE EDUCATIONAL PROCESS:
ADVANTAGES OF THE APPROACH, ANALYSIS OF COMMERCIAL SYSTEMS,
CLASSIFICATION OF EDUCATIONAL ENVIRONMENTS**

Tetiana Tsymbaliuk¹, Dmytro Fedasyuk²

Lviv Polytechnic National University,
Software Engineering Department, Lviv, Ukraine

¹ E-mail: tetiana.m.tsymbaliuk@lpnu.ua, ORCID: 0000-0001-5934-6485

² E-mail: dmytro.v.fedasyuk@lpnu.ua, ORCID: 0000-0003-3552-7454

© Tsymbaliuk T., Fedasyuk D., 2024

In recent years, the popularity of information technologies, their role and degree of use in many areas, in particular in the field of education, has been growing. The implementation of digital educational tools in the educational process allows to increase its flexibility, to apply more individual approaches to the education seekers and to encourage them to self-improvement.

Today, the use of many digital technologies, such as audio and video devices, interactive whiteboards, computers, tablets, etc., for better learning of educational material is common in educational institutions. Immersive technologies, such as virtual reality and augmented reality, have been gaining more and more development over the last decade and are occupying their niche in the field of education.

Virtual reality technologies make it possible to create an artificial interactive three-dimensional world with which the user interacts by engaging the senses. To interact with the objects of this world, you need to use special peripheral devices, which are of various types, from simple, like head-mounted displays or gloves, to complex, like navigation panels or rooms. The disadvantage of such software is the

impossibility of ensuring its cross-platform compatibility for different types of hardware that can be used in the educational process.

Based on the analysis of scientific literature, ways to increase the effectiveness of learning by introducing immersive learning environments into the educational process have been identified, and the main advantages of learning using virtual reality technologies compared to traditional methods have been highlighted. An analysis of modern head-mounted displays as the main device for reproducing the virtual world for educational platforms was conducted and it was determined that the most popular of them is the Oculus Quest 2 model.

Through analysis of the Oculus app store, it has been determined that only a small percentage of commercial systems can be used as aids in the learning process.

The article presents a formed classification of immersive educational environments, which defines a set of functions in a system of a certain type. Using the proposed classification, you can determine the necessary characteristics of the virtual reality application being developed for training and choose the optimal technologies for its implementation.

Key words: virtual reality; electronic education; information system; virtual learning environment; head-mounted display.