

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ З ЕЛЕМЕНТАМИ ПОВНОГО ЗАНУРЕННЯ

Олексій Кузнєцов¹, Вікторія Висоцька^{1, 2}, Ольга Власенко^{2, 3}

¹ Національний університет “Львівська політехніка”, кафедра інформаційних систем та мереж,
вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна

² Університет Оснабрюка, Інститут комп’ютерних наук, вул. Фрідріха Янсена, 1,
Оснабрюк, Німеччина

³ Житомирський державний університет імені Івана Франка, кафедра професійно-педагогічної,
спеціальної освіти, андрагогіки та управління, вул. Велика Бердичівська, 40, Житомир, Україна

¹ E-mail: oleksii.kuznietsov.knm.2018@lpnu.ua, ORCID: [0000-0002-3537-9976](https://orcid.org/0000-0002-3537-9976)

² E-mail: Victoria.A.Vysotska@lpnu.ua, ORCID: [0000-0001-6417-3689](https://orcid.org/0000-0001-6417-3689)

³ E-mail: olha.vlasenko@uni-osnabrueck.de, ORCID: [0000-0001-7258-2108](https://orcid.org/0000-0001-7258-2108)

© Кузнєцов О. О., Висоцька В. А., Власенко О. М., 2023

Віртуальна реальність є важливою інформаційною технологією, яка дає змогу досягти значного прогресу в недостатньо охоплених областях. Імерсивна мультимедіа, або віртуальна реальність, – це змодельоване програмним забезпеченням середовище, яке імітує фізичну присутність у реальному чи уявному світі. Інноваційні програми, такі як високотехнологічні інтелектуальні системи, які співвідносяться з інформаційними технологіями відображення, моделювання, побудови та підтримки мереж, штучного дотику та комп’ютерної графіки, зробили віртуальну реальність проривом у комп’ютерному світі. Екскурсії та дистанційне навчання у віртуальній реальності є одним зі способів зімітувати присутність у тому місці, де людина у цей момент не може перебувати фізично. Переглядаючи віртуальні екскурсії або відвідуючи онлайн-заняття за допомогою відео/фотографій, користувач (абітурієнт/ студент/учень/викладач/вчитель) бачить лише плоске зображення та не може взаємодіяти з ним. Через це втрачається ефект присутності користувача на вибраному місці. Віртуальна реальність із ефектом повного занурення дає змогу нівелювати ці недоліки майже повністю та надати можливість взаємодіяти із об’єктами, які розташовані на віртуальній сцені, за допомогою реальних рухів власного тіла. Окрім того, за короткий проміжок часу за допомогою віртуальної реальності користувач може побувати в багатьох місцях, буквально не виходячи з дому. В реальному житті це неможливо зробити, оскільки певні місця дуже віддалені від користувача. Об’єктом дослідження є проведення інтерактивної екскурсії та дистанційного навчання кафедрою інформаційних систем та мереж Національного університету “Львівська політехніка” у віртуальній реальності. Предметом дослідження є засоби, методи проєктування та розроблення інформаційної системи віртуальної реальності екскурсії та дистанційного навчання із використанням інформаційних технологій віртуальної реальності. Про практичне значення отриманих результатів свідчить реалізована інформаційна система проведення інтерактивної екскурсії та дистанційного навчання на базі кафедри університету. Наукова новизна полягає у створенні інформаційної системи, основаної на використанні віртуальної реальності, яка призначена для онлайн-відвідування приміщень кафедри університету з елементами повного занурення, що може стати платформою для профорієнтації учнів або дистанційного навчання студентів.

Ключові слова: інтерактивні екскурсії; віртуальна реальність; віртуальні екскурсії;

інформаційна система.**Вступ**

Віртуальна реальність (англ. Virtual reality, VR) вважається важливою інформаційною технологією (ІТ), що уможливило значний стрибок у несприятливих предметних областях (ПО). VR іноді називають імерсивним мультимедіа, змодельованим персональним комп'ютером (ПК) середовищем, яке імітує фізичну присутність у місцях реального чи уявного світу. Люди захоплюються VR зазвичай для розваг, але її реальний вплив поширюється на освіту, комунікації, медицину, бізнес, мистецтво, туризм, дизайн, інженерію, багато інших галузей та ПО [1]. VR формує середовище, яке дає змогу змінювати свій емоційно-психологічний стан. Так VR допомагає маніпулювати фізичним середовищем. Концепції VR зумовили різноманітні фантазії/уявлення людей – від різноманітних культурних (наприклад, кіберпанку) до військових світів. VR уже здійснила прорив з інноваційними додатками, такими як високотехнологічна система, що корелює з ІТ відображення, моделювання, планування та побудови мереж, штучного сенсорного дотику, комп'ютерної графіки тощо. Розроблені інтерфейси користувача використовують для реалізації та інтеграції VR, бездротової мережі для підвищення продуктивності та креативності людей.

Мета роботи – створення інформаційної системи віртуальної реальності кафедри університету (ІСВРКУ) з елементами повного занурення як платформи для профорієнтації та дистанційного навчання. Для досягнення мети поставлено такі завдання:

1. Проаналізувати ПО, підходи і наявне апаратне та програмне забезпечення.
2. Дослідити переваги та недоліки продуктів у VR освітньої та екскурсійної ПО.
3. Виконати системний аналіз інформаційної системи (ІС), вибравши найкращу методологію.
4. Конкретизувати функціональні вимоги до ІСВРКУ з елементами повного занурення та побудувати ієрархію завдань.
5. Сформулювати основну мету ІСВРКУ та вибрати тип інформаційної системи (ІС).
6. Проаналізувати засоби та методи вирішення поставленої проблеми реалізації ІСВРКУ.
7. Створити опис та інструкцію користувача ІСВРКУ та здійснити експериментальну апробацію.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Термін VR нині охоплює багатозначне семантичне поле з нечіткими межами. VR зазвичай пов'язують із телебаченням, інтернетом, е-засобами комунікацій, ІС тощо [2]. Останнім часом, завдяки досягненням і поширенню комп'ютерних та мобільних ІТ, можливості VR, або доповненої реальності (англ. augmented reality, AR), стали практично життєздатними і вражають дедалі більше. Це зумовило популяризацію ІТ VR/AR і дало змогу користувачам відчувати поєднання цифрового і фізичного світів. Дослідження має на меті охарактеризувати явища VR/AR та виявити їх роль у дистанційному навчанні та проведенні онлайн-екскурсій [3].

Причини віртуалізації. Віртуалізація суспільства є одним із глобальних процесів сучасності та проявляється у віртуалізації системи освіти, туризму, культури, економіки, політики, мистецтва, науки тощо. Для VR/AR економіки характерне створення електронних ринків збуту та е-магазинів. VR/AR політики пов'язана, передусім, із використанням віртуальних політтехнологій. VR/AR науки приводить до створення і появи в мережі наукових е-журналів, становлення нової методології наукових досліджень, що віддають перевагу комп'ютерним експериментам. VR/AR освіти проявляється в формуванні на державному рівні системи дистанційної освіти; VR/AR культури – у створенні віртуальних музеїв і бібліотек, віртуального дозвілля (чати для спілкування, соціальні мережі тощо), віртуальних турів тощо [2]. VR/AR відкрили перед людиною безпрецедентні можливості: розширення меж творчості, конструкторської діяльності, навчання мануальній техніці,

виникнення нових видів мистецтва, неможливих у фізичному світі. Використання VR/AR істотно полегшило трудову діяльність людини, забезпечило широкі можливості для самореалізації, освіти та самоосвіти. Завдяки інтернету та VR/AR людина вийшла за межі однієї країни, мови, культури. Водночас з'явилися нові проблеми і нові питання, і, передусім, питання, особливо актуальне для соціокультурної сфери: про допустимі межі застосування ІТ. Адже це дає змогу відчувати правдоподібний, імерсивний 3D-комп'ютерний світ, в якому достатньо інтерактивності, який людина може досліджувати, відчуваючи свою присутність в ньому як розумово, так і фізично [4]. Інакше кажучи, VR/AR за змістом:

- **Правдоподібна:** справді потрібно відчувати, що перебуваєте у VR/AR (на Марсі або на березі Чорного моря) і продовжувати вірити в це, інакше ілюзія VR/AR зникне.

- **Інтерактивна:** коли переміщаєтеся, VR/AR-світ повинен рухатися разом з вами. Можете подивитися 3D-фільм і перенестися на Місяць або на морське дно Чорного моря разом, але не інтерактивно.

- **Згенерована:** оскільки тільки потужні машини із реалістичною тривимірною комп'ютерною графікою достатньо швидкі, щоб створювати правдоподібні, інтерактивні, альтернативні VR/AR-світи, які змінюються у реальному часі, коли рухаємося у них.

- **Досліджувана:** VR/AR-світ повинен бути досить великим і деталізованим, щоб можна було його досліджувати. Якою б реалістичною не була картина, вона показує тільки одну сцену, з одного ракурсу. Книга може описати великий і складний "віртуальний світ", але по-справжньому досліджувати його можна тільки лінійно, з погляду її автора.

- **Захоплююча:** щоб бути одночасно правдоподібним й інтерактивним, VR повинен задіяти як тіло, так і розум людини. Картини військових художників можуть відобразити проблиски конфлікту, але вони ніколи не зможуть повністю передати вигляд, звук, запах, смак і відчуття битви. Можна грати в симулятор польоту на ПК і годинами здобувати реалістичний інтерактивний досвід (ландшафт постійно змінюється, поки літак пролітає через нього), але це не подібно на використання реального симулятора польоту.

Види віртуальної реальності. VR/AR часто використовують як маркетингове модне позначення-слово для переконливих інтерактивних відеоігор або навіть 3D-фільмів і телевізійних програм, жодна з яких насправді не вважається віртуальною реальністю, тому що вони не занурюють повністю або частково в VR/AR-світ. В магазині застосунків для мобільних телефонів можна знайти сотні хітів, хоча крихітний екран мобільного телефону ніколи не зможе наблизитися до переконливого VR-досвіду. Такі речі, як інтерактивні ігри та комп'ютерне моделювання, безумовно, підтверджують, що не існує одного підходу до побудови віртуальних світів, бо є різновид VR/AR [4]:

- **Повне занурення.** Для повного досвіду VR потрібно три речі. По-перше, правдоподібний і багато деталізований віртуальний світ для дослідження, тобто комп'ютерна модель або симуляція. По-друге, ПК, який може визначити напрям і відповідно скоригувати досвід у реальному часі (щоб візуалізоване або озвучуване у віртуальному світі змінювалося так само швидко, як і в реальному). По-третє, апаратне забезпечення (АЗ), пов'язане із ПК, яке повністю занурює у віртуальний світ. Зазвичай треба встановити HMD-дисплей з двома екранами і стереозвук, надіти одну/кілька сенсорних рукавичок. Альтернатива: можна пересуватися по кімнаті, оснащеній гучномовцями об'ємного звучання, на які ззовні проєктують мінливі зображення.

- **Без занурення.** Високореалістичний симулятор польоту на ПК можна кваліфікувати як неімерсивну VR, особливо якщо використовувати дуже широкий екран із навушниками або об'ємний звук, а також реалістичний джойстик та інші елементи управління. Не всі хочуть або повинні бути повністю занурені в альтернативну реальність. Архітектор може побудувати детальну 3D-модель нового будинку для клієнтів, які його частини можуть досліджувати на ПК мишею. Більшість людей класифікують це як віртуальну реальність, навіть якщо у неї не повністю занурюються. Комп'ютерні археологи часто створюють захопливі 3D-реконструкції давно втрачених поселень, які можна

пересувати і досліджувати. Вони не заглиблюють у минуле на сотні або тисячі років і не створюють звуків, запахів і смаків передісторії, але дають набагато багатший досвід, ніж кілька пастельних малюнків чи навіть анімаційний фільм.

- **Колаборативний.** Хоча деякі ігри задовольняють перші чотири наші критерії (правдоподібні, інтерактивні, створені ПК, піддаються дослідженню), насправді вони не відповідають п'ятому: не повністю занурюють у віртуальний світ. Але вони пропонують співпрацю, яку ультрасучасна VR зазвичай не забезпечує: ідея обміну досвідом у VR-світі з іншими людьми, часто в реальному масштабі часу. Співпраця і обмін інформацією, ймовірно, стануть все важливішими функціями VR у майбутньому.

- **Web-based.** VR була однією з ІТ, які почали швидко розвиватися у кінці 80-х – на початку 90-х років XX ст., але швидке поширення інтернету значно знизило зацікавленість. Навіть незважаючи на те, що розроблений спосіб побудови VR-світів у інтернеті (із використанням ІТ, аналогічної HTML – Reality Markup Language, VRML), звичайні користувачі були більше зацікавлені в тому, як Web надавав їм нові способи доступу до реального життя: нові способи пошуку і публікації інформації, купівлі та обміну думками, ідеями та досвідом із друзями через соціальні мережі тощо. Зважаючи на зростання інтересу Facebook до ІТ VR/AR, ймовірно, стане Web-орієнтованим, а також колаборативним.

- **Доповнена реальність.** Мобільні пристрої (смартфони і планшети) сьогодні стали суперкомп'ютерами. Подорожуючи світом, відвідуючи такі об'єкти культурної спадщини, як піраміди або старовинне місто, в якому ніколи не були раніше, туристи переважно прагнуть реальних вражень, а не за допомогою VR. Це спонукало до зародження ідеї AR, завдяки якій після наведення смартфона на пам'ятку або стародавню будівлю автоматично спливає цікава інформація про неї. AR є поєднанням реального світу, який відчуваємо, з величезним віртуальним світом інформації в інтернеті. Жоден із цих світів не є VR, але ідея дослідження та навігації ним одночасно має щось спільне з VR. Прикладом може слугувати визначення бездротовим пристроєм свого точного розташування або зміна речей на екрані планшета під час руху по місту. Технічно ці проблеми подібні до тих, які доводиться вирішувати розробникам VR-систем, тому AR і VR тісно пов'язані [5].

Аналіз відомих засобів вирішення проблеми. VR не завжди однозначно сприймали, спершу трактували як щось трохи більше, ніж відома гра або бажана втеча від реальності. У цьому сенсі VR трактується як альтернативна реальність, штучна реальність або комп'ютерне моделювання. Отже, VR – це не примха чи фантазія, яка в майбутньому залучатиме користувачів у альтернативні світи; це сучасна ІТ, яку активно використовують вчені, лікарі, інженери, архітектори, археологи та військові близько 30 років. Складні, відповідальні, затратні та небезпечні навички та компетенції спочатку важко здобути людині в деяких непростих галузях, таких як подорож у космос, посадка великого літака, стрибок із парашутом або проведення операції на мозку. Для моделювання цих процесів знадобляться VR-застосунки. Тренажери кабіни пілотів були одними з найперших VR-застосунків; історія їх розвитку сягає механічних тренажерів, які розробив Едвін Лінк у 1920-ті роки. Як і пілоти, хірурги тепер регулярно навчаються за допомогою VR. У 2008 р. з 735 опитаних хірургів-стажерів із 28 країн 68 % відзначили, що можливість тренуватися з VR була доброю/відмінною і лише 2 % оцінили її як марну/непридатну [5].

Аналіз програмних рішень та систем. У дистанційному навчанні (DELTA) Університет штату Північна Кароліна використовує VR для викладання майбутнім біологам таких дисциплін, як екологія, еволюція і біорізноманіття (BIO 181), щоб студенти здобули відповідний досвід з мінімальними затратами. Mendel Grammar School в місті Опава (Чеська Республіка) навчає студентів анатомії очей на заняттях із біології за допомогою Oculus Rift, а школа Святого Іоанна в Бостоні (штат Массачусетс) використовує Minecraft і VR, захоплюючи учнів враженнями під час занять. Університет Пенсильванії (штат Пенсильванія) навчає студентів використовувати VR, підвищуючи ефективність навчання. Університет Британської Колумбії у Ванкувері експериментує із

віртуальними лекційними залами [6]. Gaelscoil Eoghain Ui Thuairisc school у Карлоу (Ірландія), відтворює історичні пам'ятки за допомогою ПЗ 3D-моделювання Mission V. Університет Друрі в Спрінгфілді (штат Міссурі) викладає архітектурний дизайн із використанням VR-інструментів. Студенти Стенфорда застосовують Viar360 для створення віртуальних турів по музеях. Технології активно використовують у мистецтвознавстві та для вивчення нових медіа. Імерсивна 360-градусна фотографія і відеознімання мають величезний потенціал як нові форми медіа. Деякі медіа-видавці, зокрема The New York Times та The Economist, перейшли на VR-сторителінг, поєднуючи їх з використанням традиційних технологій під час створення засобів масової інформації та навчання студентів, надаючи викладачам можливість здійснювати пошук VR-контенту. Окрім ПО комп'ютерних ігор, передбачають стрімке зростання ІТ (зокрема AR/VR) у різних галузях: медицині (38 %), освіті (28 %), розвитку трудових ресурсів (24 %), переробному виробництві (21 %), автобудуванні (19%), маркетингу і рекламі (16 %), логістиці/транспорті (16 %), роздрібній торгівлі (15 %), армії (13 %) та на ринку комерційної нерухомості (13 %) [7]. Зокрема [7–15]:

- **Anne Frank House VR app** розроблений для будинку Анни Франк в Амстердамі (Нідерланди), що є однією із найвідоміших пам'яток Другої світової війни, його можна відвідати також за допомогою застосунку VR, занурившись в частину історії.

- **Anatomyou VR** – один із найкращих застосунків для використання в навчальній аудиторії, особливо для вивчення будови людського тіла. За його допомогою можна вивчати систему кровообігу, жіночу репродуктивну систему, сечовидільну систему, шлунково-кишковий тракт, носоглотку і трансбронхіальне дерево. Застосунок можна використовувати без VR-гарнітури, послуговуючись повноекранним режимом.

- **A Journey into the Brain in VR by Unimersiv.** VR-застосунок, корисний під час навчання та вивчення одного із найзагадковіших органів людського тіла – мозку.

- **National Geographic Explore VR** – ще одне освітнє ПЗ, яке можна використовувати як в географічному класі, так і в будь-якому іншому місці, щоб показати користувачам, наскільки чудова і різноманітна природа. Можна здійснити віртуальну подорож до одного із найхолодніших регіонів нашої планети – Антарктиди, де середня температура коливається від 50°F до 140°F або від –10°C до –60°C (дискомфортна для людини), або відвідати перуанський Мачу-Пікчу, знамениті руїни міста інків.

- **Learn Languages VR.** Вважається, що для вивчення іноземної мови бажано зануритися в іншомовне середовище, в ідеалі переїхавши в іншу країну. За допомогою освітніх VR- застосунків можна освоїти будь-яку іноземну мову, не покидаючи своєї країни. Це інструмент, який допомагає вивчати різні мови: китайську, чеську, датську, голландську, англійську, французьку, німецьку, грецьку, угорську, італійську, японську, корейську, польську, португальську, іспанську, шведську, українську тощо.

Отже, проаналізувавши наявне ПЗ, можна відзначити, що поставлена проблема актуальна й фахівці активно займаються її вирішенням, реалізуючи різні ІС для різних ПО [1–15].

Аналіз апаратного забезпечення віртуальної реальності для вирішення проблеми. За допомогою використання комбінації обчислювальної потужності ПК та оптики для імітації візуального та слухового досвіду можна максимально адаптувати VR до реальності або вигаданого світу із елементами повного занурення. VR має замінити реальність чимось іншим, а не покращити її. Зазвичай цього досягають за допомогою певної комбінації оптики, навушників і відстеження рухів голови, тож можна оглядати VR-середовище, а в деяких випадках пересуватися в ньому [16]. Також варто зазначити, що майже всі VR-пристрої потребують зовнішнього обладнання. Тому, придбавши гарнітуру Gear VR, потрібно мати телефон відповідної обчислювальної потужності. Для Oculus Rift необхідний потужний ПК. Навіть Google Cardboard потребує телефону відповідного класу із мобільною операційною системою iOS або Android.

Google Cardboard (рис. 1, а) – це найдешевший засіб для занурення у VR, оскільки ПЗ для

перегляду Cardboard розроблено для роботи з будь-яким телефоном. Google серйозно ставиться до VR, тому можна знайти широкий спектр ІС і демонстрацій, які можна спробувати з цією платформою. Також є можливість переглянути різноманітні відео YouTube про VR, і Google нещодавно оголосив, що кожне YouTube відео тепер можна дивитися у VR. Низька вартість шоломів Cardboard, які буквально виготовляють з картону і часто відправляють розібраними, є величезною перевагою. The New York Times нещодавно надала передплатникам безкоштовну версію недільного випуску, що дало змогу багатьом людям вперше спробувати VR. Створено також можливості для навчання, оскільки вже поширені недорогі пристрої Android. Поява на ринку недорогих та зручних шоломів VR сприяла узалежненню Cardboard на 100 % від класу підключеного смартфона для відстеження рухів голови. Необхідні давачі чудово підходять для використання на більшості класів телефонів, але недостатньо точні, щоб створити повне відчуття присутності у VR (табл. 1).



Рис. 1. Google Cardboard (а) та Samsung Gear VR (б)

Таблиця 1

Аналіз переваг та недоліків

Переваги	Недоліки
Офіційна підтримка Google та “best practices” під час розроблення ІС	Невелика кількість програм та додатків
ІС Cardboard доступна як на пристроях iOS, так і на Android	Низька якість продукту призводить до “морської хвороби”
Низька ціна	
Багато вендорів, які пропонують продаж	
Легке налаштування та використання	Обмеженість мобільних пристроїв у обчислювальній потужності

Samsung Gear VR (рис. 1, б) є однією із найдивовижніших і найпростіших у використанні гарнітур, уже доступних, але сумісна лише з чотирма смартфонами фірми Samsung: Galaxy Note 5, Galaxy S6 edge+, Galaxy S6 або Galaxy S6 Edge. Для пристроїв iOS немає подібного продукту. Gear VR – це продукт, створений Samsung і Oculus для реклами продажу телефонів Samsung. Надає можливість транслювати фільми Netflix, Twitch або власні імпортовані відео в приватному кінотеатрі, встановлювати ігри, які зацікавлять гравців на тривалий час [16]. Гарнітура Gear VR опрацьовує відстеження рухів голови, що створює комфортніші умови порівняно з Cardboard. Усі сумісні телефони Samsung оснащені високоякісними екранами, що практично унеможливило погані враження під час гри в Gear VR. Відсутність дротів забезпечує легке транспортування, що є величезною перевагою під час подорожі; це повноцінне VR-рішення, яке легко налаштовується. Однак розробників стримують графічні обмеження смартфонів зазначеного покоління, можливість автономної роботи від кожного заряджання лише впродовж кількох годин, а також загроза перегрівання пристрою. Незважаючи на зазначені недоліки, Gear VR поки що найдешевший, але найякісніший та комфортний спосіб використання технологій VR. Відзначимо і пропозиції від Google Cardboard, які завдяки використанню точніших зовнішніх давачів покращують АЗ смартфона, хоча обидві ІТ зовні подібні (табл. 2).

Таблиця 2

Аналіз переваг та недоліків

Переваги	Недоліки
----------	----------

Краща якість порівняно із Google CardBoard, через використання кращих матеріалів	Обмеженість обчислюваної потужності мобільних пристроїв
Додаткова підтримка від Google	Підтримка лише смартфонів Samsung
Можливість отримати послугу безкоштовно	Більша за розміром, ніж Google CardBoard
Керування голосом	
Покращене відстеження рухів голови	

Oculus Rift (рис. 2, а) – це набір VR-окулярів, які можуть працювати з ігровим ПК або ноутбуком. Rift досягає імітації реальності за допомогою пари екранів, які відображають два зображення поруч, по одному для кожного ока. Набір лінз розміщується на верхній частині панелей, фокусуючи та змінюючи форму зображення для кожного ока, а також створюючи стереоскопічне тривимірне зображення. Окуляри мають вбудовані датчі, які контролюють рухи голови користувача та відповідно коригують зображення. Остання версія *Oculus Rift* підкріплена зовнішнім датчем відстеження положення голови, який допомагає точніше відстежувати її рухи [17]. Завдяки високій частоті оновлення та низькій затримці більшість людей теоретично не повинні відчувати ознак нудоти. Однак організму людини потрібен деякий час, щоб пристосуватися до VR, особливо під час ігор з активними діями. Зрештою, VR може впливати на людей по-різному. Панелі з вищою роздільною здатністю дали змогу усунути “ефект екранних дверей” (можливість бачити проміжки між окремими пікселями). Окрім того, режисери почали експериментувати з *Oculus Rift*, щоб змусити аудиторію відчувати себе частиною фільму – від перебування на сцені на записаному концерті до перегляду цілого фільму з погляду одного персонажа (табл. 3) [16]. Шолом *Oculus Rift* використовує потужності ПК, тому його додавання забезпечить повніші враження, ніж надає *Gear VR*. Якщо ПК недостатньо потужний, все одно є можливість запускати деякі ігри, але достатньо низька частота кадрів іноді призводить до запаморочення та нудоти. Це АЗ започаткувало нове покоління VR-обладнання.

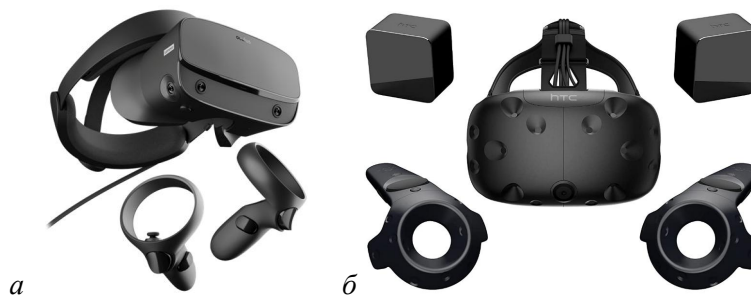


Рис. 2. *Oculus Rift* (а) та *HTC Vive* (б)

Таблиця 3

Аналіз переваг та недоліків

Переваги	Недоліки
<i>Oculus Quest 2</i> не потребує дротів	Короткий термін служби батареї, до 3 год
Великий обчислювальний потенціал	Підпорядковане компанії Facebook
Чітке відстежування рухів	Відсутні навушники
Можливість підключити пристрій до ПК та використовувати його потужність	

HTC Vive (рис. 2, б) – це VR-гарнітура, яка повністю занурює у життя. Використовуючи два датчі в кожному кутку кімнати, *HTC Vive* відстежує та маршрутизує рух по кімнаті. Гарнітура підключається до ПК за допомогою довгого шнура, існують також бездротові контролери. Потрібен ПК, який має обчислювальну потужність для запуску VR. *Vive* працює на платформі *SteamVR*, яка є віртуальним ігровим ПЗ на основі реальності [18]. *HTC Vive* використовують різноманітні користувачі: деякі хочуть добре провести дозвілля, інші – в навчальних цілях. Зокрема, *Arlington*

Science Focus School в Арлінгтоні, штат Вірджинія, за допомогою VR надає студентам можливість брати участь у віртуальних екскурсіях до Смітсонівського музею. У медицині VR використовують для дослідження анатомії людини, різних частин тіла. Крім того, університет штату Пенсильванія уже тепер навчає студентів вдосконалювати практичні навички у VR-світі, перш ніж вони спробують це у реальному світі (табл. 4).

Таблиця 4

Аналіз переваг та недоліків

Переваги	Недоліки
Найкраща роздільна здатність	Висока ціна
Плавне відстеження руху	Не містить необхідні базові станції або контролери
Вбудоване аудіо	

Отже, якщо проаналізувати доступне нині АЗ, найкращою пропозицією вважаємо продукт від компанії Oculus, що поєднує оптимальну ціну та якість. Окрім того, в деяких із моделей є вбудоване аудіо та контролери в базовій комплектації, що робить це АЗ найоптимальнішим на сьогодні.

Вплив на здоров'я людини. Під час використання VR-засобів можливе відчуття заколисування та нудоти. VR-хвороба виникає, коли вплив VR-середовища викликає симптоми, подібні до симптомів заколисування. Найпоширеніші симптоми – загальний дискомфорт, головний біль, нудота, блювота, блідість, пітливість, втома, сонливість, дезорієнтація та апатія, рідше – постуральна нестабільність і блювота. VR-хвороба відрізняється від заколисування тим, що вона може бути спричинена візуально індукованим сприйняттям саморуху; реальний саморух не потрібен. Це також відрізняється від симуляторної хвороби; хвороба симулятора невіртуальної реальності характеризується окоруховими порушеннями, тоді як VR-хвороба, як правило, дезорієнтацією [19]. Існують різні технічні VR-аспекти, які можуть спричинити хворобу: невідповідний рух, поле зору, паралакс руху та кут огляду. Симптоми можуть посилюватися зі збільшенням часу перебування у VR. Невідповідний рух можна визначити як невідповідність між рухом симуляції та рухом, якого очікує користувач. Заколисування у разі використання VR може виникнути, коли частоти невідповідного руху подібні до частоти заколисування у реальності, наприклад, морської хвороби. Цими частотами можна експериментально маніпулювати, але вони також можуть виникати через системні помилки. Як правило, збільшення поля зору підвищує частоту симптомів симулятора. Цей зв'язок криволінійний, симптоми наближаються до асимптоти для полів зору понад 140°. Зміна відстані паралакса руху на відстань, меншу, ніж відстань між очима людини у великих установках моделювання з кількома екранами, може спричинити окоруховий дистрес, наприклад, головні болі, напруження очей і затуманення зору [19].

Техніки для зменшення VR-хвороби. Згідно із кількома дослідженнями, введення статичної системи відліку (незалежний візуальний фон) може зменшити симуляційну хворобу. Техніка під назвою Nasum Virtualis показує віртуальний ніс як фіксовану систему відліку для гарнітур VR.

Інші методи зменшення нудоти передбачають імітацію способів зміщення, які не створюють або знижують розбіжності між візуальними аспектами та рухом тіла, наприклад, зменшення обертальних рухів під час навігації, динамічне звуження поля зору, перенесення у VR-просторі (телепортація) [19]. У січні 2020 р. французький стартап Boarding Ring, відомий своїми окулярами проти заколисування, випустив додатковий пристрій проти VR-хвороби. Використовуючи два невеликі екрани в периферійному полі зору користувача, пристрій відображає візуальну інформацію, що відповідає вестибулярним входам, уникаючи сенсорного конфлікту. Гальванічна вестибулярна стимуляція, яка створює ілюзію руху за допомогою електричної стимуляції вестибулярної системи, є ще одним методом, який досліджують на предмет потенціалу для пом'якшення або усунення зорово-вестибулярної невідповідності.

Отже, проблема з інтерактивними екскурсіями та їх упровадженням пов'язана з малим ринком збуту цієї продукції у світі через деякі фактори, а саме: ціни на АЗ, як шолом, так і ПК; через

невідповідний простір для руху під час деяких програм та ігор проявляється морська хвороба та можуть виникати відчуття заколисування і нудота.

З розвитком ІТ VR стала доступнішою безпосередньо для некомерційних організацій та окремих користувачів, що використовують ці ІС для освіти та розваг. Окрім того, поки що не створено ІС, яка дасть змогу провести інтерактивний тур кафедрами Національного університету “Львівська політехніка”.

Формулювання мети та постановка задачі

Проаналізувавши вимоги до ІСВРКУ із елементами повного занурення як платформи для проведення дня відкритих дверей у контексті профорієнтації серед учнів старших класів, що відбувається у дистанційному режимі, можна відзначити:

1. Остаточна мета створення ІСВРКУ полягає у наданні можливості ознайомитись з приміщеннями кафедри Національного університету “Львівська політехніка” дистанційно. Це забезпечить занурення майбутнього студента/абітурієнта, в частину процесу навчання ще до його початку. Під час дистанційного навчання це підтримує процес психологічної соціалізації студента для покращення сприйняття навчального матеріалу, яке погіршується у разі довготривалого традиційного онлайн-навчання через стандартні платформи.

2. Один із принципів системного аналізу (СА), а саме принцип зв'язності, дає змогу дослідити зв'язки між різними частинами ІСВРКУ і визначити головні та додаткові елементи для побудови ІС, щоб побудувати дерево пріоритетів розробки.

3. Принцип децентралізації забороняє елементам ІС впливати на стан інших.

4. Розділення ІСВРКУ на модулі дасть змогу розглядати їх окремі елементи, уможливило аналіз функціонування кожного модуля окремо.

5. Принцип розвитку дає змогу проаналізувати майбутній розвиток ІСВРКУ та врахувати зміни, які можуть бути внесені, що дасть змогу розширити функції цієї системи.

СА – це процес збирання та інтерпретації фактів, виявлення проблем і розкладання ІС на її компоненти. СА здійснюють з метою вивчення ІСВРКУ або її частин для визначення її цілей. Це техніка вирішення проблем, яка покращує ІСВРКУ та гарантує, що всі її компоненти ефективно працюють для досягнення мети. СА визначає, що повинна робити ІСВРКУ [27]. СА – це інструмент, за допомогою якого досліджують ІСВРКУ, аналізують компоненти/модулі/зв'язки, моделюють їх та шукають логічну альтернативу (незалежно від ІТ) для проблемних моментів. Основна процедура СА складається із двох основних кроків: (1) аналіз (вивчення системи) і (2) моделювання системи та вибір логічної альтернативи [13]. Найкращий спосіб повного опису СА – це визначити термінологію, яка використовується в процесі. По-перше, ІСВРКУ – це набір компонентів, які працюють разом, щоб досягти певної мети або завдання. Це інтегрований набір компонентів для збирання, зберігання та опрацювання даних і надання доступу до інформації, знань та цифрових продуктів. Бізнес-фірми та інші організації покладаються на ІС для здійснення та управління своїми операціями, взаємодії зі своїми клієнтами і постачальниками та конкуренції на ринку. Наприклад, ІС використовують для запуску міжорганізаційних ланцюгів поставок та електронних ринків або дистанційного навчання. Корпорації використовують ІС для опрацювання фінансових рахунків, управління людськими ресурсами та охоплення потенційних клієнтів за допомогою онлайн-реклами [28] або проведення лекційних/практичних інтерактивних занять. Отриману інформацію можна використовувати для планування, прийняття рішень та/або управління організацією. Компонентами ІСВРКУ є ПЗ, АЗ, процедури, дані/інформація та комунікаційні мережі.

Для здійснення СА побудовано дерево цілей (рис. 3). Дерево цілей – це інструмент, який використовують для окреслення та візуалізації етапів, необхідних для досягнення складної довгострокової мети [14]. Крім того, дерево цілей містить три основні компоненти:

- Складна довгострокова мета.
- Критичні фактори успіху, необхідні для досягнення мети.

- Умови, потрібні для забезпечення критичних факторів успіху.

Дерево цілей потребує узгодження взаємозв'язку цілей у часі, пов'язуючи довгострокові цілі із середньостроковими, а також допомагає встановити короткострокові цілі, які потрібно досягти першими, і забезпечити успішне виконання цілей у віддаленому майбутньому. В результаті дерево цілей спонукає приймати правильні рішення про те, над чим працювати зараз та надалі [14]. До аспектів основної мети можна зарахувати “аналіз предметної області”, “проектування системи” та “реалізацію системи”. Розглянувши детальніше кожний аспект головної мети, можна зробити такі висновки: аналіз ПО є одним із найважливіших аспектів під час реалізації ІСВРКУ. Неправильний аналіз ПО може призвести до помилок на стадії проектування та реалізації ІСВРКУ та може унеможливити її розширення. У цю процедуру входять такі етапи:

- Аналіз видів VR: передбачає збирання та аналіз видів VR, щоб зрозуміти, які принципи доцільно використовувати під час проектування ІСВРКУ.
- Аналіз відомих рішень: сприяє визначенню недоліків і переваг інших ІС та уникненню помилок, які допущені у цих продуктах.
- Аналіз причин віртуалізації: дає змогу з'ясувати, що певна сфера “віртуалізується”, переваги віртуалізації у цій ПО і причини її затребуваності цільовою аудиторією.

Для першого аспекту визначено такі критерії якості: актуальність та доцільність використання. Актуальність важлива, оскільки VR-сфера достатньо нова і дуже стрімко розвивається.

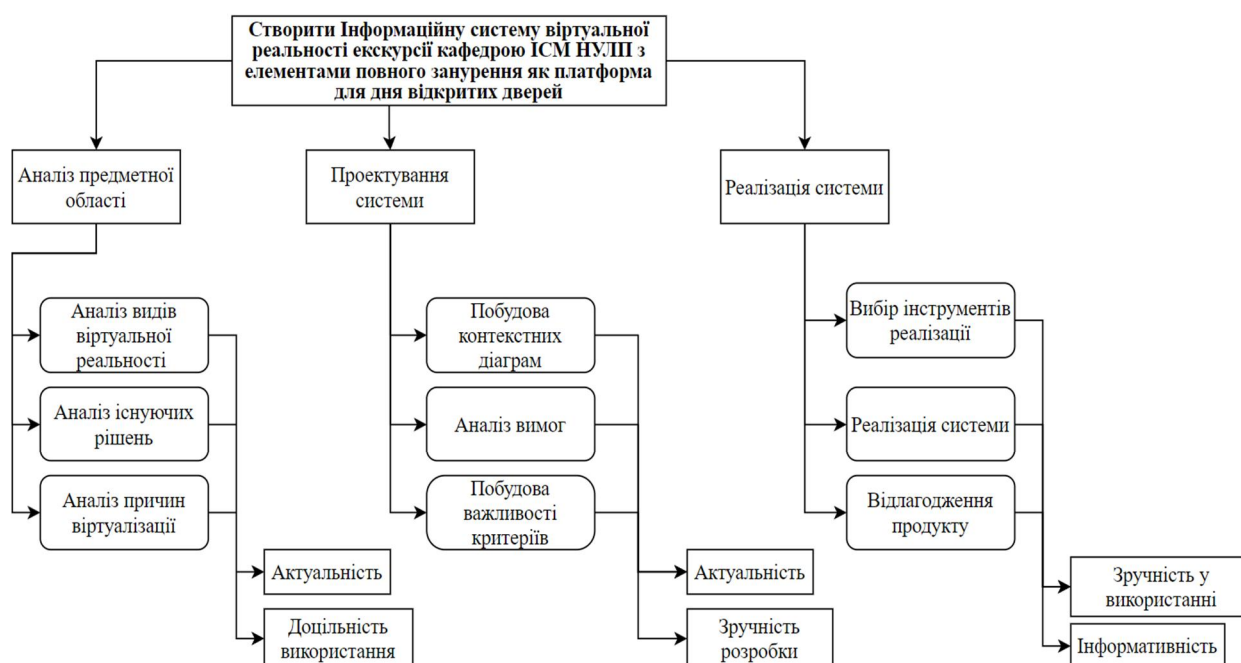


Рис. 3. Дерево аспектів цілей розроблення ІСВРКУ

Це робить інші системи неактуальними вже через короткий термін, якщо вони не розвиваються відповідно до вимог індустрії та ІТ. А доцільність використання визначає, чи є потреба реалізовувати саме такі інструменти в розроблюваній ІСВРКУ, чи це забезпечить прибуток та переваги порівняно із екскурсіями у реальному світі або класичному дистанційному навчанні. Другий аспект – це проектування ІСВРКУ, що передбачає визначення основних завдань, процесів та функцій ІС. Далі відбувається проектування ІСВРКУ. Для другого аспекту визначено такі етапи:

- Побудова контекстних діаграм. Цей крок передбачає визначення основних проблем, які будуть вирішені ІСВРКУ, а також функцій, які ІС реалізуватиме.
- Аналіз вимог. За допомогою визначення вимог та побудови діаграм із розподілом на

процеси, які пов'язані між собою потоками даних, відбувається концептуальне проєктування ІСВРКУ та прогнозують можливості її майбутнього розширення.

- Визначення важливості критеріїв. Чітка ієрархія критеріїв потрібна для уникнення складностей під час процесу проєктування.

Для другого аспекту визначено такі критерії якості: актуальність продукту та зручність розробки. Це допоможе під час реалізації ІСВРКУ та заощадить час, витрачений на розроблення.

Третій аспект – це безпосередня реалізація ІСВРКУ. Передбачено такі важливі критерії: зручність у використанні та інформативність. Для третього аспекту визначено такі підетапи:

- Вибір інструментів реалізації. Аналіз інструментів реалізації допомагає вибрати найзручніші інструменти, що дасть змогу у майбутньому не переходити на інші через брак потрібних функцій.

- Реалізація ІСВРКУ. Правильна реалізація ІС – запорука успішного продукту. Саме тому ІСВРКУ має відповідати критеріям та вимогам.

- Налагодження ІСВРКУ. Це дасть змогу виявити та виправити помилки, допущені під час реалізації ІСВРКУ, і не впливатиме на кінцевого користувача та його досвід використання цієї ІСВРКУ.

ІСВРКУ можна поділити на інформаційно-пошукові, інформаційно-довідкові, інформаційно-керівні, системи підтримки прийняття рішень, інтелектуальні АС [25]. Визначення типу ІСВРКУ є важливою складовою. Тому для поточної ІСВРКУ вибрано метод аналізу ієрархій. Також вибрано чотири типи ІС як альтернативи: інформаційно-управляючу (А1), розрахунково-логічну (А2), інформаційно-довідкову (А3), експертну систему (А4). Для вибору інформаційної системи вибрано такі критерії якості: актуальність (К1), доцільність використання (К2), зручність розроблення (К3), зручність у використанні (К4), інформативність (К5). Для побудови матриці попарних порівнянь критеріїв якості, альтернатив та розрахунку власних чисел (ВЧ) та власних векторів (ВВ) прийнято рішення використати шкалу відносної важливості пріоритетів для визначення експертної оцінки (табл. 5).

Таблиця 5

Шкала відносної важливості пріоритетів

Значення	Якісна характеристика
1	Рівноцінні елементи
2	Несуттєвий пріоритет
3	Слабкий пріоритет
4	Помірний пріоритет
5	Значний пріоритет
6	Істотний пріоритет
7	Сильний пріоритет
8	Дуже сильний пріоритет
9	Безумовний пріоритет

Відносна важливість критеріїв:

$$A = \begin{matrix} K1 \\ K2 \\ K3 \\ K4 \\ K5 \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & 1/3 & 1/2 & 1/8 & 1/4 \\ 3 & 1 & 1/3 & 1/7 & 1/5 \\ 2 & 3 & 1 & 3 & 2 \\ 8 & 7 & 1/3 & 1 & 1/4 \\ 4 & 5 & 1/2 & 4 & 1 \end{pmatrix}$$

Розрахунок власних чисел виконують за такою формулою (1):

$$ВЧ = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}, \quad ВЧ = (0.35, 0.49, 2.05, 1.36, 2.09) \quad (1)$$

Для розрахунку власних векторів застосовують формулу (2):

$$ВВ = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i}, \quad ВВ = (0.06, 0.08, 0.32, 0.21, 0.33) \quad (2)$$

Наступним етапом виконання аналізу є побудова матриці парних порівнянь альтернатив для кожного критерію (табл. 6), а також відносно головної цілі.

Таблиця 6

Матриці парних порівнянь альтернатив для кожного критерію

Критерій	A	Результат
актуальність	$ \begin{matrix} A1 \\ A2 \\ A3 \\ A4 \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1/3 & 1/5 \\ 1 & 1 & 2 & 2 \\ 3 & 1/2 & 1 & 1/4 \\ 5 & 1/2 & 4 & 1 \end{pmatrix} $	$ \begin{aligned} BC &= (0.51, 1.41, 0.78, 1.78) \\ BB &= (0.11, 0.32, 0.17, 0.40) \end{aligned} $
доцільність використання	$ \begin{matrix} A1 \\ A2 \\ A3 \\ A4 \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 1/4 \\ 1/2 & 1 & 2 & 1/3 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 1/6 \\ 4 & 3 & 6 & 1 \end{pmatrix} $	$ \begin{aligned} BC &= (1.11, 0.76, 0.41, 2.91) \\ BB &= (0.21, 0.15, 0.08, 0.56) \end{aligned} $
зручність розроблення	$ \begin{matrix} A1 \\ A2 \\ A3 \\ A4 \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & 1/3 & 1/2 & 1/2 \\ 3 & 1 & 2 & 2 \\ 2 & 1/2 & 1 & 4 \\ 2 & 1/2 & 1/4 & 1 \end{pmatrix} $	$ \begin{aligned} BC &= (0.54, 1.86, 1.41, 0.71) \\ BB &= (0.12, 0.41, 0.31, 0.16) \end{aligned} $
зручність у використанні	$ \begin{matrix} A1 \\ A2 \\ A3 \\ A4 \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & 1/3 & 1/2 & 1/7 \\ 3 & 1 & 1/2 & 1/3 \\ 2 & 2 & 1 & 1/4 \\ 7 & 3 & 4 & 1 \end{pmatrix} $	$ \begin{aligned} BC &= (0.39, 0.84, 1.00, 3.03) \\ BB &= (0.07, 0.16, 0.19, 0.58) \end{aligned} $
інформативність	$ \begin{matrix} A1 \\ A2 \\ A3 \\ A4 \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & 1/4 & 1/2 & 1/4 \\ 4 & 1 & 2 & 1/2 \\ 2 & 1/2 & 1 & 1/3 \\ 4 & 2 & 3 & 1 \end{pmatrix} $	$ \begin{aligned} BC &= (0.42, 1.41, 0.76, 2.21) \\ BB &= (0.09, 0.32, 0.17, 0.49) \end{aligned} $
відносно головної цілі	$ \begin{matrix} A1 \\ A2 \\ A3 \\ A4 \end{matrix} \begin{pmatrix} 1 & 1/2 & 1/2 & 1/5 \\ 2 & 1 & 1/2 & 1/3 \\ 3 & 2 & 1 & 1/4 \\ 5 & 3 & 4 & 1 \end{pmatrix} $	$ \begin{aligned} BC &= (0.47, 0.76, 1.11, 2.78) \\ BB &= (0.11, 0.17, 0.25, 0.62) \end{aligned} $

Останнім кроком є побудова матриці порівнянь альтернатив, що допоможе визначити тип ІСВРКУ. Наведемо матрицю порівнянь альтернатив:

$$A = \begin{matrix} A1 \\ A2 \\ A3 \\ A4 \end{matrix} \begin{pmatrix} 0,11 & 0,25 & 0,12 & 0,07 & 0,09 \\ 0,32 & 0,17 & 0,42 & 0,16 & 0,32 \\ 0,17 & 0,09 & 0,32 & 0,19 & 0,17 \\ 0,40 & 0,65 & 0,16 & 0,58 & 0,49 \end{pmatrix} \cdot \text{Узагальнені пріоритети} = \begin{matrix} 0,07 \\ 0,17 \\ 0,11 \\ 0,31 \end{matrix}$$

Проаналізувавши ієрархії, ми отримали такі результати: пріоритет 0,07 інформаційно-управляюча система, пріоритет 0,17 – розрахунково-логічна, 0,11 – інформаційно-довідкова, 0,31 – експертна система. Найбільший пріоритет має експертна система.

Виклад основного матеріалу

Розглянемо деталізовану структуру ІСВРКУ з урахуванням конкретної реалізації та візуалізовано у вигляді функціональних діаграм IDEF0. Контекстна діаграма на рис. 4 відображає основну функцію інформаційної системи. Декомпозиція є єдиною найпоширенішою технікою у системному аналізі. Звичайним результатом декомпозиції є ієрархічна діаграма, наприклад, діаграма функціональної декомпозиції. Такий підхід подібний до низки інших методів системного аналізу, серед яких організаційний аналіз, дерево ознак, структури з розподілом робіт та інтелект-карти. Ключова відмінність між декомпозицією та іншими методами аналізу полягає в тому, що підкомпоненти (дочірні елементи) системи, що досліджується, повинні повністю описувати компонент (батьківський), який було декомпоновано [15]. За допомогою декомпозиції було структуровано та побудовано ієрархію процесів нижчих рівнів. Декомпозиція – це розподіл складних об'єктів (процесів, технологій, бізнес-проблем, бізнес-потреб) на менші частини, а потім цих частин на ще менші, доки складний об'єкт не буде розподілений на стриманіші компоненти з зрозумілішою структурою [15]. За допомогою декомпозиції розподілено основний процес та побудовано ієрархічні

діаграми, які зображено на рис. 5–9.

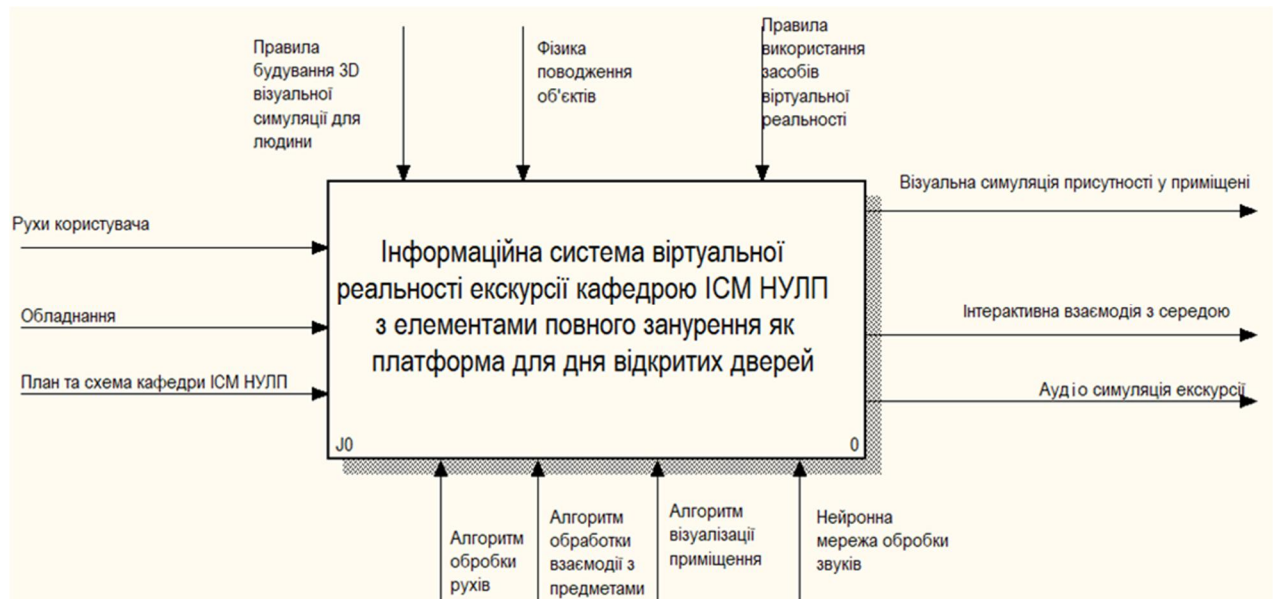


Рис. 4. Контекстна діаграма ІСВРКУ

Декомпозицію контекстної діаграми наведено на рис. 5. Вона складається із функціональних блоків: “Опрацювання навколишнього середовища”, “Опрацювання рухів та дій користувача”, “Візуалізація дій користувача”, “Програвання звуків користувача”. Між цими блоками забезпечено зв’язок: передавання інформації між входом у процес (стрілкою зліва) та виходом (стрілка, що виходить справа), та безпосереднє керування процесами.

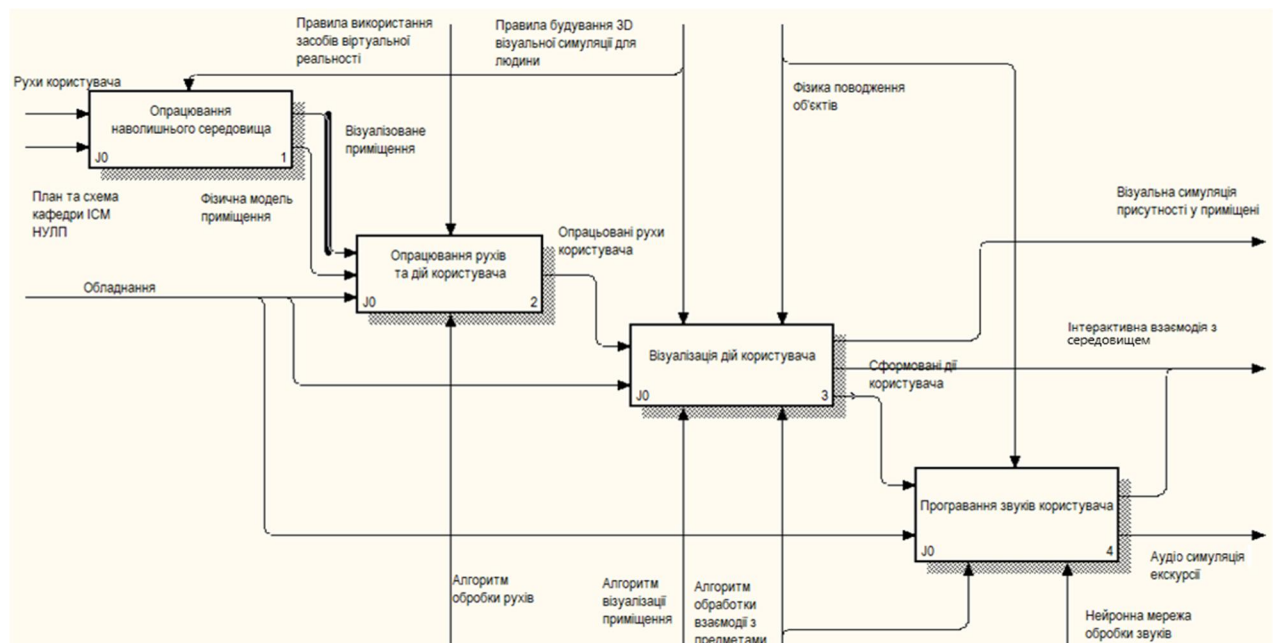


Рис. 5. Декомпозиція контекстної діаграми

Функціональний блок “Опрацювання навколишнього середовища” складається із трьох функціональних процесів: “Опрацювання місцезнаходження та напрямку зору користувача”, “Побудова візуального приміщення”, “Будування фізичної моделі приміщення та об’єктів” (рис. 6).

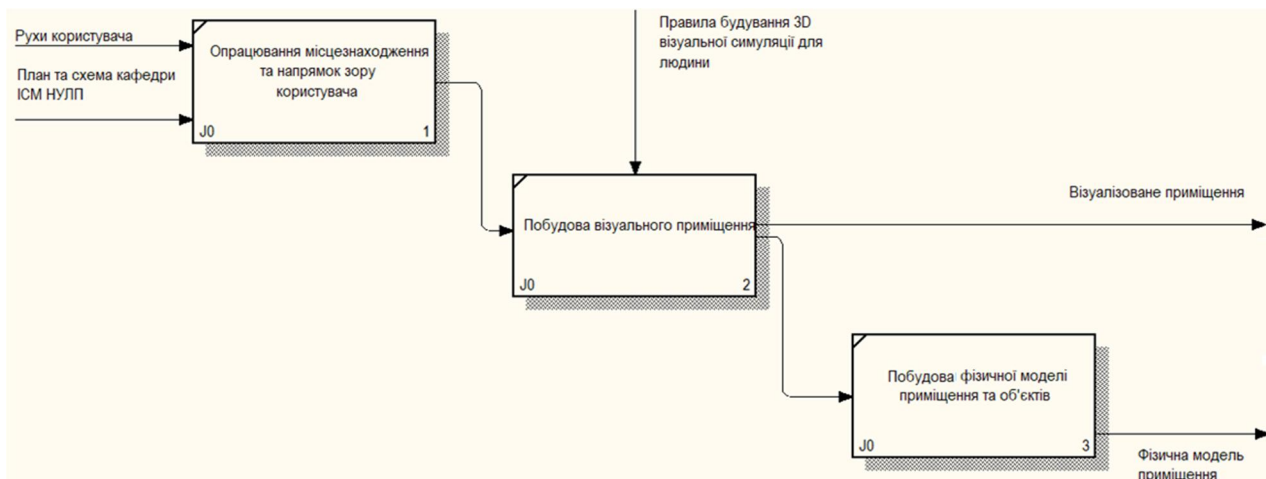


Рис. 6. Декомпозиція функціонального блока “Опрацювання навколишнього середовища”

Функціональний блок “Опрацювання рухів” складається із двох функціональних процесів: “Зчитування дій користувача” та “Обробка пересування та взаємодії користувача з об’єктами” (рис. 7). Функціональний блок “Візуалізація дій користувача” складається із трьох функціональних процесів: “Опрацювання взаємодії із фізичними об’єктами”, “Візуалізація приміщення в полі зору” та “Візуалізація об’єктів в полі зору” (рис. 8). Функціональний блок “Програвання звуків користувача” складається із двох функціональних процесів: “Аналіз дій користувача” та “Програвання звуків” (рис. 9). Отже, декомпозиція блоків на рис. 6–9, а саме “Опрацювання навколишнього середовища”, “Опрацювання рухів”, “Візуалізація дій користувача”, “Програвання звуків користувача”, дала можливість точніше конкретизувати функціонування системи та детальніше розглянути можливості ІСВРКУ, які мають бути реалізовані під час виконання практичної реалізації (рис. 10).

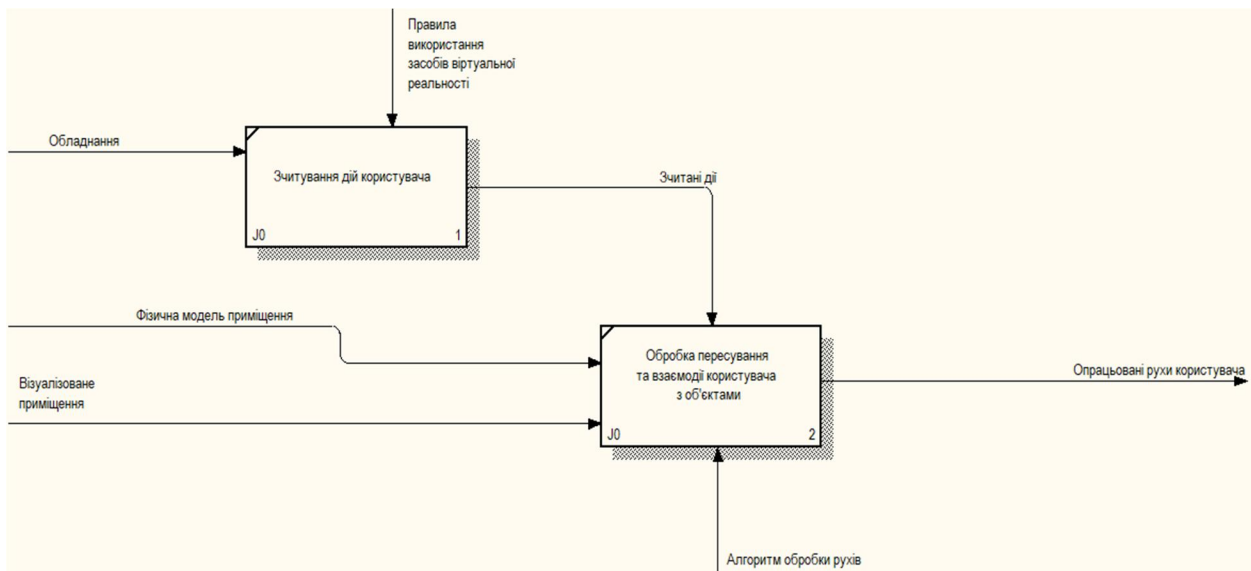


Рис. 7. Декомпозиція функціонального блока “Опрацювання рухів”

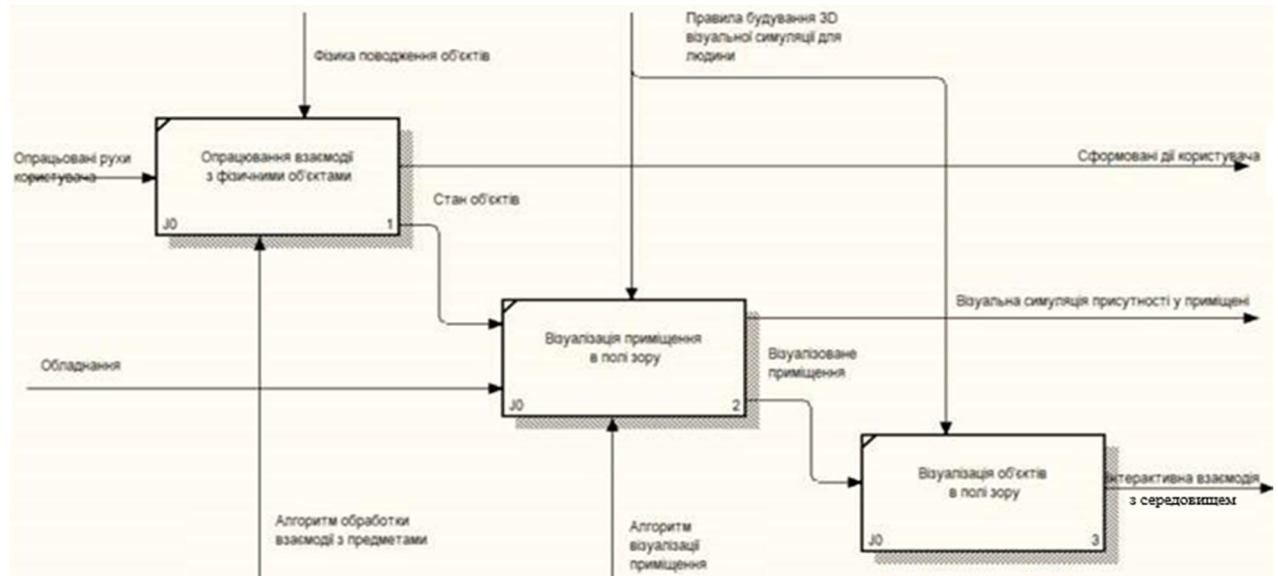


Рис. 8. Декомпозиція функціонального блока “Візуалізація дій користувача”

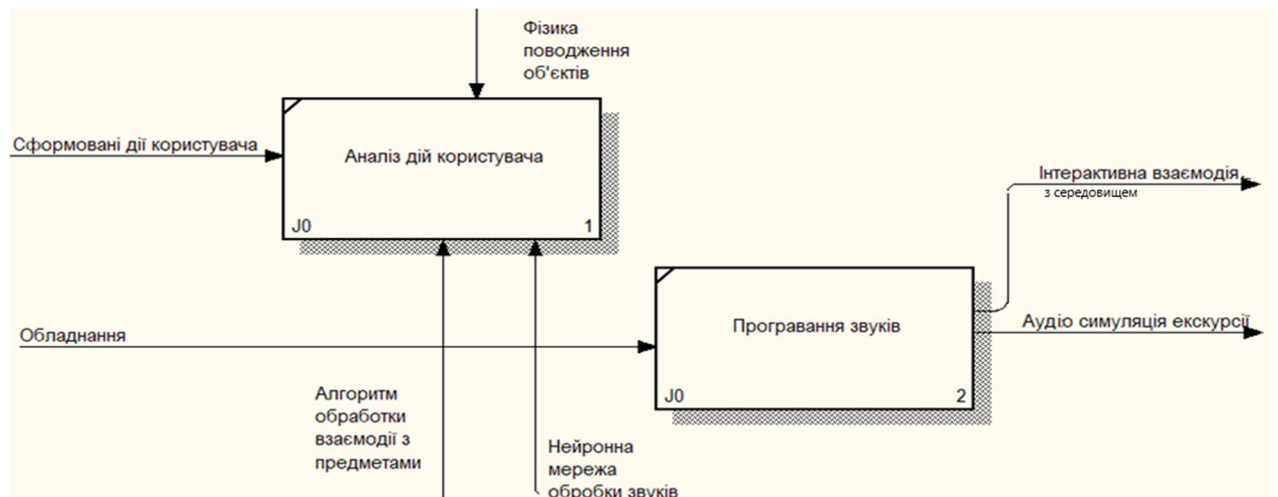


Рис. 9. Декомпозиція функціонального блока “Програвання звуків користувача”



Рис. 10. Ієрархія задач для інформаційної системи віртуальної реальності екскурсії кафедрою ІСМ Національного університету “Львівська політехніка” з елементами повного занурення як платформа для Дня відкритих дверей

Під час проєктування ІСВРКУ необхідно побудувати ієрархію задач, яка обов'язкова та необхідна для структуризації процесів, що відбуваються під час роботи ІС. Деревоподібна структура діаграми є однією із найпоширеніших, зручна для здійснення аналізу ієрархії процесів та їх реалізації, що зумовило її застосування. Отже, основні цілі та функції ІСВРКУ містяться та подаються на вершині ієрархії, а щоб її досягти, потрібно виконати задачі нижчого рівня. Декомпозиція задачі у вигляді ієрархії дає змогу подати інформацію у зрозумілому форматі для подальшого планування ІСВРКУ та її імплементації. Кількість рівнів підзадач залежить від глибини декомпозиції та деталізації функції ІСВРКУ. В цьому випадку на діаграмі два рівні деталізації. Ієрархія задач для ІСВРКУ з елементами повного занурення як платформа для Дня відкритих дверей або дистанційного навчання побудована та подана у вигляді діаграми деревоподібною структурою на рис. 10. На цій діаграмі можна побачити всі рівні декомпозиції та деталізації, що полегшує аналіз функціональних можливостей ІСВРКУ. Також додатковий рівень деталізації дає змогу отримати необхідну додаткову інформацію про задачі, які вирішуватиме ця ІСВРКУ, що дасть змогу під час проєктування та реалізації врахувати ці пункти. Ця ІСВРКУ реалізується за допомогою програми Unity, яка встановлена за допомогою Unity Hub – це кросплатформний ігровий рушій (англ. Game Engine, GE), розроблений Unity Technologies. Здебільшого GE використовують для розроблення відеоігор і симуляції для ПК, консолей і мобільних пристроїв. Вперше анонсований лише для OS X на Всесвітній конференції розробників Apple у 2005 р. Відтоді GE розширена на 27 платформ. Цей універсальний GE, який підтримує 2D і 3D-графіку, функції перетягування та написання сценаріїв на C#, особливо популярний для розроблення мобільних ігор, велика увага приділяється мобільним платформам. 2D-конвеєр Unity3D є новішим доповненням до GE і менш зрілим, ніж 3D-конвеєр. Незважаючи на це, Unity є платформою для розроблення 2D-ігор навіть порівняно з іншими спеціалізованими 2D-рушіями, особливо якщо заплановано випускати гру на кількох мобільних платформах [10]. Для реалізації цього проєкту використано мову програмування C#. Інтерактивність та занурення у VR-світ забезпечує багатоплатформовий інструмент для розроблення відеоігор і застосунків Unity. C# – це об'єктно-орієнтована мова програмування загального призначення, розроблена Microsoft у 2000 р. C# залишається основною ІТ для створення настільних програм у Windows [22]. Застосунки та продукти, написані на C#, використовують загалом платформу .NET, тому обидві технології часто розглядають як нероздільні. Сьогодні .NET є платформою та фреймворком для програмування кросплатформної розробки [22]. Як середовище для розроблення та написання коду вибрано Visual Studio – це креативна стартова панель, яку можна використовувати для редагування, налагодження та створення коду, а потім для публікації програми. Крім стандартного редактора та налагоджувача, які надають більшість IDE, Visual Studio містить компілятори, інструменти завершення коду, графічні дизайнери та багато інших функцій для покращення процесу розроблення ПЗ [29].

Технічні характеристики обраних програмних засобів розроблення

ПЗ визначається як зібрання даних, програм, процедур, пов'язаної документації та правил. ПЗ не зношується, не втомлюється і не погіршується протягом тривалого періоду [20]. Якість ПЗ визначається тим, який функціонал воно пропонує і легкістю його використання. ПЗ різні його користувачі оцінюють за певними ознаками. Клієнти, наприклад, хочуть ПЗ, яке відповідає їхнім конкретним потребам, а розробники, які займаються проєктуванням, кодуванням та підтримкою ПЗ, визначають його якість, оцінюючи його внутрішні характеристики [21]. Функціональність ПЗ стосується його здатності виконувати і функціонувати відповідно до специфікації проєкту. Простіше кажучи, ІС повинні функціонувати коректно, тобто виконувати всі функції, для яких вони призначені. Зручність ПЗ характеризується простотою використання, тобто навчання використання ПЗ потребує менше зусиль або часу. Навігація у ПЗ надзвичайно важлива, оскільки допомагає визначити шлях користувача. Це необхідно для того, щоб відвідувачі залишалися на вебсайті та отримали позитивний досвід, що призводить до збільшення продажів і лояльності до бренду.

Ефективність ПЗ стосується його здатності максимально результативно використовувати людські та системні ресурси, такі як час, зусилля, центральний процесор, пам'ять, обчислювальна потужність, пропускна здатність мережі, файли, бази даних тощо. Щоб програмний продукт був успішним, ефективність має вирішальне значення. Окрім задоволення потреб, для яких створено ПЗ, воно також повинно забезпечувати функції, покликані допомогти користувачам швидше виконувати свої завдання. ПЗ має ефективно використовувати простір для зберігання даних і виконувати команди відповідно до вимог часу. Гнучкість ПЗ відображає здатність програмного рішення адаптуватися до потенційних або майбутніх змін у його вимогах. Оцінюючи гнучкість ПЗ, доцільно з'ясувати, наскільки простою є процедура додавання, заміни або видалення функції без припинення коректної поточної роботи. Надійність програмного продукту описує ймовірність його роботи без збоїв впродовж певного періоду за певних умов. Вона визначає здатність програмного забезпечення підтримувати високий рівень продуктивності (забезпечувати бажану функціональність) за заданих умов впродовж певного періоду. Надійність ПЗ вимірюється аналогічно до його доступності. Його значення не повинно бути меншим за 99 %. Під час тестування надійності визначають не лише досконалість, а і досягнення прийнятного рівня вивірності до того, як програмний продукт нададуть клієнтам. MTTF, MTTR, MTBR тощо – це показники надійності, які можна використовувати для кількісної оцінки надійності ІС. Можливість підтримки означає, наскільки легко можна налагоджувати, покращувати та розуміти програмний код. У певному сенсі підтримка подібна на гнучкість. Підтримка стосується модифікації помилок і незначних змін у програмному коді, тоді як гнучкість зосереджена на основних функціональних розширеннях. Це також передбачає підтримку служб і функціональності ПЗ. Портативність ПЗ є критичним фактором, який не можна ігнорувати, й означає здатність використовувати ПЗ в різних середовищах. Це легкість, з якою ПЗ можна переносити з однієї платформи на іншу без (або з мінімальними) змінами, отримуючи подібні результати. Вона належить до здатності ПЗ працювати на різних апаратних платформах без будь-яких (або незначних) змін.

Отже, процес розроблення ПЗ розпочинається з аналізу потреб користувачів і завершується реалізацією проєкту та тестуванням ІС, яке відповідає цим потребам. Однією із найбільших проблем у галузі розроблення ПЗ є постійне зростання попиту на швидкі терміни виконання. В результаті вивчення технічних характеристик вибраних програмних засобів розроблення ІС ми вирішили проаналізувати переваги та недоліки цих засобів.

Unity дає користувачам можливість створювати ігри як у 2D-, так і в 3D-вимірах, а механізм пропонує основний API сценарій на C# за допомогою Mono як для редактора Unity у вигляді плагінів, так і для самих ігор, а також для перетягування. До того, як C# став основною мовою програмування, який використовувався для GE, він раніше підтримував Boo, який видалено з випуском Unity 5, та реалізацію JavaScript на основі Boo під назвою UnityScript, що застарів у серпні 2017 р. після випуску Unity 2017. У 2D-іграх Unity дозволяє імпортувати спрайти та розширений рендер 2D світу. Для 3D-ігор Unity дає змогу специфікувати стиснення текстур, mipmap і налаштування роздільної здатності для кожної платформи, яку підтримує GE, і забезпечує можливість відображення рельєфу, паралакса, екранного простору навколишнього середовища (SSAO), динамічної тіні за допомогою карт тіней, візуалізації текстури та повноекранних ефектів постопрацювання. Доступні конвеєри візуалізації: конвеєр візуалізації високої чіткості (HDRP) та універсальний конвеєр візуалізації (URP) як доповнення до застарілого вбудованого конвеєра. Усі конвеєри візуалізації несумісні один з одним. Unity пропонує інструмент для оновлення шейдерів за допомогою застарілих засобів візуалізації до URP або HDRP.

Unity – це кросплатформний GE. Редактор Unity підтримується на платформах Windows, macOS і Linux. Unity нині підтримує створення продуктів на 19 різних платформах, серед яких мобільні, настільні, консолі та віртуальна реальність. Офіційно підтримувані платформи з Unity 2021 LTS:

- Мобільні платформи iOS, Android (Android TV), tvOS.

- Настільні платформи Windows (Universal Windows Platform), Mac, Linux.
- Вебплатформа WebGL.
- Консольні платформи PlayStation (PS4, PS5), Xbox (Xbox One, Xbox Series X/S), Nintendo Switch, Stadia.
- Платформи віртуальної/розширеної реальності Oculus, PlayStation VR, Google ARCore, Apple ARKit, Windows Mixed Reality (HoloLens), Magic Leap, та через Unity XR SDK Steam VR, Google Cardboard.
- Раніше підтримуваними платформами були Wii, Wii U, PlayStation 3, Xbox 360, Tizen, PlayStation Vita, 3DS, BlackBerry 10, Windows Телефон 8, Samsung Smart TV, Gear VR, Daydream, Vuforia, і Facebook Gameroom.

Unity залишається найкращим GE, оскільки 61 % опитаних розробників використовують його, і він є другим за популярністю вибором після мобільної рекламної мережі, цьому істотно сприяли у 2020 р. мобільні ігри. Якщо порівняти зростання цього року із минулорічним, покупки через мікротранзакції у перший день зросли більш ніж на 50 % порівняно з минулим роком, а доходи від реклами зросли на понад 8 %. Це на додаток до вже високих базових темпів зростання як покупок у програмі (IAP), так і доходу від реклами.

Конвеєр візуалізації високої чіткості (HDRP) – це високоточний конвеєр рендерингу, який можна використовувати в сценарії та створений Unity для націлювання на сучасні (сумісні з Compute Shader) платформи. HDRP використовує фізичні методи освітлення, лінійне освітлення, HDR-освітлення та настроювану гібридну архітектуру тайл/кластер із відкладеним/прямим освітленням. Він дає інструменти, необхідні для створення таких програм, як ігри, технічні демонстрації та анімації з високим графічним стандартом [24].

C# – це скомпільована мова. Щоб запустити програму, зазвичай розробник компілює вихідний код C# на проміжну мову (IL). Тому її можна використовувати у різних цільових системах. Під час виконання код IL компілюється далі в машинний код поточної цільової системи, а ЦП виконує його на ходу [22]. Компіляція JIT від IL дає змогу програмам C# працювати на різних платформах, ураховуючи Windows і PlayStation. Однак, порівняно з C++, яка відразу компілюється в машинний код цільової системи перед виконанням, вона потребує певної швидкості. Середовища виконання C# надають різноманітні сценарії, в яких IL компілюється перед виконанням, щоб забезпечити якнайбільшу швидкість. Наприклад, усі програми iOS потребують завчасної компіляції. C# із самого початку побудований на ідеях об'єктно-орієнтованого програмування (ООП). Цей підхід до кодування передбачає, що ви можете описати тип і структуру даних, щоб до них можна було застосувати набір стандартних функцій. ООП організує дані в об'єкти, що полегшує розподіл великої програми на менші фрагменти, які легше розробляти, підтримувати та комбінувати. Об'єкти можна опрацьовувати, не працюючи з їхніми внутрішніми атрибутами за допомогою ООП, а класи описують поведінку об'єктів. Мови ООП сприяють створенню застосунків, які простіші для тестування та сприйняття, дають змогу швидше долати труднощі та загалом забезпечують економніший підхід до створення коду. C# є мовою високого рівня, оскільки її граматика подібна на граматику людської мови, тобто вона далека від машинного коду, тому повинна скомпілювати код C#, щоб АЗ інтерпретувало його команди. Розробники віддають перевагу мовам високого рівня над мовами низького рівня, як-от C, через легший синтаксис для вивчення та адміністрування. Одним із найважливіших завдань для підтримки продуктивності програми є управління пам'яттю. Для цієї мети у C# передбачено збірник сміття. Збірник сміття – це засіб керування пам'яттю, який відстежує непотрібні об'єкти та автоматично звільняє пам'ять. Щоб мінімізувати витік пам'яті під час роботи з керованими програмами, розробники зазвичай повинні писати додатковий код. Автоматичне керування пам'яттю економить час розробників, оскільки їм не потрібно писати команди для відновлення небажаних об'єктів, очищення пам'яті та призначення її для нових. C# безпечний для

типів: це означає, що тип змінної не може змінюватися в коді. Наприклад, оголошуючи змінну GoodDay як ціле число, необхідно призначити їй лише точні числові значення; текстові значення не використовують. Безпека типу гарантує, що змінна поводить себе передбачувано і що будь-які операції з нею дозволені, лише якщо тип відповідає. Код, що містить змінну GoodDay, матиме доступ лише до слотів пам'яті, призначених для цілих чисел. Цей метод знижує ймовірність помилок у вихідному коді (табл. 7).

Таблиця 7

Порівняльний аналіз мови програмування C# та платформи.NET [23]

Переваги	Недоліки
Універсальність може здаватись найпомітнішою особливістю C#, але є багато інших переваг для тих, хто працює і нею	Незважаючи на високий клас мови C#, є недоліки, які необхідно враховувати, перш ніж використовувати її для цифрових проєктів
Швидше розроблення	Призначена для систем на базі Windows
Висока масштабованість	Залежність від.NET
Об'єктно-орієнтована	Неможливість кодування низькорівневих рішень
Легка крива навчання	
Велике ком'юніті	

Microsoft Visual Studio постачається із редактором коду, який підтримує IntelliSense (завершення коду) і рефакторинг коду. Інтегрований налагоджувач може використовуватися як на рівні джерела, так і на рівні машини. Серед інших вбудованих інструментів – профайлер коду, конструктор для створення програм із графічним інтерфейсом, вебдизайнер, конструктор класів і схем БД (табл. 8). Вона дає змогу додавати плагіни, які доповнюють функціональні можливості практично на кожному рівні, наприклад, підтримкою систем контролю джерел (Subversion і Git) і новими наборами інструментів для мов, що належать до домену, таких як редактори та візуальні дизайнери, або набори інструментів для інших ПО життєвого циклу розроблення ПЗ (наприклад, клієнт Azure DevOps: Team Explorer).

Таблиця 8

Порівняльний аналіз Visual Studio

Переваги	Недоліки
Зручне розроблення за допомогою IntelliSense (компонент завершення коду), а також рефакторингу коду	Займає великий обсяг пам'яті ПК
Швидке налагодження	Встановлення та оновлення VS можуть зайняти деякий час
Ретельне тестування	Усі попередні програми можуть бути несумісними з новою IDE після переходу зі старої VS до новішої версії
Командна співпраця для віддаленого написання/компіляції/тестування коду	Ціна за версії для комерційного розроблення більша, ніж інших продуктів на ринку
Компіляції коду для Linux за допомогою Clang	
Безкоштовна версія для навчання та некомерційних розробок	

Visual Studio підтримує 36 мов програмування, а редактор коду та налагоджувач можуть підтримувати практично будь-яку мову програмування (різною мірою), якщо доступна служба для певної мови. C, C++, C++/CLI, Visual Basic.NET, C#, F#, JavaScript, TypeScript, XML, XSLT, HTML і CSS є одними з вбудованих мов [9]. Плагіни забезпечують підтримку інших мов, таких як Python, Ruby, Node.js та M, серед інших. Раніше підтримувалася Java (і J#).

Опис створеного програмного засобу

Інструкція користувача, також відома як посібник користувача, призначена для допомоги користувачам у використанні певного продукту, послуги чи програми. Зазвичай її пише технік, розробник продукту або працівник служби обслуговування клієнтів компанії. Посібник користувача часто додають у ПЗ і в додатки [26].

VR застосунок “EducateVR” призначений для екскурсій у віртуальній реальності кафедрою інформаційних систем та мереж Національного університету “Львівська політехніка” або дистанційного навчання [30–36] з елементами повного занурення. ІСВРКУ реалізовано за допомогою кросплатформного GE Unity та мови C#. Для належного функціонування ІСВРКУ необхідно мати встановлене таке ПЗ: операційна система Windows 10 21H2 Build, .NET Core 3.1, Oculus, DirectX 11, драйвери відеокарти AMD/Nvidia. АЗ: Oculus Rift S, контролери Oculus, навушники, Персональний комп’ютер із відеокартою, що підтримує DirectX 11. Ця ІСВРКУ призначена для симуляції реальної екскурсії або дистанційного навчання у VR за допомогою VR-шолома (рис. 11). На рис. 11, *а* зображено інтерактивну панель (вікно), що дає змогу ввести певні налаштування користувача (ріст, швидкість повороту, режим повороту тощо). На рис. 11, *б* користувач перебуває в одній із аудиторій, наповненій інтерактивними предметами, з якими є можливість взаємодіяти.



Рис. 11. Інтерактивна панель з налаштуваннями для користувача ІСВРКУ (а) та симуляція повного занурення в аудиторії з інтерактивними об’єктами ІСВРКУ (б)

На рис. 12, *а* користувач взаємодіє з клавіатурою, яка має певні фізичні показники, є модель. Її розмір впливає на ефективність її використання, а надмірна вага обмежує швидкість його рухів. Згідно з правилами розроблення ІСВРКУ, для досягнення її зручності проєкт має бути структурованим. Це дасть змогу швидко розширювати функціональність ІСВРКУ та налагоджувати її. На рис. 12, *б* подано загальну структуру ІСВРКУ.

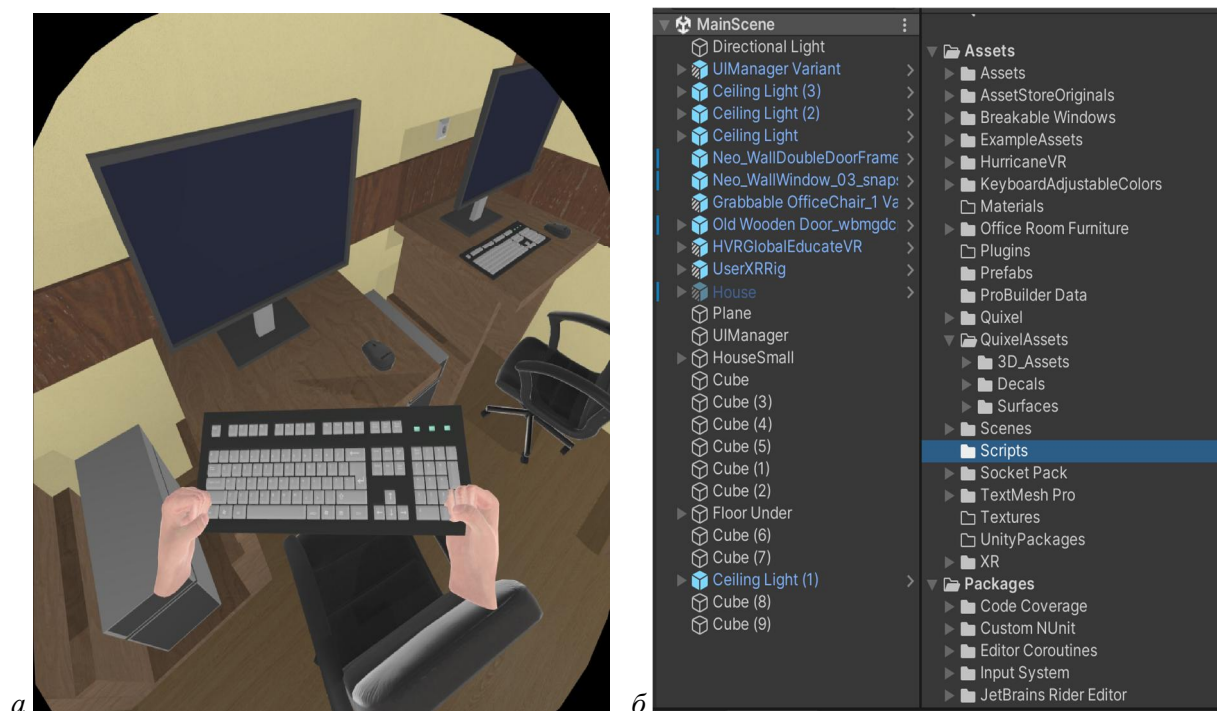


Рис. 12. Скріншот взаємодії з об'єктами кімнати (а) та структура ІСВРКУ (б)

ІСВРКУ із елементами повного занурення як платформа для Дня відкритих дверей або дистанційного навчання – це окрема настільна програма, яка виводить симуляцію на екран VR-шолома. Відповідно, після запуску застосунку буде виведено меню користувача, подане на рис. 13, а, яке дає змогу вибрати потрібні дії. Після того, як користувач натисне кнопку “Почати екскурсію”, його віртуальний прототип з’явиться на початковій точці екскурсії (див. рис. 13, б). На рис. 14 наведено приклад: користувач бере в руки інтерактивний предмет та ставить його на стіл.

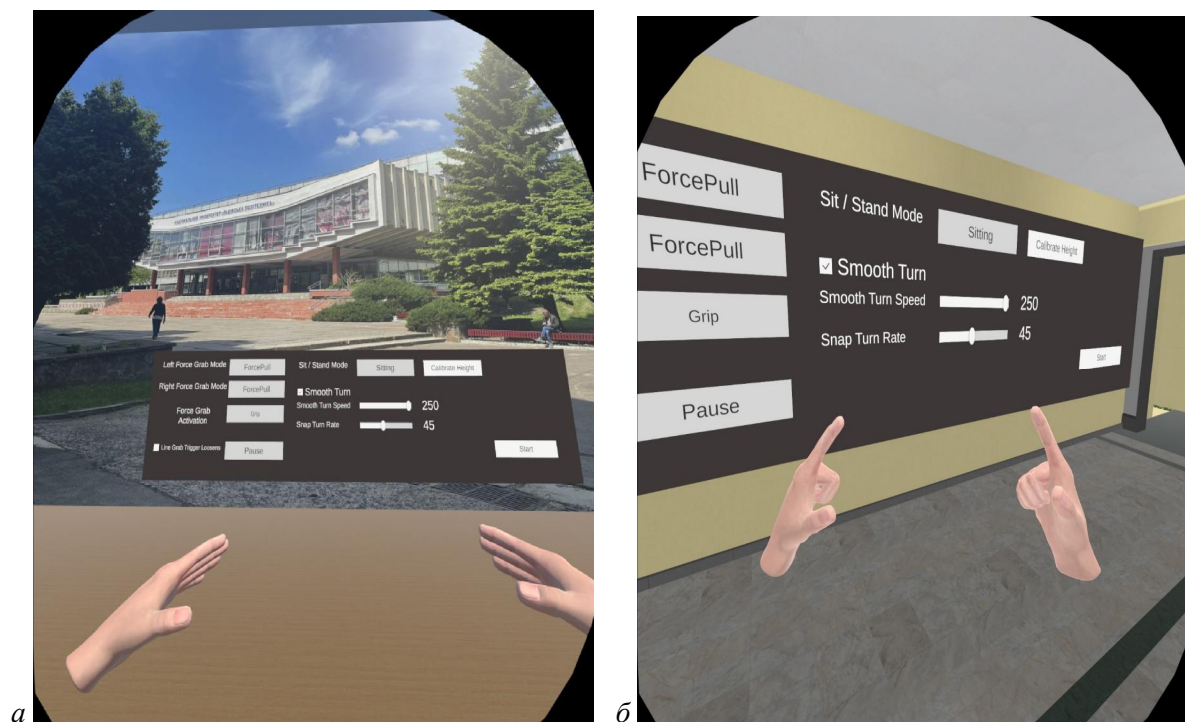


Рис. 13. Меню користувача після запуску ІСВРКУ (а) та зображення у VR-шоломі (б)

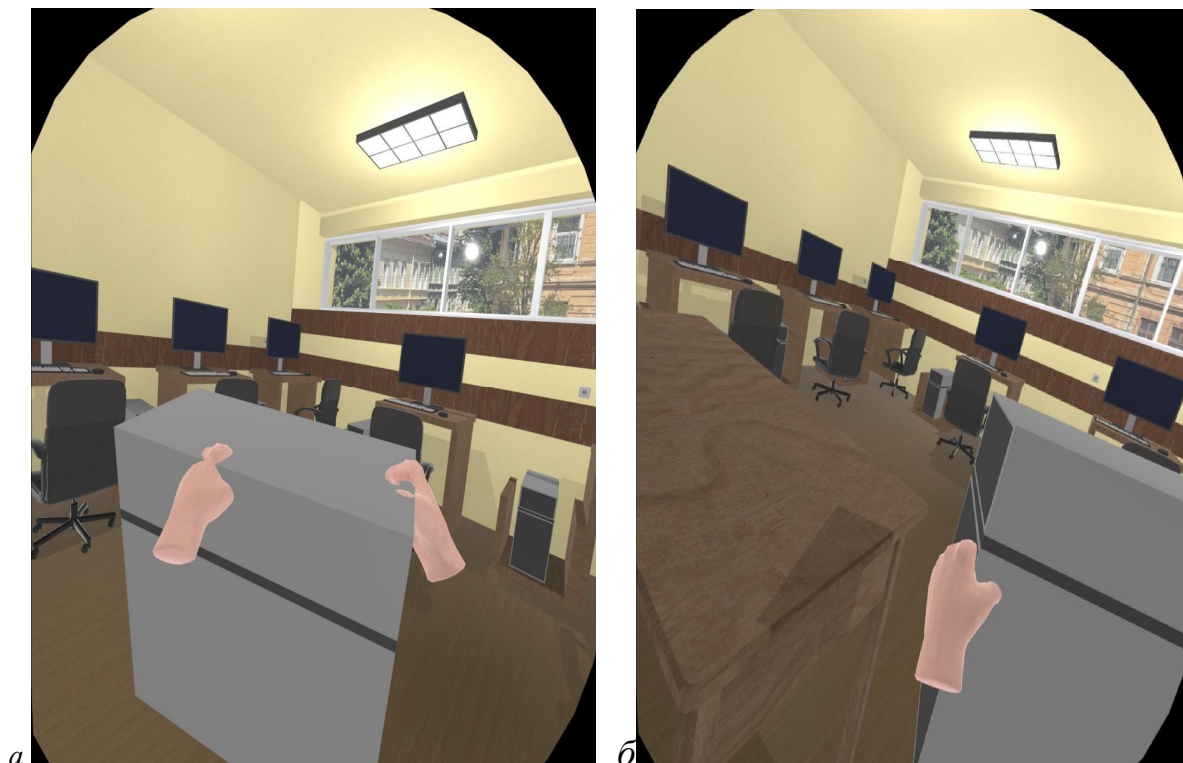


Рис. 14. Огляд початкової точки початку екскурсії (а) та зображення у VR-шоломі (б)

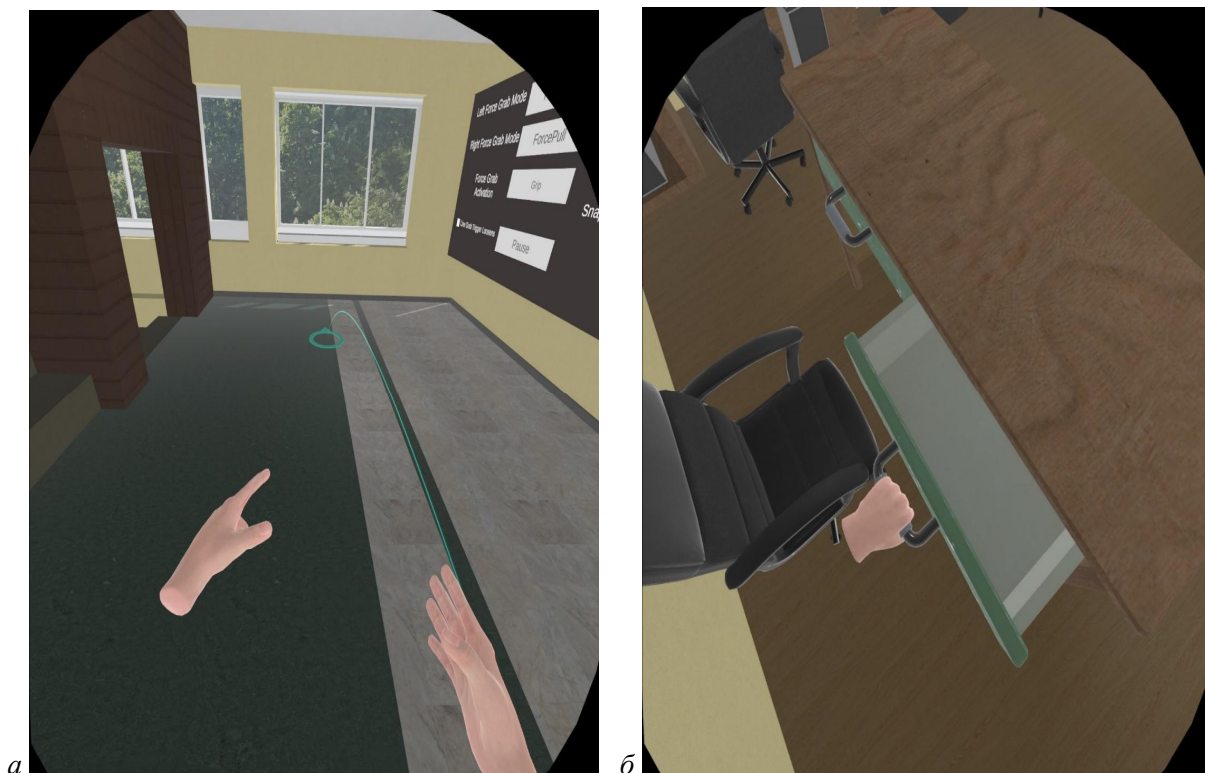


Рис. 15. Зображення у VR-шоломі у разі натискання команди на контролері з телепортацією (а) та скріншот взаємодії з об'єктами кімнати (б)

Головним результатом запуску ІСВРКУ є імітація повного занурення у VR, що дає змогу користувачеві здійснити екскурсію кафедрою або бути присутнім під час навчання в аудиторії.

Кнопка “Почати екскурсію” призначена саме для цього. Тобто користувачеві надається можливість розпочати взаємодію зі спроектованим середовищем у VR (рис. 14). Пересування користувача по приміщенню може бути здійснено реальними кроками та за допомогою контролера Oculus (рис. 15, а). Один із елементів занурення – взаємодія з предметами, які є у приміщенні. Це допоможе користувачеві відчувати присутність в цьому приміщенні та додає “імерсивності” симуляції. У кожного предмета є вага, об’єм та форма. Під час взаємодії з ними це можна відчутти за швидкістю рухів, які у шоломі бачить користувач. Взаємодію користувача із предметами відображено на рис. 15, б. Для зручності їх контур підсвічується кольором.

На рис. 15, б користувач взаємодіє з частиною інтерактивного об’єкта. Хоча об’єкт сам по собі статичний, проте його окрема частина (шухляда) динамічна та рухома.

Висновки

Проблема використання VR у різних сферах, а також у досліджуванні, а саме для екскурсії або дистанційного навчання, є актуальною. Для того щоб досягти ефекту присутності, а також повного занурення під час екскурсії кафедрою ІСМ Національного університету “Львівська політехніка” створено ІСВРКУ, яка дає змогу візуально симулювати дії користувача. Оскільки під час екскурсій основне джерело інформації людини – її слухові органи та органи зору, то VR є найкращим способом реалізації ІСВРКУ. З метою вирішення цієї проблеми досліджено та проаналізовано наявні ІС у сфері віртуальних екскурсій та інших ПО, зокрема в освітній галузі. Порівняльний аналіз пропонує на ринку ІС дав змогу виявити їх переваги та недоліки. Аналіз АЗ дав можливість визначити найоптимальніші варіанти, які можна використати для інтеграції ІСВРКУ. У результаті проведення СА деталізовано функціонування ІСВРКУ за допомогою методологій IDEF0 та IDEF3 на другому рівні декомпозиції у середовищі AllFusion Process Modeler. Побудовано контекстну діаграму з двома рівнями декомпозиції, а також обміном потоками даних між кожним із процесів. За допомогою дерева цілей сформульовано основну ціль ІСВРКУ та здійснено декомпозицію функцій на два рівні. Це дало змогу проаналізувати ІСВРКУ та вибрати її тип, а саме як експертну систему, розробити її проєкт. Своєю чергою, це дало змогу розпочати реалізацію ІСВРКУ та проєктування її архітектури, що є одним із головних етапів розроблення ІС. Під час аналізу ПЗ для вирішення проблеми проаналізовано кілька рішень, які підходять для розробки. Виявлено переваги та недоліки цих продуктів. Це визначило вимоги та подальший напрям розроблення ІСВРКУ.

Список літератури

1. Mathew, S. (2014). Importance of Virtual Reality in Current World. URL: <https://ijcsmc.com/docs/papers/March2014/V3I3201499a78.pdf>.
2. Волинець, В. О. (2014). Віртуальна реальність: поняття та сутність. URL: http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Pk1_2014_30_6.pdf.
3. Климнюк, В. Є. (2018). Віртуальна реальність в освітньому процесі: зб. наук. праць Харківського нац.о університету Повітряних сил. Вип. 2(56). С. 207–212. DOI: 10.30748/zhups.2018.56.28.
4. Ясінська, О. А., Слюсар М. Т. (2019). Віртуальна і розширена реальність у бібліотеці. URL: <http://conference.nbuv.gov.ua/report/view/id/836>.
5. Woodford, C. (2021). Virtual reality. URL: <https://www.explainthatstuff.com/virtualreality.html>.
6. VIAR (2022). Virtual Reality In Education – How Are Schools Using VR? URL: <https://www.viar360.com/education-schools-using-virtual-reality/>.
7. FinancesOnline (2022). 74 Virtual Reality Statistics You Must Know in 2021/2022: Adoption, Usage & Market Share. URL: <https://financesonline.com/virtual-reality-statistics/>.
8. Galadzhii, A. (2020) The Future is Now: Best 10 Educational VR Apps. URL: <https://litslink.com/blog/the-future-is-now-best-10-educational-vr-applications>.
9. Booch, G., Rumbaugh, J., Jacobson, I. (2005). Unified Modeling Language User Guide. URL: <https://www.informit.com/store/unified-modeling-language-user-guide-9780321267979>.

10. FreeCodeCamp (2020). Unity Game Engine Guide: How to Get Started with the Most Popular Game Engine Out There – Freecodecamp.org. URL: <https://www.freecodecamp.org/news/unity-game-engine-guide-how-to-get-started-with-the-most-popular-game-engine-out-there/#:~:text=Unity%20is%20a%20cross%2Dplatform,extended%20to%20target%2027%20platforms.>
11. ECMA-334 (2022). C# language specification. URL: <https://www.ecma-international.org/publications-and-standards/standards/ecma-334/>.
12. Microsoft (2022). Visual Studio Product Lifecycle and Servicing. Microsoft Docs. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/visualstudio/productinfo/vs-servicing.>
13. Barrier, T. (2003). Systems Analysis - Tonya Barrier, in Encyclopedia of Information Systems. Encyclopedia of Information Systems, Vol. 4. URL: <https://www.sciencedirect.com/sdfe/pdf/download/eid/3-s2.0-B0122272404001775/first-page-pdf.>
14. Dividends Diversify (2022). What is a Goal Tree and How To Create One Now – Dividends Diversify. URL: <https://dividendsdiversify.com/goal-tree/>.
15. BAwiki (2013). Decomposition – functional and otherwise. URL: <http://www.bawiki.com/wiki/Decomposition.html.>
16. Polygon (2016). The complete guide to virtual reality in 2016 (so far). URL: <https://www.polygon.com/2016/1/15/10772026/virtual-reality-guide-oculus-google-cardboard-gear-vr.>
17. Smith, S. L., Andronico, M. (2016). What Is Oculus Rift? – FAQ – How Oculus Rift Works – Tom's Guide. URL: <https://www.tomsguide.com/us/what-is-oculus-rift,news-18026.html.>
18. GVSU (2022). Things about HTC Vive. URL: https://www.gvsu.edu/cms4/asset/7E70FBB5-0BBC-EF4C-A56CBB9121AECA7F/7_things_about_htc_vive.pdf.
19. Kolasinski, E. (1995). Simulator sickness in virtual environments. (Technical Report 1027). Orlando, FL: Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences. URL: https://books.google.com.ua/books?hl=en&lr=&id=7qwrAAAAYAAJ&oi=fnd&pg=PR10&ots=vVXxeAj387&sig=f8DbzhAEQaPeLAyrAgo1VZq3Hsw&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false.
20. PadaKuu (2021). Characteristics of Software in Software Engineering. URL: https://padakuu-com.translate.goog/characteristics-of-software-in-software-engineering-790-article?_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=uk&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=wapp.
21. InterviewBit (2021). What are the Characteristics of Software in Software Engineering? – URL: <https://www.interviewbit.com/blog/what-are-the-characteristics-of-software/.>
22. AltexSoft (2021). The Good and the Bad of C# Programming. URL: <https://www.altexsoft.com/blog/c-sharp-pros-and-cons/>.
23. BairesDev (2022). C# Programming Language. URL: <https://www.bairesdev.com/technologies/csharp/>.
24. Unity (2022). High Definition Render Pipeline overview. High Definition RP – 14.0.2. URL: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.render-pipelines.high-definition@14.0/manual/index.html.>
25. Stboinf (2011). Класифікація інформаційних систем. URL: <https://stboinf.wordpress.com/2011/05/28/%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D1%81%D0%B8%D1%84%D1%96%D0%BA%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F-%D1%96%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D1%85-%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC/>.
26. AltexSoft (2020). Technical Documentation in Software Development: Types and Tools. URL: <https://www.altexsoft.com/blog/business/technical-documentation-in-software-development-types-best-practices-and-tools/>.
27. Tutorialspoint.com (2022). System Analysis and Design – Overview. URL: https://www.tutorialspoint.com/system_analysis_and_design/system_analysis_and_design_overview.htm.
28. Zwass, V. (2022). Information system. Definition, Examples, & Facts. – Britannica URL: <https://www.britannica.com/topic/information-system.>
29. Microsoft. (2022). Overview of Visual Studio. Microsoft Docs. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/visualstudio/get-started/visual-studio-ide?view=vs-2022.>
30. Голошук, Р. О., Висоцька, В. А. (2002). Інтерактивна взаємодія та зворотній зв'язок в системі дистанційного навчання. *Вісник Нац. університету "Львівська політехніка"*. Вип. 464. С. 44–53.
31. Голошук, Р. О., Литвин, В. В., Чирун, Л. В., Висоцька, В. А. (2003). Математичне моделювання процесів дистанційного навчання. *Вісник НУ "Львівська політехніка"*. Вип. 489. С. 100–109.
32. Шаховська, Н. Б., Висоцька, В. А., Чирун, Л. В. (2015). Методи та засоби дистанційної освіти для

заохочення і залучення сучасної молоді до проведення самостійних наукових досліджень. *Вісник Нац. університету "Львівська політехніка"*. Вип. 832. С. 254–284.

33. Шаховська, Н. Б., Висоцька, В. А., Скотар, О. О. (2017). Розроблення архітектури інтелектуальної системи на основі інноваційних методів навчання студентів. *Вісник Нац. університету "Львівська політехніка"*. Вип. 872. С. 220–229.

34. Shakhovska, N., Vysotska, V., Chyrun, L. (2016). Features of E-Learning Realization Using Virtual Research Laboratory. *Computer Science and Information Technologies: Proc. of the XI-th Int. Conf. Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House*, 143–148. DOI: 10.1109/STC-CSIT.2016.7589891.

35. Shakhovska, N., Vysotska, V., Chyrun, L. (2017). Intelligent Systems Design of Distance Learning Realization for Modern Youth Promotion and Involvement in Independent Scientific Researches. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, No. 512, 175–198. DOI: 10.1007/978-3-319-45991-2_12.

36. Lytvyn, V., Vysotska, V., Chyrun, L., Chyrun, L. (2016). Distance Learning Method for Modern Youth Promotion and Involvement in Independent Scientific Researches. *Data Stream Mining & Processing. Proceedings of the 2016 IEEE First International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP). August 23–27, 2016. Lviv, Ukraine*. P. 269–274. DOI: 10.1109/DSMP.2016.7583557.

References

1. Mathew, S. (2014). Importance of Virtual Reality in Current World. URL: <https://ijcsmc.com/docs/papers/March2014/V3I3201499a78.pdf>.
2. Volynets, V. O., (2014). Virtual reality: concept and essence. URL: http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/Pkl_2014_30_6.pdf.
3. Klymniuk, V. E. (2018). Virtual reality in the educational process. *Collection of scientific works of the Kh.*, No. 2(56), 207–212. DOI: 10.30748/zhups.2018.56.28.
4. Yasinska, O. A., Slyusar, M. T. (2019). Virtual and augmented reality in the library. URL: <http://conference.nbuv.gov.ua/report/view/id/836>.
5. Woodford, C. (2021). Virtual reality. URL: <https://www.explainthatstuff.com/virtualreality.html>.
6. VIAR (2022). Virtual Reality In Education – How Are Schools Using VR? URL: <https://www.viar360.com/education-schools-using-virtual-reality/>.
7. FinancesOnline (2022). 74 Virtual Reality Statistics You Must Know in 2021/2022: Adoption, Usage & Market Share. URL: <https://financesonline.com/virtual-reality-statistics/>.
8. Galadzhi, A. (2020) The Future is Now: Best 10 Educational VR Apps. URL: <https://litslink.com/blog/the-future-is-now-best-10-educational-vr-applications>.
9. Booch, G., Rumbaugh, J., Jacobson, I. (2005). Unified Modeling Language User Guide. URL: <https://www.informit.com/store/unified-modeling-language-user-guide-9780321267979>.
10. FreeCodeCamp (2020). Unity Game Engine Guide: How to Get Started with the Most Popular Game Engine Out There – Freecodecamp.org. URL: <https://www.freecodecamp.org/news/unity-game-engine-guide-how-to-get-started-with-the-most-popular-game-engine-out-there/#:~:text=Unity%20is%20a%20cross%20platform,extended%20to%20target%207%20platforms>.
11. ECMA-334 (2022). C# language specification. URL: <https://www.ecma-international.org/publications-and-standards/standards/ecma-334/>.
12. Microsoft (2022). Visual Studio Product Lifecycle and Servicing. Microsoft Docs. URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/visualstudio/productinfo/vs-servicing>.
13. Barrier, T. (2003). Systems Analysis – Tonya Barrier, in *Encyclopedia of Information Systems*. *Encyclopedia of Information Systems*, Vol. 4. URL: <https://www.sciencedirect.com/sdfe/pdf/download/eid/3-s2.0-B0122272404001775/first-page-pdf>.
14. Dividends Diversify (2022). What is a Goal Tree and How To Create One Now – Dividends Diversify. URL: <https://dividendsdiversify.com/goal-tree/>.
15. BAwiki (2013). Decomposition – functional and otherwise. URL: <http://www.bawiki.com/wiki/Decomposition.html>.
16. Polygon (2016). The complete guide to virtual reality in 2016 (so far). URL: <https://www.polygon.com/2016/1/15/10772026/virtual-reality-guide-oculus-google-cardboard-gear-vr>.
17. Smith, S. L., Andronico, M. (2016). What Is Oculus Rift? – FAQ – How Oculus Rift Works – Tom's

Guide. URL: <https://www.tomsguide.com/us/what-is-oculus-rift,news-18026.html>.

18. GVSU (2022). Things about HTC Vive. URL: https://www.gvsu.edu/cms4/asset/7E70FBB5-0BBC-EF4C-A56CBB9121AECA7F/7_things_about_htc_vive.pdf.

19. Kolasinski, E. (1995). Simulator sickness in virtual environments. (Technical Report 1027). Orlando, FL: Army Research Institute for the Behavioral and Social Sciences. URL: https://books.google.com.ua/books?hl=en&lr=&id=7qwrAAAAYAAJ&oi=fnd&pg=PR10&ots=vVXxeAj387&sig=f8DbzhAEQaPeLAyrAgo1VZq3Hsw&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false.

20. PadaKuu (2021). Characteristics of Software in Software Engineering. URL: https://padakuu-com.translate.goog/characteristics-of-software-in-software-engineering-790-article?_x_tr_sl=auto&_x_tr_tl=uk&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=wapp.

21. InterviewBit (2021). What are the Characteristics of Software in Software Engineering? URL: <https://www.interviewbit.com/blog/what-are-the-characteristics-of-software/>.

22. AltexSoft (2021). The Good and the Bad of C# Programming. URL: <https://www.altexsoft.com/blog/c-sharp-pros-and-cons/>.

23. BairesDev (2022). C# Programming Language. URL: <https://www.bairesdev.com/technologies/csharp/>.

24. Unity (2022). High Definition Render Pipeline overview. High Definition RP – 14.0.2. URL: <https://docs.unity3d.com/Packages/com.unity.render-pipelines.high-definition@14.0/manual/index.html>.

25. Stboinf (2011). Класифікація інформаційних систем. URL: <https://stboinf.wordpress.com/2011/05/28/%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D1%81%D0%B8%D1%84%D1%96%D0%BA%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F-%D1%96%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%86%D1%96%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D1%85-%D1%81%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B5%D0%BC/>.

26. AltexSoft (2020). Technical Documentation in Software Development: Types and Tools. URL: <https://www.altexsoft.com/blog/business/technical-documentation-in-software-development-types-best-practices-and-tools/>.

27. Tutorialspoint.com (2022). System Analysis and Design: Overview. URL: https://www.tutorialspoint.com/system_analysis_and_design/system_analysis_and_design_overview.htm.

28. Zwass, V. (2022). Information system. Definition, Examples, & Facts. Britannica. URL: <https://www.britannica.com/topic/information-system>.

29. Microsoft (2022). Overview of Visual Studio. Microsoft Docs. URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/visualstudio/get-started/visual-studio-ide?view=vs-2022>.

30. Holoshchuk, R. O., Vysotska, V. A. (2002). Interactive interaction and feedback in the distance learning system. Bulletin of the Lviv Polytechnic National University, No. 464, 44–53.

31. Holoshchuk, R. O., Lytvyn, V. V., Chirun, L. V., Vysotska, V. A. (2003). Mathematical modeling of distance learning processes. Bulletin of the Lviv Polytechnic National University, No. 489, 100–109.

32. Shakhovska, N. B., Vysotska, V. A., Chirun, L. V. (2015). Methods and means of distance education to encourage and involve modern youth in conducting independent scientific research. Bulletin of the Lviv Polytechnic National University, No. 832, 254–284.

33. Shakhovska, N. B., Vysotska, V. A., Skotar, O. O. (2017). Development of the architecture of the intellectual system based on innovative methods of teaching students. Bulletin of the Lviv Polytechnic National University, No. 872, 220–229.

34. Shakhovska, N., Vysotska, V., Chyrun, L. (2016). Features of E-Learning Realization Using Virtual Research Laboratory. Computer Science and Information Technologies: Proc. of the XI-th Int. Conf. Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House, 143–148. DOI: 10.1109/STC-CSIT.2016.7589891.

35. Shakhovska, N., Vysotska, V., Chyrun, L. (2017). Intelligent Systems Design of Distance Learning Realization for Modern Youth Promotion and Involvement in Independent Scientific Researches. Advances in Intelligent Systems and Computing, No. 512, 175–198. DOI: 10.1007/978-3-319-45991-2_12.

36. Lytvyn, V., Vysotska, V., Chyrun, L., Chyrun, L. (2016). Distance Learning Method for Modern Youth Promotion and Involvement in Independent Scientific Researches. Data Stream Mining & Processing. Proceedings of the 2016 IEEE First International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP). August 23–27, 2016, Lviv, Ukraine, 269–274. DOI: 10.1109/DSMP.2016.7583557.

WITH ELEMENTS OF FULL IMMERSION AS A PLATFORM FOR AN OPEN DAY

Oleksii Kuznietsov¹, Victoria Vysotska^{1,2}, Olha Vlasenko^{2,3}

¹ Lviv Polytechnic National University, Information Systems and Networks Department,
12, S. Bandery str., Lviv, Ukraine

² Osnabrück University, Institute of Computer Science, 1, Friedrich-Janssen str., Osnabrück, Germany

³ Zhytomyr Ivan Franko State University, Professional and Pedagogical, Apeial Education, Andragogy and
Management Department, 40, Velyka Berdychivska str., Zhytomyr, Ukraine

¹ E-mail: oleksii.kuznietsov.knm.2018@lpnu.ua, ORCID: 0000-0002-3537-9976

² E-mail: Victoria.A.Vysotska@lpnu.ua, ORCID: 0000-0001-6417-3689

³ E-mail: olha.vlasenko@uni-osnabrueck.de, ORCID: 0000-0001-7258-2108

© Kuznietsov O., Vysotska V., Vlasenko O., 2023

Virtual reality is an important information technology that allows to achieve significant progress in underserved areas. Immersive multimedia, or virtual reality, is a software-simulated environment that simulates physical presence in the real or imagined world. Innovative applications such as high-tech intelligent systems that correlate with the information technologies of display, modelling, building and maintaining networks, artificial touch and computer graphics have made virtual reality a breakthrough in the computing world. Excursions and distance learning in virtual reality are one of the ways to simulate the presence in a city in which a person cannot be physically present at the moment. When viewing virtual tours or attending online classes using videos/photos, the user (applicant/student/learner/teacher) only sees a flat image and cannot interact with it. In this way, the effect that the user is present in that place is lost. Virtual reality with the effect of full immersion allows to eliminate these disadvantages almost completely, and to provide the opportunity to interact with objects located on the virtual stage with the help of real body movements. In addition, in a short period of time, with the help of virtual reality, the user can visit many places, literally without leaving home. This is impossible to do in real life, as certain places are located at a great distance from the user. The object of the study is the process of conducting an interactive excursion and distance learning on the basis of the Department of Information Systems and Networks of the Lviv Polytechnic National University in virtual reality. The subject of the study comprises means, methods of designing and developing the virtual reality information system of excursions and distance learning using virtual reality information technologies. The practical significance of the obtained results is the implemented information system for conducting interactive excursions and distance learning on the basis of the university department. The scientific novelty of the obtained results is an information system based on the use of virtual reality, which is intended for online visits to the premises of the university department with elements of full immersion, as a platform for career guidance of students or distance learning of students.

Key words: interactive tours; virtual reality; virtual tours; information system.