

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

Кваліфікаційна наукова робота
на правах рукопису

ДОРОШ СОЛОМІЯ МИХАЙЛІВНА

УДК 655.4 : 004.946

ДИСЕРТАЦІЯ
УДОСКОНАЛЕННЯ ІМЕРСИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ
ФОРМУВАННЯ ТА ВІЗУАЛІЗАЦІЇ КОНТЕНТУ
ПОЛІГРАФІЧНИХ ВИДАНЬ

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі виробництва та технології за спеціальністю 186 «Видавництво та поліграфія».

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ Дорош С. М.

Науковий керівник – Хамула Орест Григорович, кандидат технічних наук,
професор

Львів – 2025

АНОТАЦІЯ

Дорош С. М. Удосконалення імерсивної технології для формування та візуалізації контенту поліграфічних видань. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 186 «Видавництво та поліграфія». – Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2025.

У дисертації розроблено рекомендації щодо вдосконалення імерсивної технології для формування та візуалізації контенту поліграфічних видань шляхом розробки веб-дзастосунка, який функціонує безпосередньо через веб-браузер у поєднанні з QR-кодом та робить технологію доступною для багатьох користувачів, незалежно від їхніх технічних можливостей.

У вступі аргументовано важливість обраної теми дослідження, що стосується вдосконалення занурювальних технологій для створення та представлення візуального контенту поліграфічних видань. Підкреслено зростаючий інтерес до інтерактивних інформаційних технологій у поліграфії, а також до систем, що ефективно працюють на різних мобільних пристроях. Згадано про співвідношення означеної теми з науковою діяльністю кафедри, метою якої є вдосконалення різноманітних технологій, що використовуються як у традиційній поліграфії, так і в електронному видавництві. Сформульовано мету дослідження, а саме – розробити та обґрунтувати шляхи вдосконалення занурювальних технологій для формування та візуалізації контенту поліграфічних видань через розробку доступного веб-застосунку доповненої реальності, заснованого на експертних дослідженнях і системному аналізі, а також окреслено ключові завдання, які потрібно буде вирішити. Сформульовано наукову новизну, яка полягає у виборі оптимальної технології шляхом інтеграції багаторівневої моделі факторів впливу на визначення необхідної імерсивної технології та оптимізації процесів. Акцентовано практичну значущість отриманих результатів, яка полягає в перспективності запропонованої технології для потреб поліграфії та видавництв. Окреслено

особистий внесок здобувача, який включає розробку моделей і застосування методик, а також участь у спільних публікаціях з іншими авторами. Результати проведеного аналізу та отримані дані представлено на ряді науково-практичних конференцій. На завершення, наведено структуру та обсяг дисертаційної роботи.

У **першому розділі** зроблено огляд сучасного стану та перспектив розвитку імерсивних технологій. Основний акцент зосереджено на AR, VR та MR, зокрема на їхньому використанні в поліграфічній галузі. Розглядається історичний шлях імерсивних технологій від перших ідей до сучасних систем AR/VR. Визначаються ключові етапи їхньої еволюції. Проводиться класифікація імерсивних технологій за типами (AR, VR, MR), методами взаємодії та сферами застосування, з акцентом на маркетингові аспекти. Оцінюється як апаратне забезпечення (смартфони, AR-окуляри), так і програмне (WebXR, ARKit, ARCore, 8th Wall). Проводиться аналіз їхньої сумісності з різними пристроями та економічної доцільності для широкої аудиторії. Розділ також підкреслює потенціал імерсивних технологій у трансформації поліграфії, зокрема через створення інтерактивних візиток, каталогів та упаковок. Відзначаються труднощі, пов'язані з вартістю розробки та технічними обмеженнями.

У **другому розділі** досліджуються чинники, що впливають на вибір оптимальної імерсивної технології для потреб поліграфії. Визначення цих факторів сприятиме ефективному використанню технології на практиці. Описано існуючі реалізації імерсивних технологій у вигляді доповненої реальності та показано їхню ефективність. Експертне опитування виявило наступні ключові фактори: g_1 – комерційний потенціал; g_2 – кросплатформність; g_3 – апаратне забезпечення; g_4 – зовнішнє середовище; g_5 – тип маркерів; g_6 – доступ до інтернету. Побудовано семантичну мережу для формалізації взаємозв'язків між цими факторами. Ця мережа лягла в основу багатоваріаційної моделі їхнього впливу, використовуючи математичне моделювання ієрархій. Згідно з методикою, здійснено ряд кроків: крок 1 –

визначення проблеми; крок 2 – формування ієрархії; крок 3 – порівняльний аналіз; крок 4 – розрахунок матриць попарних порівнянь; крок 5 – обчислення ваг факторів; крок 6 – зведення ваг; крок 7 – кінцеві результати. Матриці попарних порівнянь слугують інструментом для вирішення цих завдань. У результаті обчислень отримано чотирирівневу структуровану ієрархічну модель пріоритетності факторів, що впливають на вибір технології доповненої реальності для поліграфії. Найважливішими факторами, що впливатимуть на вибір технології, виявилися кросплатформність технології та типи маркерів, які будуть використані для зчитування інформації та відтворення контенту. Фактори, що стосуються зовнішнього середовища, комерційного потенціалу проєкту та доступу до інтернету, виявилися найменш значущими. Наступним етапом, розглянутим у розділі, було встановлення згоди експертних оцінок та вдосконалення ієрархічної моделі пріоритетів шляхом оптимізації, використовуючи метод попарного порівняння. Цей метод передбачає зіставлення факторів по черзі, виявлення їх переваг та надання їм числової ваги. В результаті було розраховано критерій оптимізації $\lambda_{\max}$ та індекс узгодженості IU, які склали відповідно $\lambda_{\max} = 6,1$ та $IU = 0,02$. Значення індексу узгодженості підтверджує належну узгодженість рішень експертів. Отримані результати показують співставні дані з попередніми дослідженнями. Застосування методики аналізу ієрархій має значні переваги у вирішенні завдання вибору оптимальної імерсивної технології для поліграфії. Найголовніше, що методика допомогла виявити найважливіші фактори, дозволивши правильно розставити пріоритети. Враховуючи сказане та виконані розрахунки, рекомендовано використовувати доповнену реальність у поліграфічній галузі.

У **третьому розділі** підкреслюється, що доповнена реальність (AR) за останній час стала популярною тенденцією у світі технологій. AR – це технологія, що накладає цифрові об'єкти на реальний світ за допомогою різноманітних гаджетів. На цьому етапі розвитку технологія ще не до кінця сформована, не має усталених стандартів, що ускладнює її широке

впровадження. Попри це, ринок для цієї технології активно формується. Застосування AR у поліграфії відкриває нові можливості для дизайнерів, підприємців та споживачів, дозволяючи створювати інтерактивні, захоплюючі та багатогранні продукти. Це дає покупцям змогу взаємодіяти з товаром на новому рівні. У розділі також проведено аналіз ключових складових контенту, що присутні при реалізації та візуалізації з застосовуючи імерсивних технологій, зокрема у доповненій реальності. Вказується, що одним з найважливіших аспектів створення якісної AR-технології є контент. Визначено та оцінено вагомість текстового контенту поліграфічних видань для реалізації доповненої реальності. Читачі повинні без особливих зусиль сприймати текст, переосмислюючи символи в об'єкти та процеси. Також зазначається важливість вибору шрифтової пари, адже це значно впливає на загальний вигляд та сприйняття тексту. Запропоновано основні етапи розробки методики вибору шрифтового оформлення видань, що поєднуються з імерсивними технологіями. Для виділення критеріїв вибору шрифту застосовано метод абстрагування та узагальнення. Для оцінки шрифтів було проведено дослідження та запропоновано 9 параметрів ($A = \overline{1,9}$), що визначають найбільш поширені характеристики вибору шрифтів для різних проєктів. Серед них: контраст, динаміка, вартість, відкритість, ширина, мова, вага, емоційність, розмір шрифту. За допомогою методу попарних порівнянь виконано попарне порівняння факторів. Для визначення ступеня згоди між експертами використано коефіцієнт конкордації. Отримане значення коефіцієнта конкордації $K=0,8$ свідчить про високу узгодженість експертних оцінок. Результати оцінки досліджуваних гарнітур показали найбільшу неточність у визначенні емоційного компонента шрифтів. Отже, шрифт є одним з найважливіших, найцікавіших та найскладніших інструментів у арсеналі дизайнерів для різних видів текстового контенту, зокрема і для імерсивних технологій. Розроблена методика вибору шрифтів для оформлення текстового контенту видань в імерсивних технологіях дозволяє виокремити параметри

шрифту, які впливають на розбірливість, оформлення та стилістику текстової інформації.

Наступним різновидом контенту, який виділено в імерсивних технологіях, є контент, що відповідає за візуалізацію матеріалу. Графічний контент у поліграфічних виданнях відіграє важливу роль у сприйнятті інформації, адже зображення, ілюстрації, інфографіка та інші графічні елементи допомагають зробити текст більш зрозумілим та привабливим. Зазначається, що візуальний контент у поліграфічних виданнях – це не звичайний декоративний елемент, а потужний інструмент для передачі інформації, створення емоційного зв'язку з читачем та формування іміджу видання. До елементів графічного оформлення було віднесено фотографії, ілюстрації та піктограми. Проведені розрахунки показали, що зображення мають суттєвий вплив на сприйняття інформації у візуальному дизайні. Вони не лише доповнюють текст, а й роблять контент більш доступним та емоційно насиченим. Використання правильно підібраних зображень значно впливає на емоційний стан аудиторії. Їх використання допомагає зосереджувати увагу на важливих аспектах та робити контент таким, що запам'ятовується.

У цьому розділі також досліджено пріоритетну дію конструктивних елементів друкованого видання з елементами доповненої реальності. Отримано ієрархічну модель, яка показує рівні досліджуваних елементів в ієрархічній структурі. Найвищий рівень отримали елементи «друкована основа» та «цифровий контент». Тобто це ті елементи, які забезпечують можливість створювати цифровий контент доповненої реальності відповідно до друкованої основи поліграфічного видання.

У **четвертому розділі** проаналізовано усталені методи створення доповненої реальності, зокрема перспективи створення імерсивних технологій у форматі мобільних додатків. Розглянуто один із традиційних методів створення мобільного додатка для реалізації доповненої реальності, а саме використання програми Unity. З отриманих результатів дослідження можна зробити висновок, що процес створення мобільного додатка для втілення

доповненої реальності вимагає низку програм, значна частина функціоналу яких платна, а безкоштовні версії мають значні обмеження. Існують також інші труднощі з їх використанням, однією з основних є розробка під певну операційну систему, чи то Android, чи то iOS. Для забезпечення роботи мобільного додатка на інших операційних системах необхідно здійснювати переробку в інших програмах, або використовувати, де можливо, конвертори. Тому було заплановано скористатися можливостями створення веб-сервісу, тим більше, що деякі напрацювання уже трапляються в літературі. Процес вибору технологій для створення веб-застосунку з елементами доповненої реальності складався з декількох етапів, в ході яких аналізувалися різні платформи, інструменти та бібліотеки. Головною метою було знайти рішення, яке забезпечить високу продуктивність, кросплатформенність, легкість впровадження та інтерактивність, при цьому не вимагаючи від користувачів встановлення додаткового програмного забезпечення або використання дорогого обладнання. Наш вибір зупинився на AR.js, яка використовується для розробки веб-застосунку з елементами доповненої реальності, що стало обґрунтованим рішенням завдяки її кросплатформенності, легкості інтеграції, підтримці маркерної та безмаркерної технології, високій продуктивності та сумісності з сучасними веб-технологіями. AR.js дозволяє розробникам створювати потужні AR-додатки без необхідності використання спеціалізованого обладнання чи додатків, що робить її ідеальним вибором для кросплатформенних рішень, доступних через веб-браузери. Поєднання AR.js з такими технологіями, як Three.js, HTML, CSS, JavaScript та WebGL, дозволило створити повноцінний веб-застосунок із доповненою реальністю, який може працювати у будь-якому сучасному веб-браузері. Ця технологія дозволила розробити кросплатформенний, інтерактивний та доступний AR-додаток, що не потребує встановлення додаткового програмного забезпечення або спеціалізованого обладнання, роблячи його ідеальним для широкого кола користувачів.

У **висновках** подані загальні результати та пропозиції, отримані в результаті нашого дослідження.

На основі проведеної роботи було досягнуто таких вагомих результатів:

вперше:

- створено класифікаційну модель факторів впливу на вибір оптимальної імерсивної технології для формування та реалізації контенту поліграфічних видань за допомогою теорії ієрархій, що забезпечило виконання подальших досліджень;

- синтезовано та оптимізовано багаторівневі моделі пріоритетності впливу факторів на якість процесу вибору оптимальної імерсивної технології на основі розрахунку й упорядкування їх вагових значень за допомогою методу ранжування та аналізу ієрархій, що уможливило обрати оптимальну, а саме технологію доповненої реальності для якісного формування та реалізації контенту поліграфічних видань;

- виокремлено різновиди контенту, які використовуються в імерсивних технологіях та визначено їх вагомість за методами ранжування та аналізу ієрархій, що дало можливість визначити, яким чином має бути поданий контент;

удосконалено:

- технологію створення веб-застосунку шляхом застосування технологій AR.js, Three.js та HTML для створення доступного веб-застосунку без необхідності використання спеціального обладнання чи складного програмного забезпечення, дане поєднання відкриває нові можливості у сфері застосування нових інформаційних технологій для потреб поліграфії;

отримано подальший розвиток:

- метод ранжирування факторів, у контексті зіставлення та кореляції отриманих результатів з інформацією, одержаною за допомогою методу аналізу ієрархій, забезпечив відповідність визначених ваг факторів інтенсивності їх впливу на досліджувані процеси.

Практичне значення одержаних результатів. Дисертаційна робота досягла низки практично значущих результатів:

- описано наявні імерсивні технології на базі використання популярної програми Unity, що використовується для створення мобільного додатка, що використовує доповнену реальність;

- розроблено рекомендації для вибору імерсивної технології для створення веб-застосунку, що дасть можливість удосконалення технології використання його для потреб створення та функціонування контенту поліграфічних видань;

- розроблено веб-застосунок, який дає можливість не використовувати спеціальне обладнання чи складне програмне забезпечення, що відкриває нові можливості у сфері застосування нових інформаційних технологій для потреб поліграфії;

- здійснено попередній розрахунок собівартості розробки та запровадження як мобільного додатка, так і веб-застосунку, що дасть можливість обрати ту технологію, яка найбільше підходить для потреб певного поліграфічного підприємства.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в Українській академії друкарства, на кафедрі інформаційних мультимедійних технологій м. Львів, у лекційних та практичних курсах дисциплін. Запропонована імерсивна технологія у вигляді веб-застосунку була апробована на поліграфічних виданнях каталогах при проведенні виставок. Дані про впровадження підтверджено відповідними документами.

Ключові слова: імерсивна технологія, доповнена реальність, програмне забезпечення, маркери, багаторівнева модель, фактори впливу, оптимізація, кросплатформність, мультимедійні інформаційні системи, друк, матриця досяжності та попарних порівнянь, метод ієрархій, видання, мова розмітки гіпертекстових документів (HTML), контент.

ABSTRACT

Dorosh S. M. Improving immersive technology for the formation and visualization of content of printed publications.– Manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in specialty 186 “Publishing and Printing”.– “Lviv Polytechnic” National University, Lviv, 2025.

The dissertation develops recommendations for improving immersive technology for generating and visualizing content in printed publications by developing a web application that operates directly through a web browser in combination with a QR code and makes the technology accessible to many users, regardless of their technical capabilities.

The introduction argues for the importance of the chosen research topic, which concerns the improvement of immersive technologies for creating and presenting visual content in printed publications. The growing interest in interactive information technologies in printing, as well as in systems that work effectively on various mobile devices, is emphasized. The correlation of this topic with the scientific activities of the department, the purpose of which is to improve various technologies used in both traditional printing and electronic publishing, is mentioned. The purpose of the research is formulated, namely - to develop and substantiate ways to improve immersive technologies for the formation and visualization of the content of printed publications through the development of an accessible augmented reality web application based on expert research and system analysis, and the key tasks that will need to be solved are outlined. The scientific novelty is formulated, which consists in choosing the optimal technology by integrating a multi-level model of influencing factors for determining the necessary immersive technology and optimizing processes. The practical significance of the results obtained is emphasized, which consists in the prospects of the proposed technology for the needs of printing and publishing. The personal contribution of the applicant is outlined, which includes the development of models and the application of methods, as well as participation in joint publications with other authors. The results of the analysis and the data obtained

are presented at a number of scientific and practical conferences. In conclusion, the structure and scope of the dissertation work are given.

The **first section** provides an overview of the current state and prospects for the development of immersive technologies. The main emphasis is on AR, VR and MR, in particular on their use in the printing industry. The historical path of immersive technologies is considered: from the first ideas to modern AR/VR systems. The key stages of their evolution are highlighted. Immersive technologies are classified by types (AR, VR, MR), interaction methods and areas of application, with an emphasis on marketing aspects. Both hardware (smartphones, AR glasses) and software (WebXR, ARKit, ARCore, 8th Wall) are evaluated. Their compatibility with various devices and economic feasibility for a wide audience are analyzed. The section also emphasizes the potential of immersive technologies in transforming printing, in particular through the creation of interactive business cards, catalogs and packaging. Difficulties associated with the cost of development and technical limitations are noted.

The **second section** examines the factors influencing the choice of the optimal immersive technology for printing needs. Determining these factors will contribute to the effective use of the technology in practice. Existing implementations of immersive technologies in the form of augmented reality are described and their effectiveness is shown. An expert survey revealed the following key factors: g_1 - commercial potential; g_2 - cross-platform; g_3 - hardware; g_4 - external environment; g_5 - type of markers; g_6 - access to the Internet. A semantic network was constructed to formalize the relationships between these factors. This network formed the basis of a multilayer model of their influence using mathematical modeling of hierarchies. According to the methodology, a number of steps were carried out: step 1 - problem definition; step 2 - hierarchy formation; step 3 - comparative analysis; step 4 - calculation of pairwise comparison matrices; step 5 - calculation of factor weights; step 6 - weighting; Step 7 – final results. Pairwise comparison matrices serve as a tool for solving these problems. As a result of the calculations, a four-level structured hierarchical model of the priority of factors influencing the choice of augmented

reality technology for printing was obtained. The most important factors influencing the choice of technology were the cross-platform nature of the technology and the types of markers that will be used to read information and reproduce content. Factors related to the external environment, the commercial potential of the project and access to the Internet turned out to be the least significant. The next stage considered in the section was to establish the agreement of expert assessments and improve the hierarchical model of priorities by optimization using the pairwise comparison method. This method involves comparing factors one by one, identifying their advantages and giving them numerical weight. As a result, the optimization criterion $\lambda_{\max}$ and the consistency index IU were calculated, which were $\lambda_{\max} = 6.1$ and $IU = 0.02$, respectively. The value of the consistency index confirms the proper consistency of the experts' decisions. The obtained results show comparable data with previous studies. The application of the hierarchy analysis technique has significant advantages in solving the problem of choosing the optimal immersive technology for printing. Most importantly, the technique helped to identify the most important factors, allowing to correctly prioritize. Taking into account the above and the calculations performed, it is recommended to use augmented reality in the printing industry.

The **third section** emphasizes that augmented reality (AR) has recently become a popular trend in the world of technology. AR is a technology that superimposes digital objects on the real world using various gadgets. At this stage of development, the technology is not yet fully formed, does not have established standards, which complicates its widespread implementation. Despite this, the market for this technology is actively forming. The use of AR in printing opens up new opportunities for designers, entrepreneurs and consumers, allowing them to create interactive, exciting and multifaceted products. This allows buyers to interact with the product at a new level. The section also analyzes the key components of content that are present in the implementation and visualization using immersive technologies, in particular in augmented reality. It is indicated that one of the most important aspects of creating high-quality AR technology is content. The importance of text content of

printing publications for the implementation of augmented reality is determined and assessed. Readers should perceive the text without much effort, rethinking symbols into objects and processes. The importance of choosing a font pair is also noted, as it significantly affects the overall appearance and perception of the text. The main stages of developing a methodology for choosing font design for publications combined with immersive technologies are proposed. The method of abstraction and generalization was used to identify font selection criteria. A study was conducted to evaluate fonts and 9 parameters ($A = \overline{1, 9}$) were proposed, which determine the most common characteristics of font selection for various projects. Among them: contrast, dynamics, cost, openness, width, language, weight, emotionality, font size. A pairwise comparison of factors was performed using the pairwise comparison method. The concordance coefficient was used to determine the degree of agreement between experts. The obtained value of the concordance coefficient $K=0.8$ indicates high consistency of expert assessments. The results of the evaluation of the studied typefaces showed the greatest inaccuracy in determining the emotional component of fonts. Therefore, the font is one of the most important, most interesting and most complex tools in the arsenal of designers for various types of text content, including immersive technologies. The developed methodology for selecting fonts for the design of text content of publications in immersive technologies allows us to identify font parameters that affect the legibility, design and style of text information.

The next type of content highlighted in immersive technologies is content responsible for the visualization of the material. Graphic content in printed publications plays an important role in the perception of information, because images, illustrations, infographics and other graphic elements help to make the text more understandable and attractive. It is noted that visual content in printed publications is not an ordinary decorative element, but a powerful tool for transmitting information, creating an emotional connection with the reader and forming the image of the publication. The elements of graphic design included photographs, illustrations and pictograms. The calculations showed that images have a significant impact on the perception of information in visual design. They not only complement the text, but

also make the content more accessible and emotionally rich. The use of correctly selected images significantly affects the emotional state of the audience. Their use helps to focus attention on important aspects and make the content memorable.

This section also explores the priority effect of the structural elements of a printed publication with elements of augmented reality. A hierarchical model is obtained that shows the levels of the studied elements in the hierarchical structure. The highest level was given to the elements "printed basis" and "digital content". That is, these are the elements that provide the ability to create digital content of augmented reality in accordance with the printed basis of the printed publication.

The **fourth section** analyzes established methods for creating augmented reality, in particular the prospects for creating immersive technologies in the format of mobile applications. One of the traditional methods for creating a mobile application for implementing augmented reality is considered, namely the use of the Unity program. From the results of the study, it can be concluded that the process of creating a mobile application for implementing augmented reality requires a number of programs, a significant part of the functionality of which is paid, and free versions have significant limitations. There are also other difficulties with their use, one of the main ones is development for a specific operating system, whether Android or iOS. To ensure the operation of a mobile application on other operating systems, it is necessary to carry out processing in other programs, or use, where possible, converters. Therefore, it was planned to use the capabilities of creating a web service, especially since some developments are already found in the literature. The process of selecting technologies for creating a web application with elements of augmented reality consisted of several stages, during which various platforms, tools and libraries were analyzed. The main goal was to find a solution that would provide high performance, cross-platform, ease of implementation and interactivity, without requiring users to install additional software or use expensive hardware. Our choice fell on AR.js, which is used to develop a web application with augmented reality elements, which became a reasonable solution due to its cross-platform, ease of integration, support for marker and markerless technology, high performance and

compatibility with modern web technologies. AR.js allows developers to create powerful AR applications without the need for specialized hardware or applications, which makes it an ideal choice for cross-platform solutions accessible through web browsers. The combination of AR.js with technologies such as Three.js, HTML, CSS, JavaScript and WebGL allowed us to create a full-fledged web application with augmented reality that can run in any modern web browser. This technology allowed the development of a cross-platform, interactive, and accessible AR application that does not require the installation of additional software or specialized hardware, making it ideal for a wide range of users.

The **conclusions** present the general results and suggestions obtained as a result of our research. Based on the work carried out, the following significant results were achieved:

for the first time:

- a classification model of factors influencing the choice of the optimal immersive technology for the formation and implementation of the content of printed publications was created using the theory of hierarchies, which ensured the implementation of further research;

- multilevel models of the priority of the influence of factors on the quality of the process of choosing the optimal immersive technology were synthesized and optimized based on the calculation and ordering of their weight values using the method of ranking and analysis of hierarchies, which made it possible to choose the optimal, namely augmented reality technology for the qualitative formation and implementation of the content of printed publications;

- types of content used in immersive technologies were identified and their importance was determined using the methods of ranking and analysis of hierarchies, which made it possible to determine how the content should be presented;

improved:

- the technology of creating a web application by using AR.js, Three.js and HTML technologies to create an accessible web application without the need for

special equipment or complex software, this combination opens up new opportunities in the field of applying new information technologies for the needs of printing;

further development was obtained:

- the method of ranking factors, in the context of comparing and correlating the results obtained with the information obtained using the method of hierarchy analysis, ensured the correspondence of the determined weights of factors to the intensity of their influence on the processes under study.

Practical significance of the results obtained. The dissertation work achieved a number of practically significant results:

- described existing immersive technologies based on the use of the popular Unity program, which is used to create a mobile application using augmented reality;

- developed recommendations for choosing an immersive technology for creating a web application, which will allow improving the technology of its use for the needs of creating and operating content of printing publications;

- developed a web application that makes it possible not to use special equipment or complex software, which opens up new opportunities in the field of applying new information technologies for the needs of printing;

- made a preliminary calculation of the cost of developing and implementing both a mobile application and a web application, which will allow choosing the technology that is most suitable for the needs of a particular printing enterprise.

The results of the dissertation work were implemented at the Ukrainian Academy of Printing, at the Department of Information Multimedia Technologies in Lviv, in lecture and practical courses of disciplines, The proposed immersive technology in the form of a web application was tested on printed publications and catalogs during the exhibitions. Data on the implementation are confirmed by relevant documents.

Keywords: immersive technology, augmented reality, software, markers, multi-level model, influence factors, optimization, cross-platform, multimedia information systems, printing, reachability matrix and pairwise comparisons, method of hierarchies, publishing, hypertext markup language (HTML), content.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА, В ЯКИХ ОПУБЛІКОВАНІ ОСНОВНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у наукових виданнях, включених до наукометричної бази

Scopus:

1. Dorosh S., Tymchenko O., Khamula O., Vasiuta S., Lukovska O., Sosnovska O. Using Fuzzy Logic in the Research of the Data Visualization Process in Infographics. *Proceedings of the 1st International Workshop on Social Communication and Information Activity in Digital Humanities (SCIA-2022)*. Lviv, Ukraine, October 20, 2022. CEUR Workshop Proceedings, 2022, 3296, pp. 116–127. ISSN 16130073.

2. Dorosh S., Khamula O., Drimaylo M., Tymchenko O., Vasiuta S., Sosnovska O. Determining the Priority of Factors Influencing the Selection of Information Technology for Distance Education. *Proceedings of the IEEE 17th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT)*. CSIT 2022. 10-12 November, 2022 in Lviv, Ukraine. pp. 279-283. URL: <https://doi.org/10.1109/CSIT56902.2022.10000567>.

3. Dorosh S., Tymchenko O., Khamula O., Vasiuta S., Lukovska O., Sosnovska O. Determining the Importance of Factors in the Selection of Immersive Technology for Artworks Reproduction. *Proceedings of the 2st International Workshop on Social Communication and Information Activity in Digital Humanities (SCIA-2022)*. Lviv, Ukraine, November 9, 2023. CEUR Workshop Proceedings, 2023, pp. 155-164. ISSN 1613-0073. <https://ceur-ws.org/Vol-3608/>.

4. Dorosh S., Tymchenko O., Khamula O., Vasiuta S., Sosnovska O. Development of Font Selection Method for Text Content in Immersive Technologies. *1st International Workshop on Intelligent and CyberPhysical Systems, ICyberPhyS 2024*. Khmelnytskyi 28 June 2024. Code 201321. CEUR Workshop Proceedings Volume 3736, Pages 112–128. 2024 . ISSN 16130073.

Публікації у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних (Index Copernicus) та є науковими фаховими виданнями України:

5. Dorosh S., Khamula O. Identification of the main parameters of influence on the creation of quality AR-technology and their interactions. / *Наукові записки УАД*. Vol. 1, №68. 2024. pp. 23–30. URL: <https://doi.org/10.32403/1998-6912-2024-1-68-23-30>.

6. Дорош С., Хамула О. Виокремлення факторів, що впливають на вибір та використання AR-технології. / *Поліграфія і видавнича справа*. Vol. 1, № 87. 2024. с. 28–33. URL: <https://doi.org/10.32403/0554-4866-2024-1-87-28-33>.

Публікації у фахових наукових виданнях України:

7. Дорош С., Сорока Н. Аналіз параметрів що впливають на загрузку пам'яті та обробку даних в AR-додатках. / *Квалілогія книги*. 2024. Vol. 2, № 46. с. 76–84. URL: <https://doi.org/10.32403/2411-3611-2024-2-46-76-84>.

Публікації у збірниках матеріалів конференцій:

8. Дорош С. М., Хамула О. Г. Цифрові технології у створенні сучасного мистецтва. *Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників і аспірантів (07 – 11 лютого 2022 р.): тези доп.* Львів, 2022. С. 144.

9. Дорош С. М., Пареляк А. Т., Хамула О. Г. Технології доповненої реальності в світі мистецтва. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: тези доп. VII Міжнар. наук.-техн. конф. (17–21 травня 2022 р.), м. Харків: ХНУРЕ, 2022. Т1. С. 54-55.*

10. Дорош С. М., Хамула О. Г. Порівняння технологій доповненої реальності для відтворення мистецьких творів. *Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників і аспірантів (06 – 10 лютого 2023 р.): тези доп.* Львів, 2023. С. 66.

11. Дорош С. М., Хамула О. Г. Використання доповненої реальності при презентації творів мистецтва. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: тези доп. VIII Міжнар. наук.-техн. конф. (16-20 травня 2023 р.)*, Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид», 2023. Т.1. С. 88–89.

12. Дорош С. М., Хамула О. Г. Аналіз технологій створення доповненої реальності для творів мистецтва. *Квалілогія книги: матеріали V Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції студентів, магістрантів та аспірантів (Львів, 8 червня 2023 р.)*, Львів: УАД, 2023. С. 112–114.

13. Дорош С. М., Хамула О. Г. Цифровізація мистецтва у контексті сучасних тенденцій. *Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників і аспірантів (05 – 09 лютого 2024 р.): тези доп.* Львів, 2024. С. 122.

14. Дорош С., Танчин А., Хамула О. Перспективи використання іммерсивних технологій у мистецькому середовищі. *Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників і аспірантів (05 – 09 лютого 2024 р.): тези доп.* Львів, 2024. С. 218.

15. Dorosh S., Khamula O. Immersive Technologies and Art. *The VII International Scientific and Practical Conference "Information technologies in education, technology and industry"*, February 19-21, 2024, Madrid, Spain. pp. 240-242. ISBN – 9-789-40372-365-5.

16. Дорош С. М. Роль технологій у трансформації творчості. *Тези доповідей 29 Міжнародної науково-практичної конференції «Ерделівські читання»*, 29-31 травня 2024 р. Ужгород, 2024. С. 25-26.

ЗМІСТ

ВСТУП	22
Розділ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ	
ІМЕРСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УКРАЇНІ ТА ЗА РУБЕЖЕМ	33
1.1. Історична довідка виникнення імерсивних технологій	33
1.2. Розвиток імерсивних технологій в Україні	39
1.3. Класифікація імерсивних технологій	41
1.4. Апаратне та програмне забезпечення імерсивних технологій	50
Висновок до розділу 1	58
Розділ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ВИБІР	
ОПТИМАЛЬНОЇ ІМЕРСИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПОТРЕБ	
ПОЛІГРАФІЇ	60
2.1. Використання імерсивних технологій в поліграфії	60
2.2. Виокремлення факторів впливу на вибір оптимальної імерсивної	
технології для потреб поліграфії	75
2.3. Синтез моделі факторів впливу на вибір оптимальної імерсивної	
технології для потреб поліграфії	80
2.4. Оптимізація моделі факторів впливу на вибір оптимальної	
імерсивної технології	90
2.5. Сильні та слабкі сторони існуючих рішень	94
Висновок до розділу 2	101
Розділ 3. РІЗНОВИДИ КОНТЕНТУ ЩО ВИКОРИСТОВУЄТЬСЯ В	
ІМЕРСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ ВАГОМОСТІ	103
3.1. Аналіз основних елементів контенту що присутній в реалізації	
імерсивних технологій, а саме в доповненій реальності	103
3.2. Виокремлення та оцінка факторів вагомості текстового контенту	
поліграфічних видань для реалізації доповненої реальності	114
3.3. Виокремлення та оцінка факторів вагомості візуального контенту	
поліграфічних видань для реалізації доповненої реальності	134

3.4. Синтез моделі пріоритетної дії конструктивних елементів друкованого видання з елементами доповненої реальності на основі методу аналізу ієрархій	145
Висновок до розділу 3	151
Розділ 4. УДОСКОНАЛЕННЯ ІМЕРСИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ У ВИГЛЯДІ ТЕХНОЛОГІЇ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ КОНТЕНТУ ПОЛІГРАФІЧНИХ ВИДАНЬ	153
4.1. Аналіз традиційних технологій створення доповненої реальності ...	153
4.2. Огляд технологій для розробки веб-застосунку з використанням Augmented Reality	165
4.3. Опис технологічного процесу проектування web-сервісу	179
4.4. Поетапний план створення застосунку і налаштування середовища .	185
4.5. Інтеграція і оптимізація відео-контенту	190
4.6. Тестування та виправлення дефектів	196
4.7. Розрахунок собівартості розробки мобільного додатку в порівнянні з веб-сервісом	200
Висновок до розділу 4	203
ВИСНОВКИ	204
Список використаних джерел	206
Додатки	222
Додаток А. Перелік публікацій здобувача	223
Додаток Б. Відомості про апробацію результатів дисертації	226
Додаток В. Довідка про використання в навчальному процесі результатів дисертаційної роботи	227
Додаток Д. Акт впровадження. Львівський Палац мистецтв	229
Додаток Е. Акт впровадження. Львівська обласна бібліотека для дітей ..	230
Додаток Ж. Код програми	231

ВСТУП

Актуальність теми. У затвердженій Кабінетом Міністрів України Стратегії розвитку читання до 2032 року, під назвою «Читання як життєва стратегія», першочерговим визначено «підтримку українського автора та національного виробника україномовної книжкової продукції, створення сприятливих умов для розвитку книжкового ринку, що є важливим чинником національної безпеки та національних інтересів України» [1]. Це положення особливо актуальне в XXI столітті, де помітне зниження інтересу до книжки як у дітей, так і у дорослих [2].

Сучасна поліграфічна продукція давно вийшла за рамки паперу з текстом. Ми живемо в епоху стрімкого технологічного прогресу, що трансформує підходи до кожної сфери, і поліграфія не виняток. Якщо раніше книга, журнал або рекламний буклет сприймалися як щось стабільне, то сьогодні ці носії здатні вразити навіть найвибагливіших читачів. Друк більше не обмежується лише літерами та ілюстраціями. Звичайна, на перший погляд, книга, але варто торкнутися її сторінки – і вона оживає, пропонуючи інтерактивний досвід.

Серед нещодавніх удосконалень виділяються «розумні ручки», які розширюють горизонти взаємодії з надрукованими текстами (рис. 1). Ці пристрої вміють «озвучувати» текст або додавати коментарі до ілюстрацій. Для дитячої літератури це сприяє перетворенню навчання і читання на більш захопливий та легкий досвід. Маленькі читачі не менше розглядають картинки чи читають літери – вони слухають розповіді, отримують підказки або виконують інтерактивні завдання, передбачені книжкою.

Однак це лише один напрям. Інша інновація, яка набирає обертів, — QR-коди. Невеликі графічні зображення, що відкривають великі перспективи, стали справжнім хітом. Вони здатні перенести читача до світу музики, відеоконтенту або навіть доповненої реальності. Наприклад, сюжет у дитячій книжці може бути збагачений не тільки зображеннями, а й аудіодоріжками від

професійних акторів. Можна почути, як герої спілкуються, або ж музику, що створює атмосферу для читання [3].



Рис. 1. «Смарт Коала» – інтерактивна книга

Такі інновації стають ключовими не тільки в навчальних матеріалах, але й у рекламних кампаніях. Буклет, що за допомогою одного QR-коду трансформується в інтерактивний путівник по товарах та навіть показує процес створення у форматі відео. Це не просто комфорт, а спосіб захопити увагу цільової аудиторії, яка вже звикла до динамічного та розмаїтого контенту.

Інший приклад інтеграції нових технологій в поліграфію — це доповнена реальність (AR). Сторінки можуть "оживати" за допомогою смартфона або планшета. Скануючи спеціальні позначки, пристрій показує тривимірні зображення, анімацію чи навіть інтерактивні моделі.

Ця інтеграція технологій дозволяє підняти поліграфічну продукцію на принципово новий рівень. Вона перестає бути тільки засобом для передачі відомостей, а перетворюється на інструмент зацікавлення, навчання та навіть розваг. Дитина здатна годинами взаємодіяти з книжкою, слухаючи казки або вирішуючи інтерактивні задачі. А дорослий, переглядаючи бізнес-брошуру, отримує не лише текст та графіки, а й доступ до відеоматеріалів, аудіоаналітики чи навіть симуляцій. Звичний текст без інтерактивних складових уже не привертає такої уваги, як раніше. Отже, інновації стають не тільки бажаними, а й вкрай необхідними.

Іншим ключовим аспектом є технологічна доступність. Раніше процес створення інтерактивних продуктів був дорогим та складним, що могли собі дозволити тільки великі підприємства. Сьогодні ситуація змінилася: навіть невеликі видавництва мають можливість інтегрувати QR-коди, застосовувати AR-технології або розробляти електронні додатки до своєї продукції [4].

Отже, поліграфія постає у вигляді нової платформи. Вона єднає класичну красу друку з передовими розробками. Текст і папір перестають бути самодостатньою метою – вони перетворюються на елемент мультимедійного враження. Це розкриває свіжі можливості для видавців, маркетологів, освітян та навіть митців.

Необхідно підкреслити, що такі зміни мають великий соціальний наслідок. Вони сприяють формуванню більш відкритого для всіх простору для осіб з різноманітними потребами. Наприклад, інтерактивні видання з аудіосупроводом або поясненнями зображень здатні бути незамінними для тих, хто має вади зору. А QR-коди або AR-технології допомагають подолати мовний бар'єр, надаючи контент різними мовами.

Важливість цієї теми підкреслюється тим, що наявні рішення часто потребують встановлення спеціальних застосунків і використання дорогого обладнання. Розробка веб-додатків, що працюють безпосередньо в браузері, дасть змогу отримати доступ до цієї технології широкому колу користувачів, незалежно від їхнього технічного оснащення. Це дасть змогу демократизувати

доступ до інноваційних технологій і подолати розрив між традиційними та цифровими формами подання інформації. Окрім того, оскільки суспільство стає дедалі цифровішим, ця розробка допоможе зберегти актуальність друкованих матеріалів, додавши їм нового виміру за рахунок інтеграції з цифровими технологіями.

Значний внесок науковців, які зосереджені на вдосконаленні імерсивних технологій (на зразок доповненої реальності (AR), віртуальної реальності (VR) чи змішаної реальності (MR) для потреб поліграфії, виявляється досить комплексним, зважаючи на те, що ця сфера порівняно нова та балансує між технологіями AR/VR, 3D-друком і маркетинговими новаціями. Згідно з наявними даними, Роберт Ердманн створив застосунок з "curtain viewer" для аналізу й візуалізації мистецьких матеріалів, застосовуючи технології сканування та AR. Його робота передбачає взаємодію з 3D-даними з метою відтворення об'єктів, що може бути застосовано у поліграфії задля створення AR-візуалізацій друкованих матеріалів. Наприклад, його методи дають змогу сканувати об'єкти на хімічному та фізичному рівнях, що може стати у нагоді для формування AR-контенту для каталогів чи пакування. Вініт Р. Кулкарні досліджує 3D-друк для створення комплексних форм доставки ліків, що включає точне відтворення структур. Його науковий інтерес сфокусовано на інноваційних матеріалах та технологіях, які можуть знайти застосування у поліграфії для створення AR-сумісних матеріалів (приміром друкованих поверхонь із вбудованими маркерами). Нурсін Челік працює над проєктами в лабораторії 3D-друку College of Engineering-Johnson & Johnson 3D.

Printing Center, зокрема над дослідженнями з переробки матеріалів. Її проєкти включають застосування 3D-друку для створення складних структур, що може бути адаптовано для поліграфії (наприклад створення текстур чи поверхонь для AR). Райан Лі Карккайнен досліджує мікроструктури матеріалів за допомогою 3D-друку з метою підвищення їх міцності. Його проєкти можуть знайти застосування у створенні спеціальних поліграфічних матеріалів, що взаємодіють із AR (наприклад друковані поверхні з унікальними текстурами

для розпізнавання). Ашутос Агарвал працює над —органами на чипі з використанням 3D-друку, що передбачає створення точних структур для біомедичних тестувань. Його досвід із високоточним 3D-друком може бути застосований до поліграфії для створення AR-маркерів чи текстур.

Українські науковці, зокрема Андрій Стріук, Марія Рассовицька, Світлана Шокалюк, Юлія Матвієнко, Євген Модло, Юлія Єчкало, Вячеслав Репета, Ігор Миклушка, Всеволод Сеньківський, Світлана Васюта, Орест Хамула, Катерина Золотухіна, Андрій Гордєєв, Олександр Пушкар та Сергій Семеріков, зараз вельми активно вивчають можливості AR у освітній сфері та техніці. Їхні напрацювання можуть знайти застосування і у поліграфічній галузі, наприклад для розробки інтерактивних матеріалів, таких як візитки, каталоги та пакувальні вироби. Крім того, спеціалісти з 3D-друку, такі як Михайло Шульган та Юрій Сахно, задіяні у суміжних сферах, потенційно корисних для AR-поліграфії, через розробку особливих поверхонь або маркерів.

У сучасному світі цифрових технологій, що стрімко розвиваються, та їх інтеграції в повсякденне життя особливо важливо знайти нові способи взаємодії з інформацією. Традиційні паперові носії, що і раніше, широко використовуються в освіті та бізнесі, потребують оновлення та адаптації до сучасних потреб користувачів. Розробка веб-додатків з використанням імерсивних технологій відкриває нові можливості для того, щоб зробити взаємодію з друкованими матеріалами більш інтерактивною і зрозумілою. Це особливо актуально для освіти, де візуалізація складних концепцій може допомогти здобувачам освіти глибше зрозуміти матеріал, а також для бізнесу та маркетингу, де важливо створювати контент, що буде захопливим і корисним для клієнтів.

Важливість цієї теми підкреслюється тим, що наявні рішення часто вимагають встановлення спеціальних застосунків і використання дорогого обладнання. Розробка веб-додатків, що працюють безпосередньо в браузері, дасть змогу отримати доступ до цієї технології широкому колу користувачів,

незалежно від їхнього технічного оснащення. Це дозволить демократизувати доступ до інноваційних технологій і подолати розрив між традиційними та цифровими формами подання інформації. Крім того, оскільки суспільство стає дедалі цифровішим, ця розробка допоможе зберегти актуальність друкованих матеріалів, додавши їм нового виміру за рахунок інтеграції з цифровими технологіями.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дисертаційна робота відповідає затвердженій Кабінетом Міністрів України Стратегії розвитку читання до 2032 року, під назвою «Читання як життєва стратегія», першочерговим визначено «підтримку українського автора та національного виробника україномовної книжкової продукції, створення сприятливих умов для розвитку книжкового ринку, що є важливим чинником національної безпеки та національних інтересів України».

Дисертаційне дослідження виконувалося в межах науково-дослідної теми «Розробка технології створення інтерактивного мультимедійного видання на базі ТЗОВ Видавництво «Свічадо» (№931-2021 від 01.07.2021р.), у якій автор брав участь як виконавець та розробник. Результати удосконалення імерсивної технології візуалізації контенту поліграфічних видань реалізовано під час виставок, проведених у Львівському палаці мистецтв та Львівській обласній бібліотеці для дітей. Відповідні акти впровадження додано в додатках.

Мета і завдання дослідження. Мета цієї роботи – розширити можливості традиційної поліграфії, зробивши її більш інтерактивною, привабливою та функціональною для сучасної аудиторії.

Для реалізації поставленої мети потрібно розв'язати такі завдання:

- проаналізувати вже наявні імерсивні технології та способи їх використання, зокрема і для потреб поліграфії;
- визначити сильні та слабкі сторони імерсивних технологій;
- виокремити фактори, які впливають на вибір імерсивної технології для потреб поліграфії;

- синтезувати та оптимізувати модель факторів впливу на вибір оптимальної імерсивної технології для потреб поліграфії;
- описати та класифікувати основні різновиди контенту, що присутні в реалізації імерсивних технологій та встановити їх вагомість;
- виокремити та встановити вагомість факторів вибору текстового контенту;
- виокремити та встановити вагомість факторів вибору ілюстраційного контенту;
- проаналізувати існуючі імерсивні технології для створення вебзастосунку, вибрати оптимальну технологію;
- розрахувати та порівняти витрати, які можливі при розробці традиційних мобільних додатків в порівнянні з веб-застосунками.

Об’єкт дослідження — процеси реалізації щодо удосконалення імерсивних технологій як інструмента для формування та реалізації контенту поліграфічних видань.

Предмет дослідження — фактори, методи, моделі та засоби удосконалення імерсивної технології шляхом розробки веб-застосунку на основі доповненої реальності для інтеграції з паперовими носіями.

Методи дослідження. Під час дослідження було використано низку наукових методів. Методи аналізу та інтеграції були використані для вивчення наявних імерсивних технологій та їхнього практичного застосування. Системний підхід дав змогу визначити оптимальну архітектуру веб-застосунку, а порівняльний метод – провести ретельну оцінку наявних рішень і технологій. Для тестування розроблених прототипів використовувалися емпіричні методи, а результати тестування оброблялися за допомогою математичної статистики. Методи моделювання стали основою для створення прототипу веб-застосунку, а експериментальні методи дали змогу перевірити його працездатність. Для формулювання висновків дослідження використовувалися методи узагальнення. Комплексне застосування цих методів дало змогу всебічно

вивчити проблему та розробити ефективне рішення для інтеграції доповненої реальності та інформації на поліграфічній продукції.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертації розв'язано науково-прикладне завдання щодо удосконалення імерсивної технології формування та реалізації контенту поліграфічних видань шляхом розробки вебзастосунку, що дозволяє користувачам взаємодіяти з цифровим середовищем.

На основі проведеної роботи було досягнуто таких вагомих результатів:

уперше:

- створено класифікаційну модель факторів впливу на вибір оптимальної імерсивної технології для формування та реалізації контенту поліграфічних видань за допомогою теорії ієрархій, що забезпечило виконання подальших досліджень;

- синтезовано та оптимізовано багаторівневі моделі пріоритетності впливу факторів на якість процесу вибору оптимальної імерсивної технології на основі розрахунку й упорядкування їх вагових значень за допомогою методу ранжування та аналізу ієрархій, що уможливило обрати оптимальну, а саме технологію доповненої реальності для якісного формування та реалізації контенту поліграфічних видань;

- виокремлено різновиди контенту, які використовуються в імерсивних технологіях та визначено їх вагомість за методами ранжування та аналізу ієрархій, що дало можливість визначити, яким чином має бути поданий контент;

удосконалено:

- технологію створення веб-застосунку шляхом застосування технологій AR.js, Three.js та HTML для створення доступного веб-застосунку без необхідності використання спеціального обладнання чи складного програмного забезпечення, дане поєднання відкриває нові можливості у сфері застосування нових інформаційних технологій для потреб поліграфії;

отримано подальший розвиток:

- метод ранжирування факторів у контексті зіставлення та кореляції отриманих результатів з інформацією, одержаною за допомогою методу аналізу ієрархій, забезпечив відповідність визначених ваг факторів інтенсивності їх впливу на досліджувані процеси.

Практичне значення одержаних результатів. Дисертаційна робота досягла низки практично значущих результатів:

- описано наявні імерсивні технології на базі використання популярної програми Unity, що використовується для створення мобільного додатка, що використовує доповнену реальність;
- розроблено рекомендації для вибору імерсивної технології для створення веб-застосунку, що дасть можливість удосконалення технології використання його для потреб створення та функціонування контенту поліграфічних видань
- розроблено веб-застосунок, який дає можливість не використовувати спеціальне обладнання чи складне програмне забезпечення, що відкриває нові можливості у сфері застосування нових інформаційних технологій для потреб поліграфії;
- здійснено попередній розрахунок собівартості розробки та запровадження як мобільного додатка, так і веб-застосунку, що дасть можливість обрати ту технологію, яка найбільше підходить для потреб певного поліграфічного підприємства.

Особистий внесок здобувача. Основні дослідження (постановка завдань, виокремлення, класифікація та ранжування факторів впливу на вибір оптимальної імерсивної технології для потреб поліграфії, а саме формування та візуалізації контенту поліграфічних видань, побудова семантичних мереж формалізованих зв'язків між факторами, проектування і розрахунок альтернативних та оптимальних варіантів реалізації імерсивної технології, синтезування моделей, виокремлення та визначення необхідного контенту, що використовується в імерсивних технологій та визначення їх вагомості, удосконалення імерсивної технології шляхом використання програмних

засобів, які дадуть можливість створити крос платформний продукт, який не буде вимагати дорогого обладнання для створення та використання в поліграфії, та подання їх результатів у вигляді публікацій і доповідей на конференціях здійснено здобувачем особисто. У спільних публікаціях автору належить провідна роль: [13, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 155] – дослідження імерсивних технологій та способи їх використання; [91,109] – виокремлення факторів забезпечення якості процесу вибору оптимальної імерсивної технології для потреб поліграфії; [73, 93] – використання теорії графів та методу ієрархій для визначення пріоритетності факторів між собою; [146] – аналіз параметрів, що впливають на загрузку пам'яті та обробку даних в AR-додатках; [39, 92, 94] – визначення різновиду контенту та його вагомості при реалізації веб-застосунку.

Апробація результатів дисертації. Головні результати дисертації доповідались та обговорювались на: of the 1st International Workshop on Social Communication and Information Activity in Digital Humanities (SCIA-2022).Lviv, Ukraine, October 20, 2022; of the IEEE 17th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT). CSIT 2022. 10 – 12 November, 2022 in Lviv; of the 2st International Workshop on Social Communication and Information

Activity in Digital Humanities (SCIA-2022). Lviv, Ukraine, November 9, 2023; 1st International Workshop on Intelligent and Cyber Physical Systems, ICyberPhyS 2024. Khmelnytskyi 28 June 2024; звітних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, наукових працівників і аспірантів Української академії друкарства (Львів, 2022 – 2024); VII Міжнар. наук.-техн. конф. «Поліграфічні, мультимедійні та web-технології» (17 – 21 травня 2022), м. Харків: ХНУРЕ, 2022; VIII Міжнар. наук.-техн. конф. «Поліграфічні, мультимедійні та web-технології» (16 – 20 травня 2023 р.), V Міжнародної науковопрактичної інтернет-конференції студентів, магістрантів та аспірантів «Квалілогія книги» (Львів, 8 червня 2023 р.): УАД, 2023; the VII International Scientific and Practical Conference "Information technologies in

education, technology and industry", February 19 – 21, 2024, Madrid, Spain; 29 Міжнародна науково-практична конференція «Ерделівські читання», 29 – 31 травня 2024 р. Ужгород, 2024.

Публікації. Результати проведених досліджень викладено у 16 наукових працях, серед яких: 4 публікації у виданнях, що включені в міжнародні наукометричні бази Scopus або Web of Science; 3 у фахових публікації виданнях України; 9 публікацій у матеріалах наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 224 найменувань та 6 додатків. Загальний обсяг роботи – 243 сторінки, 183 з яких займає основний текст. У дисертації 33 рисунки та 27 таблиць.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ІМЕРСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УКРАЇНІ ТА ЗА РУБЕЖЕМ

1.1. Виникнення імерсивних технологій: історична довідка

Імерсивність (від англ. Immersive – «що занурює») — це спосіб сприйняття, який визначає зміну стану свідомості, явище, що нині набуло значущості і є об'єктом численних досліджень. Імерсивні технології трактують як низку технологій, що формують імітоване середовище, яке користувач сприймає як справжнє. Найбільш відомі та широко використовувані серед них — віртуальна реальність (VR), доповнена реальність (AR) та змішана реальність (MR). Головне завдання означених технологій полягає у зануренні користувача в інтерактивне середовище, що може бути як повністю віртуальним, так і частково пов'язаним з реальним світом [5].

Імерсивні технології використовують різні датчики та інші пристрої, щоб забезпечити відчуття присутності користувача в іншому просторі. Це може включати використання VRшоломів, AR-окулярів та інших приладів, що впливають на зір, слух і дотик. Завдяки цим технологіям користувачі отримують можливість взаємодіяти з віртуальними об'єктами та середовищами, відкриваючи нові можливості для навчання, розваг, медицини та інших сфер [5].

Змішана реальність, поєднуючи VR та AR, дає змогу цифровим та фізичним об'єктам співіснувати й взаємодіяти в реальному часі. Ця технологія відкриває простір для творення нових видів спільного мистецтва, де глядачі більше не звичайні спостерігачі, а й активні учасники. Вони можуть взаємодіяти з художніми роботами, впливати на них і навіть змінювати їх, що сприяє більш динамічному та інтерактивному досвіду сприйняття мистецтва.

Сучасні імерсивні технології, незважаючи на те, що їх вважають результатом високотехнологічного розвитку, мають давнє історичне коріння. Ще до появи сучасного обладнання та комп'ютерних систем люди

експериментували з методами вдосконалення сприйняття навколишнього світу. Упродовж століть філософи, історики та митці прагнули подолати обмеження звичайної реальності, досліджуючи нові шляхи трансформації зображення.

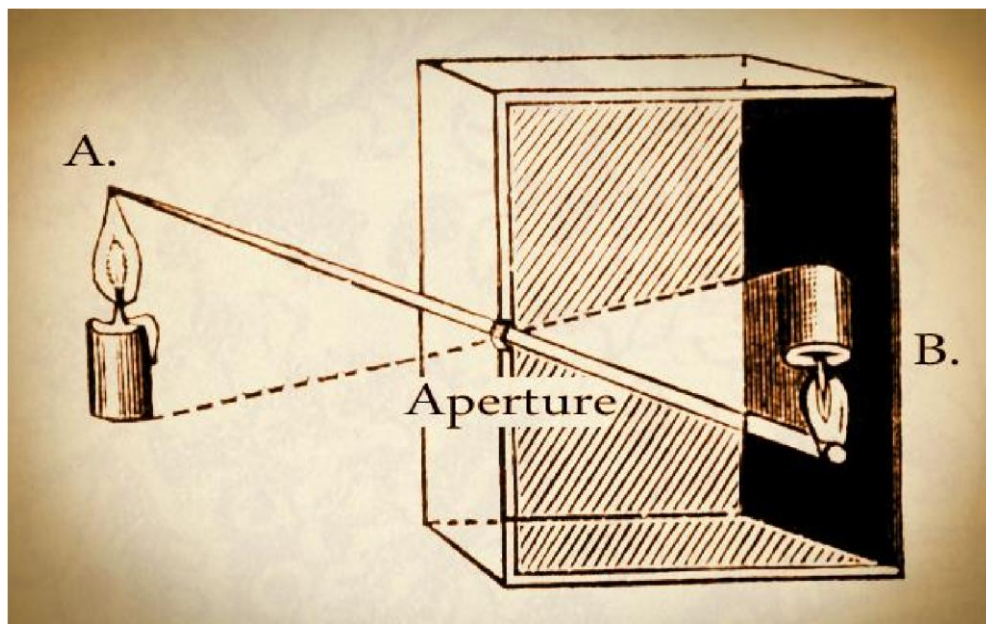


Рис.1.1. Зовнішній вигляд камери обскура [6]

Камера-обскура (рис. 1.1), що набула популярності в XVII столітті та була згадана в працях Аристотеля, заслужено визнається одним із перших пристроїв, які передбачили концепцію сучасної доповненої реальності (AR). Цей апарат реалізовував проєкцію зображення навколишнього простору на плоску площину, закладаючи основу для подальшого розвитку технологій, що поєднують реальний світ з віртуальними компонентами. Попри те, що за сьогоденніми мірками пристрій виглядає досить примітивно, він уже містив базовий елемент, характерний для AR,—інтерактивну взаємодію між реальним світом та візуалізацією. Його широко застосовували митці для точного відтворення перспективи та створення ефекту глибини у своїх творах, що, по суті, можна розглядати як одну з перших форм "збагачення" реальності [6].

Стереоскоп, сконструйований Чарльзом Вітстоном у 1838 році (рис. 1.2), являє собою ключовий крок у розвитку технологій візуалізації. Цей прилад

дозволяв відтворювати ілюзію об'ємного зображення завдяки стереоскопічному ефекту, який ґрунтується на здатності мозку інтегрувати двовимірні зображення, що надходять від кожного ока, у цілісну тривимірну сцену. В середині XX століття, особливо у 1950-х роках, стереоскоп здобув широку популярність через збільшення ефекту занурення користувача у створюваний візуальний світ [7;8].



Рис. 1.2. Зовнішній вигляд стереоскопа, створеного Чарльзом Вітстоном [9]

На початку XX століття світ побачив масштабні технологічні зрушення, що стали фундаментом для виникнення концепції доповненої реальності. Хоча відповідна термінологія ще не усталилася, ключові принципи цієї технології вже використовувалися в різних наукових та інженерних галузях. Гарнітура "Sword of Damocles" авторства Івана Сазерленда, розроблена в 1968 році, стала першим технічним рішенням, яке дозволяло віртуальним об'єктам взаємодіяти з фізичною реальністю. Вона базувалася на базовій комп'ютерній графіці, що обчислювалася в реальному часі. Варто відмітити, що для її функціонування потрібне було громіздке обладнання, що займало цілу кімнату.

Цей пристрій, незважаючи на свою інноваційність, був обмежений у використанні науковими лабораторіями. Спеціальні екрани та система тривимірного позиціонування дозволили гарнітурі показувати прості графічні об'єкти, що "накладалися" на навколишнє середовище. Це стало поштовхом до розробки нових концепцій, що стосувалися інтеграції цифрових даних у

фізичний світ. Разом з академічними дослідженнями військова промисловість проводила власні експерименти з візуалізаційними системами. У 1950–1960-х роках виникли перші головні дисплеї для пілотів, які проєктували інформацію на скло шоломів або кабіни літака. Це дозволяло пілотам отримувати важливі дані, не відволікаючи уваги від польоту.

У 1970-х роках зародилися перші уявлення про те, як використовувати доповнену реальність для широкого кола користувачів. Початкові експерименти включали візуалізаційні платформи для хірургів і техніків, що дозволяли оглядати внутрішню будову механізмів чи навіть без необхідності їхнього фізичного розбору. Це стало початком розробки концептуальних рішень, що й досі застосовують. У таких системах використовували технології, засновані на оптичних проекторах. Хоча це ще не була справжня доповнена реальність, сам принцип накладання візуальної інформації створив підґрунтя для подальших розробок у 1980 – і 1990-х роках.

1980-ті роки стали часом переходу від концептуальних міркувань до перших комерційних і наукових реалізацій. Саме в той період з'явилися пристрої, які можна вважати прототипами сучасних систем доповненої реальності. Одним з найважливіших винаходів того періоду став EyeTap, розроблений Стівеном Манном. Цей пристрій виглядав як портативні окуляри, що дозволяли фільтрувати й змінювати зображення навколишнього середовища. EyeTap працював у реальному часі, трансформуючи зображення за допомогою спеціальних алгоритмів [10].

Основним задумом Манна було створення приладу, що дасть змогу людям змінювати навколишнє середовище, керуючись власними потребами. Це стало справжнім проривом, адже вперше технологію почали запроваджувати для індивідуального користування. EyeTap — один із ранніх портативних пристроїв доповненої реальності, проте його практичне використання залишилося обмеженим через громіздкість та високу ціну. У 1990 році Том Коделл уперше вжив термін «доповнена реальність» (augmented reality). Його дослідження в авіаційній галузі базувалися на розробці

інтерактивних систем, що полегшували роботу технікам з літальними апаратами. Система дозволяла проєктувати інструкції та підказки безпосередньо на поверхню літака, що істотно прискорювало робочий процес.

Розвиток технологій доповненої (AR) та віртуальної (VR) реальності демонструє циклічний характер суспільного інтересу, який відповідає концепції життєвого циклу розвитку будь-якої нової технології відповідно до моделі Gartner (рис. 1.3) [7].

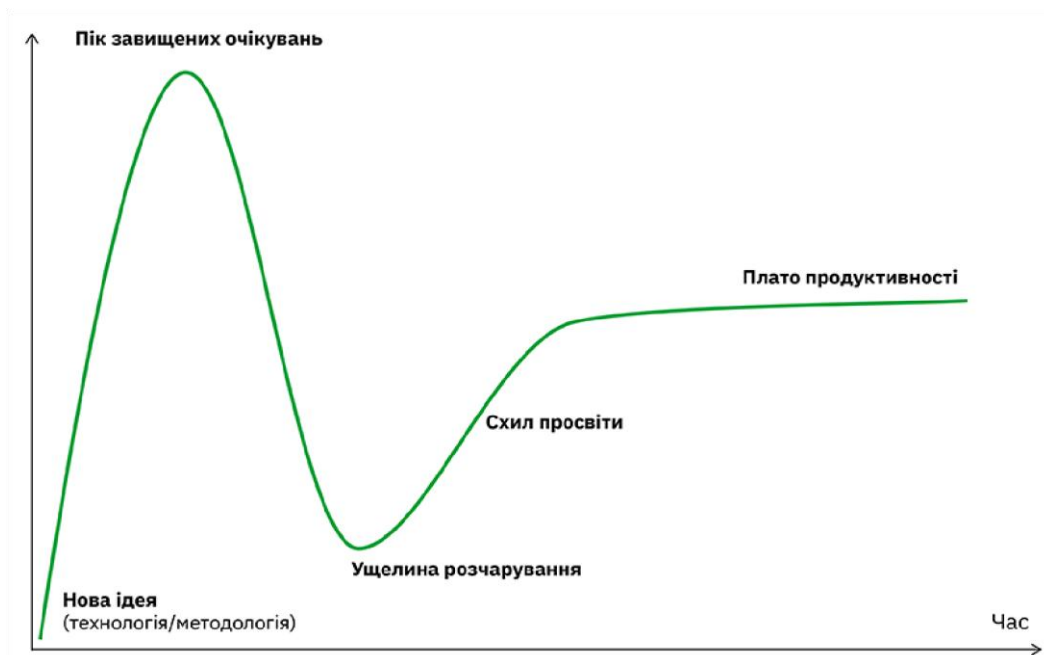


Рис. 1.3. Графічна інтерпретація життєвого циклу розвитку будь-якої нової технології під назвою Hype Cycle, зареєстрована торговою маркою компанії Gartner [11]

Відповідно до постулатів науковця Рональда Азуми, доповнена реальність визначається трьома ключовими рисами: об'єднанням реальних та віртуальних об'єктів, миттєвою взаємодією та функціонуванням у тривимірному просторі. Проте, якщо технології не демонструють очікуваного прогресу або не відповідають потребам користувачів, зацікавленість іншими може падати, що є звичним явищем на ранніх стадіях інтеграції інновацій. Віртуальна реальність активно почала розвиватися у 1980-х роках, з появою перших гарнітур VR. Однак через високу вартість устаткування, технологія

довго залишалася недоступною для широкого кола споживачів. Тільки з появою більш доступних VR пристроїв у XXI столітті вона здобула широке визнання та отримала поштовх для подальшого розвитку [12].

На сучасному етапі AR та VR технології знаходять широке застосування в різних сферах, зокрема в освіті, медицині, мистецтві та промисловості. В медичній практиці AR сприяє покращенню діагностики та хірургічних операцій, забезпечуючи можливість візуалізації внутрішніх структур тіла в реальному часі. У промисловості ці технології використовуються для навчання персоналу та оптимізації робочих процесів, надаючи співробітникам доступ до інтерактивної інформації безпосередньо на робочих місцях. У мистецтві художники постійно знаходять нові способи інтегрувати цифрові елементи у свою творчість, що приводить до виникнення яскравої та різноманітної сцени цифрового мистецтва [13].

Завдяки цифровим засобам та платформам митці мають змогу творити і поширювати свої роботи глобально, досягаючи аудиторії, що значно виходить за рамки традиційних галерей. Більше того, переведення мистецтва в цифру зробило його доступнішим, дозволяючи кожному, хто має інтернет, ознайомлюватися з творами мистецтва з усього світу та взаємодіяти з ними.

Орім розширення охоплення мистецтва, впровадження цих технологій також відкрило нові перспективи для творчості митців. Зараз художники можуть використовувати цифрові інструменти для створення захопливих інтерактивних проєктів, які розмивають межі між самим мистецьким твором та його глядачем. Наприклад, технології доповненої реальності (AR) та віртуальної реальності (VR) дають змогу художникам створювати занурювальне цифрове середовище, даючи глядачам можливість заглибитися у витвір та відчутти його зовсім по-новому [13].

Враховуючи стрімкий розвиток доповненої (AR) та віртуальної (VR) реальності, вірогідно очікувати подальше розширення їх використання. Це, у свою чергу, сприятиме значним змінам у багатьох сферах діяльності та відкриє

нові горизонти для досліджень, підприємництва і нашого щоденного існування.

1.2. Розвиток імерсивних технологій в Україні

Розвиток імерсивних технологій в Україні ознаменований активним проникненням віртуальної (VR) та доповненої (AR) реальності в різноманітні сфери, наприклад освіти, де ці технології застосовуються для створення інтерактивних освітніх просторів, у культурі та мистецтві. Застосування імерсивних технологій в Україні вказує на помітний поступ, особливо в галузі освіти, де активно впроваджуються технології віртуальної (VR) та доповненої (AR) реальності. Ці новаторські рішення сприяють поліпшенню процесу навчання, підвищенню зацікавленості учнів та формуванню свіжих підходів до викладання [14].

В Україні фіксується активне використання імерсивних технологій в навчальних закладах, що дає змогу створювати інтерактивні освітні простори. Впровадження VR та AR у навчальний процес відкриває нові перспективи для візуалізації складних понять та процесів, що, в свою чергу, сприяє кращому розумінню матеріалу. Наприклад, інтеграція віртуальних елементів у фізичне середовище дозволяє студентам взаємодіяти з навчальним контентом природніше і ефективніше [15].

Імерсивні технології здатні значно підсилити мотивацію тих, хто здобуває освіту. Результати досліджень засвідчують, що інтерактивні елементи, включені до навчального процесу, можуть значно покращити рівень зацікавленості учнів, оскільки вони отримують змогу активно взаємодіяти з навчальними матеріалами. Це, в свою чергу, сприяє глибшому розумінню предмету та розвитку критичного мислення [16].

Впровадження AR та VR також зумовлює появу нових педагогічних підходів. Викладачі отримують можливість використовувати різноманітні навчальні методики, що враховують індивідуальні потреби учнів. Таке

диференційоване навчання дозволяє створити інклюзивне освітнє середовище, що відповідає вимогам сучасного суспільства [17].

Україна демонструє стрімкий поступ інноваційних ініціатив, що базуються на технологіях віртуальної та доповненої реальності. Наприклад: Проект 360war реалізує у віртуальний музей, котрий показує розмах руйнувань українських міст та сіл внаслідок військових дій. Від моменту старту у квітні 2022 року команда проєкту працює над створенням панорамних зображень і відео, що дозволять глядачам відчувати атмосферу постраждалих регіонів. Віртуальні екскурсії, зокрема по зруйнованій Київщині, дозволяють міжнародному співтовариству краще зрозуміти масштаб трагедій [18].

Лабораторія культурних досліджень у Чернівцях започаткувала проєкт мета якого – популяризація культури та мистецтва через застосування AR та VR технологій. Унікальна особливість – віртуальна «екскурсія» всередині полотна Миколи Глуценка «Сінокіс». Відвідувачі матимуть змогу не тільки побачити оригінал, а й "увійти" в картину, взаємодіючи з персонажами та оточенням, що перетворює процес ознайомлення з мистецтвом. Окрім того, заплановано створення AR ефектів для портрета буковинського письменника Сидора Воробкевича, які можна буде побачити через камери смартфонів у соціальних мережах [19].

Проєкт «BookvAR» створено для учнів 8 – 9 класів. Цей додаток, розроблений на замовлення Міністерства освіти і науки України, використовує технологію AR для візуалізації фізичних експериментів. Діти спрямовують камеру на сторінки підручників, запускаючи анімовані тривимірні моделі дослідів, що значно підвищує інтерактивність та зацікавленість у навчанні [20].

Компанія АДВІН Україна активно працює над AR та VR проєктами для бізнесу і культури. Їхні рішення включають інтерактивні візуалізації, такі як показ артефактів минулих часів у музеях або інтерактивні доповнення для театральних вистав. Це відкриває глядачам можливість по-новому взаємодіяти з експозиціями [21 – 23].

Неурядова організація «Нерівні реальності» спеціалізується на 3D-скануванні культурної спадщини та фотограмметрії. Вони реалізують проекти з метою збереження культурних цінностей, створюючи цифрові копії для використання у виставкових або освітніх цілях [30].

Різноманітні українські музеї та культурні заклади розгортають VR-екскурсії, що дають змогу відвідувачам «пірнути» в історичну спадщину та культуру України, не потребуючи фізичної присутності на місці. Це стосується як класичних музеїв, так і нещодавно створених інтерактивних платформ [31].

1.3. Класифікація імерсивних технологій

Дослідження класифікації імерсивних технологій та сервісів є нагальним, враховуючи дедалі більшу роль, яку вони відіграють у повсякденному житті. Оскільки технології віртуальної, доповненої та змішаної реальності представлені в широкому розмаїтті, їх ефективне впровадження потребує чіткої класифікації. Це допоможе як користувачам, так і адміністраторам правильно підбирати інструменти для різних потреб. Розробка класифікаційної системи відкриє шлях до створення стандартів та критеріїв для відбору сервісів, які відповідають поставленим завданням [24].

Більше того, класифікація дозволяє краще зрозуміти потенціал та обмеження кожної технології. Це сприятиме оптимізації інтеграції імерсивних інструментів, уникненню перевантаження користувачів та покращенню якості роботи з ними. Проведене дослідження є важливим для розробки методологічних основ застосування імерсивних технологій, що, в результаті, забезпечить кращі результати та допоможе адаптувати процес до потреб сучасних поколінь [32].

Імерсивні технології – це сучасні винаходи, які надають користувачеві можливість повністю поринути у віртуальний світ, породжуючи відчуття фізичної присутності та взаємодії. Основна мета впровадження імерсивних технологій полягає у формуванні реалістичного та багат шарового досвіду, що звертається до чуттів користувача, включаючи зір, слух і відчуття дотику [25].

Імерсивну технологію можна описати, виходячи з багатьох її властивостей. Розгляд різних характеристик та специфіки цих технологій дозволив виокремити такі визначальні риси [32]:

1) Щодо сфери застосування, залежно від мети використання: імерсивні рішення для медицини, освітніх закладів, комерційних підприємств і маркетингових кампаній, промисловості, військової галузі та ін.

2) За часом впливу на користувача: - тривалий вплив: застосовуються для повноцінного занурення на тривалий період (VR-ігри, медичні тренажери); - короткочасний вплив: використовуються для швидкої взаємодії (навчальні модулі) або для забезпечення інформаційної підтримки (AR-навігація).

3) Щодо середовища застосування: - фізичні простори (музеї з AR-гідами); - віртуальні середовища (окремі віртуальні світи, де користувач взаємодіє тільки з цифровим контентом) [26–29].

4) За рівнем занурення: - з повним зануренням: застосовуються шоломи й контролери, щоби сформувати глибокий віртуальний досвід; - змішане середовище: комбінація фізичних і віртуальних об'єктів у єдиному просторі, коли віртуальний контент накладається на реальне середовище (змішана реальність, MR-системи, як Microsoft HoloLens); - середовище часткового занурення: (AR-окуляри або AR-додатки на смартфоні); - невіртуалізоване середовище: наприклад комп'ютерні симуляції на екранах моніторів [33].

5) За типом обладнання виділяють: натільні (окуляри, шоломи, рукавички та ін.); мобільні (смартфони, планшети та ін.); стаціонарні (імерсивні кімнати, спеціальні тренажерні зали з проєкціями та ін.).

6) За типом взаємодії: активна взаємодія: користувач активно взаємодіє з об'єктами у віртуальному середовищі (наприклад, маніпулюючи предметами чи персонажами), використовує фізичні датчики та пристрої, що реагують на дотик або рухи тіла (наприклад рукавички з тактильним зворотним зв'язком); пасивна взаємодія: користувач здебільшого спостерігає або отримує інформацію без можливості втручання (наприклад, віртуальні

тури чи історичні реконструкції), також взаємодія через голосові команди, жести або погляд (AR-додатки з трекінгом рухів очей).

7) За рівнем доступності та складності використання: масовий доступ (інтуїтивні інтерфейси): імерсивні сервіси, доступні через комерційні продукти для широкої аудиторії (наприклад мобільні ігри з AR), прості у використанні додатки (наприклад фільтри в соцмережах); професійні середовища: високоспеціалізовані продукти для професійного використання, вимагають спеціальної підготовки (наприклад хірургічні тренажери або військові симулятори).

8) За моделлю монетизації: безкоштовні сервіси; умовно безкоштовні сервіси (пробний безкоштовний період, безкоштовний план); платні сервіси: Продаються як ліцензії або за передплатою (навчальні або корпоративні програми). Оскільки найбільш поширеними в сенсі використання з навчальною метою є технології AR, VR та 360-градусні-відео, пропонуємо окремо класифікувати кожен з цих технологій, враховуючи їхні особливості.

Основні види імерсивних технологій [34].

До імерсивних технологій належать:

- віртуальна реальність (Virtual Reality, VR);
- доповнена реальність (Augmented Reality, AR);
- змішана реальність (Mixed Reality, MR);
- розширена реальність (Extended Reality, XR);
- 360-градусні-відео;
- голограми;
- телеприсутність (Telepresence);
- тактильні технології (Haptics).

Проаналізуємо їх детальніше. Віртуальна реальність (VR) – це технологія, яка здатна генерувати цілком штучне, інтерактивне середовище, в яке користувач занурюється завдяки спеціальним приладам, наприклад VR-окулярам або шоломам [35]. У такому середовищі користувач може

взаємодіяти з об'єктами, відчуючи ефект перебування в іншому просторі, що часто відрізняється від реального світу.

Щоб використовувати VR, потрібні як апаратні пристрої (шоломи, контролери, датчики), так і програмне забезпечення (платформи, додатки). Залежно від поставлених цілей (ігри, навчання, тренінги) можливо підібрати різноманітні гарнітури та аксесуари задля найглибшого занурення у віртуальний світ [36].

Доповнена реальність (AR) визначається як технологія, що інтегрує цифрові складові (графіку, аудіо, письмові повідомлення) в реальне оточення, формуючи комбіноване середовище. Користувачі найчастіше взаємодіють з AR за допомогою смартфонів, планшетів чи спеціалізованих окулярів [27, 28].

Щоб користуватися AR, необхідно мати пристрій з камерою і сенсорами (смартфон, планшет або AR -окуляри) та відповідне програмне забезпечення (ARKit від Apple, ARCore від Google). У складніших сценаріях може знадобитися застосування додаткових сенсорів або хмарних сервісів для поліпшення функціональності. Цікавою розробкою стануть смартлінзи – пристрої майбутнього, поки що на стадії проектування. Вони дадуть змогу накладати AR -інформацію безпосередньо на зір користувача. Прототипи подібних лінз вже створюють такі компанії, як Mojo Vision [39, 40].

Змішана реальність (MR) – це технологія, що об'єднує складові фізичного та віртуального світів, даючи змогу користувачам взаємодіяти з віртуальними об'єктами в реальному оточенні у реальному часі. MR розташовується між доповненою реальністю (AR), яка просто накладає цифрові елементи на реальність, та віртуальною реальністю (VR), що цілковито занурює користувача у віртуальний простір. MR функціонує так:

- 1) використовуються датчики та камери, щоб розуміти оточення користувача;
- 2) шоломи або окуляри MR накладають 3D-графіку на реальне середовище та дозволяють взаємодію з нею;

3) інтеракція може бути жестами, голосом або через контролери.

Розширена реальність (XR) – це загальний, свого роду «парасольковий» термін, що охоплює всі технології, які змішують реальний і віртуальний світи. XR включає в себе такі поняття, як віртуальна реальність, доповнена реальність та змішана реальність [34].

Для роботи з XR потрібне відповідне обладнання, а саме: шоломи віртуальної реальності (Oculus, HTC Vive), окуляри доповненої/змішаної реальності (Microsoft HoloLens, Magic Leap), смартфони та планшети з AR-програмами (ARKit, ARCore), контролери та сенсори руху для взаємодії з віртуальним середовищем. Приклади застосування XR у навчанні: вивчення історії через інтерактивні реконструкції, лабораторні заняття у VR та інше [42].

Відео 360 градусів – це різновид відеозапису, що захоплює кожен кут довкола місця зйомки (повний огляд – 360° по горизонталі, і нерідко від 180° та більше по вертикалі). Це створює враження максимального занурення, оскільки глядач може спокійно розглядати події, що відбуваються, в будь-якому напрямку [43].

Щоб переглянути це, необхідні VR-шолом (Oculus, HTC Vive, PlayStation VR), мобільний телефон (YouTube та Facebook дають можливість дивитися 360-градусні відео) або телевізор чи комп'ютер з функцією керування (огляд за допомогою миші або кнопок зі стрілками). Відео 360 градусів можна задіяти для віртуальних турів, «екскурсій» на дно океану чи інші світи, імітації життєвих обставин та іншого.

Голограми – це тривимірні візуалізації або проєкції, що створюють ілюзію реальних об'єктів у просторі. Ця технологія дає змогу бачити цифрові об'єкти з усіх кутів, посилюючи відчуття присутності та взаємодії з ними. Голограми – важливий елемент у розвитку імерсивних технологій на зразок доповненої реальності (AR), змішаної реальності (MR) та віртуальної реальності (VR) [44].

Розповсюдження цієї технології трохи призупинене через низку недоліків і труднощів: значна вартість обладнання (лазерів і дисплеїв), обмеження якості (частина голограм має низьку роздільну здатність або обмежені кути огляду), великі технологічні потреби (голографічний контент потребує значних обчислювальних ресурсів та сучасних дисплеїв).

Телеприсутність – це технологія, що дає ілюзію фізичного перебування в іншій локації, застосовуючи відео, аудіо та інші сенсорні рішення. Вона дозволяє взаємодіяти з віддаленими об'єктами, оточенням та людьми в режимі реального часу, створюючи максимально наближений до реальності досвід [32, 45].

Телеприсутність активно використовується в різних сферах: віддалені зустрічі, медицина, освітні процеси, промисловий сектор та дистанційне управління робототехнікою. На сьогоднішній день телеприсутність – це інноваційна імерсивна технологія, яка пропонує нові формати взаємодії з навколишнім світом та людьми на відстані. Розвиток таких технологій, як 5G, робототехніка, AR/VR, робить телеприсутність більш доступною та важливою для численних галузей.

Тактильні технології, що їх також називають Haptics, охоплюють комплекс технічних рішень, що створюють відчуття дотику: натиску, вібрації та текстури у віртуальному чи цифровому просторі. Ці технології інтегрують тактильний (дотиковий) відгук, підсилюючи ефект занурення користувача в процес. Haptics відіграє ключову роль у віртуальній реальності (VR), доповненій реальності (AR) та різноманітних інтерактивних системах, надаючи користувачам змогу «відчувати» взаємодію з цифровими об'єктами [22, 34].

Тактильні системи створюють відчуття через:

- вібрацію (короткі імпульси для імітації ударів або тремтіння);
- тиск (сила, прикладена до шкіри, щоб імітувати контакт чи натиск);
- деформацію (зміну форми пристрою для створення ефекту пружності або опору);

- тепло або холод (температурний зворотний зв'язок для створення більш реалістичних взаємодій);
- тактильні текстури (за допомогою швидких вібрацій імітуються різні поверхні (наприклад гладка або бугриста)).

Реалістичність відчуттів забезпечується за допомогою тактильних рукавичок та костюмів (HaptX Gloves, SenseGlove, Teslasuit), контролерів з тактильним зворотним зв'язком (PlayStation DualSense, Meta Quest Touch), тактильних дисплеїв (наприклад, тактильні екрани з інтерфейсом для незрячих), аудіотактильних систем (наприклад Woojer Vest) [45].

Незважаючи на виклики та обмеження (висока вартість обладнання, обмеження у точності передачі, реалістичності, затримка в передачі сигналу, значні енерговитрати тощо), тактильні технології розвиваються і поширюються у різних сферах діяльності – іграх і розвагах, професійному навчанні (хірургів, інженерів, військових та ін.), медицині та реабілітації, соціальній взаємодії (імітації дотиків, обіймів під час спілкування), промисловості та управлінні дронами, роботами.

Також імерсивні технології можуть бути класифіковані за кількома ознаками. Аналіз різних характеристик і особливостей цих технологій дозволив нам виявити такі ознаки:

- 1) За сферою застосування, ключовим призначенням: сервіси з ефектом занурення для медицини, навчання, бізнесу та реклами, промисловості, військової справи та інших.
- 2) За тривалістю впливу:
 - довготривалий вплив: застосовуються для занурення на тривалий час (VR-ігри, медичні тренажери);
 - короткотерміновий вплив: застосування для оперативного спілкування (навчальні заняття) чи інформаційної допомоги (AR-навігація).
- 3) За середовищем застосування:
 - фізичні простори (музеї з AR-провідниками);

- віртуальні середовища (окремі віртуальні світи, де користувач взаємодіє лише з цифровим контентом).

4) За рівнем занурення:

- середовище повного занурення: застосовуються шоломи та контролери для створення відчуття глибокого занурення у віртуальний світ;
- змішане середовище: поєднання фізичних та віртуальних елементів в одному спільному просторі, коли віртуальний вміст накладається на дійсність (змішана реальність, MRсистеми, наприклад Microsoft HoloLens);
- середовище часткового занурення: (AR-окуляри або AR – додатки на смартфоні);
- не віртуалізоване середовище: наприклад комп'ютерні симуляції, що відображаються на екранах моніторів.

5) За типом обладнання:

- натільні (окуляри, шоломи, рукавички та ін.);
- мобільні (смартфони, планшети та ін.);
- стаціонарні (імерсивні кімнати, спеціальні тренажерні зали з проєкціями та ін.).

6) За типом взаємодії:

- активна взаємодія: користувач активно взаємодіє з об'єктами у віртуальному просторі (наприклад, переміщуючи речі або керуючи персонажами), використовуються фізичні датчики та пристрої, що реагують на дотики чи рухи тіла (скажімо, рукавички з тактильним зворотним зв'язком).
- пасивна взаємодія: користувач переважно спостерігає або сприймає інформацію, не маючи можливості впливати (скажімо, віртуальні екскурсії чи історичні відновлення). Також взаємодія через голосові команди, жести або погляд (AR-додатки з відстеженням рухів очей).

7) За рівнями доступу та складності застосування:

- масовий доступ (інтуїтивно зрозумілі інтерфейси): імерсивні сервіси, доступні через комерційні продукти для широкого загалу (скажімо, мобільні ігри з доповненою реальністю), прості у використанні додатки

(наприклад фільтри в соціальних мережах);

професійне середовище: вузькоспеціалізовані вироби для використання фахівцями, що потребують відповідної кваліфікації (хірургічні тренажери чи військові симулятори).

8) Щодо моделі монетизації:

- безкоштовні сервіси;
- умовно безкоштовні сервіси (безкоштовний пробний період, безкоштовний план);
- платні сервіси: реалізуються як ліцензії або за підпискою (освітні або корпоративні програми).

Оскільки найчастіше з навчальною метою застосовують технології AR, VR та 360° відео, пропонуємо розділити кожен з них на категорії, взявши до уваги їхні властивості [16, 45].

Класифікація сервісів доповненої реальності (AR) [46].

AR можна розділити на кілька категорій, зважаючи на те, як відбувається обробка даних та взаємодія віртуальних об'єктів з реальним світом:

- AR з маркерами – ці системи застосовують особливі візуальні мітки (скажімо, QR-коди або картинки), на які накладається тривимірний контент. Ці технології традиційно використовуються для навігації всередині приміщень та в інтерактивній рекламі;
- AR без маркерів – ці системи спираються на дані з камери, GPS, акселерометрів чи компаса, щоб розпізнавати простір довкола. Вони активно використовуються у програмах візуалізації, наприклад у симуляторах меблів, як-от IKEA Place, де можна побачити, як виглядатимуть меблі у вашій оселі;
- AR, заснована на визначенні місця знаходження, функціонує через GPS та сенсори, аби демонструвати інформацію з огляду на позицію користувача. Вони активно використовуються в сфері туризму задля розробки інтерактивних турів чи геоігор (наприклад Pokémon Go);
- AR з накладанням об'єктів – віртуальні об'єкти накладаються поверх реальних, змінюючи вигляд середовища. Наприклад програми, які в

реальному часі змінюють колір меблів або показують історичний вигляд місцевості.

Класифікація сервісів віртуальної реальності (VR):

- VR для віртуальних симуляцій – використовується для практичних занять, як-от тренування медиків або пілотів;
- інтерактивні навчальні середовища – створюють простори для навчання, як-от віртуальні лабораторії або музеї;
- гейміфіковане навчання – освітні ігри у VR для розвитку навичок та мотивації;

віртуальні тури та подорожі – допомагають учням/студентам відвідувати історичні місця або досліджувати космос.

Класифікація імерсивних (360-градусних) відео:

- за тематикою – історія, географія, мистецтво і т.д.
- за дидактичною метою – навчальні, тренувальні, оцінювальні;
- за рівнем складності – початковий, середній, високий;
- за інтерактивністю – пасивний перегляд, інтерактивні елементи, інтерактивні завдання);
- за тривалістю – короткі (декілька хв.), середні (до 15 хв.), довгі (понад 15 хв.);
- за типом контенту (документальні, ігрові симуляції); -за технологією (моноскопічні, стереоскопічні).

Як бачимо, імерсивні технології стрімко прогресують. З'являються нові сервіси, які розширюють функціонал та стають ключовим інструментом у різноманітних галузях, зокрема у сфері освіти [32].

1.4. Апаратне та програмне забезпечення імерсивних технологій

Частково, з тим обладнанням, яке необхідно для конкретної імерсивної технології, ми мали змогу ознайомитися в наведеному тексті. У наступному тексті ми представимо ще додаткове обладнання, що є необхідним при використанні імерсивних технологій. Отже, для створення інтерактивних

вражень цифрові камери здатні стати сполучною ланкою між людським зором і навколишнім середовищем. Аби зрозуміти функціонал цих методів та їх роль у сучасних технологіях, необхідно детальніше звернути увагу на концепцію доповненої реальності та на те, як вона змінює наше сприйняття світу довкола.

Цифрові камери виступають важливим інструментом для збору інформації з реального світу. Вони не лише фіксують зображення, а й «розуміють» глибину, текстуру, колір та рух об'єктів, використовуючи сучасні алгоритми машинного навчання та комп'ютерного зору. У деяких випадках камери можуть розпізнавати об'єкти, ідентифікувати обличчя та визначати емоційний стан людини. Ці можливості відкривають широке поле застосувань, від інтерактивних ігор до складних навігаційних систем.

Ці камери також виступають інструментом для визначення просторового позиціонування користувача. Інтегровані сенсори та гіроскопи дають змогу пристрою «сприймати» оточення так, як це робить людина. Наприклад, в AR-гаджетах камера може «спостерігати» стіни кімнати, поверхню столу чи інші фізичні складові як основу для візуалізації цифрових об'єктів. Це не тільки поглиблює досвід, а й дозволяє користувачам взаємодіяти з віртуальними елементами, ніби вони є частиною навколишнього світу. Фактично, камера здійснюватиме "моніторинг" навколишнього середовища, використовуючи спеціалізоване програмне забезпечення для аналізу. Отримані дані будуть перетворені на віртуальні об'єкти, які бездоганно поєднуються з фізичною реальністю. Так, у сучасних додатках з доповненою реальністю, камера може визначати реальні просторові координати об'єкта, а потім накладати цифрову модель на цей об'єкт. Це може бути як простий текст, що пояснює призначення певного об'єкта, так і складний тривимірний дизайн, який ніби "розвивається" в реальному світі.

Google вперше спробував це у 2013 році, випустивши Glass, проте це була не зовсім доповнена реальність у тому вигляді, як ми її бачимо зараз. Окуляри відображали цифрову інформацію на плоскому екрані перед одним оком, замість створення тривимірних зображень безпосередньо у візуальному

полі. Google й досі пропонує Glass, але у версії Enterprise, яка орієнтована на використання у виробництві, медицині та інших сферах. Користувачі Glass мають доступ до інструкцій, навчальних відео, креслень та спеціалізованого програмного забезпечення, що дозволяє їм працювати, не відволікаючись [47].

Microsoft Hololens та Magic Leap One [37, 38] — найвідоміші AR-шоломи для розваг та ігор. Завдяки цим гарнітурам реальне оточення дедалі активніше комбінується з цифровим вмістом. Після першого налаштування Magic Leap, пристрій аналізує приміщення та створює попередню модель кімнати практично в реальному часі. Відтак, коли ви починаєте розташовувати об'єкти навколо себе, перенесення цього досвіду в реальність значно полегшується. Чим глибшою буде інтеграція цих навушників з навколишнім простором, зокрема з акустикою (аби користувач чув звуки, що лунають з певних точок у просторі), тим реалістичнішими будуть відчуття.

Частина розробників малює собі картину світу, де кожен постійно використовує розумні окуляри або контактні лінзи, але до цього ще далеко. Нинішні окуляри доповненої реальності часто досить габаритні та мають обмежений час роботи. Крім того, поле зору користувача звужується, а його здатність орієнтуватися в просторі обмежена, що може бути небезпечним [50].

До того ж можуть виникнути труднощі з розумінням 3D-моделей, накладених на знімки з реального світу. Пілоти бойових літаків потребують близько шести тижнів безперервних занять, щоб засвоїти навички користування дисплеєм, не відволікаючись на зображення, які нашаровуються одне на одне. Окрім окулярів, вони вдаються до доповненої реальності здебільшого вночі для спостереження за об'єктами. Коли існує низка інших речей, на яких потрібно зосереджуватися, накладення зображень здатне відвернути увагу від справді важливого, наприклад, від іншого літака чи ракети, що наближається.

Телефони теж заслуговують на увагу як важливий інструмент для взаємодії з доповненою реальністю, бо майже кожен ними користується, а кожен смартфон оснащений вбудованою камерою та можливістю доступу до мобільних програм. Успіх Pokémon GO [51], додатка доповненої реальності, що

зібрав понад 500 мільйонів завантажень за перший рік, скоріш за все зумовлений тим, що люди вже володіли потрібними інструментами для гри.

Подібно до Pokémon GO, додаток доповненої реальності IKEA Place [52] також використовує можливості технологій смартфонів. Завдяки цій програмі користувачі мають змогу побачити, як виглядатимуть меблі у їхньому помешканні ще до моменту покупки. Доповнена реальність може бути особливо корисною для великих предметів, як-от меблі, водночас менш актуальною для таких речей, як іграшки, що не вимагають попереднього візуального ознайомлення з їх розташуванням у навколишньому просторі.

Найбільшим недоліком додатків доповненої реальності є необхідність постійно тримати телефон у руках для відображення зображення на екрані. Це змушує піднімати руки, що вимагає фізичного навантаження. Такий підхід аж ніяк не можна назвати інтуїтивно зрозумілим. Окрім того, автономність роботи акумулятора може бути проблемним питанням для телефонів або смарт-окулярів. У Pokémon GO більшість гравців доволі швидко вимикали режим доповненої реальності, оскільки він суттєво розряджав батарею.

Окуляри AR, гарнітури та смартфони все ще стикаються з перешкодами, які треба подолати, але технологія стрімко розвивається. Доповнена реальність виходить далеко за межі простих віртуальних об'єктів у Snapchat. Сьогодні вона не просто розвага, а ключова складова сучасного цифрового простору. Ми лише на порозі відкриття її безмежних можливостей, і потенціал настільки великий, що він, ймовірно, переформатує наш погляд на багато сфер життя. Технологія AR ще відносно нова, але вже демонструє величезний потенціал, який значно ширший за звичайні фільтри соціальних мереж. Це революція, що лише набирає обертів, і нас чекає захоплива подорож у світ, де границя між реальним та віртуальним буде майже стерта [53].

Щодо програмного забезпечення, HTML є фундаментом, що формує структуру та відповідає за коректне розміщення елементів доповненої реальності на сторінці. Він є базою для всієї інтерактивності. Кольори, тіні та текстури – це лише частина стилістичних елементів, які CSS надає 3D-об'єктам,

роблячи їх привабливими та реалістичними, тим самим доповнюючи візуальне сприйняття. JavaScript – це двигун, що забезпечує динамічність усієї системи. Це є технологічний прогрес.

Фреймворк Mind AR значно спрощує інтеграцію з друкованими мітками. Він пропонує необхідні інструменти для точного розпізнавання положення та прив'язки 3Dоб'єктів. Цей підхід забезпечує стабільність віртуальних елементів, незалежно від переміщення камери чи зміни ракурсу. Формат GLTF, що використовується для імпорту 3Dмоделей, оптимальний для передачі анімації, текстур та геометричних даних. Він особливо ефективний для веб-додатків, адже гарантує швидке завантаження без компромісів якості. Поєднання цих технологій створює вражаючий досвід доповненої реальності, де кожен елемент взаємодіє гармонійно, забезпечуючи максимально реалістичний та зрозумілий користувацький інтерфейс [54].

HTML. Як уже було згадано, фундаментом веб-розробки є мова HTML (HyperText Markup Language – мова розмітки гіпертексту). Вона дає змогу формувати структури веб-сторінок, наповнюючи їх контентом. Ключовими елементами HTML є теги, які використовуються для опису кожного елемента на сторінці. За допомогою тегів текст і дані трансформуються в організовані та візуально привабливі компоненти, дозволяючи втілити в життя заголовки, абзаци, зображення, гіперпосилання та багато іншого.

HTML чудово співпрацює з іншими технологіями. Наприклад, JavaScript додає сторінкам інтерактивність та динамічні можливості, а CSS (каскадні таблиці стилів) керує стилем таких елементів, як кольори, шрифти, розміри та відступи. У результаті HTML – це не просто текст та дані, а й основа для створення повноцінних веб-застосунків. Окрім того, HTML підтримує мультимедійні компоненти та забезпечує збір даних через форми введення, кнопки та випадаючі списки. Це життєво важливо для створення форм реєстрації, опитувань або функцій пошуку.

HTML усе ще утримує ключову роль у царині веб-розробки завдяки своїй адаптивності. У тандемі з CSS та JavaScript він дає змогу створювати як

мінімалістичні статичні веб-сторінки, так і розгалужені веб-застосунки, що пропонують інтерактивні можливості. Легкість його синтаксису та невпинне вдосконалення роблять HTML привабливим для всіх, від новачків до ветеранів веб-розробки. Універсальність і сумісність з іншими технологіями розкриває безмежні горизонти для творчості та впровадження новаторських рішень у веб-дизайні [55, 56].

CSS (Cascading Style Sheets) — це мова каскадних таблиць стилів, яка визначає візуальне представлення веб-сторінок. Вона дає змогу елементам HTML набувати певного вигляду, включаючи колір, гарнітуру, розмір, обрамлення, відступи, позицію та інші властивості. За допомогою CSS ви можете організовувати свої дизайни таким чином, щоб вони виглядали привабливо, узгоджено та були зручними для користувачів, незважаючи на складність веб-сайту. Однією з найважливіших рис CSS є здатність формувати централізовані стилі, які використовуються на кількох складових одночасно. Наприклад, можна визначити загальний вигляд для усіх заголовків чи кнопок на веб-сторінці, що помітно спрощує управління оформленням. Замість того, щоб задавати стиль кожному окремому елементу, ви лише один раз описуєте правило, яке автоматично поширюватиметься на всі потрібні елементи.

Синтаксис CSS є доволі простим та інтуїтивно зрозумілим. Основними елементами цієї мови є селектори, властивості та їхні значення. Селектори використовуються для визначення HTML-елементів, до яких будуть застосовані стилі. Приміром, селектор `h1` відбирає всі заголовки першого рівня, натомість селектор `.button` відповідає всім елементам, що мають клас кнопок. Властивості задають конкретні особливості стилю, як-от колір для відтінку тексту, розмір шрифту для його величини або відступ для відстані. Значення конкретизує налаштування властивості, наприклад, колір може бути червоним, зеленим або вказаним, як ось `#0000ff` [57].

CSS дозволяє застосовувати зовнішні стилі, збережені у файлах з розширенням `.css`. Це дає змогу розділити структуру сторінки та її зовнішній вигляд, що необхідно для підтримання зрозумілого й упорядкованого коду.

Використовуючи зовнішні стилі, можна швидко змінити оформлення всієї сторінки, відредагувавши лише один файл. Приміром, якщо треба змінити шрифт усього тексту на сайті, це можна зробити саме там. До того ж CSS надає інструменти для розробки адаптивного дизайну. Медіазапити дозволяють коригувати стилі залежно від розмірів екрану, що є критично важливим у контексті дедалі більшої популярності мобільних гаджетів. Завдяки цьому веб-сторінки можуть автоматично підлаштовуватися під різну роздільну здатність екрана, гарантуючи зручність використання на будь-якому пристрої. CSS також надає можливість додавати анімаційні ефекти. Використання таких властивостей, як `transition` або `@keyframes`, дозволяє створити плавні перетворення, включаючи зміну або розмивання кольорів, появу чи зникнення елементів, їх обертання або масштабування [58].

Для точного відтворення AR-компонентів, CSS використовується для забезпечення прецизійного позиціювання. Зокрема, коли потрібно закріпити мітки чи об'єкти до конкретних точок у доповненій реальності, стилі надають змогу визначити відступи, положення та габарити елементів. Застосування властивостей `position`, `transform` та `z-index` дозволяє регулювати глибину та перекриття об'єктів, реалізуючи правдоподібні простори. Градієнти та тіні, створені засобами CSS, додають глибини та реалістичності AR-сценам. Властивості `box-shadow` і `background` дозволяють імітувати природне освітлення, додаючи об'єм плоским елементам. Наприклад, текстові підказки або кнопки в AR можуть мати ледь помітну тінь, що створює ілюзію їхнього фізичного існування в просторі [59].

JavaScript є ключовою мовою для розробки веб-застосунків доповненої реальності (AR). Її головна задача – забезпечення інтерактивності, керування 3D-моделями та організація взаємодії між користувачем і онлайн-середовищами. Завдяки своїй багатогранності, JavaScript дозволяє здійснювати взаємодію з AR у режимі реального часу, формуючи динамічні середовища, що реагують на дії користувача. JavaScript може бути використаний для роботи з 3D-об'єктами завдяки таким бібліотекам, як Three.js, A-Frame або Babylon.js. Ці

інструменти роблять значно простішою взаємодію з графікою, пропонуючи прості рішення для створення сцен, додавання об'єктів та їх контролю. Наприклад, Three.js дає можливість реалізувати повноцінне AR-середовище з освітленням, тінями і текстурами, що гармонійно поєднуються з реальним світом [60].

Одинією з ключових задач JavaScript у реальних програмах є можливість змінювати зображення та 3D-моделі. JavaScript дозволяє розробляти інтерактивні елементи в AR-додатках. Наприклад, юзер може взаємодіяти з об'єктами, торкаючись екрана, натискаючи на кнопки або використовуючи жести масштабування. Обробники подій на кшталт `add Event Listener`, дозволяють реагувати на події в режимі реального часу. Об'єкти здатні змінювати свій колір, переміщуватися чи навіть запускати анімацію відповідно до взаємодії.

Анімація в JavaScript – ключовий елемент для побудови реалістичних AR-сцен. Розробники мають змогу застосовувати API на кшталт `request Animation Frame` задля створення плавних змін, анімацій та трансформацій об'єктів. Наприклад, 3D-модель може обертатися навколо своєї осі чи переміщатися реагуючи на рух камери. Анімації додають AR-сценам життя, роблячи їх більш захопливими для користувачів [61].

JavaScript не обмежується лише керуванням візуалізацією, а й взаємодіє з фізичними складовими пристрою. Зокрема, WebXR API відкриває доступ до інформації з камери, гіроскопа та акселерометра, надаючи змогу точно визначити позицію та орієнтацію пристрою у просторі. Це критично важливо при розробці реалістичних додатків доповненої реальності, що реагують на нахили, повороти та переміщення пристрою. Наприклад, використовуючи бібліотеки розпізнавання облич або об'єктів, можна створити складні сценарії взаємодії. Додаток може аналізувати емоції користувача або розпізнавати предмети у реальному часі, після чого інтегрувати відповідні 3D-моделі чи підказки.

JavaScript також дає можливість інтегрувати мультимедійні елементи в AR-сценарії. Це суттєво підсилює досвід взаємодії з користувачем, роблячи його більш захоплюючим. Інформацію про дії користувачів можна фіксувати на сервері, що дозволяє аналізувати й персоналізувати контент. Наприклад, додаток здатен адаптувати відображення AR-сцен, враховуючи географічне положення або попередні активності кожного користувача.

Одним із визначальних плюсів JavaScript є здатність розробляти кросплатформні додатки доповненої реальності (AR). Розробники можуть задіяти передові інструменти та фреймворки для створення програм, що функціонують як у веб-браузерах, так і на мобільних платформах. Це забезпечує широку поширеність технології та збільшує кількість користувачів. Завдяки своїй універсальності та потужному арсеналу інструментів, веб-додатки залишаються не тільки практичними, а й вражаючими для користувачів. JavaScript – це мова програмування, що дозволяє перетворювати базові онлайн-ресурси у дивовижну доповнену реальність [62].

Висновки до розділу 1

1. Розглянуто базові поняття та історичні довідки про виникнення імерсивних технологій. Звернено увагу на швидкий розвиток цих технологій та щораз більше запровадження їх у різні галузі соціального розвитку.
2. Описано використання імерсивних технологій в Україні та основні напрями використання. Подано короткий опис їх застосування.
3. Проаналізовано існуючі класифікації імерсивних технологій, оскільки класифікація є ключем до розуміння можливостей і обмежень кожної технології, що допоможе оптимізувати інтеграцію імерсивних інструментів, уникати перевантаження для користувачів та підвищувати якість їхньої роботи. Розглянуто експертні думки щодо їх використання та поєднання з іншими видами інформації, а також наведено приклади їх застосування.

4. Описано інформаційне та апаратне забезпечення для створення та реалізації імерсивних технологій. Окреслено питання належного використання інформаційного забезпечення, щоб правильно задовольнити потреби користувачів.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ФАКТОРІВ ВПЛИВУ НА ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ ІМЕРСИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ПОТРЕБ ПОЛІГРАФІЇ

2.1. Використання імерсивних технологій в поліграфії

Сьогодні світ прямує від інформатизації до цифровізації. У свою чергу, сучасні інформаційні технології знаходяться на новому етапі свого розвитку. Звідси використання імерсивних технологій стає щораз важливішим і набирає обертів. Впровадження таких технологій забезпечить можливість повного занурення у створювану реальність, можливість відчувати та проаналізувати позитивні сторони та негативні наслідки запланованих дій, можливість моделювати розвиток майбутніх подій.

Основними інформаційними технологіями, які сьогодні використовують у поліграфії, є доповнена реальність (AR) та віртуальна реальність (VR), які пропонують широкий спектр можливостей для реалізації їхніх ідей.

Коли провести порівняння цих технологій, то можна зауважити, що функціонують вони майже однаково і надають широкий спектр можливостей використання. Вони зручні у використанні, але потрібно враховувати нюанси процесу створення об'єкта, оскільки вам знадобиться завантажувати файли та відео в певному форматі. Не менш важливо, коли ви створюєте готовий проєкт і прикріплюєте маркери для читання, ви також повинні враховувати зовнішні фактори (світло, перспектива, скло) під час експонування вашої роботи, оскільки камера програми може ідентифікувати ключові маркери для вашої роботи. Технологія доповненої реальності у спеціалізованій підготовці технічних спеціалістів під час спільного навчання може бути використана для відтворення роботи обладнання в реальних умовах роботи, моделювання аварійних ситуацій, демонстрації конструкцій і процесів, що відбуваються у складних технічних комплексах.

Імерсивні технології, як уже зазначалося, вже досить широко почали використовуватися в різних галузях діяльності людства, особливо це помітно у

виробничій галузі [63]. У праці [64] авторами описано та зазначено, що виробнича галузь зараз переживає четверту промислову революцію з використанням цікавих технологій взаємодії людини з машинами, збільшуючи гнучкість обміну знаннями в реальному часі між різними процесами в розробці управління життєвим циклом продукту з метою створення високоякісних та індивідуальних продуктів і масового виробництва в найкоротші терміни виходу на ринок. Автори зазначають, що використання доповненої реальності може підтримувати передачу знань на найважливіших виробничих етапах складання, ремонту та обслуговування. У цьому документі представлено найновішу літературу про технологію AR у складанні та розбиранні продукту з точки зору технічного обслуговування/ремонту. Робота кожного модуля в доповненій реальності обговорюється з відповідними ілюстраціями, щоб полегшити зручну платформу керування та її застосування. Проаналізовано потенціал для майбутніх досліджень, як-от покращення реалістичних віртуальних інтерфейсів, розпізнавання поведінки працівників і забезпечення спільного використання та співпраці між кількома потоками в промислових умовах.

Ще однією з галузей виробництва, в якій почали використовувати імерсивні технології, стала галузь архітектури та будівництва. Так, у роботі [65] авторами зазначено, що ці інформаційні технології, які використовувалися в проєктуванні архітектури та будівництва, а саме 2-d та 3-d проєктування все ще були дуже неефективними та знижували продуктивність цієї галузі. Завдяки цим дослідженням було виявлено, що багато критичних проблем, які виникають у секторі проєктування безпосередньо пов'язані з нездатністю персоналу об'єкта, дизайнерів, архітекторів та інженерів по-справжньому випробувати проєкт до того, як він буде виконаний. У цьому контексті хороші можливості для візуалізації та взаємодії привернули увагу індустрії імерсивні технології.

Імерсивні технології також широко використовуються в медичній сфері, насамперед у навчальному процесі. У дослідженні [66] автори відзначили, що зазначені ці технології можуть допомогти лікарям і пацієнтам вивчити роботу

серцевосудинної системи, доповнюючи традиційні методи навчання. Хірурги успішно використовують VR для планування складних операцій і AR для полегшення складних втручань за допомогою певного апаратного та програмного забезпечення [67]. Також можна побачити їх використання і при процесі реабілітації пацієнтів.

За останні роки можна спостерігати значну зацікавленість використання імєрсивних технологій у мистецтві, про що свідчать ряд публікацій та й збільшення проведення безпосередньо мистецьких заходів з використанням цих технологій.

Одним із цікавих, на наш погляд, досліджень використання зазначених інформаційних технологій є їх використання для збереження об'єктів культурної спадщини та можливості їх демонстрації всім зацікавленим. Так, у праці [68] автори зазначають, що матеріали культурної спадщини, такі як археологічні пам'ятки та артефакти, є вираженням багатства людства в минулому. Війни, стихійні лиха та інші негативні фактори загрожують їх існуванню та збереженню, з огляду на це багато технік і технологій зосереджені на їх збереженні, документуванні та поширенні. У праці [69] подається інформація про те, що доповнена реальність (AR), змішана реальність (MR) і віртуальна реальність (VR) мають потенціал для покращення якості сприйняття та освітнього ефекту музеїв, стимулюючи відчуття користувачів більш природним і яскравим способом. А певне апаратне забезпечення дозволяє відвідувачам покращити враження від культурних місць шляхом оцифровування інформації та інтеграції додаткових віртуальних підказок про культурні артефакти, що приводить до більш захоплюючого сприйняття, яке залучає відвідувача як фізично, так і емоційно. Також зазначено, що оцифрування культурних пам'яток і музеїв відіграє значну роль у просуванні та поширенні культури, і тепер це стає необхідністю для задоволення нових суспільних потреб. Робота [70] присвячена вивченню епохи палеоліту та сприйняттю мистецтва людьми в той період. Так, у цій роботі описано використання імєрсивних технологій для моделювання певних природних умов

цього періоду для більш зрозумілого пізнання, як люди сприймали мистецтво, включаючи розміщення, освітлення, звук і тактильність.

В інших роботах [71, 72] авторами проводиться дослідження використання імерсивних технологій як інструменту маркетингу у виставковій діяльності. Зазначається, що існують дискусії щодо управлінських наслідків використання доповненої реальності. Разом з тим автори зазначають, що поряд з використанням динамічних візуальних підказок у технологіях доповненої реальності дає можливість відвідувачам забезпечити високий рівень готовності, цей ефект, за дослідженнями авторів, дозволяє збільшити ефект віртуальної присутності.

Автори у своїй роботі [72] зазначають про те, що в наш час традиційний спосіб проведення виставок може бути не завжди можливим, і зараз, як ми бачимо, ця проблема особливо актуальна. Людська діяльність більше перемістилася з фізичного середовища на цифрову сторону. Тому нині багато музеїв, які йдуть у ногу з часом, впроваджують комп'ютерні технології для залучення нових відвідувачів та збільшення зацікавлення, а самі музеї зробити більш інтерактивними та привабливими для відвідувачів.

Ще однією проблемою, з якою стикаються музеї, є те, що деякі об'єкти експозиції можуть мати надзвичайні розміри або зовсім малі, а з часом ще й руйнуватися. Також авторами порушується питання щодо використання доповненої реальності в галузі каліграфії, оскільки цією проблемою взагалі не займаються. Тому зазначають автори, існує гіпотеза, що мобільний додаток може використовуватися як платформа для цифрових виставок каліграфії. Таким чином можна збільшити увагу громадськості до віртуальних виставок і до цієї сфери загалом.

Разом з тим можемо бачити, що ці дослідження та публікації про використання імерсивних технологій є досить рідкісними, тому, на нашу думку, потребують більшого їх вивчення [73].

Вагому роль у розгортанні глобалізаційних процесів відіграють імерсивні технології, що корелюють із загальним курсом культурної демасифікації та

перебудовою культурних парадигм. Значна частина поліграфічної продукції дематеріалізується, перетворюючись на артефакти минулого. Відхід від масовості зумовлено необхідністю фільтрувати та обмежувати інформаційний потік. У цьому контексті у соціокультурному просторі виникає цікаве явище: актуалізуються мультимедійні продукти, поєднуючи ефект масовості та ексклюзивності з акцентом на персоналізованому підході. Подолати вказану колізію можливо саме за допомогою фізичного занурення реципієнта в глибини мистецького твору, у простір п'єси, у саму сутність об'єкта репрезентації, друкованої продукції та ін.

Імерсивні технології кардинально трансформували свідомість людини, суттєво вплинувши на особливості сприйняття та мислення споживачів різноманітної інформації. Процес "оцифрування" інформації чітко простежується майже в усіх різновидах друкованої продукції, що є концентрацією соціального мислення у широкому контексті духовної культури. Будь-який друкований матеріал виступає водночас формою та способом інформаційної комунікації [74].

Сьогодні цифрові інновації дають змогу активніше залучати споживачів та збагачувати рекламу, підвищуючи її дієвість. Зокрема, у царині поліграфії народжується свіжа концепція під назвою "доповнена реальність" (рис. 2.1). Ця технологія відкриває перед виробниками можливості розташування особливих цифрових міток на будь-якій упаковці як точки візуалізації. Тобто тривимірні моделі, ілюстрації, аудіо та додаткові зображення можуть додаватися у вигляді додаткових ефектів. Покупці мають можливість розгледіти, що сховано за міткою, на будь-якому гаджеті. Для цього достатньо навести пристрій з камерою на шифр. Завдяки ефекту доповненої реальності покупець отримує більше інформації про продукт, ніж вміщено на упаковці.



Рис. 2.1. Застосування AR в поліграфії

Сфери застосування імерсивної технології в поліграфії

В епоху стрімкого технічного поступу споживачі висувають дедалі вищі вимоги до візуального оформлення товарів. Недостатньо лише викласти продукт на прилавок у привабливому пакуванні. Доповнена реальність формує додаткове уявлення про товар і допомагає глибше пізнати його задум:

- у книгах і періодиці;
- у рекламних каталогах;
- на листівках;
- у рекламних брошурах;
- на візитних картках;
- у зовнішній рекламі.

Об'єктом доповненої реальності може бути будь-що. Використання цієї технології визначається лише креативністю замовника. Наприклад, на екран смартфона покупця можна транслювати рекламний відеоролик або ж розмістити геометричні фігури чи тривимірні об'єкти, які своєю

правдоподібністю доповнюватимуть будь-яку інформацію. Чимало розвинених держав уже давно вдаються до цієї технології.

Технологія доповненої реальності (AR) у поліграфії відкриває можливість взаємодії з мультимедійним вмістом, достатньо лише навести камеру вашого смартфона чи планшета на друкований матеріал.

Початок інтеграції інтерактиву в друковані матеріали було започатковано застосуванням звичайних графічних елементів, зокрема QR-кодів. За допомогою таких кодів читачі могли отримувати додаткову інформацію на свої мобільні пристрої. Це стало реальністю завдяки прогресу мобільних технологій та широкому розповсюдженню смартфонів. Варто підкреслити, що інтерактивний контент у навчальних матеріалах відповідає актуальним потребам сьогодення. Розвиток таких технологій, як Flash та HTML5, зробив інтерактивний контент простішим у створенні. Це дозволило видавцям працювати над анімованими та інтерактивними елементами, які значно покращили візуальне сприйняття матеріалу. Приміром, інтерактивні графіки та анімації здобули популярність у наукових та освітніх виданнях, оскільки вони сприяють глибшому засвоєнню складних концепцій.

Сьогодення відзначається продовженням еволюції інтерактивного контенту в друкованих медіа, зокрема шляхом інтеграції доповненої (AR) та віртуальної (VR) реальності. Ці технологічні рішення відкривають для читачів можливість взаємодіяти зі змістом на абсолютно новому рівні, формуючи унікальний досвід, що поєднує фізичні та цифрові компоненти. Вони також стимулюють розвиток творчих навичок у студентів, адже подібні методи навчання стають щораз більш затребуваними [75].

Дедалі більше рекламних фірм вдаються до імерсивних технологій, аби зацікавити численну аудиторію споживачів. Наприклад компанія Pepsi Max: "Unbelievable Bus Shelter". У рамках цієї рекламної акції було використано доповнену реальність (AR), щоб створити ілюзії на зупинках громадського транспорту [76]. Перехожі, дивлячись на екран, спостерігали віртуальні події, як-от прибуття чудовиськ або космічних кораблів, що зробило рекламу

незабутньою. L'Oreal Makeup Genius [77]: даний додаток дає користувачам можливість "приміряти" косметику за допомогою AR. Користувачі мають змогу бачити, як різні продукти виглядають на їхньому обличчі у режимі реального часу.

Спостерігається використання також і в пакуванні. Компанія Coca-Cola використовує AR на упаковках своїх товарів, аби запустити анімацію та інтерактивний контент при скануванні QR-коду [78]. Таким чином споживачі мають можливість дізнаватися про акції та новинки. Пакування пива Heineken містить AR – контент [79], що дозволяє споживачам взаємодіяти з брендом за допомогою інтерактивних ігор та відео. Ці приклади ілюструють величезний потенціал технологій AR і віртуальної реальності у поліграфії, перетворюючи друковану продукцію на більш інтерактивну та привабливу для покупців.

Інтегрування технології доповненої реальності (AR) у друковану продукцію – журнали, книжки, каталоги, рекламні матеріали – стало важливим етапом у розвитку медіаіндустрії. Завдяки цій технології створюється інтерактивний контент, що значно збільшує зацікавленість аудиторії.

Платформа Aurasma – чудовий інструмент для створення інтерактивних друкованих видань (рис. 2.2). Користувачі можуть сканувати зображення в журналах чи книгах, щоб отримати доступ до додаткового контенту, такого як відео або анімація. Це одна з найперших та найвідоміших платформ для створення та перегляду AR-контенту. Додаток дозволяв користувачам створювати так звані "аури" – мультимедійні елементи, що прив'язувались до реальних об'єктів. Якщо користувач наводив камеру смартфона на такий об'єкт, на екрані з'являвся додатковий цифровий контент, який міг бути представлений як відео, анімація або 3D-модель.

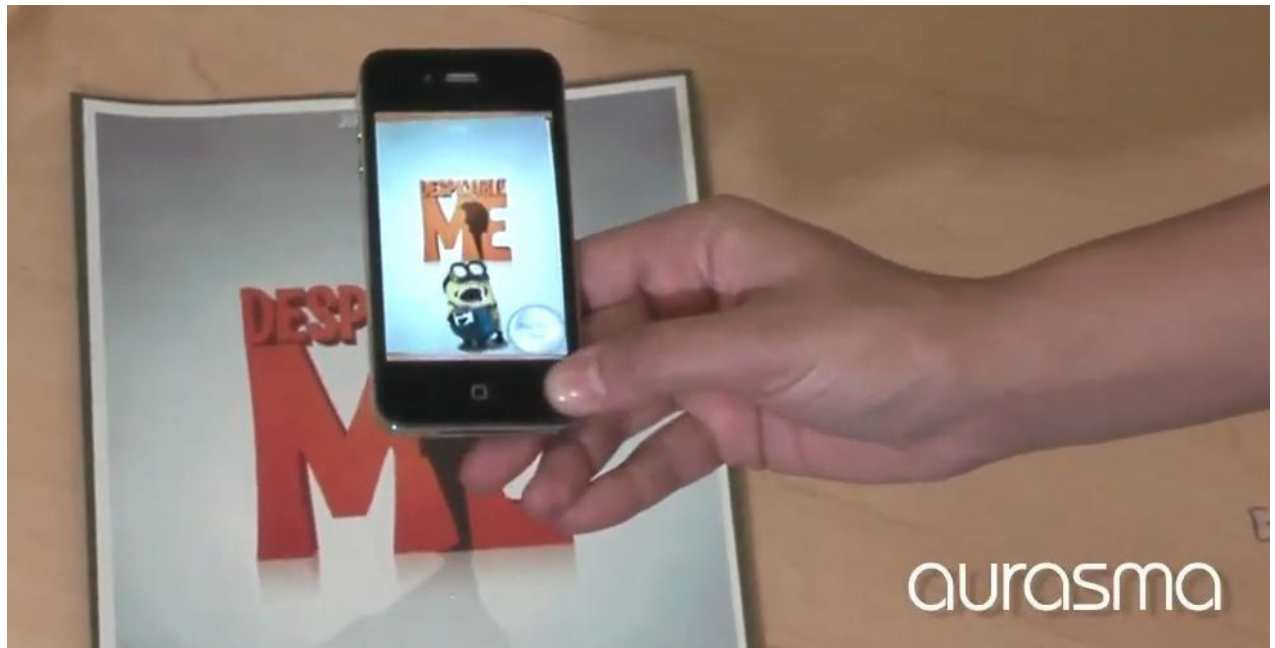


Рис. 2.2. Скріншот роботи програми Aurasma

Попри успіхи, Aurasma припинила діяльність у 2017 році. Причин було кілька:

- конкуренція: на ринку з'явилися нові потужніші платформи для створення AR-додатків;
- зміна стратегії компанії: НР, що придбала Aurasma, вирішила сфокусуватись на інших проєктах;
- технічні недоліки: платформа Aurasma мала певні технічні обмеження, які не давали їй можливості конкурувати із сучаснішими рішеннями.

Хоча Aurasma більше не функціонує, її вплив відчутний і досі. Розробки команди Aurasma стали фундаментом для багатьох сучасних платформ доповненої реальності [80].

В Україні видано декілька книжок, де використано технології доповненої реальності (AR). Ці книги комбінують звичний друкований формат з інтерактивними складниками, даючи змогу читачам взаємодіяти з контентом на принципово новому рівні.

Однією з перших українських книжок з AR, що здобула широке визнання та розійшлася значним накладом, можна вважати книги «Аліса в країні Див» (рис. 2.3) та «Аліса в Задзеркаллі». Вони дають змогу окремим сторінкам

«оживати» завдяки інтерактивним елементам. Це стало можливим завдяки технології доповненої реальності, що накладає додаткову інформацію або анімації на екран пристрою, коли читач наводить камеру на сторінки книги.



Рис. 2.3. Інтерактивна книга «Аліса в країні Див»

У 2017 році торговельна мережа «АТБ» мала у розпорядженні 1000 крамниць у 22 областях України. Щоденно більше 3,5 млн громадян робили покупки офлайн. У тому ж році АТБ ставив собі за мету підняти споживчу активність та привабити нових відвідувачів. У зв'язку з цим було запропоновано кампанію лояльності з простим механізмом та інноваційним товаром для споживачів мережі.

Традиційні кампанії лояльності, у ході яких покупці отримують практичні або корисні речі, вже втрачають актуальність. Щоб завоювати прихильність вимогливих клієнтів, потрібно заохочувати їх не матеріальними винагородами, а емоціями. Тому було вирішено випустити новаторську AR-книгу про пригоди Аліси, яка перетворилася на справжній хіт та продемонструвала рекордні продажі.

Щоб герої книги постали перед очима, достатньо було завантажити безплатний мобільний застосунок WowBox AR з App Store чи Play Market.

Завдяки цьому покупці мали змогу перенестись у реальний Всесвіт Льюїса Керрола. Читачі могли опинитися у дивовижному світі Аліси, фотографувати, записувати відео та поширювати їх у соціальних мережах.

AR-книга спричинила справжній фурор та перетворилася на головний об'єкт вірусного контенту в соціальних мережах. Клієнти активно ділилися враженнями від прочитання нової книги в Instagram та Facebook.

Пілотна кампанія мала успіх і започаткувала основну, що «АТБ» розгорнула у новорічний період – з 14 грудня 2017 року до 14 січня 2018-го, у всіх своїх магазинах [81].

На завершення акції зібрали більше 4 млн промо-фішок. Після того мережа досягла рекордного продажу дитячої книги в Україні та значно збільшила товарообіг за час кампанії.

Тираж у 265 000 примірників розпродали в усіх 882 магазинах мережі лише за 10 днів замість запланованих 30. Книга стала найбажанішим новорічним подарунком: протягом місяця продали 365 000 примірників.

У відповідь на неабиякий інтерес до книжки з доповненою реальністю мережа «АТБ» у квітні 2018 року запланувала друге продовження історії про Алісу в межах кампанії лояльності. Кількість магазинів теж збільшилася, відтак квітнева акція розгорнулася у 917 маркетах. Перший наклад «Аліси в Задзеркаллі» стартував з позначки у 350 000 примірників. Цього було недостатньо, аби покрити споживчий попит, тому до друку додали ще 3000 книг [82].

Як результат двох рекламних кампаній, в АТБ реалізували 718 000 книжок з AR. Це стало беззаперечним рекордом для України. Для порівняння: за даними Книжкової палати України, середній тираж однієї дитячої книжки у 2017 – 2018 роках становив близько 2,7 тис. примірників [81].

У чому криється причина такого нестримного успіху? Їх – дві. Перша причина полягає в унікальному книжковому продукті, який відповідає

сучасним емоційним тенденціям. Книжка з доповненою реальністю — це не просто видавнича новинка, а кардинально інший формат сімейного проведення часу. Крім того, цей продукт став новим методом популяризації читання серед малечі. Ми отримали численні подячні відгуки від батьків у соцмережах, оскільки завдяки доповненій реальності у дітей з'явилася зацікавленість у книжках та читанні загалом. За допомогою програми на смартфоні улюблені герої оживають перед очима, рухаються, розмовляють та взаємодіють. Читання знайомої з дитинства книги перетворюється на захопливу інтерактивну гру. Друга причина — незвичний для видавничої сфери спосіб розповсюдження: в рамках унікальної кампанії в продуктивній торговельній мережі [81].

Видавництво FastARKids зосереджується на розробці навчальнопізнавальних комплектів для малечі, застосовуючи AR-технології. Ці книжки не тільки розважають, а й навчають дітей, перетворюючи процес пізнання на захоплюючу пригоду. Окрім того, нове видавництво «Біла Сова» теж займається друком книг з використанням AR (рис. 2.4.) [82].



Рис. 2.4. Скріншот роботи мобільного додатка видавництва «Біла Сова» з використанням технології AR

Загалом, AR-книжки в Україні є сумішшю традиційних друкованих видань із новітніми технологіями, що робить їх привабливими як для дітей, так і для дорослих та заохочує інновації у видавничій справі [83].

Доповнена реальність (AR) активно використовується в різних секторах, таких як освіта, розваги та реклама, через її здатність поєднувати віртуальні об'єкти з реальним оточенням.

В освітньому процесі AR слугує інструментом для створення інтерактивних навчальних ресурсів, які дають змогу студентам досягати важкі для розуміння ідеї за допомогою візуалізації. Насамперед, AR здатна полегшити демонстрацію наукових досліджень чи історичних періодів, забезпечуючи учнів можливістю безпосередньої взаємодії з матеріалом у реальному часі. Це збільшує зацікавленість учнів та сприяє глибшому розумінню інформації [84].

Інклюзивність навчального процесу теж виграє від застосування AR. Технології доповненої реальності мають потенціал бути пристосованими для дітей з особливими освітніми потребами, даруючи їм змогу здобувати знання в інтерактивному просторі, що враховує їх персональні особливості. Це робить освіту доступнішою та продуктивнішою для всіх школярів.

Окрім того, доповнена реальність (ДР) підносить творчі можливості школярів. Застосування ДР в освітньому процесі надає дітям змогу виготовляти особисті проєкти, що заохочує їхню винахідливість та здатність мислити аналітично. Приміром, учні мають змогу конструювати власні ДР-програми або проєкти, які засвідчують їхні знання та вміння [85].

У дозвіллі ДР активно застосовується в іграх та медіа. Ігри на зразок Pokémon GO дають змогу гравцям взаємодіяти з віртуальними героями у справжньому світі, що породжує неповторний ігровий досвід. Так само ДР застосовується в соцмережах, де користувачі можуть використовувати фільтри та ефекти для поліпшення своїх фото та відео.

У рекламних кампаніях AR розкриває потенціал для торгових марок, даючи змогу формувати інтерактивні проєкти, що захоплюють увагу покупців.

Скажімо, AR можна застосовувати для віртуальної примірки гардероба чи меблів, що дозволяє клієнтам оцінити, як вироби виглядатимуть у їхньому інтер'єрі перед придбанням. Це не просто вдосконалює досвід покупців, а й збільшує ймовірність здійснення купівлі [86].

Розвиток інтерактивного наповнення у друкованих засобах масової інформації демонструє поступ технологій і трансформацію споживчих смаків. Інтерактивний контент, що містить анімацію, відео та інтерактивні компоненти, перетворився на вагомий засіб для залучення читачів та посилення їхнього інтересу.

Складнощі та проблеми, які стосуються технологій, економіки та естетики, є ключовими аспектами, які вимагають пильної уваги в сучасному світі. Ці проблеми здатні чинити вплив на різноманітні сфери життя, зокрема освіту, підприємництво, культуру та технологічний прогрес.

Технологічні виклики нерідко корелюють із стрімким прогресом інноваційних технологій, серед яких – доповнена реальність (AR) та штучний інтелект (AI). Як приклад, впровадження AR-рішень в освітній процес може бути обтяжене недостатньою фаховою підготовкою викладачів та обмеженістю належних ресурсів. До того ж постають питання інтеграції нових технологічних розробок в уже наявні системи, що може генерувати перебої у навчальному процесі або бізнес-процесах [87].

Економічні виклики, що виникають унаслідок технологічного поступу, охоплюють потребу у капіталовкладеннях в інноваційні технології та перепідготовку кадрів. Чимало підприємств зустрічаються зі складнощами у фінансуванні інтеграції нових технологій, що може зумовити їх відставання від конкурентів. Окрім того, розширення автоматизації здатне породити тривогу щодо скорочення робочих місць, оскільки деякі професії стають неактуальними через технологічний розвиток [88].

Естетичні проблеми постають у площині дизайну та того, як ми бачимо нові технології. Скажімо, доповнена реальність здатна перевернути наше ставлення до мистецтва та культури, але може змусити нас замислитись над

естетичною цінністю цифрових творінь проти традиційних. Окрім того, естетичні фактори здатні формувати смаки споживачів, адже користувачі, можливо, обиратимуть більш візуально привабливі технології, що здатне впливати на ринок [89].

Доповнена реальність подарувала митцям нечувані перспективи у творенні інтерактивних та захоплюючих відчуттів, що нівелюють межу між фізичним і цифровим простором. Митці використовують AR для створення візуального мистецтва, яке вбирає анімовані віртуальні 3D-об'єкти. Технологія доповненої реальності переважно задіює камеру для фіксації зображення реального об'єкта, доповнення віртуальним контентом та його проекцію на екран. Застосування AR відкрило перед художниками нові форми творчості та розширило можливості спілкування з аудиторією [28].

Ця технологія модернізує процес сприйняття мистецтва, генеруючи нові шари інтерактивності, занурення та залучення. AR є потужним інструментом для художників, які прагнуть розширити рамки традиційних мистецьких форм та сформувати свіжі та захоплюючі враження для своїх глядачів. Доповнену реальність можна використовувати для вдосконалення представлення зображень через накладання віртуальних елементів на реальні зображення.

Існує кілька загальноновживаних способів візуалізації зображень з використанням AR [29]:

- Інтерактивні інсталяції: AR дозволяє створювати інтерактивні інсталяції, які реагують на рухи чи жести тих, хто на них дивиться. Наприклад, ARскульптура може змінювати обриси чи колір, підлаштовуючись під позицію чи переміщення глядача.
- Віртуальні виставки: Доповнена реальність може допомогти у створенні віртуальних виставок, що дають можливість людям оглядати витвори мистецтва з будь-якого куточка світу. Митці здатні формувати цифрові копії своїх творінь та розміщувати їх у віртуальній галереї, доступній для огляду зі смартфона чи планшета.

- Розпізнавання зображень: З використанням AR є можливість визначати конкретні картинки або предмети, а потім інтегрувати поверх них додаткову інформацію чи анімацію. Наприклад, музей міг би задіяти AR для демонстрації інформації про експонат, коли відвідувач наводить камеру свого смартфона на певний мистецький об'єкт.
- Доповнене вуличне мистецтво: AR може значно покращити традиційне вуличне мистецтво, додаючи інтерактивність. Скажімо, розмальовка з доповненою реальністю здатна оживати та ділитись історією, якщо на неї дивитися через смартфон або планшет [26].
- Застосування AR-додатків удосконалює спосіб подання зображень, додаючи інформаційний шар або інтерактивність. Доповнена реальність (AR) відкриває перспективи для збагачення сприйняття мистецтва, формуючи нові виміри інтерактивності, взаємодії та занурення. Вона може сприяти доступності мистецтва для ширшої аудиторії, пропонуючи цифрові копії творів, що можна переглядати з будь-якої точки світу. Це може бути особливо зручним для людей, позбавлених можливості особисто відвідувати галереї або музеї [26].

У кожному з цих сценаріїв AR може посилювати обізнаність про мистецтво та генерувати нові захопливі враження для глядачів. Однак, критично важливо наголосити, що використання AR не має замінювати традиційні методи сприйняття та оцінки мистецтва, а повинно їх доповнювати та підсилювати.

2.2. Виокремлення факторів впливу на вибір оптимальної імерсивної технології для потреб поліграфії

Аналіз нещодавніх досліджень та публікацій, що стосуються аналізу застосування і характеристик імерсивних технологій, переважно зосереджений на вивченні переваг та значущості використання цих технологій, їх технічних можливостей, фінансових витрат, пов'язаних з їх впровадженням, враховуючи апаратне забезпечення, розробку програмного забезпечення та технічне обслуговування. Разом з тим у статтях часто описуються наявні освітні ресурси

та навчальні матеріали для імерсивних технологій, що здатні впливати на рівень впровадження і якість та відповідність контенту, який істотно впливає на залучення користувачів.

Метою нашої роботи є означення та розгляд чинників, які визначають рішення про технологію. Було здійснено комплексне вивчення взаємодії між визначеними компонентами, проведено системний аналіз їхніх характеристик і впливу один на одного. Дібрано ефективні інструменти для обґрунтованого вибору оптимальних рішень і проаналізовано можливості їх практичного застосування у різних сферах, зокрема в галузі поліграфії. Проведене дослідження дало змогу виявити нові перспективи для розвитку обраної тематики та створити підґрунтя для впровадження інноваційних підходів у професійне середовище. В результаті аналізу особливостей застосування імерсивних технологій, здійсненого за участі респондентів - користувачів та розробників програмного забезпечення для цих технологій, визначено ключові фактори, що, на їхню думку, найбільше впливають на вибір імерсивної технології, а також виявлено переваги та недоліки її використання.

Згідно з експертним опитуванням, ключові фактори, які впливають на вибір імерсивних технологій, включають [91]:

- g_1 – комерційність K ;
- g_2 – кросплатформність $KП$;
- g_3 – апаратне забезпечення $AЗ$;
- g_4 – зовнішнє середовище $ЗС$;
- g_5 – тип маркерів $ТМ$;
- g_6 – доступ до Інтернету $ДІ$.

Ми дослідили кожен аспект, що впливає на правильність вибору технологічного рішення, та його взаємодію з іншими впливовими чинниками.

g_1 – комерційна складова

Комерційність відіграє ключову роль при визначенні технології занурення. Першочерговим аспектом є фінансова складова, що виникає при впровадженні, а саме – витрати. Вони охоплюють апаратне забезпечення,

створення програмного забезпечення, а також поточне технічне обслуговування. Саме вартість може виявитися вирішальним фактором, що визначає остаточний вибір [95].

$g_1 \rightarrow g_4$ комерційна складова впливає на наявність ресурсної бази, стосується економічної стійкості та рентабельності технології. Комерційний успіх додатків для імерсивних технологій часто визначається такими аспектами, як ринковий попит, залучення користувачів та отримання прибутків. Вибір технології повинен відповідати комерційним цілям проєкту, гарантуючи, що обрана технологія буде здатною залучити та утримати користувачів, забезпечуючи окупність інвестицій [96].

$g_1 \rightarrow g_3$ комерційні міркування впливають на рішення щодо вибору та видів маркерів, що, в свою чергу, залежить від специфічних потреб конкретної програми, яка використовує імерсивні технології. При цьому беруться до уваги чинники, як-от навколишнє середовище, де буде демонструватися контент, та бажаний ступінь інтерактивності з ним.

g_2 — підтримка форматів (кросплатформність)

Підтримка форматів відіграє ключову роль при виборі імерсивної технології. Це стосується не тільки форматів файлів, але й стандартів та протоколів, які застосовуються для створення та впровадження програмної реалізації. Необхідно, щоб обрана технологія забезпечувала підтримку різних форматів файлів, аби мати змогу працювати з різноманітними джерелами контенту та створювати різноманітні ефекти [97].

$g_2 \rightarrow g_3$ підтримка формату передбачає сумісність з файлами різних типів, впливаючи на спосіб, яким дані відображаються.

$g_2 \rightarrow g_4$ доступність та сумісність базового пристрою, визначають підтримку форматів, широту охоплення та доступність технології, що застосовується у програмі.

$g_2 \rightarrow g_5$ підтримка форматів визначає вибір типу маркерів. Він, у свою чергу, на пряму залежить від специфічних потреб застосунку, розробленого з використанням технологій занурення.

g_3 — форма подання

Форма подання у контексті імерсивних технологій може охоплювати різноманітні аспекти, як-от типи візуалізації, способи взаємодії користувача та інші чинники, що впливають на те, яким чином контент взаємодіятиме з реальним середовищем та безпосередньо з користувачем [98].

$g_3 \rightarrow g_1$ вплив форми подання інформації на успіх у комерції має вирішальне значення при її застосуванні в різноманітних галузях.

$g_3 \rightarrow g_2$ формат, у якому подається зміст, здатний суттєво впливати на сумісність з форматами і стандартами, які використовуються в цій технології. Від правильного вибору способу подання інформації залежить легкість або складність інтеграції та взаємодія з різноманітними пристроями та платформами. $g_3 \rightarrow g_4$ форма подання інформації безпосередньо впливає на те, чи створено базу.

$g_3 \rightarrow g_5$ форма подання інформації здатна впливати на типи позначок, які залучаються в ході розпізнавання та взаємодії з віртуальним світом.

g_4 — наявність бази (зовнішнє середовище)

Наявність бази здатне суттєво впливати на рішення стосовно вибору технологічного підходу.

$g_4 \rightarrow g_2$ наявність бази суттєво впливає на комерційний потенціал при розробці технологій та їх оцінці. Варто розглядати забезпеченість ресурсами як один з найважливіших чинників, що визначають успіх комерційного підприємства [99].

$g_4 \rightarrow g_3$ під час розробки та впровадження технологічних рішень критично важливо брати до уваги наявну матеріальну базу, а також можливість ефективного використання технічних ресурсів. Це необхідно для реалізації конкретних способів представлення інформації, враховуючи їх вплив на сприйняття кінцевого користувача, а також на досягнення бажаних показників комерційної діяльності.

$g_4 \rightarrow g_5$ наявність базової основи та розмаїття типів маркерів значно впливає на те, як саме обираються та впроваджуються маркери в

технологічному процесі. Це впливає на потенціал технології, а також визначає її певні межі.

g₅ — типи маркерів

Типи маркерів відіграють ключову роль при визначенні технології. Різноманітні технологічні рішення здатні працювати з певними видами маркерів або ж взагалі без них. Остаточний вибір конкретного виду міток обумовлюється специфічними потребами та обставинами використання. Кожен різновид міток володіє власними перевагами та недоліками, що необхідно враховувати, обираючи конкретну технологію [100].

g₅→g₂ типи маркерів мають великий вплив на комерційну складову, оскільки можуть покращувати взаємодію користувачів, що, в свою чергу, сприяє фінансовому успіху застосувань імерсивних технологій у різноманітних галузях.

g₅→ g₄ тип маркерів здатен впливати на спосіб подання, відкриваючи безліч варіантів для взаємодії та візуалізації.

Вивчення цих аспектів – ключовий інструмент для успішного застосування та експлуатації технологій, розширення горизонтів та стимулювання новаторства [101].

Одже, усвідомлення та врахування різноманітних чинників, які впливають на вибір технологічного рішення, становить собою важливий етап у процесі вдалого впровадження цієї інноваційної розробки в різні сфери, включаючи поліграфію. Дослідження додатково акцентувало увагу на важливості взаємозв'язку між технічними характеристиками технології та потребами кінцевого споживача. Підвищуючи рівень зручності використання та забезпечуючи корисність застосувань, вона може стати не лише двигуном інновацій, а й нерозривною складовою щоденного буття та ділових процесів.

2.3. Синтез моделі факторів впливу на вибір оптимальної імерсивної технології для потреб поліграфії

Методологія аналізу ієрархій (МАІ) дозволяє сформулювати та проаналізувати проблеми високої складності, порівнюючи альтернативні рішення, щоб визначити їхню пріоритетність, виходячи з вагомості критеріїв та підкритеріїв. Запропонована математиком Томасом Сааті у 70-х роках минулого століття як інструмент для розв'язання управлінських, економічних, технічних та наукових проблем, ця методика отримала широке визнання завдяки своїй практичності.

Ключові етапи застосування методу аналізу ієрархій:

Етап 1. Виявлення проблеми. На цьому етапі окреслюють завдання, щодо якого потрібно ухвалити рішення. Це може стосуватися вибору з-поміж різних варіантів, оцінювання впливу певних чинників, розробки стратегії або інших аналогічних ситуацій.

Етап 2. Формування ієрархії. На цьому етапі відбувається декомпозиція задачі на складові: критерії, підкритерії та альтернативи. Такий процес дозволяє створити ієрархічну модель, де верхній шар представляє узагальнені категорії, а нижні шари – деталізовані фактори.

Етап 3. Порівняльний аналіз. Експерти здійснюють зіставлення факторів на кожному ієрархічному рівні, враховуючи їх вагомість. Для визначення відносної значущості одного фактора над іншим використовується шкала або числове вираження.

Етап 4. Розрахунок матриць парних порівнянь. Для кожного рівня ієрархії формуються матриці парних порівнянь, в яких кожен елемент матриці вказує на відносну важливість одного фактора порівняно з іншим.

Етап 5. Розрахунок вагомості факторів. Використовуючи математичні підходи, як-от власні значення та вектори, визначаються ваги для факторів на кожному щаблі ієрархії.

Етап 6. Зведення ваг. Ваги для факторів на кожному щаблі обчислюються для визначення загальної значущості кожної можливості або критерію.

Етап 7. Обчислення кінцевих результатів. Сумарні ваги сприяють визначенню найважливіших альтернатив чи критеріїв у процесі розв'язання поставленого завдання.

Інструментом, що розв'язує ці задачі, є матриці попарних порівнянь. Вони демонструють відносну вагу певного критерію чи альтернативи, коли він зіставляється з іншими. Ці переваги виражаються числовими показниками, які експерт присвоює кожному елементу відносно інших. Оцінки можуть мати позитивне значення (якщо один елемент є більш важливим) або негативне (якщо він менш значущий). Здебільшого для оцінювання застосовується шкала, що може бути числовою або текстовою (наприклад «надзвичайно важливий», «важливіший», «рівнозначний» тощо).

Розглянемо ключові етапи встановлення реальних взаємозв'язків між критеріями, використовуючи метод аналізу ієрархій:

Створення матриці парних порівнянь: експерти визначають, наскільки один критерій є більш значущим за інший для досягнення визначеної мети. Це може містити питання на кшталт: "Наскільки критерій А є важливішим за критерій Б?".

Використання рейтингової системи: експерти застосовують числову або текстову шкалу для вираження відносної значущості критеріїв. Наприклад, числова шкала може мати значення від 1 до 9, де 1 відповідає "зовсім не важливо", а 9 – "надзвичайно важливо".

Визначення ваг критеріїв:

Застосовуються математичні підходи на кшталт власних значень та векторів, спираючись на матрицю парних порівнянь, щоб розрахувати ваги критеріїв. Ці вагові коефіцієнти показують, наскільки суттєвим є кожен критерій, коли мова йде про розв'язання поставленої задачі.

Синтез вагових показників: ваги критеріїв на різних рівнях ієрархічної структури об'єднуються для визначення сумарних вагових значень. Це дозволяє оцінити загальну значущість кожної альтернативи чи критерію.

Процес формування матриці парних зіставлень у методі аналізу ієрархій складається з таких подальших кроків:

1. Визначення взаємозв'язків між складовими: на старті взаємодії з кожним рівнем слід окреслити, які саме елементи ви плануєте зіставляти.
2. Застосування шкали парних зіставлень: у процесі зіставлення вагомості елементів використовується шкала парних порівнянь. Ця шкала зазвичай використовує числові або словесні значення, які відображають, наскільки один елемент є суттєвішим за інший. Найважливіше тут – це розуміння того, наскільки більшою або меншою ви вважаєте значимість одного елемента, порівнюючи його з іншим.
3. Попарне зіставлення: ви співставляєте кожен елемент з усіма іншими на тому ж рівні. Це передбачає проведення порівнянь "пара за парою". Приміром, маючи 5 критеріїв, вам потрібно буде зробити 10 попарних зіставлень.
4. Визначення кількісних оцінок: для кожної пари складових ви призначаєте числову оцінку, згідно з шкалою попарних зіставлень. Ці оцінки засвідчують, наскільки один елемент важливіший за інший. Наприклад, можливі оцінки: 1 (або «однаково важливі»), 3 (або «трохи важливіший»), 5 (або «важливіший»), 7 (або «дуже важливий»), 9 (або «надзвичайно важливий»).
5. Заповнення матриці: для кожної пари елементів вносяться відповідні оцінки. Матриця, яка формується, квадратна та симетрична. Це означає, що визначення важливості елемента А відносно В ідентичне оцінці важливості В відносно А.
6. Узагальнення оцінок: кожна колонка матриці попарних порівнянь підсумовується, і отриманий результат демонструє сукупну значущість кожного елемента у зіставленні з іншими.

Після завершення цієї процедури, для обчислення вагових коефіцієнтів елементів на цьому рівні ієрархії можна вдаватися до математичного апарату, наприклад власних значень та векторів. У такий спосіб метод аналізу ієрархій

надає експертам можливість розкрити власні вподобання та встановити взаємозв'язки між складовими системи, що підлягає аналізу.

Виконаємо задачу щодо визначення факторів впливу на вибір технології реалізації доповненої реальності для потреб поліграфії. Нехай сукупність факторів становить множину $i=\{1, 2, 3...\}$. Підмножина найбільш суттєвих факторів обрано та було зазначено в попередньому підрозділі. На основі визначених зв'язків будуюмо граф (рис. 2.5).

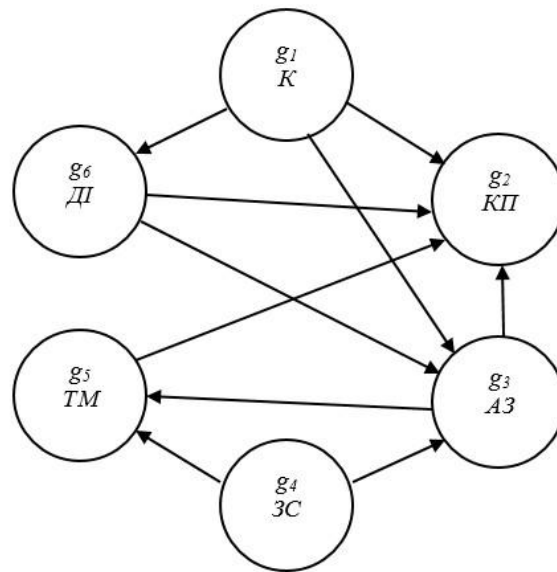


Рис. 2.5. Граф зв'язків між факторами впливу на вибір технології реалізації доповненої реальності для потреб поліграфії

Згідно з методикою, яку прийнято використовувати в нашому дослідженні, та базуючись на побудованому графі, будуюмо матрицю залежності (табл.2.1):

Таблиця 2.1

Матриця залежності

	1	2	3	4	5	6
	К	КП	АЗ	ЗС	ТМ	Д
1	К	0	0	0	0	0
2	КП	1	0	1	0	1
3	АЗ	1	0	0	1	0
4	ЗС	0	0	0	0	0
5	ТМ	0	0	1	1	0
6	Д	1	0	0	0	0

Побудова матриці досяжності.

З використанням матриці залежності H будуюмо матрицю досяжності.

$$(I + B)^{k-1} \leq (I + B)^k = (I + B)^{k+1} \quad (2.1)$$

Її побудова зводиться до заповнення таблиці 2.2. Бінарні елементи визначаються за таким правилом:

$$d_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо з вершини } i \text{ можна потрапити в } j \\ 0, & \text{в іншому випадку} \end{cases} \quad (2.2)$$

Таблиця 2.2

Матриця досяжності

		1	2	3	4	5	6
		К	КП	АЗ	ЗС	ТМ	Д
1	К	1	1	1	0	0	1
2	КП	0	1	0	0	0	0
3	АЗ	0	1	1	0	1	0
4	ЗС	0	1	1	1	1	0
5	ТМ	0	1	0	0	1	0
6	Д	0	1	1	0	1	1

Визначення рівнів ієрархії.

Вершину g_i називають досягнутою з вершини g_j , якщо в орієнтованому графі є шлях з g_j до g_i . Позначимо підмножину досягнутих вершин $R(g_i)$. Вершину g_j називають попередницею вершини g_i , якщо є досягнення g_i із g_j .

Позначимо підмножину вершин попередниць $A(g_i)$. Перетином підмножин вершин досягнутих та вершин попередниць буде підмножина $A(g_i) = R(g_i) \cap A(g_i)$. Множина тих вершин, для яких виконується задана умова недосяжності, може бути визначена як рівень ієрархії.

Формуємо таблицю 2.3 з елементами g_i , $R(g_i)$, $A(g_i)$ та $R(g_i) \cap A(g_i)$. Для її формування з i -го рядка матриці досяжності виписуються номери тих елементів, які мають одиниці. Для формування підмножини $A(g_i)$ з i -го стовпця

матриці досяжності виписуються номери елементів, які мають одиниці. Підмножина $R(g_i) \cap A(g_i)$ формується як логічний перетин елементів підмножин $R(g_i)$ і $A(g_i)$.

Таблиця 2.3.

Перший ітераційний рівень

g_i	$R(g_i)$	$A(g_i)$	$R(g_i) \cap A(g_i)$
1	1, 2, 3, 5	1	1 ←
2	2	1, 2, 3, 4, 5, 6	2
3	2, 3, 5	1, 3, 4, 6	3
4	2, 3, 4, 5	4	4 ←
5	2, 5	1, 3, 4, 5, 6	5
6	2, 3, 5, 6	6	6 ←

Як видно з таблиці 2.3, на першій ітерації рівність $A(g_i) = R(g_i) \cap A(g_i)$ виконується для елементів 1, 4 та 6. Під цими номерами виступають фактори комерційності, зовнішнього середовища та доступу до Інтернету. Вилучаємо з таблиці 3. рядки з номерами 1, 4 та 6, а в другому стовпці викреслюємо цифри 1, 4 та 6. Отримаємо дані для другої ітерації. Аналогічно виконуємо визначення наступних ітераційних рівнів (таблиця 2.4, таблиця 2.5).

Таблиця 2.4

Другий ітераційний рівень

g_i	$R(g_i)$	$A(g_i)$	$R(g_i) \cap A(g_i)$
2	2	2, 3, 5	2
3	2, 3, 5	3	3 ←
5	2, 5	3, 5	5

Таблиця 2.5

Третій ітераційний рівень

g_i	$R(g_i)$	$A(g_i)$	$R(g_i) \cap A(g_i)$
2	2	2, 5	2
5	2, 5	5	5 ←

Побудова ієрархічної моделі пріоритетності впливів між факторами.

Унаслідок розв'язання поставленої задачі стосовно виявлення чинників, що впливають на вибір технології втілення доповненої реальності для потреб поліграфії, було сформовано ієрархічну модель (рис. 2.6). Вона демонструє наочно пріоритетність впливу досліджених факторів. Зокрема, визначальними чинниками при ухваленні рішення стосовно вибору технології реалізації доповненої реальності є тип маркерів та кросплатформність.

Для порівняння отриманих результатів застосовано метод ранжування, що ґрунтується на визначенні ієрархічних дерев впливу й взаємозв'язків між факторами.

Метод ранжування – це спосіб створення ієрархічного дерева факторів, який сприяє впорядкуванню та оцінці різних складових, базуючись на їхній значущості та впливі на конкретний процес, виклик або рішення. Цей метод широко застосовується у контексті аналізу, стратегічного планування та прийняття рішень.

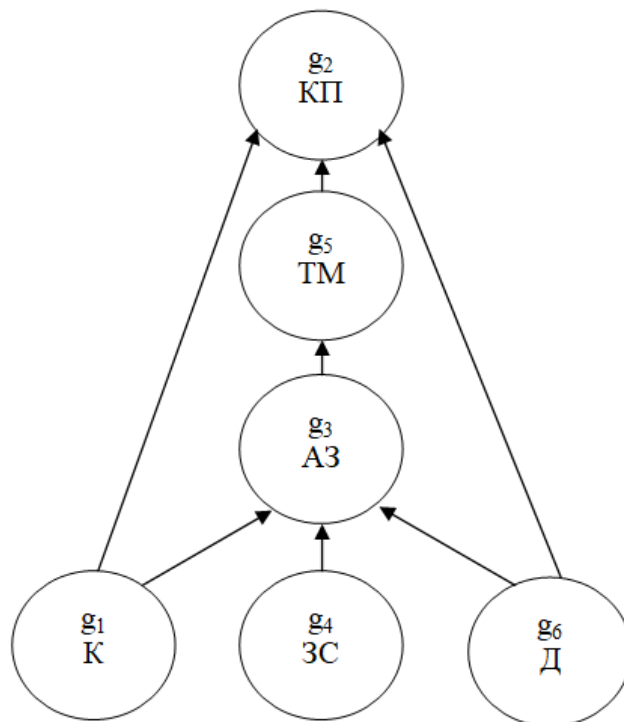


Рис. 2.6. Структурована ієрархічна модель пріоритетності впливів між факторами впливу на вибір технології реалізації доповненої реальності для потреб поліграфії

Основні етапи методу ранжування:

1. Встановлення цілі: насамперед необхідно визначити мету аналізу. Коли ви досліджуєте певний процес чи приймаєте рішення, то ця ціль буде основою для розгляду факторів.
2. Створення переліку факторів: формується перелік усіх чинників, які можуть впливати на досягнення мети. Цей перелік може виявитись доволі широким і різнобічним.
3. Побудова ієрархії: ключові елементи поділяються на менші частини та підрозділи, згідно з їх взаємодією та залежністю. Це дає змогу створити ієрархічну організацію, де вищий рівень охоплює широкі категорії, а нижчі – конкретні фактори.
4. Встановлення значимості: для кожного рівня ієрархічної структури визначається значення або важливість факторів у процесі досягнення цілі. Зазвичай для цього застосовують експертні оцінки, опитування або аналітичні інструменти.
5. Порівняння та експертна оцінка факторів: В межах кожного з рівнів фактори підлягають порівнянню та оцінюванню їх впливу один на одного та на фактори, розташовані вище. Для цього можуть використовуватись різні методи, як, наприклад, ранжування за певною шкалою, проведення зіставлення або ж парне порівняння факторів.
6. Підрахунок загальних оцінок: Для кожного із запропонованих варіантів факторів проводиться обчислення сукупної оцінки, що ґрунтується на вагах та їхніх оцінках. Цей етап дозволяє встановити, які з варіантів є найбільш критичними та мають пріоритетне значення для успішного досягнення поставленої цілі.
7. Визначення найліпшого рішення: Підрахунок загальних балів полегшує вибір найкращого з варіантів або стратегії, який найліпше відповідає поставленій цілі, беручи до уваги значущість усіх факторів.

8. Використання здобутків: Отримані результати ранжування можуть бути застосовані для подальшого дослідження, розробки планів чи прийняття обґрунтованих рішень.

Метод ранжування дозволяє впорядковувати складні завдання, зважаючи на різні аспекти впливу чинників на процес ухвалення рішень.

Застосуємо метод ранжування, щоб визначити ієрархічне дерево факторів, що впливають на вибір технології впровадження доповненої реальності для потреб поліграфії. Ключовим елементом для подібного дослідження є вихідний граф взаємозв'язків між факторами (рис. 2.5).

На основі вихідного графу взаємодії між чинниками, що впливають на вибір технології для доповненої реальності, конструємо часткові графічні моделі. Їх також визначають як ієрархічні дерева (рис. 2.7), що візуалізують ієрархію впливів та взаємозалежностей між факторами.

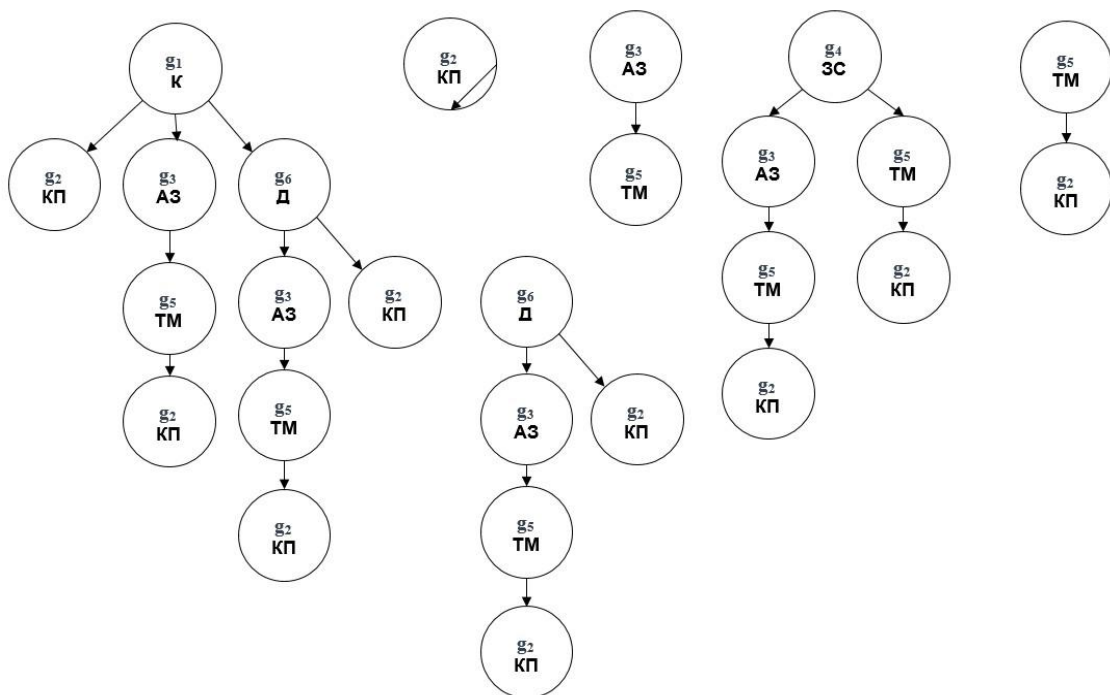


Рис. 2.7. Ієрархічні багаторівневі впливи між факторами вибору технології реалізації доповненої реальності для потреб поліграфії

Кожна фрагментарна графічна модель слугуватиме інформаційним вхідним базисом числових параметрів задля здобуття кількісних параметрів визначених факторів та встановлення їхніх рангів.

Задля конструювання таких ієрархічних дерев необхідно зважати як на прямі, так і на опосередковані типи впливів (рис. 2.7), які здійснюються не напряму, а через інші фактори. До того ж збудуємо прямі та опосередковані залежності (рис. 2.8).

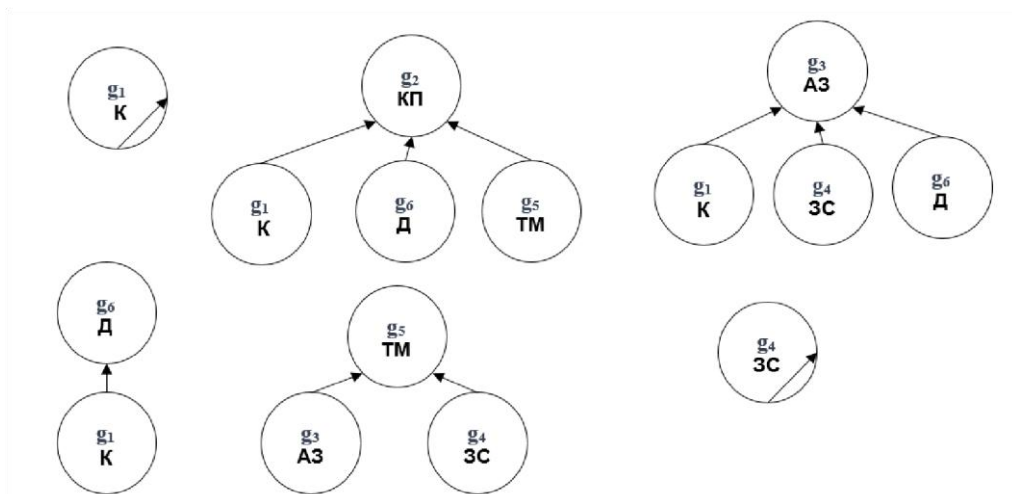


Рис. 2.8. Ієрархічні багаторівневі залежності між факторами вибору технології реалізації доповненої реальності для потреб поліграфії

Наступним кроком у застосуванні цієї методики є дослідження, а саме визначення рівнів пріоритетності впливу факторів на процес вибору технології реалізації доповненої реальності для відтворення мистецьких творів. Рисунок 2.9 наочно ілюструє рівні ієрархій впливу факторів.

Як бачимо, застосування методу аналізу ієрархій виявляє себе досить ефективно при розв'язанні задач, що складно піддаються формалізації математичними засобами. Отже, використання методу аналізу ієрархії сприятиме отриманню якісної оцінки та визначенню першочерговості факторів, що впливають на вибір технології доповненої реальності для потреб поліграфічного виробництва.

Представлені дані є фундаментом для подальших досліджень та верифікації точності здобутих результатів.

напрями впливу

шляхи залежностей

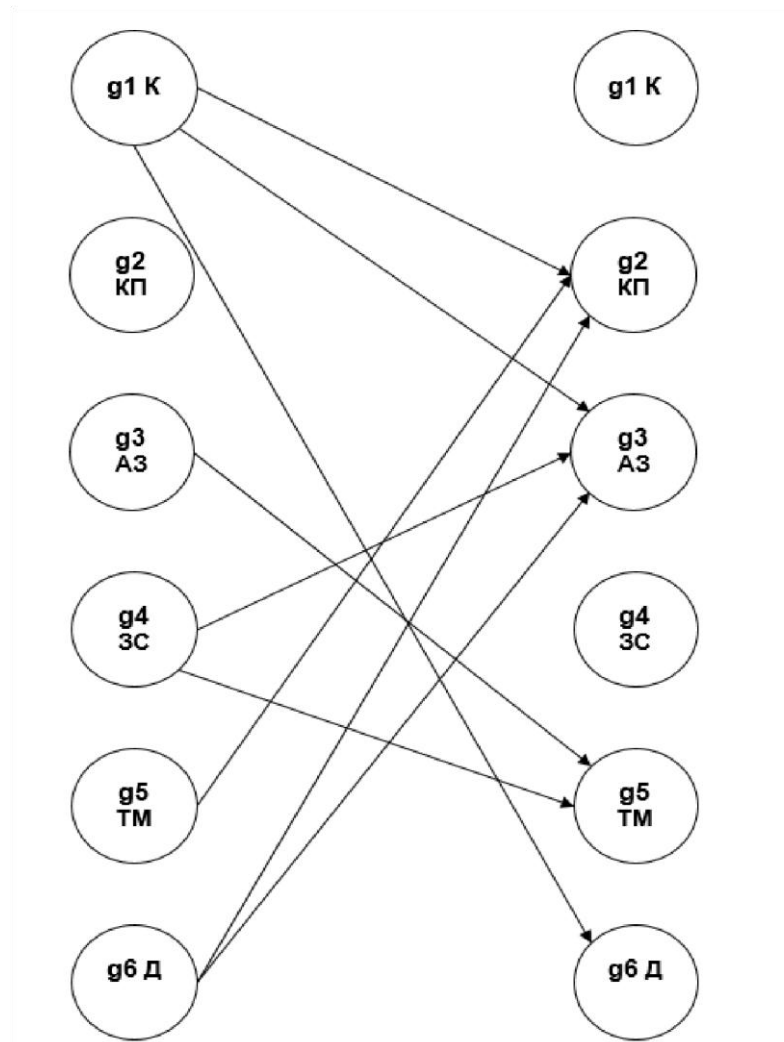


Рис. 2.9. Ієрархія впливу та залежностей між факторами вибору технології реалізації доповненої реальності для потреб поліграфії

2.4. Оптимізація моделі факторів впливу на вибір оптимальної імерсійної технології

Наступний етап досліджень передбачає встановлення згоди експертних оцінок та вдосконалення ієрархічної моделі пріоритетів впливів між чинниками вибору технології реалізації доповненої реальності в поліграфії. Для розв'язання цієї задачі використовуватиметься метод попарного порівняння,

який передбачає зіставлення факторів по черзі, тобто виявлення їх переваг один над одним та надання їм числової ваги.

Перш за все будується квадратна матриця попарних порівнянь $F=(f_{ij})$ на основі експертних оцінок. Кожен експерт здійснює оцінювання та ухвалює рішення щодо досліджуваного набору факторів $F=\{f_1, f_2, f_3, \dots, f_n\}$. Матриця F виглядає так:

$$F = \begin{bmatrix} 1 & f_{12} & \dots & f_{1n} \\ 1/f_{12} & 1 & \dots & f_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/f_{1n} & 1/f_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix}, \quad (2.3)$$

Оскільки кожен фактор порівнюється сам із собою, елементи діагоналі завжди рівні 1. Значення f_{ij} вказують на відносну важливість фактора i над фактором j : $f_{ij}=1/f_{ji}$.

Для здійснення попарного порівняння факторів експертам запропоновано шкалу відносної важливості критеріїв за Сатті (див. табл. 2.6). Її основою є шкала значень, що коливається від 1 до 9.

Таблиця 2.6

Шкала відносної важливості за Сатті

Значення	Пояснення
1	Фактори рівносильні
3	Не значна перевага між парою факторів
5	Один фактор переважає інший
7	Значна перевага між факторами
9	Абсолютна перевага
2, 4, 6, 8	Компромісні варіанти

Отримана квадратна матриця F попарних порівнянь має вигляд:

		<i>K</i>	<i>KП</i>	<i>AЗ</i>	<i>ЗС</i>	<i>ТМ</i>	<i>Д</i>
$F =$	<i>K</i>	1	1/7	1/3	1	1/5	1
	<i>KП</i>	7	1	5	7	3	7
	<i>AЗ</i>	3	1/5	1	3	1/3	3
	<i>ЗС</i>	1	1/7	1/3	1	1/5	1
	<i>ТМ</i>	5	1/3	3	5	1	5
	<i>Д</i>	1	1/7	1/3	1	1/5	1

Наступні кроки передбачають нормалізацію матриці та розрахунок ваг факторів. Використано вектор пріоритетів. Його визначення зводиться до такого:

1. Множині факторів $F=\{f_1, f_2, f_3, \dots, f_n\}$ числову вагу $W=\{w_1, w_2, w_3, \dots, w_n\}$. Ця величина відповідає порівнянням пар факторів експертами порівнянням факторів. Усі елементи матриці $F=(f_{ij})$ будуть обчислюватись за правилом:

$$F = \begin{bmatrix} w_{1/w_1} & w_{1/w_2} & \dots & w_{1/w_n} \\ w_{2/w_1} & w_{2/w_2} & \dots & w_{2/w_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ w_{n/w_1} & w_{n/w_2} & \dots & w_{n/w_n} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

2. Отримані значення в матриці нормалізуються шляхом ділення кожного показника на загальну суму показників у відповідному стовпці. Відносна значущість кожного елемента матриці визначається обчисленням середнього арифметичного значення для кожного рядка нормалізованої матриці:

$$V_i = \frac{\sqrt[n]{\left(\prod_{j=1}^n f_{ij}\right)}}{\sum_{i=1}^n \left(\sqrt[n]{\left(\prod_{j=1}^n f_{ij}\right)}\right)} \quad (2.5)$$

Вектор пріоритетів: $V_n = (0,051; 0,468; 0,124; 0,051; 0,251; 0,051)$.

Для кращого візуального представлення компоненти вектора помножимо на коефіцієнт $k=1000$.

$$V_n = (51; 468; 124; 51; 251; 51)$$

3. Визначення узгодженості в експертних рішеннях виконано множенням вектора пріоритетів (V_n) на матрицю попарних порівнянь:

$$V_{n1} = (0,314; 2,934; 0,768; 0,314; 1,558; 0,314).$$

Перевірка узгодженості експертних рішень полягає в такому:

1. Визначено відхилення величини максимального значення λ_{max} від порядку матриці n . Приблизне значення λ_{max} обчислюємо:

$$\lambda_{\max} = \sum_{j=1}^n F_j V_j,$$

де $F_j = \sum_{i=1}^n f_{ij}$ - сума елементів i -стовпця матриці; V_j – вектор пріоритетів.

Значення $\lambda_{\max} = 6,1$.

$V_{n2} = (6,059; 6,268; 6,186; 6,059; 6,187; 6,059)$.

2. Індекс узгодженості (IU) розраховуємо:

$$IU = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (2.6)$$

Отриманий результат $IU=0,02$ порівнюється із середнім еталонним значенням (табл. 2.7).

Таблиця 2.7

Шкала еталонних значень випадкових матриць різного розміру

Кількість об'єктів	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Еталонне значення індексу	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,54	1,56	1,57	1,59

Отримане значення індексу узгодженості $0,02 < 0,1 \times 1,24$ доводить про належну узгодженість рішень експертів, щодо попарного порівняння факторів.

Завершальний етап дослідження включає виконання оптимізації ієрархічної моделі факторів вибору технології реалізації доповненої реальності для потреб поліграфії. Числовий ряд ваг факторів, отриманий з ієрархічної моделі (рис.2.9) має вигляд:

$K(f_1) - 30$; $KП(f_2) - 90$; $A3(f_3) - 50$; $ЗС(f_4) - 30$; $ТМ(f_5) - 70$; $Д(f_6) - 30$.

Ці числові значення визначають вихідні компоненти рівнів в ієрархії. На основі ваг побудовано вихідний вектор: $V_{вих}(30; 90; 50; 30; 70; 30)$.

Рівень збіжності вагових значень компонент вихідного ($V_{вих}$) та нормалізованого (V_n) векторів представлено гістограмою (рис. 2.10).

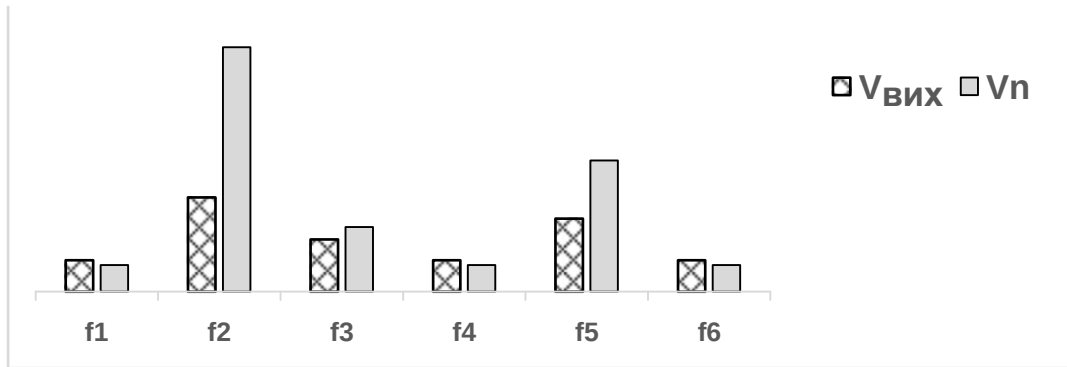


Рис. 2.10. Гістограма вагових значень компонент вихідного ($V_{вих}$) та нормалізованого (V_n) векторів

Одержані значення складових нормалізованого вектора є оптимізованими величинами. Вони демонструють співставні результати з попередніми дослідженнями. Застосування методики аналізу ієрархій для розв'язання задачі вибору оптимальної імерсивної технології для поліграфічних потреб має багато переваг. Вона дала можливість порівняти різні варіанти за декількома параметрами одночасно, трансформувати суб'єктивні судження в кількісні оцінки. Найважливіше, що ця методика допомогла визначити, які фактори є найбільш значущими. Тобто вона дозволила правильно розставити пріоритети.

2.5. Сильні та слабкі сторони існуючих рішень

Однією з ключових переваг додатків з AR та VR є їхня здатність генерувати надзвичайну інтерактивність. Вони дозволяють юзерам не тільки споглядати вміст, а й брати активну участь у його використанні. Саме тому ці технології стали неймовірно популярними у сфері освіти, де учні можуть вивчати предмети шляхом виконання практичних завдань, симуляцій та моделювання. Так само у комерційному світі AR та VR дають клієнтам можливість взаємодіяти з товарами до придбання, що посилює рівень залученості та довіри до торгової марки.

Віртуальна реальність демонструє високу ефективність у формуванні глибокого відчуття занурення у штучне середовище. Це відкриває широкі

перспективи для освіти, медицини, тренувань та навіть рекламної діяльності. Скажімо, VR-симуляції дають змогу проводити навчання медичних спеціалістів без потреби використовувати реальних пацієнтів, що значно покращує безпеку та практичні навички.

AR та VR дають змогу наочно представити надскладні дані чи об'єкти, що робить їх більш очевидними та легкими для розуміння користувачами. Це особливо актуально в освітніх і дослідницьких програмах, де класичні способи можуть виявитися не достатньо ефективними. Насамперед, в інженерних вишах AR використовують для моделювання інженерних систем та споруд, що значно полегшує процес їхнього вивчення.

Завдяки здатності підлаштовувати контент під потреби конкретного користувача, AR і VR технології пропонують високий рівень персоналізації. Наприклад, у маркетингу підприємства можуть розробляти індивідуалізовані віртуальні шоуруми чи рекламні кампанії, що враховують інтереси та потреби кожного клієнта. Це сприяє покращенню ефективності взаємодії та підвищує шанси на здійснення покупки.

Попри численні переваги, доповнена та віртуальна реальності мають суттєві недоліки. Головним стримуючим фактором є висока вартість технологій. Розробка якісних AR та VR додатків потребує значних фінансових вкладень, адже вимагає як специфічних знань, так і ресурсів для створення інтерактивного контенту. До того ж повноцінне використання VR потребує дорогого обладнання, наприклад шоломів віртуальної реальності (Oculus Rift, HTC Vive), що ускладнює їх впровадження у багатьох організаціях та освітніх закладах.

Не всі користувачі можуть дозволити собі пристрої, що підтримують AR та VR технології. Хоча AR працює на звичайних смартфонах та планшетах, VR вимагає спеціалізованого обладнання, що суттєво обмежує доступ до технології для широкого загалу. Навіть AR-технології можуть стикатися з проблемами сумісності на різних пристроях, ускладнюючи роботу розробників.

Для повноцінного функціонування AR та VR програм потрібне потужне оснащення та висока швидкість опрацювання інформації. Однак не всі портативні прилади чи комп'ютери мають достатні можливості для швидкого відтворення віртуальних картин без затримок. Зволікання у показі контенту або низька продуктивність можуть погіршити якість занурення та викликати дискомфорт у користувачів, особливо у контексті віртуальної реальності (наприклад запаморочення або нудота при тривалому використанні).

Для багатьох користувачів технології AR і VR можуть виявитися новими й важкими для засвоєння. Скажімо, для користування деякими VR додатками потрібно пройти навчання або інструктаж, що може відштовхнути частину потенційних користувачів. Це особливо актуально для освітніх платформ, де технічні перепони здатні знизити ефективність навчання.

Занурення у віртуальні простори здатне призвести до проблем із соціальною відокремленістю, адже користувачі більше часу проводять у віртуальному світі, ніж у реальному. Тривала взаємодія з віртуальним світом може негативно позначитися на соціальних навичках, особливо серед дітей та підлітків. Також виникають питання стосовно безпеки даних та приватності при використанні технологій AR, оскільки вони часто вимагають доступу до камери та інших датчиків пристрою.

Попри швидкий розвиток AR і VR, існують певні технічні перепони, що впливають на якість взаємодії. Наприклад, віртуальна реальність часто обмежена фізичними межами простору, у якому користувач має змогу рухатися. У AR-технологіях якість візуалізації та відстеження реальних об'єктів може залежати від освітлення або складності навколишнього середовища.

Попри великий потенціал AR та VR технологій у різних областях, вони поки що обмежені певними факторами. Головні плюси цих технологій — це високий рівень інтерактивності, можливість повного занурення та покращене сприйняття складних даних, проте ці переваги супроводжуються складнощами, зокрема високою вартістю, технічними обмеженнями та складністю в експлуатації. Подолати ці недоліки вдасться шляхом подальших інновацій,

здешевлення розробки та забезпечення доступності технологій для широкого загалу користувачів.

Окрім того, виникають проблеми з інтеграцією та сприйняттям. З розвитком цифрових технологій та виникненням віртуальної реальності (VR), актуальним стає питання взаємодії традиційних паперових носіїв з новими віртуальними середовищами. Об'єднання фізичних об'єктів, наприклад паперових документів, із віртуальними просторами відкриває нові перспективи для користувачів, дозволяючи комбінувати зручність фізичних матеріалів з інтерактивністю та візуальними можливостями VR. Однак цей процес супроводжується низкою труднощів, що стосуються як технічних аспектів, так і людського сприйняття.

Один із головних викликів становить технічна складність поєднання друкованих матеріалів з віртуальним світом. Віртуальна реальність – це цілковито цифрове середовище, де користувач занурюється у штучно створений простір, у той час як паперові носії існують фізично. Щоб забезпечити ефективну взаємодію, потрібно налаштувати чітку синхронізацію між фізичними документами та віртуальним простором. Для цього застосовують різні технології: відстежування зображень, спеціальні маркери або сенсори, які реагують на розташування та переміщення паперових носіїв у реальному часі. Проте ці технології мають свої недоліки: вони залежать від якості обладнання, рівня освітлення та можливості системи точно розпізнавати об'єкти в рухомому середовищі. Неправильне розпізнавання або затримки у відстеженні можуть спричинити спотворення віртуального контенту або проблеми у взаємодії, що негативно впливає на ефективність використання VR.

Іншою складною задачею є те, як користувачі сприймають таку інтеграцію. Для багатьох традиційні паперові носії залишаються найзручнішим та звичним джерелом інформації, на відміну від VR, яка все ще розглядається як новаторська, прогресивна технологія, що вимагає адаптації. Об'єднання цих двох світів може породити труднощі для користувачів, адже їм доведеться звикати до нових підходів взаємодії з інформацією. Працюючи з папером,

користувачі зазвичай чекають на інтуїтивний досвід: вони прагнуть швидко перегортати сторінки, робити позначки та безпосередньо взаємодіяти з текстом або зображеннями. Однак додавання віртуальної реальності може ускладнити процес та зробити його менш природним. Наприклад, для роботи з VR необхідно використовувати спеціальні шоломи або окуляри, що створює певні фізичні та психологічні обмеження для користувача, як-от дискомфорт від носіння пристрою або обмежене поле зору.

Окрім того, виникає проблема когнітивного навантаження. Під час роботи з паперовими документами у віртуальному просторі користувачі вимушені одночасно аналізувати як фізичну інформацію, так і віртуальні елементи. Це може призводити до когнітивного дисонансу, оскільки мозок змушений обробляти два різні типи контенту: реальний та віртуальний. Особливо це проявляється, коли віртуальний контент перевантажений деталями або не узгоджується з інформацією, що міститься на папері. Скажімо, якщо віртуальний контент не відповідає фізичним об'єктам чи з'являється із затримкою, це здатне викликати роздратування або втрату концентрації у користувача, знижуючи ефективність навчання чи роботи з інформацією.

Теж постає питання суміщення паперових матеріалів із VR, що ускладнюється обмеженістю взаємодії з фізичними предметами. У звичному VR-просторі користувач не має можливості доторкнутися до реальних речей, адже він знаходиться у віртуальному світі. Це призводить до колізії, коли користувач може бачити реальний об'єкт (скажімо, паперовий лист), проте не може на нього безпосередньо впливати. Іноді застосовуються спеціальні прилади для введення даних або розпізнавання жестів, але такі рішення не завжди характеризуються високою точністю та зручністю для тих, хто ними користується. Наприклад, VR-шоломи й контролери можуть звужувати можливості взаємодії з папером, адже користувачі позбавлені прямого контакту з фізичними об'єктами та змушені вдаватися до опосередкованих способів впливу.

Одним із ключових питань стає обмеження фізичного середовища. У реальності паперові носії здебільшого застосовуються у фіксованому контексті - скажімо, тексти читаються при певному освітленні, на столі, в зручному положенні. У віртуальній реальності контекст взаємодії кардинально змінюється, і документи можуть бути представлені в іншому візуальному вигляді або в динамічному середовищі, де користувач не завжди коректно оцінює розташування чи зміст документації. Це здатне ускладнити процес використання, адже паперові матеріали потребують певних умов для комфортного читання, тоді як VR може змінювати ці умови чи навіть повністю їх ігнорувати. Наприклад, віртуальні об'єкти можуть не відображати потрібні деталі, що ускладнює читання чи аналіз.

Значним викликом стає відтворення барв та гарнітури у VR-просторі. Фізичні папери здатні містити різнокольорові зображення, графіки, таблиці, тому їх коректне відображення у віртуальній реальності критично для збереження первісного вмісту. Але технології VR часто обмежені у відтворенні складної кольорової палітри або високої роздільної здатності, що спричиняє втрату якості зображень та текстів. Це особливо актуально, якщо документи включають деталі, які є важливими для розуміння змісту, скажімо, підручники чи технічна документація.

Окрім того, проблема інтеграції фізичних носіїв інформації з віртуальною реальністю торкається також аспектів приватності та захищеності даних. Користувачі, взаємодіючи з паперовими документами, можуть потребувати їх сканування або оцифрування для подальшого включення у VR-простір. Це веде до виникнення ризиків у контексті безпеки даних, оскільки документи здатні містити чутливу чи особисту інформацію. Враховуючи це, підприємства та організації повинні розробляти специфічні засоби захисту таких даних під час їх застосування у віртуальній реальності.

У цілому, взаємодія паперових носіїв з віртуальною реальністю представляє собою непросту задачу з огляду на різноманітні технічні, психологічні та практичні перешкоди. Незважаючи на явні плюси, зокрема

інтерактивність та нові можливості для візуалізації інформації, інтегрування паперових документів у VR-середовище вимагає додаткових зусиль.

З огляду на зазначене та враховуючи виконані розрахунки, ми рекомендуємо застосувати доповнену реальність для потреб поліграфічної галузі.

AR може оперувати з певним спектром даних (фотографії, анімаційні ролики, відеоматеріали, тривимірні моделі), а користувачі сприйматимуть кінцевий продукт як в природному, так і в штучному освітленні. Варто підкреслити, що користувачі усвідомлюють своє перебування у реальному, фізичному світі, який доповнено комп'ютером, на противагу віртуальній реальності (VR).

AR може проявлятися на різноманітних приладах: екранах, окулярах, кишенькових гаджетах, мобільних телефонах, головних дисплеях. Вона містить у собі такі технології, як S.L.A.M. (Одночасна локалізація та відтворення), відстеження глибини (дані сенсорів, які вираховують відстань до предметів).

Сучасні пристрої часто вже можуть працювати з доповненою реальністю. Від мобільних телефонів та планшетів до специфічних гаджетів на зразок Google Glass або портативних приладів. І ці технології невпинно вдосконалюються. Щоб обробляти та проектувати роботу пристрою і реалізовувати AR, першочергово залучають датчики, камери, акселерометр, гіроскоп, цифровий компас, GPS, процесор і дисплей.

Доповнена реальність здатна збагатити нашу щоденну рутину різними способами. Одним з найпопулярніших сфер використання AR-додатків є ігровий світ. Сучасні AR-ігри вдосконалюють користувацький досвід для геймерів, а деякі з них навіть спонукають до більш активного способу життя (на кшталт Pokemon Go, Ingress). Ігрові простори переміщуються з віртуального світу у реальність, де гравці безпосередньо взаємодіють з навколишнім фізичним середовищем. AR у роздрібній торгівлі здатна вплинути на залучення та утримання клієнтів, покращити впізнаваність бренду та стимулювати

продажі. Окремі функції можуть полегшити покупцям вибір, надаючи детальну інформацію про товари з використанням 3D-моделей будь-якого розміру чи кольору. Ринок нерухомості також може отримати вигоду від доповненої реальності, пропонуючи тривимірні віртуальні тури квартирами та будинками.

Висновки до розділу 2

1. Проведено аналіз існуючих розробок використання імерсивних технологій для потреб поліграфії.

2. За результатами експертного опитування респондентів було виокремлено шість ключових факторів, які впливають на вибір певної імерсивної технології для потреб поліграфії, а саме: g_1 – комерційність K ; g_2 – кросплатформність KII ; g_3 – апаратне забезпечення $A3$; g_4 – зовнішнє середовище $3C$; g_5 – тип маркерів TM ; g_6 – доступ до Інтернету DI .

3. Використовуючи теорію графів та метод ранжування, було побудовано модель зв'язків між цими факторами.

4. У результаті розрахунків було отримано ієрархічну модель вагомості факторів та розподілено ці фактори на чотирьох рівнях. Найбільш вагомим фактором щодо вибору типу імерсивної технології виявився фактор кросплатформність застосунку.

5. Щоб переконатися в достовірності проведеного аналізу, було запропоновано скористатися методом попарних порівнянь та проведено дію оптимізації моделі факторів. Для цього було надано числові ваги виокремленим факторам та побудовано матрицю попарних порівнянь. За результатами проведеного розрахунку, нами отримано критерії оптимізації значення матриці, яка склала $\lambda_{\max} = 6,1$, а індекс узгодженості відповідно $IU = 0,02$. Дані числа знаходяться в межах норми, що підтвердило отримані результати наших розрахунків.

6. З огляду на здійснені дослідження та обчислення ми дійшли висновку, що взаємодія друкованих матеріалів з віртуальною реальністю є певним викликом, зумовленим різними технічними, психологічними та практичними перешкодами, що вимагають подальших досліджень. Зважаючи на це, нами було запропоновано застосовувати доповнену реальність у сфері поліграфії.

РОЗДІЛ 3

РІЗНОВИДИ КОНТЕНТУ, ЩО ВИКОРИСТОВУЄТЬСЯ В ІМЕРСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЇХ ВАГОМОСТІ

3.1. Аналіз основних елементів контенту, що присутній в реалізації імерсивних технологій, а саме в доповненій реальності

Одним з основних параметрів, який впливає на вибір та в подальшому роботи технології, є маркери. Доповнена реальність на основі маркерів (Marker-based Augmented Reality) - це технологія, в якій зображення використовуються як опорні точки для накладання цифрового контенту на фізичне середовище. Потім вони виступають у ролі якорів для накладання віртуальних компонентів, таких як 3D-моделі, анімація та інформація на маркери. Програма базується на програмному забезпеченні Maker, яке дозволяє створювати власний контент (наприклад статтю, текст, відео тощо). Зазвичай для цього потрібне програмне забезпечення у вигляді додатка, що дозволяє користувачам сканувати маркери зі свого пристрою за допомогою стрічки камери [102].

Технологія доповненої реальності, що базується на даних датчиків, використовується з перших днів появи смартфонів. Інформація та віртуальні об'єкти прив'язуються до певних місць, а потім відображаються, коли дані пристрою користувача збігаються з місцем розташування. Використання доповненої реальності на основі реальної інформації, такої як GPS, камери та гіроскопи, дозволяє здійснювати більш точну навігацію.

Доповнена реальність на основі місцезнаходження використовує функціонал смартфона для визначення місцезнаходження для підключення до певних місць, зчитування даних з камери, GPS, цифрового компаса і акселерометрів на пристроях, а також прогнозування місцезнаходження користувача, щоб пов'язати динамічні місцезнаходження з точками інтересу і надати відповідні дані або інформацію. Інформація та віртуальні об'єкти прив'язуються до певного місця і відображаються, якщо дані пристрою користувача збігаються з цим місцем. Безмаркерна доповнена реальність

залежить від інформації про місцезнаходження, зібраної з камер пристрою, GPS, цифрового компаса та акселерометра, що робить її більш адаптивною, ніж маркерна реальність, оскільки її не потрібно розгортати за допомогою зображень або сигналів об'єктів [102].

Доповнена реальність на основі проекції (англ. Augmented Projection AR, іноді її ще називають просторовою AR) – це метод доставки цифрової інформації в стаціонарному контексті. AR на основі проекцій. Як впливає з назви, проекційний тип AR використовує відеопроєктор для відображення зображень на екрані або різних фізичних поверхнях. Проекція — це функція доповненої реальності, яка надає можливість доповнювати об'єкти реального світу для носіння чи перенесення будь-яких пристроїв. Це означає, що елементи доповненої реальності проєктуються безпосередньо на об'єкти за допомогою інструментів просторової доповненої реальності за допомогою керованих систем проєктора-камери. В основі цього типу AR лежить використання об'єктів реального світу для проєктування віртуальних зображень. Він зазвичай використовується для промислового складання та візуалізації продукту. Проте портативна доповнена реальність на основі проекції певною мірою обмежена щодо якості проекції на неоднорідних поверхнях незвичайної форми через відмінності у коефіцієнті відбиття, кольорі та геометрії. Це одна з найпростіших форм доповненої реальності, де світло проєктується на поверхню. Взаємодія відбувається шляхом фізичного дотику до проекційної поверхні. У проекційній доповненій реальності користувач не обмежений жодним пристроєм, оскільки віртуальні об'єкти інтегровані безпосередньо в навколишнє середовище; користувачі та цільові об'єкти також можуть переміщатися по середовищу в межах заздалегідь визначеної зони, в якій розміщені стаціонарний проєктор і допоміжна камера стеження. Проекційну доповнену реальність можна використовувати для створення ілюзій глибини, положення та орієнтації об'єкта [102]. Проекційні AR-системи є передовими технологіями в області доповненої реальності, оскільки вони пропонують абсолютно вільний досвід AR, дозволяючи користувачам насолоджуватися

проекцією в дорозі, відображаючи елементи доповненої реальності в навколишньому середовищі.

Доповнена реальність на основі накладання - це процес часткової або повної заміни доповненого вигляду об'єкта на його оригінальний вигляд. У цьому типі доповненої реальності розпізнавання об'єктів відіграє життєво важливу роль, оскільки програма не може замінити оригінальний об'єкт на доповнений, якщо вона не може ідентифікувати оригінальний об'єкт. За допомогою фільтрів соціальні мережі, такі як Facebook та Instagram, зробили цей вид доповненої реальності більш відомим [102]. Цей тип доповненої реальності передбачає накладання графічних доповнень на реальний об'єкт прямо на нього (або його повністю відтворене зображення), що означає надання доповненого вигляду реальному об'єкта. Здатність технології розпізнавати об'єкти відіграє вирішальну роль у виконанні доповненої реальності на основі накладання, оскільки неможливість ідентифікації об'єкта призводить до неможливості заміни оригінального вигляду доповненим. Показовим прикладом доповненої реальності такого роду є медичне обстеження пацієнтів у реальному часі. Наприклад, деякі медичні установи забезпечують живу трансляцію з рентгенівського апарату, щоб накласти результати рентгена на реальне зображення тіла пацієнта.

Датчики та камери створення будь-яких AR-елементів вимагають точного захоплення реальних об'єктів для їх реалістичного відображення на дисплеї. Для цих цілей у програмному забезпеченні AR застосовано різноманітні датчики, такі як механічні, біологічні, акустичні, оптичні та екологічні.

Механічні датчики фіксують положення, прискорення, форму, масу та переміщення об'єкта. Їх загальні області застосування включають визначення положення, ваги та рухів об'єкта. Біологічні датчики вимірюють частоту серцевих скорочень, температуру, нейронну активність і частоту дихання об'єкта. Вони застосовні в області ідентифікації настрою, а також оцінки психічного і фізичного стану людей.

Акустичні датчики надають точні дані про гучність звуку, висоту, частоту, фазу та модуляції, що є дуже цінним з точки зору виявлення звуку та розпізнавання мови.

Оптимальні датчики повідомляють дані про коефіцієнт випромінювання об'єкта, заломлення, частоту світлової хвилі, яскравість і освітленість, що зручно для визначення комп'ютерного зору, виявлення присутності та ІЧаналізу руху.

Екологічні датчики надають дані про температуру та вологість навколишнього середовища. Одним із важливих інструментів для створення захоплюючих доповнених можливостей є камера з датчиком глибини – камера, яка може знімати 3D-зображення. Пристрої AR традиційно мають принаймні одну камеру, а деякі з них мають дві для визначення глибини. Також прийнято встановлювати ІЧ-камеру в пристрій для створення теплової карти та вдосконаленого визначення глибини.

Незважаючи на деякі очевидні переваги AR на основі маркерів, візуальний вигляд товстого чорного маркера не був привабливим, що знизило популярність рішень на основі маркерів на ринку. Для комерційного використання, щоб подолати підводні камені попередньої версії був спеціально розроблений безмаркерний AR. У цьому типі AR загальні зображення служать маркерами, які використовуються за допомогою технології вилучення зображень, як-от SIFT, SURF і FAST-SURF. Додатки доповненої реальності без маркерів характеризуються гнучкістю роботи без необхідності використання заздалегідь визначених зображень або маркерів. Ця функція дозволяє використовувати їх у широкому діапазоні середовищ і налаштувань. На відміну від своїх аналогів на основі маркерів, які вимагають спеціальних тригерів для активації цифрових накладок, безмаркерна AR використовує передові алгоритми для виявлення особливостей навколишнього середовища, таких як поверхні, простори та розміри об'єктів, що дозволяє безперешкодно інтегрувати цифровий контент у поле зору користувача. Незважаючи на відсутність фізичних маркерів, не можна недооцінювати складність і корисність

безмаркерної доповненої реальності. Технологія, що лежить в основі цих програм, включає складне програмування, яке дозволяє точно позиціонувати та орієнтувати цифровий контент у реальному світі. Ці програми аналізують навколишнє середовище через камеру пристрою, обробка величезних обсягів даних для розуміння контексту та масштабу середовища перед накладенням цифрової інформації. Універсальність доповненої реальності без маркерів робить її ідеальним вибором для різноманітних застосувань, від дизайну інтер'єру, де користувачі можуть візуалізувати меблі у власному будинку, до навігаційних систем, які накладають стрілки напрямку та назви вулиць на трансляцію з камери в реальному часі. Як тип доповненої реальності, вона являє собою значну еволюцію в області доповненої реальності, пропонуючи більш динамічну [103]. Більшість сучасних безмаркерних систем доповненої реальності використовують підхід надійного зіставлення точок, що дозволяє вирішити проблему надійності через викиди, велике перекриття тощо. З його допомогою ви можете виявити та відобразити середовище реального світу, розмістивши в ньому віртуальні об'єкти. Приклади AR без маркерів включають будь-що, від танцюючої анімованої істоти на столі до дивана ІКЕА, розміщеного у вашому інтер'єрі.

Обробка доповненої реальності стала можливою завдяки складним технологіям обробки зображення та звуку. Будь-який AR-продукт покладається на обробку зображень для створення точного розуміння навколишнього середовища, оцінки освітленості та визначення критичних точок і площин.

Основна мета будь-якої технології AR – генерувати фотореалістичні зображення шляхом інтеграції віртуальних об'єктів у реальні сцени. Реалістичні зображення можна створювати, коли розробник використовує вдосконалене моделювання для з'єднання віртуального та реального середовища. Віртуальне відображення — це техніка, яка використовується в доповненій реальності для імітації відображень об'єктів реального світу на віртуальних об'єктах, доповнюючи сцени реального життя [104].

Статті з тематики даного дослідження здебільшого присвячені аналізу корисності та цінності використання технології, технічні можливості, витрати, пов'язані з впровадженням технології доповненої реальності, включаючи апаратне забезпечення, розробку програмного забезпечення та технічне обслуговування. Проте здебільшого в статтях описують наявність навчальних ресурсів і навчальних матеріалів для AR, які можуть вплинути на рівень впровадження та якість і релевантність контенту AR, що значно впливають на залучення користувачів [105].

Найновіші дослідження показують, що ринок освітнього програмного забезпечення у 2018 році становив 2,3 мільярда доларів і подвоїться до 2025 року. Це свідчить про активне впровадження та використання програмного забезпечення в усіх сферах діяльності.

У дитячих садках, школах та університетах по всьому світу використовуються численні технології для забезпечення інтерактивного навчання дітей [105]. До таких інтерактивних інструментів належать технології віртуальної та доповненої реальності. Технології доповненої реальності

(Augmented Reality, AR [106]) дозволяють проектувати цифрову інформацію (зображення, відео, текст, графіку) за межі екранів пристроїв та поєднувати віртуальні об'єкти з реальним середовищем. Гра Pokemon GO, популярна кілька років тому, є яскравим прикладом AR-технологій. Віртуальна реальність (VR) за допомогою 360-градусного зображення переносить людину у штучний світ, де середовище повністю змінене. Ознайомитися з доповненою реальністю можна, використовуючи лише смартфон, але для занурення у віртуальний простір знадобиться спеціальний шолом або окуляри.

Ці методи імерсивного навчання можуть стати важливим інструментом та революціонізувати навчання як школярів, так і студентів. Наставники можуть використовувати віртуальну та доповнену реальність для взаємодії здобувачів освіти з різними об'єктами у тривимірному просторі. Наприклад, вивчаючи Сонячну систему, діти можуть не лише розглядати ілюстрації в підручнику, а й справді зануритися в космічний простір завдяки шолому віртуальної

реальності. Уявіть, що ваша дитина летить між планетами, дізнаючись їхні таємниці.

Віртуальна та доповнена реальність мають широкий спектр застосування для організації різних заходів, таких як демонстраційні програми, ігри для гостей, презентації компаній, ярмарки вакансій, спортивні заходи тощо. Технології AR можуть забезпечити учасникам унікальний досвід, а також можливість взаємодіяти один з одним, незважаючи на карантин. Ярмарки вакансій на основі AR (Pot Noodle Virtual Careers Fair) були розроблені Aircards у співпраці з GradBay [107].

Останнім часом доповнена реальність стала трендом у світі технологій. Доповнена реальність (AR) – це технологія, яка доповнює реальний світ цифровими об'єктами за допомогою різних гаджетів. На цьому етапі розвитку це все ще сира технологія, без усталених стандартів, що ускладнює її масове впровадження. Незважаючи на це, контури ринку для цієї технології вже формуються [108].

Використання доповненої реальності вдихнуло нове життя в діяльність музеїв, збільшивши їхню аудиторію, а відвідувачі отримали новий досвід. Наприклад, Національний музей природної історії запустив додаток «Шкіра та кістки», який дозволяє бачити живі зображення вимерлих тварин на основі їхніх скелетів. Американський музей природної історії створив додаток, який оживляє експонати.

У нашому дослідженні ми зосередимося на використанні технології доповненої реальності в поліграфії та визначенні факторів, що впливають на створення якісних технологій [109].

Технологія доповненої реальності стрімко розвивається, і її застосування знаходить щораз більше сфер у сучасному світі, створюючи нові можливості для взаємодії з інформацією та навколишнім середовищем.

Використання доповненої реальності (AR) у поліграфії відкриває нові можливості для дизайнерів, підприємців та споживачів, дозволяючи створювати інтерактивний, захопливий та багатогранний продукт.

Поліграфічний виріб може використовувати AR-додатки як віртуальні путівники, що надають додаткову інформацію про продукт, показуючи 3Dмоделі, анімацію або відео, коли користувач наводить камеру свого пристрою на нього. Упаковки можуть включати інтерактивні елементи, такі як анімація або аудіовізуальні ефекти, що активуються за допомогою AR. Це дозволяє покупцям взаємодіяти з товаром на новому рівні. Ці технології надають можливість побачити продукти в їхньому оригінальному контексті або дізнатися більше про техніку та технології, що використовуються для створення товару за допомогою інтерактивних AR-елементів. Статичні елементи упаковки чи обкладинки, такі як картини чи малюнки, можуть оживати за допомогою AR. Наприклад, персонажі на упаковці чи обкладинці можуть рухатися або взаємодіяти один з одним, додаючи нового виміру продукту. Художники можуть створювати інсталяції, які реагують на дії глядача, змінюючи свій зовнішній вигляд або поведінку залежно від того, як користувач взаємодіє з ними через AR-додаток.

Фактори, що впливають на процес створення доповненої реальності для поліграфії, можуть взаємодіяти один з одним, впливаючи на різні аспекти проєкту. Наприклад, вибір технології може впливати на обмеження, доступні дизайнерам, тим самим обмежуючи їхні творчі можливості. З іншого боку, технології також можуть допомогти зробити проєкт доступнішим, дозволяючи різним дизайнерам працювати над проєктом з будь-якої точки світу.

Окрім того, бюджет проєкту може впливати на вибір технології та дизайнерів, залучених до проєкту. Якщо бюджет обмежений, це може призвести до використання менш складних технік та залучення менш дорогих дизайнерів.

Також факторами впливу можуть бути вимоги замовника проєкту або споживачів контенту, які можуть вимагати від проєкту певних функцій або відчуттів.

Тому різні фактори впливу можуть взаємодіяти один з одним, щоб визначити технологію, бюджет, дизайнерів та вимоги, що дозволяють створювати доповнену реальність для поліграфічної продукції.

Створення доповненої реальності (AR) для відтворення зображення з поліграфічної продукції – це складний процес, який вимагає врахування різних параметрів та дотримання певної послідовності. Важливість параметрів у створенні технології доповненої реальності (AR) для відтворення поліграфічної продукції може залежати від конкретних цілей проєкту та контексту його використання. Однак деякі параметри можна вважати більш критичними для успішної реалізації. Для визначення факторів впливу та їх важливості було проведено опитування серед експертів та виділено такі фактори-параметри: контент; технічні вимоги; програмне забезпечення; розташування та відстеження. Серед менш важливих параметрів для створення високоякісної технології AR були такі параметри: інтерактивність та метадані. Розглянемо, що це за параметри.

Одним із важливих параметрів створення високоякісної AR-технології є контент. Контентом доповненої реальності є цифрові копії поліграфічної продукції. Цей параметр було визначено як найважливіший, оскільки якість цифрових моделей або сканів безпосередньо впливає на користувацький досвід. Високоякісні 3D-моделі та точні репліки поліграфічної продукції є основою успішного AR-застосування. Це пояснюється тим, що якщо контент низької якості або неточний, навіть найкраща технологія не зможе це компенсувати.

Параметр технічних вимог, а саме обчислювальна потужність та датчики, було виділено як наступний за важливістю параметр. Цьому параметру надано велике значення, оскільки недостатня обчислювальна потужність або датчики низької якості можуть призвести до низької продуктивності, затримок та проблем із відтворенням AR. Оскільки технологічні обмеження можуть серйозно вплинути на користувацький досвід, роблячи взаємодію незадовільною.

Важливим параметром для створення високоякісної AR-технології є вибране програмне забезпечення. Його важливість визначається тим, що правильний вибір платформи визначає можливості застосунку, такі як стабільність, підтримка різних пристроїв та інтеграція з іншими системами. Відповідно, неправильний вибір платформи може обмежити функціональність застосунку та ускладнити процес його розробки та підтримки.

Наступний параметр, який виділяють експерти, – це розташування та відстеження. Цей параметр важливий, оскільки точність відстеження положення користувача та об'єктів у просторі є ключовою для природної та реалістичної взаємодії. Неточне відстеження може спричинити розрив зв'язку між реальним та віртуальним світами, знижуючи ефективність AR. Як показало опитування, інтерактивність та метадані (інформація про поліграфічну продукцію) є другорядними, але аж ніяк не важливими. Інтерактивність стосується взаємодії між інтерфейсом користувача та жестами. Цей параметр важливий особливо для додатків, які передбачають активну взаємодію користувача з контентом. Це пов'язано з тим, що зручний інтерфейс покращує загальний користувацький досвід, роблячи взаємодію інтуїтивно зрозумілою та приємною. Параметр метаданих менш критичний, але все ще важливий для забезпечення повноти інформації та додаткової цінності для користувача. Метадані збагачують користувацький досвід, надаючи контекст та додаткові знання про твір мистецтва.

Основні важливі параметри технології доповненої реальності (AR), такі як контент, технічні вимоги, програмне забезпечення, а також розташування та відстеження, взаємодіють один з одним, створюючи єдину систему, яка забезпечує якісний користувацький досвід. Розглянемо їх вплив один на інший.

Не менш важливим питанням, яке необхідно вирішити та дослідити при виборі якісної технології для створення доповненої реальності, є взаємодія між обраними параметрами та те, як один параметр впливає на інший. Технічні вимоги, а саме обчислювальна потужність та датчики, залежать від контенту, а саме: складніший та детальніший контент вимагає вищих характеристик

пристроїв для забезпечення плавного користувацького досвіду, а технології стиснення та оптимізації можуть допомогти зменшити обчислювальну потужність та вимоги до пам'яті. У свою чергу, технічні вимоги залежать від програмного забезпечення. Програмне забезпечення повинно ефективно використовувати доступні обчислювальні ресурси, забезпечуючи баланс між якістю рендерингу та продуктивністю. У свою чергу, оптимізація алгоритмів відстеження та рендерингу може значно покращити продуктивність на пристроях з обмеженими ресурсами.

Якщо розглядати залежність технічних вимог від місцезнаходження та відстеження, необхідно зазначити таке: точність відстеження залежить від якості датчиків та камер пристрою, високоякісні датчики забезпечують кращу взаємодію з AR-контентом; системи SLAM (одночасна локалізація та картографування) вимагають значних обчислювальних ресурсів для точного відстеження в режимі реального часу.

Щодо залежності програмного забезпечення від контенту, було зазначено, що програмне забезпечення повинно підтримувати різноманітні формати та стандарти для обробки високоякісного контенту, а платформи повинні надавати інструменти для легкого імпорту, налаштування та анімації цифрових моделей.

Щодо залежності програмного забезпечення від технічних умов, можна сказати таке: ефективність програмного забезпечення залежить від оптимізації під конкретні апаратні характеристики пристроїв, а фреймворки повинні забезпечувати можливість роботи на різних пристроях з урахуванням їхньої обчислювальної потужності.

Також можна сказати про залежність програмного забезпечення від місцезнаходження та відстеження. Як показали дослідження, програмне забезпечення повинно інтегрувати технології відстеження для точного розміщення та стабілізації AR-контенту. Також алгоритми відстеження, вбудовані в програмне забезпечення, повинні бути ефективними та надійними, щоб забезпечити стабільний користувацький досвід.

Місцезнаходження та відстеження, а саме відстеження позиції, також залежить від обраних параметрів. Отже, якщо розглядати залежність від контенту, можна зазначити, що контент повинен бути правильно позиціонований та стабілізований у реальному світі, що вимагає точного відстеження, а анімація та взаємодія повинні бути синхронізовані з рухами користувача, що залежить від якості відстеження.

Щодо залежності місцезнаходження та відстеження від технічних умов, то можна зазначити, що висока точність відстеження вимагає високоякісних датчиків і камер, а також значних обчислювальних ресурсів для обробки даних у режимі реального часу. Необхідно також зазначити, що SLAM та інші технології відстеження можуть бути ресурсомісткими, що, своєю чергою, впливає на продуктивність пристрою.

Варто також вказати, що місцезнаходження та відстеження залежать від програмного забезпечення. Як показали дослідження, програмне забезпечення повинно забезпечувати надійне і точне відстеження, використовуючи алгоритми обробки зображень та даних датчиків відповідно. Також інтеграція відстеження з контентом та інтерфейсом користувача повинна бути безперебійною, щоб забезпечити постійний доступ.

3.2. Виокремлення та оцінка факторів вагомості текстового контенту поліграфічних видань для реалізації доповненої реальності

Інформація завжди була потужним інструментом для привертання уваги людей. Факти, цифри та експертний аналіз є дуже переконливими при подачі певної інформації.

Для якісних публікацій контент зокрема і текстовий, має бути поданий максимально інтуїтивно зрозуміло і чітко. Якщо для ознайомлення з поданою інформацією потрібен час, більшість читачів навіть не хочуть звернути на неї увагу.

Як показує практика, читабельність тексту залежить в основному від семантики текстового матеріалу, розбірливості (чіткості) стилю шрифту і

вдалого або невдалого дизайну верстки тексту. Читачі повинні мати можливість читати текст з мінімальними зусиллями, переосмислюючи символи в об'єкти і процеси.

Останніми роками стрімкий розвиток електронних технологій у поліграфічній галузі призвів до скорочення виробництва друкованої продукції та перерозподілу витрат за рахунок електронізації відтворення та розповсюдження. Усі наведені визначення описують характеристики тексту для різного типу видань, зокрема і створених за допомогою імерсивних технологій.

Головне правило при виборі шрифту – забезпечити читабельність тексту. Призначення текстового матеріалу – розпізнавання інформації за допомогою органів зору. Тому, як би ефектно не виглядали дрібні або нові художні шрифти, краще відмовитися від використання таких шрифтів в оформленні видань, якщо в результаті буде порушена читабельність тексту. Важливо також вивчити фактори, які впливають на шрифтовий дизайн конкретного видання.

Використання та поєднання шрифтів у традиційних друкованих виданнях є досить вивченим з огляду на своє тисячолітнє використання. Електронне ж видавництво є досить молодим і процеси, які в ньому відбуваються, є ще не досить вивченими. Використання шрифтів у таких виданнях та публікаціях є ще не до кінця зрозумілим і потребує додаткового дослідження. Публікацій з дослідженнями та рекомендаціями використання шрифтів та їх пар в електронних виданнях є досить мало і в переважній більшості стосуються порад, яку гарнітуру використовувати.

Вибір пари шрифтів – важливий крок у дизайні, який суттєво впливає на загальний вигляд і сприйняття тексту. Загалом, вибір пари шрифтів – це завдання, яке вимагає експериментів і врахування різних факторів, а також особистого відчуття стилю та естетики проєкту.

Що стосується аналізу літературних джерел, присвячених означеній проблематиці, то можна сказати, що вони досить обмежені та нечисленні.

Зі знайденої інформації вдалося з'ясувати таке: так, у своїй роботі [110] автори констатували, що переважна більшість на практиці використовують

векторні шрифти, які, по суті, є основним шрифтовим форматом і відіграють значну роль у сучасних ЗМІ, їх основні характеристики та переваги. Також зазначається, що їх можна легко перетворити на шрифти True Type для практичного використання. Розробка бібліотек шрифтів поступово перейшла від створення вручну до автоматичного, що привело до створення більш ефективних і багатих шрифтів. Використання сучасних технологій залишається складним і постійним завданням через різноманітність технологій, довжини послідовності та стилів векторних шрифтів.

Автори цього дослідження [111] провели дослідження щодо покращення читабельності та комфорту для людей зі слабким зором. У своєму дослідженні автори проаналізували вплив типу шрифту на читабельність. У результаті був запропонований і створений новий шрифт *luciole*. Як показали результати використання цього шрифту, близько половини учасників зі слабким зором суб'єктивно віддали йому перевагу при читанні на папері та з екрану монітора.

У своїй роботі [112] автори вирішили дослідити, чи впливає читабельність шрифту на виявлення ілюзії Мойсея, на сприйняття інформації, коли текст сформульований неправильно. Як зазначили автори, вони не змогли знайти доказів того, що читабельність шрифту істотно не впливає на виявлення помилок. Наприклад, 43% учасників у складному для читання стані повідомили, що знайшли неточності в тексті, тоді як 37% учасників знайшли помилки в легкому для читання.

Цікаві дослідження були проведені авторами в роботі [113], яка базується на дослідженнях використання спеціалізованої програми читання, що дозволяє легко змінювати колір шрифту, міжрядковий інтервал, довжину рядка та інші параметри. Як показали результати дослідження, використання спеціалізованих рідерів може бути корисним для деяких читачів-початківців, але для їх широкого застосування на практиці вони повинні пройти певні перевірки.

Робота авторів [114] присвячена дослідженню такої характеристики шрифту, як контрастність. Перед авторами постало завдання дослідити, як висококонтрастні шрифти впливають на читабельність тексту. Результати цього

дослідження показали, що жирні шрифти з високим контрастом штрихів не слід розглядати для дизайнерів, де розпізнавання літер є пріоритетом.

Враховуючи популярність електронних пристроїв та їх швидкий розвиток в останні роки, використання сенсорних екранів стало звичним явищем [115]. Згідно з дослідженням авторів, робота та інтерпретація сенсорного екрана відрізняються між літніми та молодшими людьми. Важливе значення має як саме візуальне оформлення, так і розмір пропонованого шрифту. Це дослідження може бути цікавим у розробці інтерфейсів для людей похилого віку, що, як наслідок, покращує їх автономію.

Ефективність використання текстового контенту в рекламі розглядається в роботах [116, 117]. Роздрібні продавці шукають ефективні способи повідомити рекламу, щоб збільшити відвідуваність магазину та стимулювати покупки. Виходячи з проведеного дослідження, автори відзначають, що правильно нахилені шрифти, які передбачають рух вперед у своєму дизайні, можуть впливати на реакцію споживачів на рекламу. Одночасно вони проводять дослідження колірного контрасту і розміру шрифту на читабельність тексту.

Що стосується використання текстового контенту в середовищі віртуальної реальності, то необхідно розглянути роботи авторів [118], які аналізують вплив довжини рядка, кількості рядків, міжрядкового інтервалу та розміру шрифту на продуктивність читання тексту. З отриманих результатів варто зазначити, що, як показали дослідження, міжрядковий інтервал істотно впливає на швидкість читання. Крім того, взаємодія між кількістю рядків і міжрядковим інтервалом мала значний вплив на точність читання. Дослідження вказали на використання єдиного інтервалу, використовуючи який можна досягти більшої точності читання та збільшити його швидкість.

На нашу думку, основні етапи розробки методики вибору шрифтового оформлення передували виконанню таких завдань (рис. 3.1):

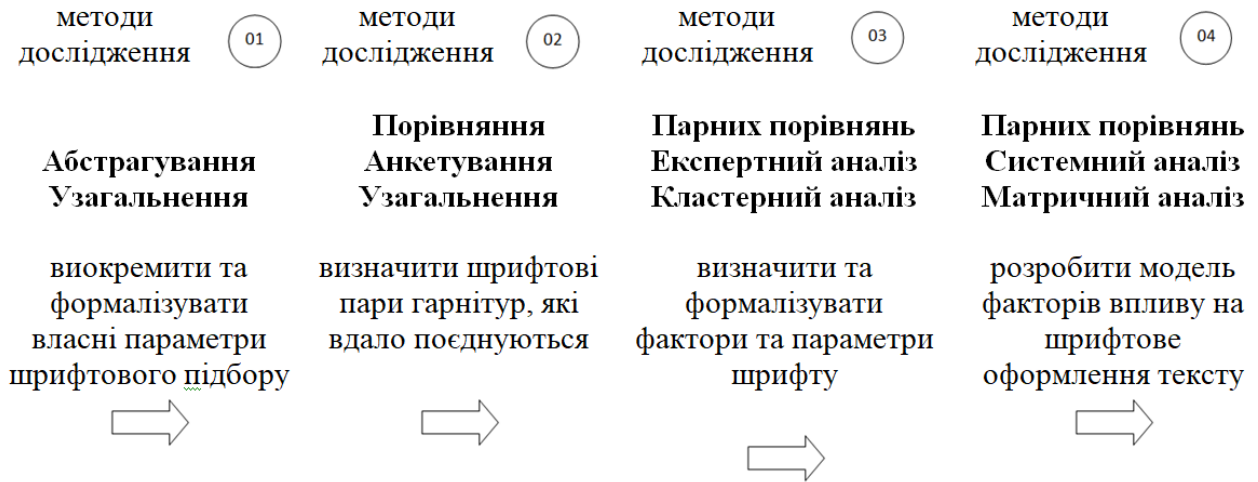


Рис. 3.1. Основні етапи розробки методики вибору шрифтового оформлення

Означимо методи досліджень. Метод абстрагування – це методологія наукового пізнання, яка полягає в мисленому виділенні суттєвих, найістотніших рис, відношень, сторін предмета [119]. За його допомогою формується ідеальний образ реальності.

Процес абстрагування передбачає виокремлення суттєвого від несуттєвого. Дослідник визначає, які характеристики предмета є важливими для розуміння його природи та поведінки, а які можна ігнорувати, проте абстрагується від певних ознак предмета, щоб сфокусуватися на інших.

Результатом абстрагування є абстракція – поняття, яке відображає суттєві властивості та закономірності об'єкта, відволікаючись від несуттєвих деталей.

Узагальнення – це метод наукового пізнання, за допомогою якого фіксуються загальні ознаки та властивості певного класу об'єктів та здійснюється перехід від одиничного до загального, від менш загального до більш загального. Результатом узагальнення є поняття, яке відображає спільні властивості та закономірності класу об'єктів. Абстрагування є основою для узагальнення, а узагальнення неможливе без абстрагування.

Метод порівняння. Це загальнонауковий метод дослідження, який полягає у порівнянні двох або більше об'єктів з метою виявлення їх схожості та відмінностей [120].

Метод порівняння включає такі етапи:

- визначення об'єктів порівняння (визначаємо об'єкти, які будуть порівнюватись);
- вибір ознак порівняння (визначаємо ознаки, за якими буде виконуватись порівняння об'єктів);
- збір даних (збір та опрацювання даних про об'єкти порівняння за вибраними ознаками);
- аналіз даних (виконуємо порівняння даних про об'єкти для визначення їх схожості та відмінностей).

Результати порівняння є виявлення схожості та відмінностей, тобто ознак, які є спільними для порівнюваних об'єктів, а які – відмінними.

Перевагою цієї методології є:

- можливість класифікувати об'єкти на основі їх схожості та відмінностей;
- виявити суттєві характеристики об'єктів;
- встановити зв'язки між об'єктами;
- сформулювати гіпотези та теорії.

Метод попарних порівнянь [121, 122]. Це метод прийняття рішень, який використовується для ранжування альтернатив. Він полягає в порівнянні кожної пари альтернатив і визначенні кращої альтернативи в кожній парі.

Ранжування дозволяє оцінити важливість різних критеріїв або характеристик альтернатив. Це допомагає виділити основні фактори та приділити їм увагу при прийнятті рішення. Метод ранжування забезпечує можливість враховувати різні аспекти та обмеження при прийнятті рішення. Він може бути адаптований до конкретного завдання та враховувати індивідуальні потреби користувачів.

Метод ранжування досить простий у використанні та зрозумілий [123, 124]. Він не вимагає складних обчислень або спеціалізованих знань, тому доступний для використання в різних галузях та для різних користувачів. Ця методика може бути досить швидкою у порівнянні з іншими методами прийняття рішень, такими як аналіз ієрархій чи методи оптимізації [125]. Він дозволяє швидко визначити та ранжувати альтернативи.

Процес попарного порівняння включає етапи:

- визначення альтернатив (визначає всі можливі альтернативи, які він буде порівнювати);
- створення матриці попарних порівнянь (розробка матриці, в якій кожна пара альтернатив порівнюється одна з одною);
- порівняння альтернатив (виконання порівняння кожної пари альтернатив і визначає кращу альтернативу в кожній парі);
- розрахунок вагових коефіцієнтів (розрахунок вагових коефіцієнтів для кожної альтернативи);
- ранжування альтернатив (виконання ранжування альтернатив за їх вагомими коефіцієнтами).

Переваги методу попарних порівнянь:

- простий у використанні;
- не вимагає спеціальних знань;
- дозволяє врахувати всі можливі альтернативи.

Коефіцієнт конкордації. Це статистичний показник, який використовується для вимірювання ступеня згоди або кореляції між різними джерелами даних або респондентами в контексті опитувань, оцінок або рейтингів [126].

Коефіцієнт конкордації може приймати значення від -1 до 1:

- Якщо коефіцієнт дорівнює 1, це вказує на абсолютну згоду або ідеальну кореляцію між різними джерелами даних. Усі дані абсолютно співпадають.

- Якщо коефіцієнт дорівнює 0, це вказує на повну відсутність кореляції або згоди між даними.

- Якщо коефіцієнт дорівнює -1, це вказує на абсолютну протилежність або антагонізм між даними. Дані абсолютно розходяться.

$$K = \frac{12 \times S}{m^2(n^3 - n)} \quad , \quad (3.1)$$

де K – коефіцієнт конкордації;

$$S = \sum_{j=1}^n (\sum_{i=1}^m x_{ij} - \frac{1}{2} m(n+1)^2) \quad , \quad (3.2)$$

де S – середня сума рангів; m – кількість експертів; n – кількість оцінюваних факторів.

Для дослідження взято безкоштовні шрифти з бібліотеки google fonts [127]. Для того, щоб виділити критерії вибору шрифту, застосовано метод абстрагування та узагальнення. Щоб визначити перевагу одного критерію над іншим, проведено експертне опитування 50 студентів третього курсу спеціальності «Видавництво та поліграфія» та «Дизайн».

Перший етап розробки методики вибору шрифтів для текстового контенту включає визначення параметрів, які впливають на оформлення та стилістику тексту. Вони забезпечать можливість дизайнеру підібрати оформлення і відповідно визначитись з типом шрифту для дизайну.

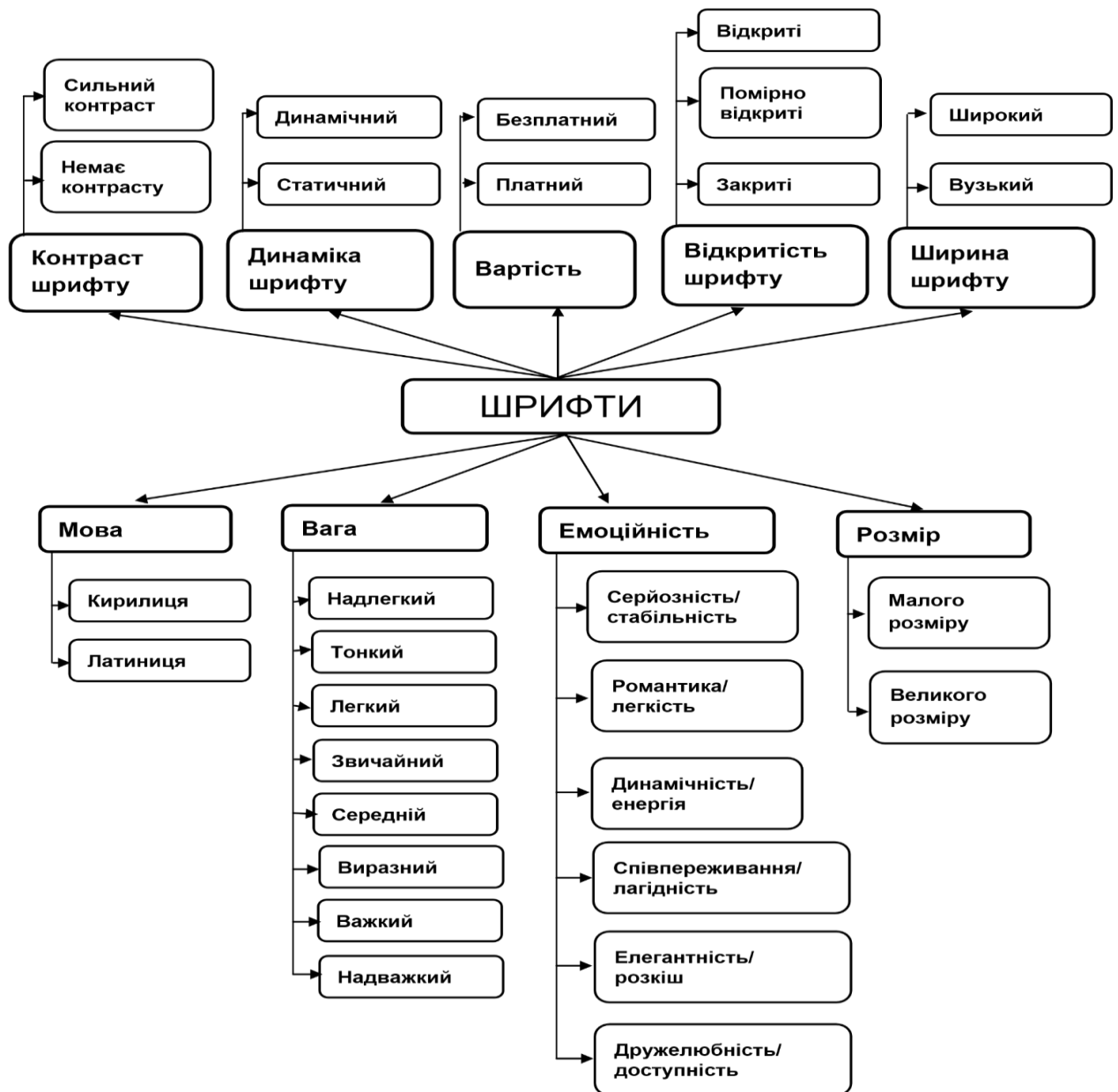


Рис. 3.2. Схема характеристики шрифту

Для оцінки шрифтів було проведено дослідження і запропоновано 9 параметрів ($A = 1, \dots, 9$), що визначають найбільш розповсюджені характеристики вибору шрифтів для різних проєктів. Усі особливості можна об'єднувати в групи. Серед них:

- контраст шрифту – g_1 ,
- динаміка шрифту – g_2 ,
- вартість шрифту – g_3 ,
- відкритість шрифту – g_4 ,
- ширина шрифту – g_5 ,

- мова – g_6 ,
- вага – g_7 ,
- емоційність – g_8 ,
- розмір – g_9 .

Ці характеристики буде використано як фактори оцінки шрифтів для оформлення інфографіки. Що стосується шрифтів загалом, то можемо їх характеристики та поділ представити в подальшій схемі (рис.3.2):

За допомогою методу попарних порівнянь виконаємо попарне порівняння факторів. Цей метод допомагає ранжувати або вибирати опції з урахуванням їх відносної важливості. Спочатку сформуємо список усіх альтернатив (характеристик шрифту), які необхідно порівняти або ранжувати. Для зручності використання представимо фактори шрифтових характеристик у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Шрифтові характеристики

Умовне позначення	Значення характеристики шрифту	Пояснення шрифту
g_1	контраст шрифту	немає контрасту/сильний контраст
g_2	динаміка шрифту	статичний/динамічний
g_3	вартість шрифту	платний/безплатний
g_4	відкритість шрифту	закриті/помірно закриті/відкриті
g_5	ширина шрифту	вузький/широкий
g_6	мова	кирилиця/латиниця
g_7	вага	надлегкий/тонкий/легкий/звичайний/середній/виразний/важкий/надважкий
g_8	емоційність	серйозність/романтика/динамічність/співпереживання/елегантність/дружелюбність
g_9	розмір	як у реченні/прописні

Для кожної пари альтернатив проведемо попарні порівняння з точки зору характеристик, які є важливими для прийняття рішення. Далі визначаються важливості або ваги кожної характеристики або критерію відносно інших. Для кожної альтернативи обчислюються загальні бали на основі результатів попарних порівнянь та ваг факторів. Експерти використовують 9 -бальну шкалу, в якій 1 – найменший бал, відповідно 9 – найбільший бал (табл. 3.2).

Таблиця 3.2.

Загальні бали на основі результатів попарних порівнянь та ваг факторів

Фактори	Експерти										Σ	Σ^2	Ранг
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
G₁	7	8	7	6	6	7	7	5	6	7	66	4356	3
G₂	5	4	4	3	3	5	5	5	4	4	42	1764	5
G₃	6	5	5	4	5	6	6	6	6	5	54	2916	4
G₄	4	3	3	4	5	4	3	4	4	3	37	1369	6
G₅	1	2	1	1	3	1	1	1	2	1	14	196	9
G₆	3	2	3	4	1	2	2	1	3	1	22	484	8
G₇	8	7	6	8	8	7	7	9	8	8	76	5776	2
G₈	9	7	8	9	8	8	9	7	9	9	83	6889	1
G₉	4	3	3	2	3	4	3	3	4	3	32	1024	7
Сума											426	24774	

Для визначення ступеня згоди або консенсусу між експертами використано коефіцієнт конкордації.

Розраховуємо коефіцієнт конкордації за формулами 1, 2:

$$S = 24774 - \frac{426^2}{9} = 24774 - 20164 = 4610$$

$$K = \frac{12 \times 4610}{10^2(9^3 - 9)} = \frac{55320}{72900} = 0.8$$

Отримане значення коефіцієнту конкордації свідчить про належну узгодженість експертних оцінок. Отримані ранги показують результати експертного оцінювання шрифтових характеристик, які виступають критеріями підбору шрифтового оформлення тексту:

- 1 ранг – емоційність (g₈)
- 2 ранг – вага (g₇)
- 3 ранг – контраст шрифту (g₁)
- 4 ранг – вартість шрифту (g₃)
- 5 ранг – динаміка шрифту (g₂)
- 6 ранг – відкритість шрифту (g₄)
- 7 ранг – розмір (g₉)
- 8 ранг – мова (g₆)

9 ранг – ширина шрифту (g₅)

На підставі обчислених балів можна ранжувати або вибирати альтернативи відповідно до їхньої важливості. Метод попарних порівнянь допомагає структурувати процес прийняття рішень та робить його більш об'єктивним, оскільки він залежить від суб'єктивних оцінок та ваг, наданих кожним фактором.

Якщо метод ранжування використовувати правильно, він може допомогти уникнути суб'єктивних упереджень і сприяти об'єктивному прийняттю рішень. У таблиці 3.3 наведемо результати оцінок шрифтів згідно з факторами шрифтових характеристик. Для оцінок використано шкалу від 1 до 5, де 1 – найнижча оцінка, відповідно 5 – найвища.

Таблиця 3.3

Результати оцінок шрифтів

	Контраст	Динаміка	Вартість	Відкритість	Ширина	Мова	Вага	Емоційність	Розмір
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Roboto	1	1	5	4	3	5	5	5	3
OpenSans	1	1	5	4	4	5	5	5	4
Montserrat	1	1	5	4	5	5	5	5	5
Inter	2	1	5	4	4	5	4	4	4
RobotoCondensed	2	2	5	4	2	5	5	4	4
RobotoMono	2	2	5	3	3	5	5	3	3
Oswald	2	2	5	3	3	5	3	3	4
Raleway	1	1	5	4	5	5	5	4	4
NotoSans	1	2	5	5	4	5	5	3	4
NunitoSans	1	1	5	4	4	5	5	4	4
PlayfairDisplay	5	2	5	5	3	5	4	4	4
RobotoSlab	1	1	5	3	3	5	4	4	4
Ubuntu	1	1	5	5	4	5	3	3	4
Rubik	1	1	5	3	3	5	4	3	5
Merriweather	4	2	5	4	4	5	3	3	4

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lora	3	2	5	3	3	5	3	4	4
Lobster	4	4	5	3	3	5	2	4	3
Comfortaa	1	1	5	3	4	5	3	3	4
Pacifico	1	4	5	3	2	5	2	2	3
Manrope	1	1	5	3	3	5	3	3	4
Cormorant Garamond	4	2	5	3	4	5	4	5	4
Amatic SC	1	2	5	3	3	5	3	3	3
Philosopher	3	3	5	4	3	5	3	5	4

Отримані результати оцінок представлено у вигляді діаграми (рис.3.3).

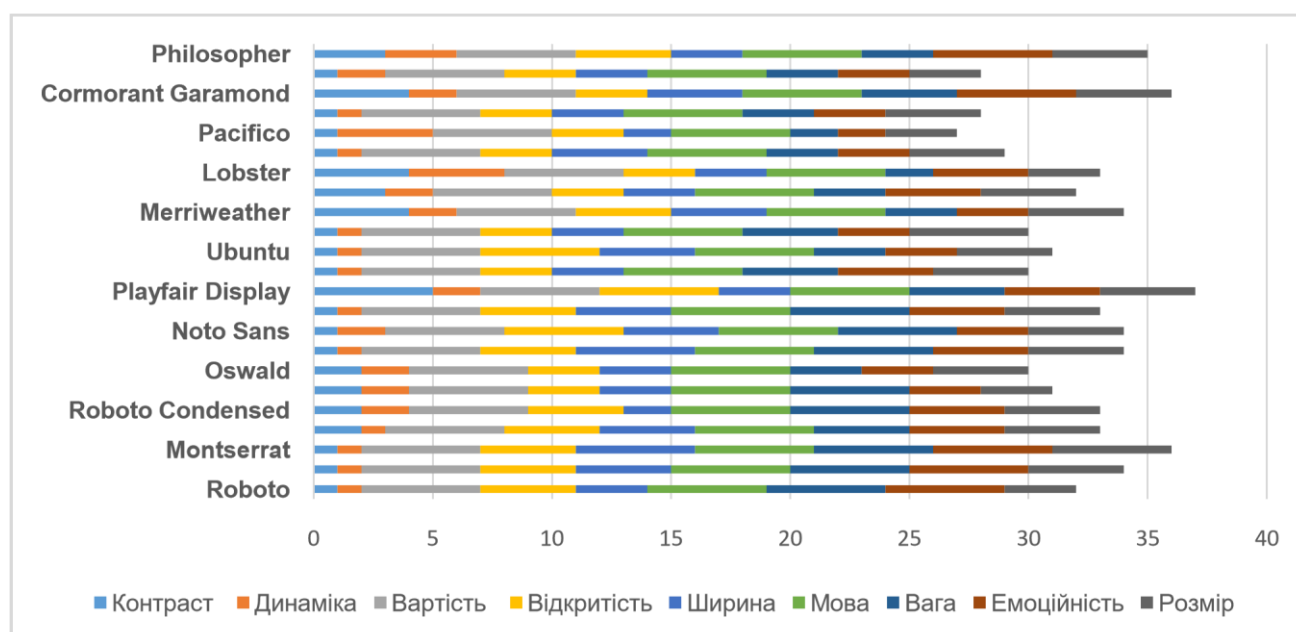


Рис. 3.3. Візуалізація результатів оцінок шрифтів згідно з факторами шрифтових характеристик

Результати оцінок досліджуваних гарнітур показують, що найбільша неточність у визначенні емоційної складової шрифтів. Адже емоційна складова сприйняття шрифту відображає, які емоції, асоціації та настрої викликає у людей використання певного шрифту в дизайні тексту чи графіки. Ця складова визначає, як читачі реагують на шрифт на психологічному рівні. У таблиці 3. 4 представлено результати експертної

оцінки шрифтів згідно з емоційної характеристики. Оцінювання проведено згідно з методом використаного вище.

Таблиця 3.4

Результати експертної оцінки шрифтів

	Серйозність/ стабільність	Романтика/ легкість	Динамічність/ енергія	Співпереживання/ лагідність	Елегантність/ розкіш	Дружелюбність/ доступність
Roboto	3	1	5	4	2	6
OpenSans	3	2	5	4	1	6
Montserrat	1	2	6	3	4	5
Inter	3	2	3	4	5	6
RobotoCondensed	6	1	4	3	2	5
RobotoMono	3	2	5	4	1	6
Oswald	4	2	6	3	1	5
Raleway	1	2	6	5	3	4
NotoSans	3	2	6	5	1	5
NunitoSans	4	1	5	3	2	6
PlayfairDisplay	2	4	3	6	5	1
RobotoSlab	2	1	6	3	4	5
Ubuntu	3	2	5	6	4	1
Rubik	3	1	5	6	2	4
Merriweather	4	1	5	6	2	3
Lora	3	2	5	6	4	1
Lobster	2	4	1	5	6	3
Comfortaa	3	2	1	6	4	5
Pacifico	2	4	5	3	1	6
Manrope	1	2	5	6	3	5
CormorantGaramond	3	4	5	6	2	1
Amatic SC	1	2	6	4	3	5
Philosopher	3	4	1	6	3	2

Отримані оцінки представлено у вигляді діаграми (рис. 3.4):

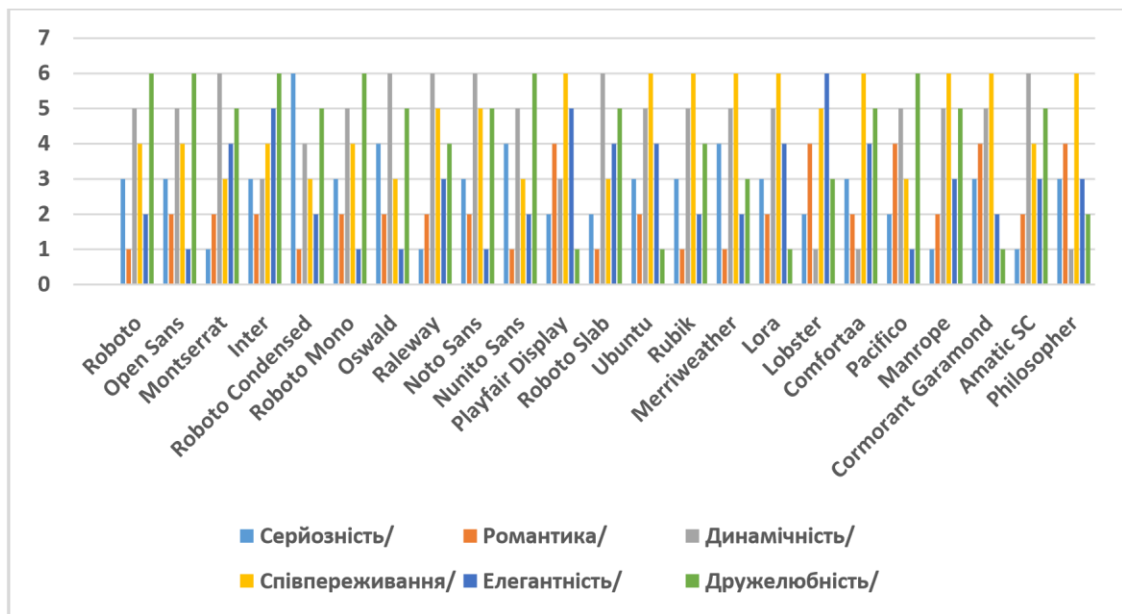


Рис. 3.4. Результати оцінок шрифтів згідно з емоційною характеристикою

Отримані результати дослідження показують такі групи шрифтів за емоційною складовою:

1. Шрифтові гарнітури, такі як RobotoCondensed, NunitoSans, Merriweather, відображають серйозність і стабільність, мають риси, що роблять їх ідеальними для проєктів, де важлива впевненість, надійність та професійний вигляд.

Гарнітури шрифтів цього класу наділені характеристиками, які асоціюються із серйозністю та стабільністю:

- ✓ Прямі лінії. Шрифти з прямими лініями та геометричними формами створюють враження строгості та стабільності.
- ✓ Серйозний дизайн. Такі шрифтові гарнітури мають чистий та професійний дизайн без зайвих деталей, що викликають відчуття надійності.
- ✓ Нестандартні літери. Вони часто мають загальні, традиційні форми літер, що створюють враження консерватизму та надійності.
- ✓ Різні стилі та ваги. Вага шрифту може бути змінюваною, включаючи Regular, Medium, Bold та інші. Це дозволяє вибрати відповідний стиль для різних видів тексту та акцентувати важливість і стабільність.

✓ Класичний вигляд. Шрифти з класичним виглядом, такі як TimesNewRoman чи Garamond, можуть асоціюватися зі старовинною елегантністю та серйозністю.

✓ Нормальна пропорція. Такі шрифти часто мають збалансовану висоту та ширину літер, що підкреслює їх серйозний характер.

Також наочними прикладами шрифтів цієї групи можуть бути Arial, Helvetica, Baskerville, Palatino та інші класичні шрифти. Ці шрифти ідеально підходять для документів, юридичних матеріалів, наукових публікацій, а також для будь-яких сфер, де потрібна впевненість та професіоналізм.

2. Шрифти, які відображають романтику і легкість, мають свої унікальні характеристики, які роблять їх ідеальними для проєктів, де важливі ніжність, елегантність і легкість.

Ось деякі основні риси шрифтових гарнітур, які асоціюються з романтикою та легкістю:

✓ Закруглені форми. Романтичні шрифти часто мають закруглені криві та форми, що надають їм ніжність та м'якість.

✓ Плавні контури. Вони можуть мати плавні, легкі контури, що створюють враження легкості та грації.

✓ Курсиви. Шрифти з курсивами, які нахилені вперед, можуть асоціюватися з елегантністю та рухом.

✓ Легка вага. Зазвичай романтичні шрифти мають легку вагу, що додає легкості і візуальної привабливості.

✓ Декоративні деталі. Деякі шрифти мають декоративні елементи, такі як витончені зарубки, лігатури, або каліграфічні звороти, що підсилюють ефект романтики.

✓ Курсивні літери. Літери з письмовими вигинами можуть створювати враження почуттів і додавати романтичного виразу.

Прикладами шрифтів, що відображають романтику та легкість, можуть бути Cormorant, Pacifico, GreatVibes, та інші красиві й елегантні шрифти. Ці шрифти ідеально підходять для весільних запрошень, легких читабельних

текстів, постерів та будь-яких проєктів, які потребують ніжності та романтичного виразу.

3. Шрифти, які відображають динамічність та енергію, мають певні характеристики, які роблять їх ідеальними для проєктів, де потрібно вразити аудиторію динамічністю, активністю та жвавістю.

Ось деякі основні риси шрифтів, що викликають асоціації з динамічністю та енергією:

- ✓ Геометричні форми. Динамічні шрифти часто мають геометричні форми, такі як гострі кути, різні нахил і виразні контури. Це створює враження руху та енергії.

- ✓ Товсті лінії. Вага шрифту може бути важливою характеристикою. Товсті лінії можуть надавати шрифту силу та стійкість.

- ✓ Сміливі контури. Шрифти з смілими контурами, які виділяються, надають виразність та жвавість тексту.

- ✓ Сучасний дизайн. Багато динамічних шрифтів мають сучасний вигляд, що відображає актуальні тенденції та інновації.

- ✓ Нестандартні форми. Деякі динамічні шрифти мають форми, які виходять за межі стандартних літер, що створює враження творчості та енергії.

- ✓ Сучасні елементи. Шрифти можуть містити елементи, які нагадують сучасні технології, такі як лінії, що асоціюються з мережами чи динамічними графіками.

Прикладами шрифтів, які відображають динамічність та енергію, можуть бути Roboto, OpenSans, Montserrat, Raleway, Oswald, NotoSans, NunitoSans,

RobotoSlab, Ubuntu, Rubik, Amatic SC, Futura, BebasNeue, Impact, а також різні варіації сучасних гротескних шрифтів. Ці шрифти підходять для рекламних матеріалів, логотипів спортивних брендів, постерів та будь-яких інших проєктів, де важлива динаміка та енергія.

4. Шрифти, які відображають співпереживання та лагідність, мають свої особливі риси, які роблять їх ідеальними для проєктів, де важливо викликати почуття співчуття, тепла та ніжності.

Ось деякі основні характеристики таких шрифтів:

- ✓ М'які форми. Шрифти, що відображають лагідність, часто мають м'які та закруглені форми, що нагадують долоні чи обійми.
- ✓ Плавні лінії. Вони можуть мати плавні та ніжні контури, які створюють враження спокою та гармонії.
- ✓ Рукописні літери. Деякі з цих шрифтів можуть мати елементи рукописного напису, що додають особистого та лагідного характеру.
- ✓ Легка вага. Зазвичай ці шрифти мають легку вагу, що створює враження невагомості та співпереживання.
- ✓ Декоративні звороти. Шрифти можуть включати декоративні деталі, такі як зарубки чи звороти, що підсилюють ефект лагідності.
- ✓ Сучасний дизайн. Такі шрифти можуть мати сучасний та креативний дизайн.

Прикладами шрифтів, які відображають співпереживання та лагідність, можуть бути *Raleway*, *NotoSans*, *Ubuntu*, *Rubik*, *Merriweather*, *Lora*, *Lobster*, *Comfortaa*, *Manrope*, *CormorantGaramond*, *DancingScript*, *Lato*, *Quicksand*, та інші шрифти з легким та ніжним виглядом. Ці шрифти ідеально підходять для дитячих книжок, благодійних заходів, листів співчуття та будь-яких проєктів, де важливо висловити тепло та співпереживання.

5. Шрифти, які відображають елегантність і розкіш, мають риси, що роблять їх ідеальними для проєктів, де важливо створити враження розкоші, розкішного стилю та вишуканості.

Ось деякі основні характеристики таких шрифтів:

- ✓ Вишукані форми. Ці шрифти часто мають вишукані та складні форми з великою кількістю деталей та зігнутих ліній.
- ✓ Зарубки. Шрифти з зарубками (короткі горизонтальні або вертикальні риси, що виступають знизу літер) можуть надавати ефект класичної елегантності.
- ✓ Декоративні звороти. Деякі з цих шрифтів мають декоративні елементи та звороти, що додають розкішного характеру.

✓ Лігатури. Деякі шрифти можуть включати лігатури, тобто спеціальні комбінації літер, що додають ефект вишуканості та розкіші.

✓ Курсиви. Курсивні літери можуть створювати враження грації та елегантності.

Прикладами шрифтів, які відображають елегантність та розкіш, можуть бути Inter, Lobster, Bodoni, Didot, PlayfairDisplay, та інші вишукані й розкішні шрифти. Ці шрифти ідеально підходять для реклами, логотипів преміум-класу та будь-яких проєктів, де важливо наголосити на вишуканості та розкоші.

6. Шрифти, які відображають дружелюбність і доступність, мають характеристики, які роблять їх ідеальними для проєктів, де важливо створити враження дружнього та доступного стилю.

Ось деякі основні ознаки таких шрифтів:

✓ Прості форми. Шрифти з простими, легкими та зрозумілими формами створюють враження доступності та дружелюбності.

✓ Безсерифні шрифти. Шрифти без серифів (горизонтальних або вертикальних виступів літер) часто сприймаються як більш дружелюбні та сучасні.

✓ Повні літери. Ці шрифти можуть мати повні та круглі літери, що підсилюють враження доброзичливості.

✓ Чіткість та легкість читання. Шрифти повинні бути легко читабельними та чіткими, щоб забезпечити зручне сприйняття.

✓ Сучасний дизайн. Деякі з цих шрифтів можуть мати сучасний та креативний дизайн, що поєднує дружність і сучасність.

Прикладами шрифтів, які відображають дружелюбність і доступність, можуть бути Inter, RobotoMono, NunitoSans, OpenSans, Arial, Quicksand та інші шрифти з легким та дружнім виглядом. Ці шрифти ідеально підходять для вебсайтів, блогів, соціальних медіа, листів споживачам та будь-яких проєктів, де важливо виразити дружелюбність та доступність.

Отже, шрифт вважається одним із найважливіших, цікавих і складних інструментів у арсеналі дизайнерів для різного виду текстового

контенту, зокрема і для імерсивних технологій. Гарнітура шрифту вимагає враховувати логіку її застосування, використовуючи поєднання з іншими шрифтами на сторінці та емоційним сприйняттям текстового матеріалу.

На перший погляд здається, що шрифт повинен фіксувати лише вказаний текстовий зміст і передавати його значення. Звичайно, основне призначення будь-якого напису – передати певне повідомлення, але форма і колір напису також впливатимуть на нас. Напис – це декоративна конструкція, у якій у певному порядку чергуються геометричні графеми літер. Звідси слідує, що спосіб малювання кожної літери, її «образ», спосіб складання та римування букв і слів у рядку є емоційно виразними, тобто справляють свій психологічно-емоційний вплив.

Також можна стверджувати, що кожен елемент дизайну формує досвід користувача. Типографіка вважається важливим елементом, оскільки користувачі витрачають більшу частину часу на читання тексту, а не на перегляд зображень чи відео. Усі параметри дизайну сторінки пов'язані з макетом. Зміст може мати психологічний та емоційний вплив на читачів. Текстові документи містять візуальну та вербальну риторику. Словесна риторика стосується фактичного подання текстової інформації, що впливає на здатність читача зрозуміти й сприйняти зміст. Візуальна риторика впливає на візуальні елементи та формує загальне враження від документа. Візуальні елементи в тексті можуть активізувати семантичну уяву – вони формують окремі семантичні зв'язки між блоками тексту, ширше пояснюють зміст тексту або формують зміст незалежно від того, що викладено в тексті.

Оскільки емоційний стан читача є результатом досвіду користувача, сприйняття шрифту залежить також і від когнітивного рівня. Шрифти безпосередньо впливають на зовнішній вигляд на екрані. Залежно від обсягу тексту, який надається читачеві, необхідно підібрати шрифт, який покращить позитивну атмосферу та сприйняття змісту, що читається. Вибір дизайнером невідповідних шрифтів може викликати негативні емоції та, як наслідок, критичну оцінку інтерфейсу будь-якого ресурсу.

Звичайно, що проведене дослідження є першою спробою щодо рекомендацій використання шрифтів при супроводі публікацій, створених засобами імерсивних технологій, і потребують підтвердження та додаткових досліджень. На нашу думку, варто теж долучити і видавців, які спеціалізуються у створенні електронних видань засобами імерсивних технологій.

Зі сказаного можна зробити висновки, що розроблена методика вибору шрифтів для оформлення текстового контенту видань в імерсивних технологіях дає можливість виокремити параметри шрифту, які впливають на розбірливість, оформлення та стилістику текстової інформації. Досліджено гарнітури за критерієм емоційної складової сприйняття шрифту, що відображає, які емоції, асоціації та настрої викликає в людей використання певного шрифту в дизайні. Ця складова визначає, як читачі реагують на шрифт на емоційному рівні.

3.3. Виокремлення та оцінка факторів вагомості візуального контенту поліграфічних видань для реалізації доповненої реальності

Візуальний контент у поліграфічних виданнях відіграє важливу роль у сприйнятті інформації, адже зображення, ілюстрації, інфографіка та інші графічні елементи допомагають зробити текст більш зрозумілим і привабливим. Коли читач відкриває журнал, книгу або рекламний буклет, перше, що привертає його увагу, — це саме візуальні елементи. Яскраві фотографії, стильні шрифти та гармонійні кольорові рішення створюють враження, яке залишається у пам'яті.

Графічний контент не лише привертає увагу, а й допомагає легше сприймати складну інформацію. Наприклад, інфографіка дозволяє в доступній формі представити статистичні дані або складні процеси. Завдяки цьому читач швидше розуміє зміст і не перевантажується сухими цифрами чи довгими поясненнями.

Емоційний вплив також є важливою функцією візуального контенту. Фотографії з усміхненими людьми, живі кольори чи оригінальні ілюстрації можуть викликати позитивні емоції, зацікавити або навіть підштовхнути до

певних дій. Наприклад, у рекламних буклетах часто використовують яскраві зображення товарів, щоб зацікавити потенційних покупців.

Окрім того, візуальні елементи допомагають структурувати матеріал. Заголовки, підзаголовки, рамки, лінії та піктограми роблять текст впорядкованим і зрозумілим. Завдяки такому підходу читач легко орієнтується на сторінках видання, а інформація сприймається швидше.

Не менш важливою є роль графічного контенту у створенні впізнаваності видання. Використання фірмових кольорів, логотипів та характерного стилю формує образ бренду, який читач запам'ятовує. Наприклад, деякі журнали можна впізнати з першого погляду завдяки унікальному дизайну обкладинки.

Таким чином, візуальний контент у поліграфічних виданнях — це не просто декоративний елемент. Це потужний інструмент для передачі інформації, створення емоційного зв'язку з читачем і формування іміджу видання.

Розглянемо детально кожен з них. Фотографії — це не лише естетичний фактор. У дизайні взаємодії з користувачем зображення відіграють величезну роль у покращенні зручності використання. Більшість користувачів Інтернету зорієнтовані, тобто вони сприймають зображення швидше, ніж текст. Тому зображення часто є першим елементом макета, який відвідувачі бачать, сканують і декодують. Окрім того, вони інформативні та емоційно наповнені, здатні передавати не лише інформацію, а й певну естетику.

Головна перевага фотографій — це їх здатність швидко пов'язувати те, що бачать користувачі в Інтернеті, з людьми та об'єктами в реальному світі. Крім того, з появою різноманітних пристроїв, які дозволяють будь-якому з нас фотографувати будь-що за лічені секунди, фотографія перестала бути ексклюзивом, а стало елементом повсякденної реальності для багатьох користувачів.

Фотографія також є видом мистецтва. З її допомогою ви зможете створити необхідний баланс між автентичністю та естетичністю вашого видання. Фотографії допомагають досягти правильного стилю, щоб звернути

увагу на вашу цільову аудиторію, одночасно створюючи необхідний емоційний контекст. Це одна з причин, чому фотографії часто візуально підтримують текстове наповнення видання.

Пригадаємо, що ілюстрація - це графічне зображення або малюнок, який використовується для ілюстрації, пояснення або доповнення текстового або візуального контенту. Ілюстрації можуть бути створені в різних стилях та техніках, включаючи малюнок, живопис, графіку, векторну графіку та інші. Вони використовуються у різних сферах, таких як медіа, видавництво, реклама, дизайн продуктів, освіта, графічний дизайн, веб-дизайн і багато інших, для візуалізації ідей, концепцій, сценаріїв, товарів, послуг та багато іншого. Ілюстрації можуть бути малюнками персонажів, сценами, діаграмами, інфографікою, обкладинками книг, афішами, логотипами та багатьма іншими графічними елементами, які допомагають передати інформацію та сприймати її візуально.

Піктограми (іконки) є важливим елементом візуального дизайну і використовуються в різних контекстах для передачі інформації, полегшення навігації, покращення сприйняття та взаємодії з інтерфейсами та контентом.

Візуалізація – це активний процес перетворення, стиснення та згортання інформаційних матеріалів у візуальні образи, що вимагає не лише відтворення зорових образів, а й конструювання зорових образів.

Термін «візуалізація» пояснюється стосовно процесу створення зорового образу, тоді як термін «наочність» пов'язаний із сформованим образом навчального об'єкта. Це дає підстави стверджувати, що концепція візуалізації навчальних матеріалів виходить за рамки, визначені терміном «наочність».

Використання візуалізації в навчальному процесі створює передумови для підвищення якості освіти, оскільки вона виступає як активний процес передачі інформаційного змісту. Візуалізація є потужним інструментом навчання, і її використання має бути мотивованим, вигідним з педагогічної точки зору та систематично підтримуватися.

Візуалізації графічно передають інформацію та дозволяють читачам легше сприймати складні дані чи концепції.

Під час юзабіліті-тестувань зображень важливо оцінювати різні аспекти, що впливають на сприйняття та взаємодію користувачів з цими зображеннями.

Означимо можливі критерії оцінки та показники (таблиця 3.5):

Таблиця 3.5

Показники та критерії оцінки візуального контенту

Критерій оцінки	Показник	Метод вимірювання	Примітки
Тип зображення	Категорія: фото людей, продукти, ілюстрації, графіки	Експертна оцінка	Аналізували, який тип зображення більше залучає аудиторію та покращує конверсію
Емоційна складова	Емоційна реакція користувачів (позитивна, нейтральна, негативна)	Опитування, фокус-групи	Використовували шкалу емоційного впливу
Стилістика зображень, композиція	Відповідність загальному дизайну сторінки	Експертна оцінка	Оцінювали, наскільки стилістика та композиція гармонійно вписується у дизайн
Сприйняття тематики	Відповідність зображення темі сторінки	Експертна оцінка, опитування	Вивчали, чи користувачі сприймають зображення як доречні та відповідні тематиці сторінки
Колір та контрастність	Оцінка візуальної кольорової гами зображень	Опитування, фокус-групи	Оцінювали суб'єктивну привабливість зображень, особливо кольори
Залежність від контексту	Наскільки зображення викликають довіру та відповідають контексту	Експертна оцінка,	Порівнювали, чи зображення підтримують асоціацію з брендом чи продуктом

Ці критерії допомагають забезпечити, що зображення відповідають потребам користувачів та досягають визначених цілей проєкту. Вони можуть бути адаптовані та розширені залежно від конкретного контексту та завдань тестування.

Отже, виконаємо оцінку впливу зображень на сприйняття інформації у візуальному дизайні. Проведемо експертне опитування стосовно того, якою мірою різні види зображень у візуальному дизайні задовольняють вимоги

сприйняття, емоційна реакція, залежність від контексту, колір та контрастність й композиція (використовується 5-бальна шкала оцінювання). В експерименті задіяні студенти третього курсу. Таблицю 3.6. заповнює автор і експерти.

Таблиця 3.6

Експертна оцінка зображень автором

Вимоги	Зображення			
	фотографії	ілюстрації	пиктограми	візуалізація
сприйняття	5	2	4	3
емоційна реакція	3	5	2	4
залежність від контексту	2	4	5	3
колір та контрастність	5	4	2	3
композиція	2	5	3	4

За результатами експертного аналізу заповнено зведену таблицю 3.7 щодо вимоги сприйняття.

Таблиця 3.7

Експертна оцінка зображень за критерієм «сприйняття»

Зображення	Експерти							
	1	2	3	4	5	6	...	N
фотографії	5	2	4	4	3	4		3
ілюстрації	3	5	3	4	3	4		4
пиктограми	2	4	5	3	5	4		3
візуалізація	5	4	2	4	3	4		3

Побудовано графік (рис. 3.5), на якому відображено власні оцінки та оцінки експертів.

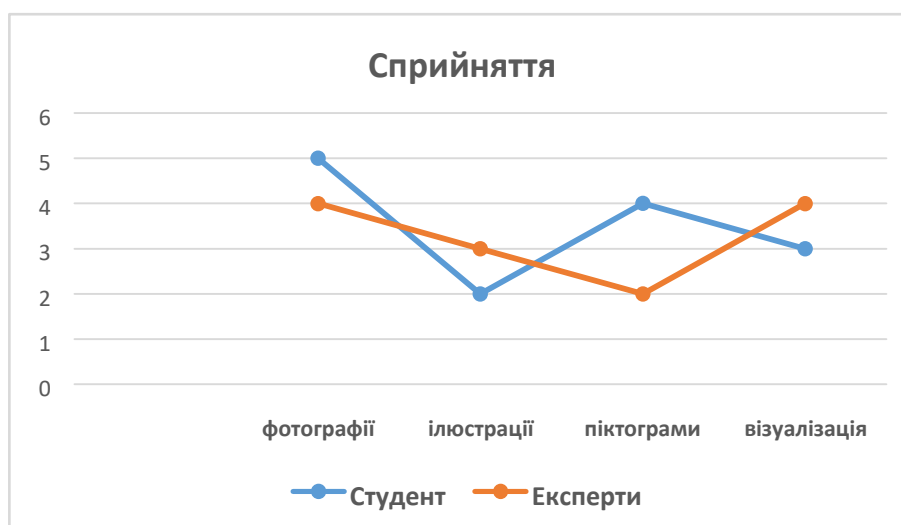


Рис. 3.5. Візуалізація, яка показує власні оцінки та оцінки експертів

Продовжуємо дослідження, тому за результатами експертного аналізу заповнено зведену таблицю 3.8 щодо критерію емоційної реакції.

Таблиця 3.8

Експертна оцінка зображень за критерієм «емоційна реакція»

Зображення	Експерти							
	1	2	3	4	5	6	...	N
фотографії	5	4	3	4	3	4		4
ілюстрації	3	5	4	5	3	5		5
піктограми	2	3	5	3	5	4		3
візуалізація	5	2	2	2	3	2		2

Побудовано графік (рис. 3.6), на якому відображено власні оцінки та оцінки експертів.

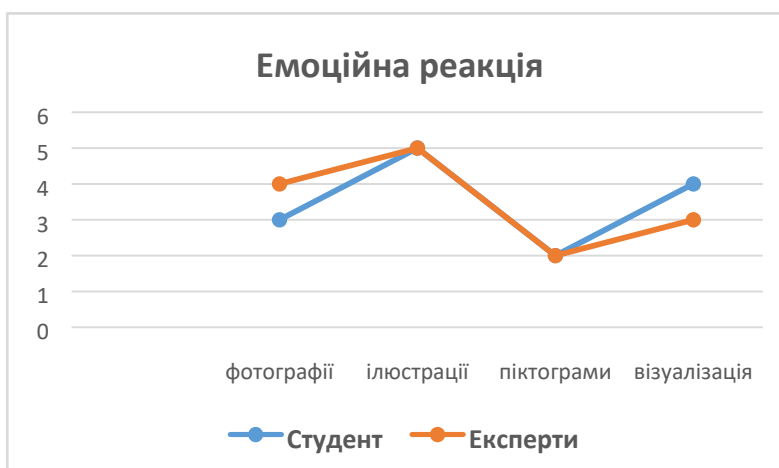


Рисунок. 3.6. Візуалізація, яка показує власні оцінки та оцінки експертів

За результатами експертного аналізу заповнено зведену таблицю 3.9 щодо критерію «залежність від контексту».

Таблиця 3.9

Експертна оцінка зображень за критерієм «залежність від контексту»

Зображення	Експерти							
	1	2	3	4	5	6	...	N
фотографії	2	4	3	3	3	4		5
ілюстрації	3	5	4	5	3	5		4
піктограми	4	3	5	4	5	4		3
візуалізація	5	2	2	2	3	2		2

Побудовано графік (рис. 3.7) на якому відображено власні оцінки та оцінки експертів.

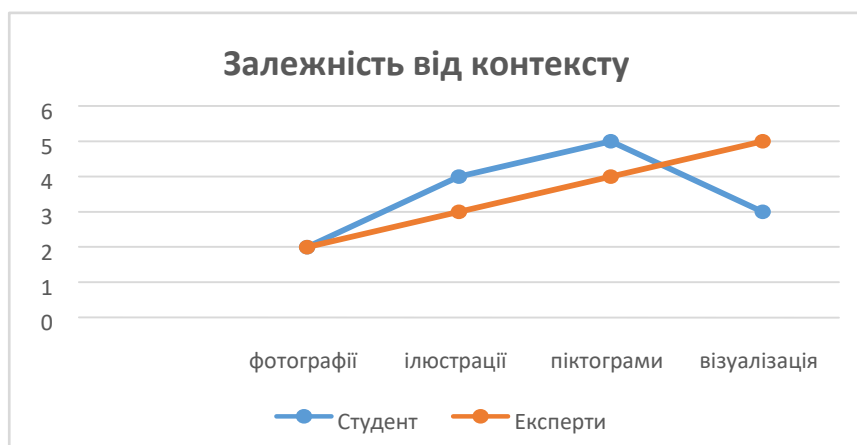


Рисунок. 3.7 Візуалізація, яка показує власні оцінки та оцінки експертів

За результатами експертного аналізу заповнено зведену таблицю 3.10 щодо критерію «колір та контрастність».

Таблиця 3.10

Експертна оцінка зображень за критерієм «колір та контрастність»

Зображення	Експерти							
	1	2	3	4	5	6	...	N
фотографії	2	5	3	3	3	3		3
ілюстрації	3	4	4	5	3	5		4
піктограми	4	3	5	4	5	4		5
візуалізація	5	2	2	2	3	2		2

Побудовано графік (рис. 3.8) на якому відображено власні оцінки та оцінки експертів.

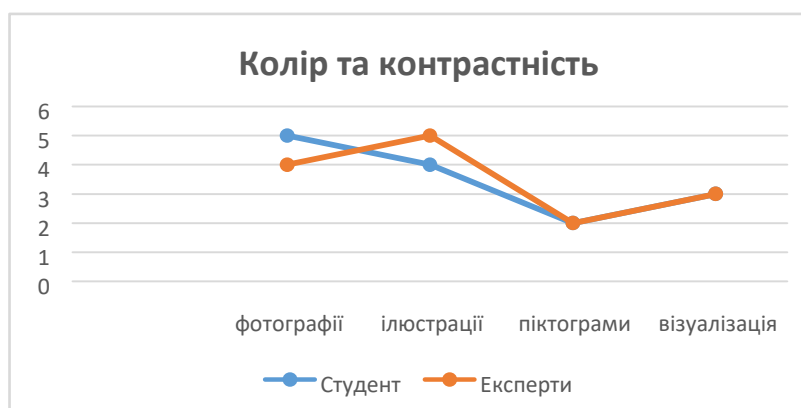


Рисунок. 3.8 Візуалізація, яка показує власні оцінки та оцінки експертів

За результатами експертного аналізу заповнено зведену таблицю 3.11 щодо критерію «композиція».

Таблиця 3.11

Експертна оцінка зображень за критерієм «композиція»

Зображення	Експерти							
	1	2	3	4	5	6	...	N
фотографії	2	4	3	3	3	4		5
ілюстрації	3	5	4	5	3	5		4
піктограми	4	3	5	4	5	4		3
візуалізація	5	2	2	2	3	2		2

Побудовано графік (рис. 3.9) на якому відображено власні оцінки та оцінки експертів.

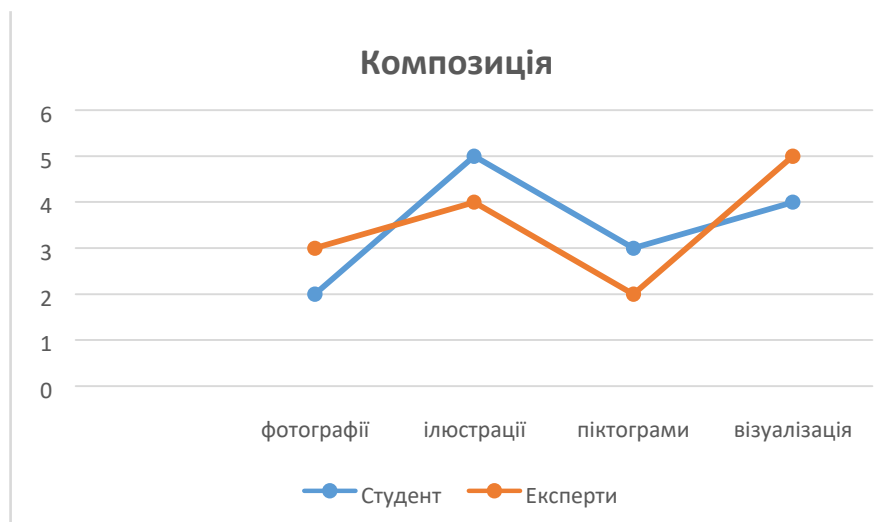


Рис. 3.9. Візуалізація, яка наочно показує власні оцінки та оцінки експертів

Використовуючи метод попарних порівнянь, проведемо аналіз критеріїв. Цей метод, також відомий як аналіз ієрархій, використовується для прийняття рішень та інших областей, де потрібно порівняти альтернативи за їх важливістю чи перевагами. Ця стратегія допомагає ранжувати або вибирати опції з урахуванням їх відносної важливості. Спочатку складемо список всіх альтернатив (ознак зображень), які потрібно порівняти чи ранжувати. Для зручності представимо їх у вигляді таблиці 3.12.

Таблиця 3.12

Альтернативи «ознаки» зображень

Умовне позначення	Значення характеристики
H_1	сприйняття
H_2	емоційна реакція
H_3	залежність від контексту
H_4	колір та контрастність
H_5	композиція

Для кожної пари характеристик (критеріїв) ми проведемо порівняння за характеристиками, які є ключовими для прийняття рішення. Далі визначимо вагу або значущість кожної характеристики чи критерію в порівнянні з іншими (таблиця 3.12). Для кожної альтернативи розраховуються загальні бали на основі результатів попарних порівнянь та вагових коефіцієнтів. Експерти використовують 9-бальну шкалу, де 1 представляє найменший бал, а 9 — найвищий.

Таблиця 3.13

Експертні оцінки альтернатив

критерії	Експерти										Σ	Σ^2	Ранг
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
H₁	6	6	7	6	5	7	5	6	7	5	60	3600	25
H₂	2	3	3	5	3	2	5	2	4	4	33	1089	43
H₃	1	5	1	4	5	1	2	2	2	3	26	676	52
H₄	2	4	3	3	4	3	4	4	2	2	31	961	34
H₅	6	7	6	8	6	8	6	7	6	5	61	3721	17
Сума											211	10047	

Для оцінки узгодженості між експертами застосуємо коефіцієнт конкордації (див. розділ 3.2). Коефіцієнт конкордації часто використовується для оцінки надійності експертних оцінок. Наприклад, його можна використовувати для оцінки того, наскільки добре різні судді погоджуються в своїх оцінках якості продукту, ефективності маркетингової кампанії або результатів наукового дослідження.

Розраховуємо коефіцієнт конкордації (див. розділ 3.2):

$$S = 10047 - \frac{258^2}{9} = 10047 - 4946 = 5101$$

$$K = \frac{12 \times 7779}{10^2(9^3 - 9)} = \frac{61212}{72900} = 0,9$$

Отримане значення коефіцієнту конкордації свідчить про належну узгодженість експертних оцінок.

Для порівняння узгодженості експертних суджень використаємо матрицю попарних порівнянь та індекс узгодженості. Тому, для визначення числової ваги відповідних критеріїв потрібно побудувати матрицю попарних порівнянь. При виконанні оцінки експерт встановлює, наскільки один критерій переважає інший. Для цього вони використовують шкалу відносної важливості об'єктів за Сааті (див. розділ 2.3).

Матриця попарних порівнянь, забезпечує можливість здійснити попарне порівняння елементів на кожному рівні ієрархічної структури.

Матриця попарних порівнянь

Н =		Н ₁	Н ₂	Н ₃	Н ₄	Н ₅
	Н ₁	1	3	2	3	3
	Н ₂	1/3	1	3	5	4
	Н ₃	1/2	1/3	1	3	3
	Н ₄	1/3	1/5	1/3	1	1
	Н ₅	1/3	1/4	1/3	1	1

Компонента вектору пріоритетів обчислюється (див. розділ 2.3):

$$V_n = (0,365; 0,299; 0,178; 0,076; 0,08).$$

$$V_{n2} = (5,72; 5,54; 5,22; 5,18; 5,14).$$

Наступним етапом є визначення оцінки узгодженості експертних суджень.

З розрахунків отримано $\lambda_{\max} = 5,36$, яка є основною характеристикою для встановлення міри узгодженості експертних суджень, щодо попарних порівнянь критеріїв у задачах з лінгвістично невизначеними величинами, для їх розв'язання застосовують теорію нечітких множин. Оцінка одержаного рішення визначається індексом узгодженості $IU = \lambda_{\max} - n / n - 1$.

Результат $IU = 0,09$. Порівнюючи значення індексу узгодженості і табличне для 6 об'єктів становить 1,12 [10].

Отримуємо нерівність $0,09 < 0,1 \times 1,12$. Дана нерівність свідчить про належну узгодженість експертних суджень.

В цілому, метод попарних порівнянь є цінним інструментом для порівняння об'єктів за певною характеристикою. Він є ефективним, точним і надійним, але може бути трудомістким для порівняння великого числа об'єктів.

Отже, зображення мають суттєвий вплив на сприйняття інформації у візуальному дизайні. Вони не лише доповнюють текст, а й роблять контент більш доступним та емоційно насиченим. Використання відповідно підібраних зображень суттєво впливає на емоційний стан аудиторії. Емоційно заряджені графічні елементи сприяють легшому взаєморозумінню та запам'ятовуванню інформації. Звісно, що зображення можуть бути потужним інструментом для підсилення ключових повідомлень або ідей. Їх використання допомагає звертати увагу на важливі аспекти та робити контент запам'ятовуванішим.

Варто відмітити те, що зображення чітко допомагають в структурній організації змісту, роблячи його більш доступним та легко читабельним. Вони додають візуальну ієрархію та впорядковують інформацію. Використання зображень, які відповідають брендовому стилю, сприяє підсиленню брендового образу та створенню єдиної візуальної ідентичності. В свою чергу контекстне використання графічних елементів є важливою складовою для забезпечення їхньої відповідності тематиці та змісту. Вони повинні доповнювати контент та нести додаткове змістове навантаження. Також важливо враховувати відгуки користувачів та проводити аналіз аналітики для постійного вдосконалення використання зображень та їхнього впливу на сприйняття контенту.

Усі ці аспекти свідчать про важливість виваженого та дбайливого використання зображень для досягнення максимальної ефективності та залучення цільової аудиторії.

3.4. Синтез моделі пріоритетної дії конструктивних елементів друкованого видання з елементами доповненої реальності на основі методу аналізу ієрархій

Поліграфічне видання з елементами доповненої реальності (AR) поєднує традиційні друковані матеріали з цифровими технологіями. Це дозволяє

користувачу взаємодіяти з контентом через спеціальні пристрої, наприклад, смартфони чи планшети. Таке видання складається з таких конструктивних елементів:

- друкована основа;

Це фізичний носій інформації, а саме: книга, журнал, брошура, плакат тощо. Він містить текст, ілюстрації, графічні елементи, які слугують базою для видання.

- маркери доповненої реальності;

Ними виступають – спеціальні зображення, символи або коди (наприклад, QR-коди), які надруковані на сторінках. Ці маркери розпізнаються ARдодатком через камеру пристрою і запускають цифровий контент. Вони мають бути чіткими та правильно розташованими.

- цифровий контент;

Тобто, елементи, які з'являються при активації доповненої реальності. Ними можуть бути:

- ✓ 3D-моделі (наприклад, об'ємні об'єкти, які можна розглядати з різних кутів);
- ✓ відео або анімація;
- ✓ аудіофайли (звуковий супровід, пояснення);
- ✓ інтерактивні елементи (кнопки, ігри, опитування).
- програмне забезпечення (AR-додаток);

Мобільний додаток або платформа, яка обробляє маркери та відображає цифровий контент. Користувач завантажує додаток, сканує маркер, і програма "оживляє" друковане видання.

- технічна інтеграція;

Зв'язок між друкованим носієм і цифровим контентом. Це включає розробку AR-елементів, їхнє тестування та забезпечення сумісності з різними пристроями.

- інструкції для користувача.

Часто в самому виданні додають пояснення, як активувати доповнену реальність (наприклад, "Відскануйте цей код через додаток" або "Наведіть камеру на зображення").

Проведемо дослідження щодо конструктивних елементів друкованого видання з елементами доповненої реальності. Аналогічно до попередніх досліджень застосуємо метод аналізу ієрархій (див. розділ 2.3). Ця проста методика дає можливість перетворити логічні рішення та дискусійні питання в математичну площину.

Експертна група працюючи над побудовою орієнтованого графу визначають залежності одних елементів над іншими, а матриця досяжності визначає можливі шляхи між елементами. Таким чином встановлюються відповідні рівні в ієрархічній структурі.

Отже, кожному елементу друкованого видання присвоєно номер для кращої наочності (табл.14):

Таблиця 3.14

Сукупність досліджуваних елементів друкованого видання з елементами доповненої реальності

Елементи множини $K=\{k_1, k_2, k_3...k_6\}$	Назва конструктивного елементу видання	Лінгвістична змінна
k_1	друкована основа	ДО
k_2	маркери доповненої реальності	МДР
k_3	цифровий контент	ЦК
k_4	програмне забезпечення	ПЗ
k_5	технічна інтеграція	ТІ
k_6	інструкції для користувача	ІК

Досліджувану підмножину конструктивних елементів та всі можливі зв'язки між ними представимо у вигляді орієнтованого графа (рис. 3.10).

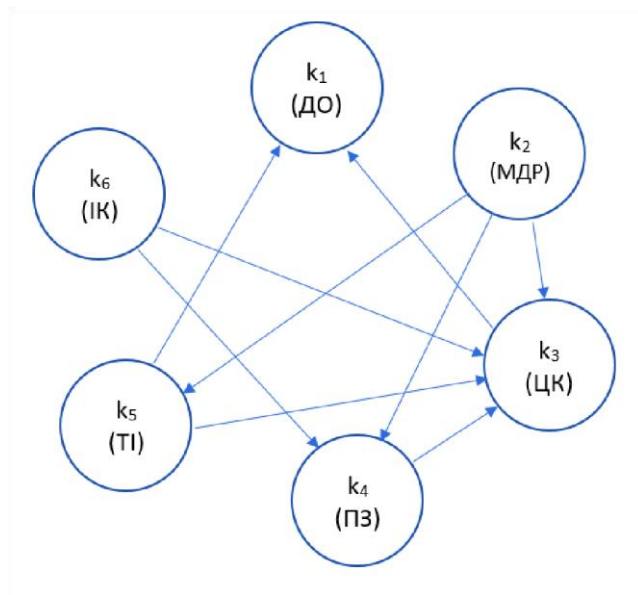


Рисунок 3.10. Вихідний граф зв'язків пріоритетної дії конструктивних елементів друкованого видання з елементами доповненої реальності

У вершинах представлено елементи підмножини, а дуги з'єднують суміжні пари вершин, які мають зв'язок. Отже, орієнтований граф наочно демонструє залежність одного елемента над іншим.

Наступний етап визначення пріоритетності дії конструктивних елементів друкованого видання включає побудову матриці досяжності (див. розділ 2.3). Пригадаємо, що вона включає всі можливі зв'язки між елементами ієрархічної структури. Тобто, якщо з вершини i можна потрапити в j , тоді показник матриці набуває значення 1, в іншому випадку – 0. Наочно матриця досяжності D подана в таблиці 3.15.

Таблиця 3.15

Матриця досяжності D

		ДО	МДР	ЦК	ПЗ	ТІ	ІК
$D =$	ДО	1	0	0	0	0	0
	МДР	1	1	1	1	1	0
	ЦК	1	0	1	0	0	0
	ПЗ	1	0	1	1	0	0
	ТІ	1	0	1	0	1	0
	ІК	1	0	1	1	0	1

Обрана методика визначає певний рівень ієрархії пріоритетної дії критеріїв наступним чином: якщо у вихідному графі (рис. 3.10) існує зв'язок, який має шлях з вершини i до вершини j , тоді можна вважати, що вершина j досягається з вершини i . Цю вершину ($Z(k_i)$) називають досягнутою. Відповідно, можна вважати, що вершина i є попередницею вершини j , якщо вона досягається з цієї вершини. Ця вершина ($B(k_i)$) називається попередницею, а перетин цих підмножин буде підмножина $R(k_i) = Z(k_i) \cap B(k_i)$.

За описаним вище правилом визначаємо ітераційні цикли ієрархічної моделі (табл.3.16-3.18).

Таблиця 3.16

Перша ітерація

k_i	$Z(h_i)$	$B(h_i)$	$Z(h_i) \cap B(h_i)$
1	1	1, 2, 3, 4, 5, 6	1
2	1, 2, 3, 4, 5	2	2 ←
3	1, 3	2, 3, 4, 5, 6	3
4	1, 3, 4	2, 4, 6	4
5	1, 3, 5	2, 5	5
6	1, 3, 4, 6	6	6 ←

Результат першої ітерації показує, що елементи з номерами 2 та 6, які відповідають критеріям інструкції для користувача та маркери доповненої реальності є критеріями найнижчого рівня ієрархічної моделі пріоритетів конструктивних елементів друкованого видання з елементами доповненої реальності.

Формуємо таблицю 3.17 наступним чином: викидаємо з таблиці 3.16 рядки з номерами 2 та 6, а в другому стовпці викреслюємо цифри 2 та 6.

Таблиця 3.17

Друга ітерація

k_i	$Z(h_i)$	$B(h_i)$	$Z(h_i) \cap B(h_i)$
1	1	1, 3, 4, 5	1
3	1, 3	3, 4, 5	3
4	1, 3, 4	4	4 ←
5	1, 3, 5	5	5 ←

Аналогічно визначаємо наступний рівень в ієрархічній моделі (табл. 3.18).

Таблиця 3.18

Третя ітерація

k_i	$Z(h_i)$	$B(h_i)$	$Z(h_i) \cap B(h_i)$
1	1	1, 3	1
3	1, 3	3	3 ←

Таким чином, в результаті виконання дій над елементами початкового графу (рис. 3.10) одержано ієрархічну модель пріоритетної дії конструктивних елементів друкованого видання з елементами доповненої реальності (рис. 3.11)

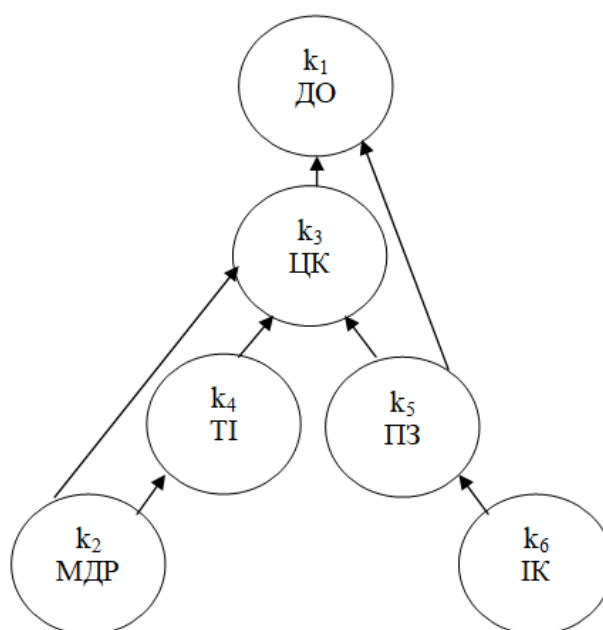


Рисунок 3.11. Ієрархічна модель пріоритетної дії конструктивних елементів друкованого видання з елементами доповненої реальності

Отримана ієрархічна модель показує рівні досліджуваних елементів в ієрархічній структурі. Найвищий рівень отримали елементи друкована основа та цифровий контент. Тобто це ті елементи, які забезпечують можливість створювати цифровий контент доповненої реальності відповідно до друкованої основи поліграфічного видання.

Висновок до розділу 3

1. З проведеного опитування виокремлено основні елементи контенту, який присутній при реалізації імерсивних технологій.

2. Виокремлено та проведено оцінку вагомості текстового контенту. Визначено коефіцієнт конкордації, який використано для вимірювання ступеня згоди або кореляції між різними джерелами даних або респондентами в контексті опитувань, оцінок або рейтингів. Даний коефіцієнт склав 0,8, що свідчить про належну узгодженість експертних оцінок.

3. Відзначено, що шрифт – один з ключових, найцікавіших та найскладніших інструментів у арсеналі дизайнерів, коли йдеться про різноманітний текстовий контент, зокрема, для імерсивних технологій. Гарнітура шрифту вимагає ретельного аналізу логіки її використання, враховуючи комбінації з іншими шрифтами на сторінці та, звичайно ж, емоційне сприйняття тексту.

4. Використовуючи метод ранжування чи попарних порівнянь, проведено оцінку факторів, що впливають на вибір візуального контенту для реалізації доповненої реальності та розраховано коефіцієнт конкордації. Отримане значення коефіцієнту конкордації, а саме 0,9, свідчить про належну узгодженість експертних оцінок.

5. Підтверджено, що використання зображень відіграє ключову роль у формуванні візуального сприйняття. Вони виходять за межі простого доповнення тексту, сприяючи кращому засвоєнню інформації та

збагаченню емоційного досвіду. Їхнє застосування допомагає акцентувати увагу на важливих деталях та робити контент більш незабутнім.

6. Проведено синтез моделі пріоритетної дії конструктивних елементів друкованої продукції використовуючи метод аналізу ієрархій.

7. Отримана чотирьохрівнева модель зображає вагомість досліджуваних складових в ієрархічній структурі. Найвищу позицію здобули компоненти "друкована основа" та "цифровий контент". Це означає, що саме вони забезпечують якість розробки цифрового контенту доповненої реальності, орієнтованого на друковану основу поліграфічного продукту.

РОЗДІЛ 4.

УДОСКОНАЛЕННЯ ІМЕРСИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ У ВИГЛЯДІ ТЕХНОЛОГІЙ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ТА РЕАЛІЗАЦІЇ КОНТЕНТУ ПОЛІГРАФІЧНИХ ВИДАНЬ

4.1. Аналіз традиційних технологій створення доповненої реальності

Доповнена реальність – надзвичайно цікава та захоплююча технологія. За останнє десятиріччя вона зробила великий крок вперед і на даний момент є однією з найбільш перспективних технологій. Зацікавленість в доповненій реальності проявляють найбільші світові ІТ-компанії, які вкладають великі інвестиції в розвиток цієї технології, що сприяє її поширенню і удосконаленню.

На сьогоднішній день існує багато методів для розробки доповненої реальності і з кожним днем з'являються нові способи. Кожен з методів приносить щось нове в розвиток технології та допомагає зробити крок вперед.

У сучасному світі технологія доповненої реальності (AR) стрімко набирає популярність завдяки своїй здатності інтегрувати цифровий контент і фізичне середовище в режимі реального часу. Доповнена реальність знаходить застосування в багатьох областях від освіти і медицини до маркетингу і розваг, інтерактивних і корисних додатків.

Доповнена реальність— це сучасна технологія яка доповнює звичну реальність елементами яких насправді не існує але люди можуть їх бачити і частково навіть взаємодіяти з ними в режимі реального часу.

AR використовує технологію комп'ютерного зору, одночасну локалізацію, картографування та відстеження просторової глибини (дані датчиків, що обчислюють відстань до об'єкта) для відображення відповідного вмісту користувачеві (рис. 4.1). Це дозволяє камері збирати, передавати та обробляти дані та відображати цифровий вміст, пов'язаний з тим, що бачить користувач [128, 129].

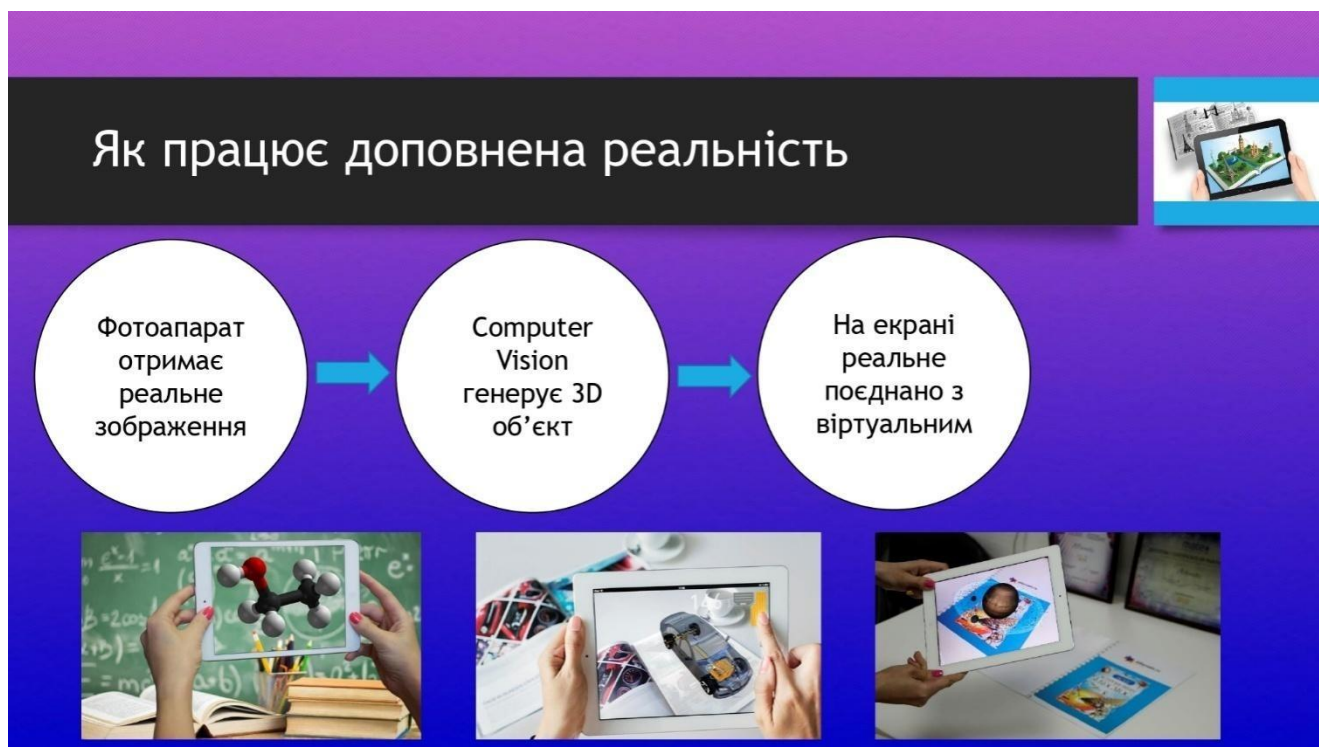


Рис. 4.1. Як працює доповнена реальність

Розглянемо одну з традиційних технологій створення мобільного додатку для реалізації доповненої реальності.

Одним з найпотужніших інструментів для розробки таких додатків є кросплатформна програма, яка надає розробникам широкий спектр можливостей для створення 2D і 3D контенту це ігровий движок Unity. Для створення будь якої технології чи то віртуальна реальність VR, чи то доповнена реальність AR, чи то змішана реальність MR можна використати програмне забезпечення Unity а для створення доповненої реальності додатково потрібно скористатися ще програмою Vuforia.

Unity (рис. 4.2.) — багатоплатформовий інструмент для розроблення відеоігор і застосунків. Створені за допомогою Unity програми працюють на настільних комп'ютерних системах, мобільних пристроях та гральних консолях у дво- та тривимірній графіці, та на пристроях віртуальної чи доповненої реальності. Застосунки, створені за допомогою Unity, підтримують DirectX та OpenGL.



Рис. 4.2. Значок програми Unity

Програма Unity має багато версій (таблиця 4.1). Кожна з яких орієнтована на різні потреби розробників. З кожною новою версією Unity покращують свої функції технології кожного року.

Таблиця 4.1.

Опис основних версій Unity

№	Версія Unity	Опис
1	Unity 1.0	Перша версія, випущена на конференції Apple Worldwide Developers Conference.
2	Unity 2.x	Додано підтримку Windows.
3	Unity 3.x	Значний прорив: підтримка мобільних платформ (iOS, Android).
4	Unity 4.x	Початкова інтеграція з технологією доповненої реальності.
5	Unity 5.x	Розширення функцій фізики. Безкоштовна версія без обмежень для роялті.
6	Unity 2017	Інструменти для роботи з 2D, поліпшення анімацій та інтерфейсу користувача.
7	Unity 2018	Інтеграція з Visual Studio. Додано інструменти Scriptable Render Pipeline (HDRP і URP).
8	Unity 2019	Покращено 2D-інструменти. Підтримка нових платформ (Stadia, ARKit 3).
9	Unity 2020	Нові можливості для роботи з XR (доповнена реальність).
10	Unity 2021	Оптимізація для мобільних платформ.
11	Unity 2022	Нові інструменти для художників (Sprite Swap, Improved UI Toolkit). Покращення продуктивності фізичних симуляцій.
12	Unity 2023	Підтримка нових стандартів, таких як WebGPU. Розширено можливості кросплатформеності.
13	Unity 6	Офіційна інтеграція генеративного AI. Покращено інструменти AR/VR. Інтеграція нових алгоритмів освітлення для реалістичної графіки.

Програма-редактор Unity (рис. 4.3.) працює на Windows, iOS, Windows, macOS і Linux, а сам рушій може запускатися на 25 платформах, а саме Android, Magic Leap, Vuforia, Google ARCore, Apple ARKit, Facebook

Gameroom, PlayStation 5, Xbox Series X та Series S, Nintendo Switch, tvOS, Samsung Smart TV, Android TV, Daydream, Windows Mixed Reality, Gear VR, PlayStation VR, Steam VR, Google Cardboard, Oculus Rift, 3DS, Xbox One, PlayStation Vita, PlayStation 4, WebGL, Linux, Mac, Universal Windows Platform, Tizen.

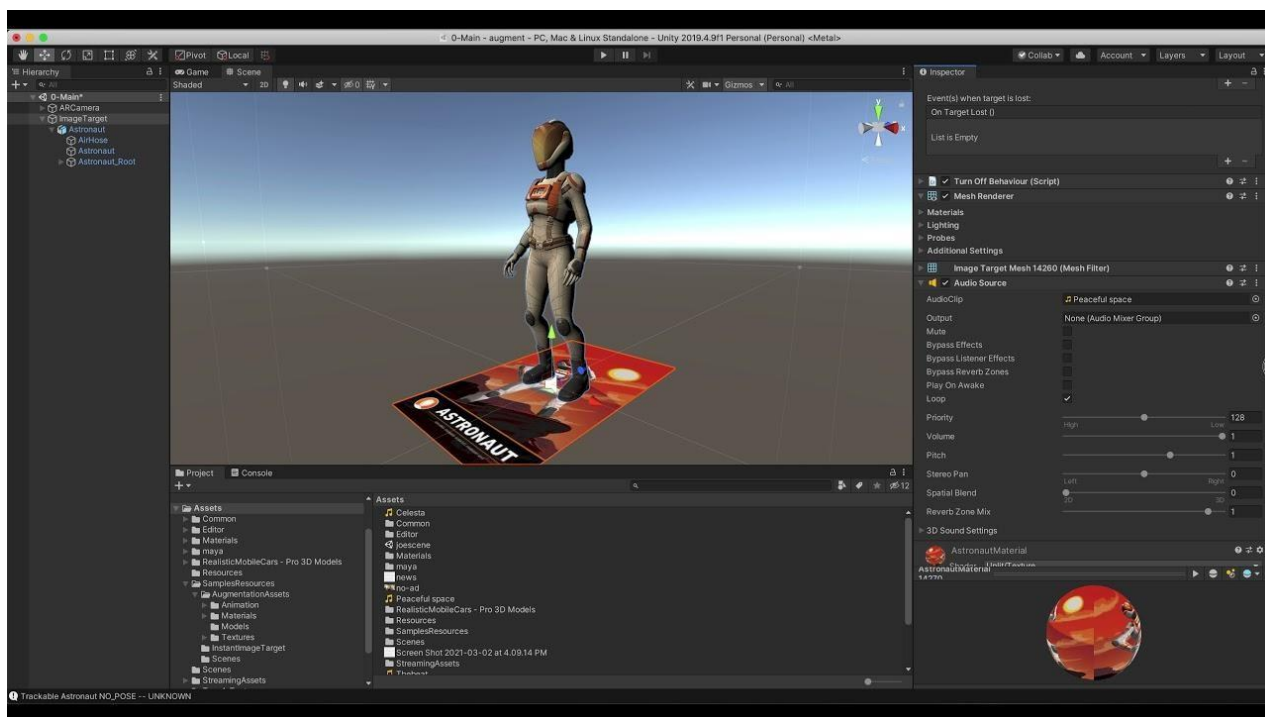


Рис. 4.3. Робоче вікно програми Unity

Робота з ресурсами. Редактор Unity має інтерфейс, що складається з різних вікон, які можна вільно розташовувати. Це дозволяє вам налагоджувати вашу гру або додаток у редакторі. Основними вікнами є вікно перегляду ресурсів проекту, інспектор поточних об'єктів, вікно попереднього перегляду, вікно перегляду сцени та вікно перегляду ієрархії ресурсів. Логіка гри написана на C#, раніше можна було використовувати Boo або JavaScript, але розробники відмовилися це підтримувати.

Проекти Unity поділяються на сцени (рівні). Сцени - це окремі файли, що містять власний ігровий світ з власним набором об'єктів, сценаріїв та налаштувань. Сцени можуть містити як модельні об'єкти (наприклад, декорації, персонажі та об'єкти оточення), так і порожні ігрові об'єкти (які не мають

моделей, але визначають поведінку інших об'єктів (наприклад, тригери подій, точки збереження прогресу)). Об'єкти можна розміщувати, обертати, масштабувати та скриптувати. Об'єкти мають назви (в Unity ви можете мати два або більше об'єктів з однаковими назвами), теги (мітки) та шари для відображення. Наприклад, об'єкт на сцені повинен мати компонент Transform. Об'єкти з видимою геометрією також за замовчуванням мають компонент Mesh Renderer, який робить модель видимою. Різні моделі можна групувати в набори (збірки) для швидкого доступу до них. Наприклад, моделі будівель зі спільною тематикою.

Unity підтримує фізику твердого тіла, фізику тканини та фізику регдоллів. Редактор має систему успадкування об'єктів, де дочірні об'єкти повторюють всі зміни положення, повороту і масштабу батьківського об'єкта. Скрипти в редакторі приєднуються до об'єктів як окремі компоненти.

У 2D-іграх Unity переважно використовує спрайти, у 3D-іграх - 3Dмоделі (сіті), які можуть бути текстурованими (визначають зовнішній вигляд поверхні об'єкта), матеріалізованими (визначають реакцію поверхні на різні фактори), затіненими (розсіюють відбите світло тощо) застосовуються (невеликі скрипти, які обчислюють зміну кольору кожного пікселя відповідно до заданих параметрів). Обидва типи використовують системи частинок для представлення речовин, таких як рідини або дим.

Unity підтримує стиснення текстур, мапування, різні налаштування роздільної здатності екрану для кожної платформи, мапування нерівностей, мапування віддзеркалень, мапування паралаксу, затінення навколишнього світла у просторі екрану, динамічні тіні за допомогою мап тіней, рендеринг текстур, зернистість, глибину різкості, розмиття в русі, віртуальні відблиски об'єктива, ореоли навколо джерел світла та інші ефекти повноекранної обробки зображень [130, 131].

Діалогове вікно Unity складається з таких палітр як: Hierarchy, Scene, Simulator, Inspector, Project, Console. Ще для Unity потрібно скачати SDK JDK

NDK щоб можна було зарендити на смартфон. Їх можна встановити, для цього потрібно зайти на вкладку Edit — Preferences — External Tools. Як що їх немає потрібно відкрити Unity Hub і там їх скачати. Для того щоб можна було зарендити потрібно зайти в File — Build Settings. Щоб можна було скачувати матеріали в Unity то він має свій магазин, що називається Unity Asset Store. Її можна відкрити прямо через програма Window — Asset Store А для того щоб можна бачити свої скачувані з магазину матеріали потрібно зайти на вкладку window — Package Manager.

Головне вікно редактора складається з кількох вкладок, так званих Видами (Views). В Unity є кілька типів видів - усі вони призначені для конкретних цілей, описаних у цьому розділі.

Розташування вікон за замовчуванням дає вам практичний доступ до найпоширеніших вікон. Якщо ви ще не знайомі з різними вікнами в Unity, ви можете визначити їх за назвою на вкладці. Нижче наведено найпоширеніші та корисні вікна в стандартних положеннях:

- Вікно Project відображає вашу бібліотеку активів, доступних для використання у вашому проекті. Коли ви імпортуєте ресурси у свій проект, вони з'являються тут.
- Перегляд Scene дозволяє візуально переміщатися та редагувати сцену. Перегляд сцени може відображати 3D або 2D перспективу, залежно від типу проекту, над яким ви працюєте.
- Вікно Hierarchy — це ієрархічне текстове представлення кожного об'єкта сцени. Кожен елемент у сцені має запис в ієрархії, тому два вікна за своєю суттю пов'язані. Ієрархія розкриває структуру того, як об'єкти прикріплені один до одного.
- Вікно Inspector дозволяє переглядати та редагувати всі властивості поточного вибраного об'єкта. Оскільки різні типи об'єктів мають різні набори властивостей, макет і вміст вікна інспектора відрізнятимуться.
- Toolbar забезпечує доступ до найважливіших робочих функцій. Ліворуч він містить основні інструменти для керування видом сцени та

об'єктами в ньому. У центрі знаходяться елементи керування відтворенням, паузою та кроками. Кнопки праворуч дають вам доступ до ваших хмарних служб Unity та облікового запису Unity, потім меню видимості шару та, нарешті, меню макета редактора (яке надає кілька альтернативних макетів для вікон редактора та дозволяє зберігати ваші власні макети).

Панель інструментів не є окремим вікном і є єдиною частиною інтерфейсу Unity, яку ви не можете змінити [132, 133].

Для того щоб можна було розробити доповнену реальність для наших потреб, маємо ще скористатися програмним забезпеченням плагіном Vuforia (рис. 4.4). **Vuforia** це набір для розробки програмного забезпечення доповненої реальності (SDK) для мобільних пристроїв, який дозволяє створювати додатки доповненої реальності.



Рис. 4.4. Логотип програми Vuforia

Vuforia - це набір для розробки програмного забезпечення (SDK) для мобільних пристроїв, який дозволяє створювати додатки доповненої реальності (AR). Він використовує технологію комп'ютерного зору для розпізнавання та відстеження плоских зображень та 3D-об'єктів у режимі реального часу. Ця функція реєстрації зображень дозволяє розробникам реєструвати віртуальні об'єкти, такі як 3D-моделі та інші мультимедійні матеріали, а також об'єкти реального світу, що відображаються камерами мобільних пристроїв, для відстеження положення та орієнтації зображення в режимі реального часу, гарантуючи, що точка зору глядача на об'єкт збігається з перспективою об'єкта насправді. Це створює враження, що віртуальний об'єкт є частиною реальної сцени.

Vuforia SDK підтримує різні типи 2D та 3D-об'єктів, включаючи немарковані зображення, 3D-моделі та маркери адресних посилань, які називаються vumarks. Інші функції SDK включають 6 ступенів свободи в локалізації просторових пристроїв, виявлення локалізованої оклюзії за допомогою "віртуальних кнопок", вибір цільового зображення під час виконання та можливість програмного створення та переналаштування цільових наборів під час виконання.

Vuforia надає інтерфейс прикладного програмування (Арі) для C ++, Java та Objective-C ++ з розширеннями ігрового движка Unity. Таким чином, SDK підтримує вбудовану розробку для iOS, Android та uwp, тому Unity може розробляти додатки AR, які можна легко перенести на деку будь-якої платформи. Vuforia була придбана PTC Inc у 2015/11.

Переваги доповненої реальності. Таким чином, доповнена реальність - це чудова сучасна функція, яка може залучити найрізноманітнішу цільову аудиторію, від малого до великого. Але як її реалізувати таким чином, щоб отримати максимальний прибуток від інвестицій? Інтеграція з сучасними технологіями дозволяє нам змінити наш підхід і надавати нашим клієнтам незвичайні матеріали, що поєднують в собі текст, аудіо та відео [133, 134].

Unity Hub це офіційний інструмент Unity Technologies, призначений для управління проектами, ліцензіями та редакторами Unity. Без цієї програми Unity не скачати. Це значно спрощує робочий процес розробників і надає їм зручний доступ до всіх необхідних ресурсів і можливостей Платформи. Детальніше про можливості Unity Hub читайте тут. Ключовими функціями Unity Hub є управління ліцензіями та обліковими записами, а також підтримка вбудованої автентифікації (SSO) для входу. Доступ до ліцензій Unity, включаючи безкоштовні та професійні ліцензії. Можливість зручного оновлення або зміни налаштувань облікового запису.

Для створення нового проекту в Unity Hub існують шаблони для різних типів проектів, включаючи 2D, 3D, VR, доповнену реальність, мобільні додатки

та мікроігри. Навчальні проекти включають готові навчальні файли, які допоможуть вам зрозуміти основні поняття Unity.

Управління проектами всі проекти можуть бути збережені в одному місці. Можливість спільної роботи завдяки інтеграції з системою контролю версій (ви можете безкоштовно запросити до двох колег). Використовуйте сховище системи контролю версій для відстеження змін у проекті.

Завантажте та встановіть версію Unity, яка підтримує 2 типи редакторів Its (Довгострокова підтримка). Вона підтримує 2 типи редакторів Its (Довгострокова підтримка) в Tech Stream для стабільного випуску з довгостроковою підтримкою і доступом до новітніх функцій. Ви можете використовувати кілька версій Unity одночасно, що дозволить вам ефективно працювати над Вашим проектом і прискорить вашу роботу.

Для навчання можна використовувати ресурси для навчання та підвищення кваліфікації, такі як відеоуроки, статті та інтерактивні підручники. Система бейджів і сертифікації, яка допоможе вам розпізнавати досягнення і набуті навички.

Unity Hub надає доступ до спільноти та новин. Спілкуйтеся з іншими розробниками на форумах, отримуйте допомогу в режимі реального часу або через службу технічної підтримки. Читайте блог, щоб дізнатися про останні новини Unity.

Основними перевагами Unity Hub є інтегрований інтерфейс, зручна навігація і доступ до всіх інструментів. Економте час і швидко завантажуйте необхідну версію Unity для управління вашим проектом. Гнучкість, можливість адаптувати середовище до різних потреб розробки. Спільна робота, інтеграція з інструментами управління командою. Навчання: індивідуальний підхід до розвитку навичок.

Unity Hub особливо корисний розробникам, які працюють у командах або виконують кілька проектів одночасно. Завдяки цьому інструменту управління ресурсами та проектами стане набагато простішим та ефективнішим [136].

Щоб створити програму в Unity для Android, нам спочатку потрібно налаштувати проект Unity для підтримки Android. Для підтримки Android проект Unity вимагає наступних залежностей модуль підтримки збірки Android. Набір програмного забезпечення Android (SDK). Внутрішній комплект розробки (NDK). Набір для розробки Java. За замовчуванням Unity використовує OpenJDK .

Unity встановлює Android SDK & NDK Tools і OpenJDK відповідно в папках SDK, NDK і OpenJDK в папках.

Щоб використовувати Unity Hub для встановлення інструментів Android SDK & NDK і OpenJDK, потрібно переконатися, що отримуєте правильні версії та конфігурації. Однак є ситуації, коли корисно змінити SDK, NDK або JDK, які Unity використовує для створення програм для Android. Наприклад, якщо у вас є кілька версій Unity з однаковими залежностями, і ви не хочете дублювати інсталяцію SDK, NDK і JDK, ви можете вказати спільне розташування.

Розділ **External Tools** для Android дозволяє налаштувати параметри інструментів розробки Android, які використовуються для налаштування проектів Unity на пристроях Android. Щоб отримати доступ до розділу «**External Tools**» для Android, перейдіть до «**Edit**» > «**Preferences**» (macOS: **Unity** > «**Settings**»), а потім перейдіть до «**External Tools**» > «**Android**» [137].

SDK (software Development Toolkit) - це набір інструментів і бібліотек, які допомагають розробникам створювати додатки для конкретної операційної системи або платформи. Наприклад, ви можете використовувати Android SDK для створення програм для Android.

SDK. Указує, чи слід використовувати рекомендовані версії інструментів Android SDK, встановлених разом з Unity, чи спеціальну установку інструментів SDK. Якщо ввімкнено, параметр відображає шлях до папки встановлення інструментів SDK. Щоб використовувати спеціальну версію інструментів SDK, вимкніть цей параметр і натисніть «**Browse**» , щоб установити шлях до папки встановлення спеціальних інструментів SDK.

Android SDK включає такі компоненти, як build tools, які є інструментами для створення файлів APK. Platform tools-це інструменти для взаємодії з пристроями (ADB, Fastboot). Бібліотека API-це бібліотека для роботи з функціями Android (камери, геолокація, мережі і т.д.). Емулятор-це віртуальний пристрій Android для тестування програм.

Мета SDK в Unity-скомпілювати проект у формат APK (або aab), щоб додаток можна було встановити на пристрій Android. Інтеграція платформи Android передбачає використання функцій платформи для доступу до камер, мікрофонів, датчиків та API Android. Тестуйте і налагоджуйте цей SDK ADB (Android Debug Bridge) дозволяє налагоджувати ваш додаток безпосередньо на вашому пристрої.

Без SDK Unity не може створювати програми для Android. Це базовий набір інструментів, який дозволяє об'єднати код, ресурси та функції Android в одному інсталяційному файлі [138].

JDK (Java Development Toolkit) - це пакет програмного забезпечення, який містить інструменти для створення додатків на мові Java. Він складається з компілятора Java для компіляції коду Java. Java Runtime environment (JRE) - середовище виконання Java (JRE) для середовища виконання Java. Javaбібліотека для стандартних бібліотек для роботи з мережами, файлами, базами даних і т. д.

JDK. Вказує, чи використовувати рекомендовану версію Java Development Kit (JDK), встановлену з Unity, чи спеціальну інсталяцію JDK.

Якщо ввімкнено, параметр відображає шлях до папки встановлення JDK. Щоб використовувати спеціальну версію JDK, вимкніть цей параметр і натисніть «Browse» , щоб установити шлях до спеціальної папки встановлення JDK.

Для виконання завдання JDK в Unity потрібно, щоб ви підписали файл APK перед його публікацією в Google Play, вам потрібно підписати кожен файл APK цифровим підписом. Обробка коду Java в Unity використовує Java для

взаємодії з платформою Android. Я працюю з cradle. Gradle-це система збірки для Android, заснована на JDK.

Unity використовує JDK у фоновому режимі для завершення процесу збірки. Неможливо створити додаток для Android без JDK.

NDK (набір інструментів для нативної розробки) дозволяє розробникам писати частини своїх додатків для Android на мові C або C++, забезпечуючи більш високу продуктивність в порівнянні з Java, використовуваної для ігор з високими вимогами до продуктивності. Бібліотека, що працює безпосередньо з обладнанням.

NDK. Указує, чи слід використовувати рекомендовану версію AndroidNative Development Kit (NDK), встановлену з Unity, чи спеціальну інсталяцію NDK. Якщо ввімкнено, параметр відображає шлях до папки встановлення NDK. Щоб використовувати спеціальну версію NDK, вимкніть цей параметр і клацніть «Browse», щоб установити шлях до папки встановлення спеціального NDK.

До складу NDK входить компілятор Clang / LLVM, який використовується для написання машинного коду. Бібліотека C / C++ - це стандартна бібліотека для роботи з мережами, математикою, пам'яттю і т. д. додаткові інструменти для профілювальника, відладчика і т. д.

NDK від Unity призначений для підвищення продуктивності. Unity використовує NDK для компіляції деяких компонентів проекту у власний код Android. Підтримка архітектур ARM і x86-NDK дозволяє створювати Аркфайли для різних процесорних архітектур, таких як ARM64-v8a і armeabi-v7a. для роботи з графікою в Unity ми використовуємо NDK для інтеграції з Vulkan API для забезпечення високої продуктивності графіки.

NDK не завжди важливий для Unity у простих додатках. Але для проектів з високими вимогами до продуктивності (ігри, AR/VR) це стає дуже важливим [139].

Як бачимо з описаного вище, процес створення мобільного додатку для реалізації доповненої реальності, потребує ряд програм з яких їх функціонал є на платній основі, а безоплатні варіанти є досить обмежені. Та й існує ряд інших проблем з їх використанням, однією з головних це розробка під конкретну операційну систему, чи то для Android, чи то для iOS. Щоб мобільний додаток читався на інших операційних системах, потрібно переробляти в інших програмах, або використовувати по мірі можливості конвертори. Тому нами було заплановано скористатися можливостями створення веб-сервісу, тим паче що вже деякі напрацювання можемо зустріти в літературі.

4.2. Огляд технологій для розробки веб-застосунку з використанням Augmented Reality

Розробка веб-сервісів із елементами доповненої реальності (AR) стає дедалі популярнішою завдяки розвитку технологій, що дозволяють поєднувати цифровий та фізичний світи у браузерних середовищах. Проте вибір конкретної технології залежить від цілей проєкту, особливостей цільової аудиторії та технічних вимог. На ринку існує кілька платформ, які дозволяють реалізовувати AR-додатки, і кожна з них має свої переваги та недоліки. У цьому розділі розглянемо основні технології, які могли бути використані для розробки веб-застосунку з AR, і проаналізуємо, чому деякі з них не були обрані для реалізації даного проєкту [141].

Процес вибору технологій для реалізації веб-застосунку з елементами доповненої реальності складався з кількох етапів, під час яких аналізувалися різні платформи, інструменти та бібліотеки. Основною метою було знайти рішення, яке забезпечить високу продуктивність, кросплатформенність, простоту впровадження та інтерактивність, водночас не вимагаючи від користувачів встановлення додаткового програмного забезпечення або використання дорогого обладнання.

Google ARCore — одна з найвідоміших платформ для створення додатків із доповненою реальністю. Ця технологія була розроблена Google спеціально для мобільних пристроїв на базі операційної системи Android, проте ARCore також підтримує деякі пристрої на iOS. Платформа надає можливості для трекінгу руху, оцінки площини та розуміння середовища навколо користувача, що дозволяє створювати високоякісні інтерактивні додатки.

Основні переваги ARCore включають точне відстеження руху пристрою в просторі, підтримку розпізнавання горизонтальних і вертикальних поверхонь, а також можливість адаптації віртуальних об'єктів до умов освітлення реального світу. Це робить ARCore потужним інструментом для розробки додатків, що інтегрують доповнену реальність із фізичним світом, і особливо підходить для мобільних додатків, що вимагають високої точності трекінгу.

Проте, незважаючи на всі переваги, ARCore має кілька обмежень, які вплинули на рішення не використовувати цю технологію у даному проєкті. Основною проблемою є те, що ARCore орієнтована переважно на мобільні пристрої і не підтримує нативно веб-браузери. Це означає, що для реалізації веб-застосунку довелося б створювати окремий додаток, що не відповідало вимогам проєкту, зокрема необхідності кросплатформенності та доступності через браузер. Крім того, не всі пристрої підтримують ARCore, що додатково обмежує потенційну аудиторію користувачів.

Apple ARKit — це платформа від компанії Apple для розробки додатків із доповненою реальністю, яка працює виключно на пристроях із операційною системою iOS. ARKit надає схожі можливості з ARCore, включаючи трекінг рухів, розпізнавання об'єктів та інтеграцію віртуальних об'єктів у реальний світ. Однією з переваг ARKit є висока якість трекінгу та обробки зображень, що робить її ідеальною для додатків, які вимагають максимальної точності [142].

Однак, незважаючи на технологічну перевагу, ARKit має кілька суттєвих обмежень. По-перше, платформа працює виключно на пристроях Apple, що значно обмежує аудиторію користувачів. Використання ARKit означало б, що

доступ до застосунку мали б лише власники iPhone або iPad, тоді як проєкт потребував підтримки різних платформ, зокрема Android. По-друге, ARKit, як і ARCore, призначена для мобільних додатків, і не підтримує створення вебдодатків без використання додаткових інструментів або адаптацій. Це робить ARKit непридатним для веб-розробки, де основною вимогою є доступність через браузері без необхідності встановлення додаткових додатків.

8th Wall є провідною платформою для розробки додатків із доповненою реальністю, яка спеціалізується саме на WebAR — додатках, що працюють безпосередньо в браузері, без необхідності встановлення окремих програм. Це робить 8th Wall дуже привабливою для розробників, які хочуть створювати кросплатформенні AR-рішення, доступні для широкої аудиторії [143].

Основною перевагою 8th Wall є можливість запуску AR-додатків у будьякому сучасному браузері, що робить її ідеальною для веб-застосунків. Крім того, платформа підтримує різні види трекінгу (зображень, маркерів та навіть безмаркерне розпізнавання), а також надає потужні інструменти для розробки інтерактивних 3D-сцен та об'єктів. 8th Wall також підтримує як мобільні, так і настільні пристрої, що робить її дуже гнучкою в плані вибору платформи.

Проте основним недоліком 8th Wall є її вартість. Платформа працює за моделлю підписки, яка може бути досить дорогою для проєктів із обмеженим бюджетом. Крім того, незважаючи на свою потужність, 8th Wall може виявитися складною у налаштуванні для простих проєктів, де потрібна мінімальна інтерактивність або базовий функціонал AR.

A-Frame — це платформа з відкритим вихідним кодом для створення віртуальної та доповненої реальності у веб-браузерах. A-Frame є дуже популярною серед розробників завдяки своїй простоті та можливості створювати AR-додатки, використовуючи HTML-подібний синтаксис. Платформа базується на WebXR [144] і підтримує як VR, так і AR, що робить її універсальним інструментом для створення інтерактивних веб-додатків.

Основними перевагами A-Frame є простота використання та швидка розробка. Платформа ідеально підходить для створення прототипів або простих AR-сцен, не вимагаючи від розробників глибоких знань програмування. Крім того, AFrame легко інтегрується з іншими веб-технологіями, такими як JavaScript, що дозволяє розширювати функціонал додатків.

Однак A-Frame має і свої недоліки. Попри свою простоту, платформа не є такою потужною, як інші рішення, такі як AR.js або 8th Wall. A-Frame підходить для базових AR-застосунків, але може бути недостатньо гнучкою для складних проектів, що вимагають високої продуктивності або складних трекінгових механізмів. Також A-Frame не підтримує всі можливості, які пропонують спеціалізовані AR-платформи, наприклад, повноцінний трекінг без маркерів або точну оцінку оточення.

AR.js [145] — це відкрита бібліотека JavaScript для створення додатків із доповненою реальністю у веб-браузерах. Однією з головних переваг AR.js є її простота використання, а також повна підтримка WebAR — можливість запускати AR-сцени безпосередньо в браузері на будь-якому пристрої, що підтримує HTML5 і WebGL. Бібліотека працює на базі технології Three.js, що дозволяє створювати тривимірні об'єкти та інтерактивні сцени без необхідності використання окремого додатка. Основними перевагами AR.js є її швидкість та ефективність.

На початковому етапі розробки було проведено аналіз нативних платформ для створення додатків із доповненою реальністю, таких як **Google ARCore** та **Apple ARKit**. Ці рішення є досить потужними і надають безліч можливостей для створення складних AR-сцен, включно з трекінгом простору та об'єктів, а також інтеграцією високоякісної 3D-графіки.

Проте, головним обмеженням цих технологій є їхня **залежність від конкретних платформ**. ARCore призначений для роботи на Android, тоді як ARKit підтримується лише на пристроях iOS. Це означає, що для розробки застосунку довелося б створювати дві окремі версії — одну для Android і одну

для iOS, що значно ускладнює процес розробки і підвищує витрати часу та ресурсів.

У процесі вибору технології для реалізації веб-застосунку з елементами доповненої реальності було розглянуто кілька варіантів. Після ретельного аналізу було прийнято рішення використовувати **AR.js** як основну технологію для інтеграції доповненої реальності у веб-середовище. Це рішення було обґрунтоване низкою факторів, таких як кросплатформенність, простота інтеграції, ефективність, підтримка браузерів і зручність роботи з маркерами. У цьому підрозділі буде детально розглянуто, чому AR.js було обрано, як працює ця технологія та які її особливості є критично важливими для даного проєкту.

Однією з головних переваг AR.js є **кросплатформенність**. Бібліотека підтримує роботу як на Android, так і на iOS, а також на настільних системах, що робить її універсальним інструментом для створення веб-додатків з AR [146]. Це дозволяє охопити широку аудиторію користувачів, незалежно від того, який пристрій вони використовують. На відміну від рішень, таких як ARCore або ARKit, які працюють тільки на певних платформах або пристроях, AR.js дозволяє запустити додаток у будь-якому сучасному браузері, який підтримує WebGL і HTML5.

Також важливо зазначити **простоту використання** AR.js. Оскільки бібліотека базується на **Three.js** [147]— популярній бібліотеці для рендерингу 3D-графіки в браузері — вона дозволяє легко створювати інтерактивні сцени з тривимірними об'єктами. AR.js використовує стандартні веб-технології (HTML, CSS, JavaScript), що значно спрощує інтеграцію в існуючі веб-проекти. Для розробників, які мають базові знання у веб-програмуванні, AR.js є зручним і доступним інструментом, який не потребує тривалого навчання чи спеціальних навичок.

Однією з ключових функцій AR.js є підтримка роботи з **маркерами**. Маркери — це спеціальні зображення або символи, які використовуються для визначення положення віртуальних об'єктів у просторі відносно фізичного

світу. У випадку AR.js, маркери дозволяють інтегрувати тривимірні об'єкти у реальне середовище, використовуючи камеру пристрою для відстеження їхнього положення.

AR.js підтримує два основні типи маркерів: **маркерні (marker-based)** та **безмаркерні (markerless)** технології. У маркерних системах віртуальні об'єкти прив'язані до певних зображень або символів, які розміщуються у фізичному світі. Наприклад, для виведення 3D-об'єкта на екран користувачеві потрібно навести камеру пристрою на друкований маркер (наприклад, QR-код або спеціальне зображення), після чого система визначає положення маркера і виводить відповідний віртуальний контент на екран.

Маркери AR.js мають кілька важливих особливостей, які роблять їх зручними для використання у веб-застосунках. По-перше, **швидкість обробки**. AR.js оптимізовано для роботи у веб-браузері, і завдяки цьому вона забезпечує дуже швидке розпізнавання маркерів навіть на пристроях із обмеженими ресурсами. По-друге, AR.js використовує ефективний алгоритм розпізнавання маркерів, який дозволяє працювати в умовах різного освітлення або навіть при частковій видимості маркера. Що стосується різновидів маркерів, то AR.js підтримує кілька типів.

Standard AR.js Markers: ці маркери базуються на класичних чорно-білих візерунках (схожих на QR-коди), які легко розпізнаються камерою навіть за умови поганого освітлення або складних умов навколишнього середовища. Ці маркери зазвичай використовуються для відображення простих тривимірних об'єктів, таких як моделі або анімації.

Custom Image Markers: AR.js також дозволяє використовувати кастомні маркери, тобто будь-які зображення або логотипи можуть бути використані як маркер для відстеження і прив'язки віртуального об'єкта. Це відкриває великі можливості для дизайну, оскільки розробники можуть використовувати унікальні графічні елементи, які відповідають тематиці або стилю додатка.

NFT Markers (Natural Feature Tracking): це більш складна форма маркерів, яка базується на відстеженні природних особливостей зображення. Тобто система розпізнає не тільки спеціальні візерунки, а й більш складні зображення, такі як фотографії або художні зображення. Це дозволяє розробляти більш інтерактивні та реалістичні сценарії використання.

Робота з маркерами у AR.js є надзвичайно зручною для користувачів, оскільки вона не вимагає спеціального обладнання або додаткових налаштувань. Користувачеві достатньо відкрити веб-додаток на своєму смартфоні або комп'ютері та навести камеру на маркер, після чого віртуальний контент буде автоматично завантажено і відображено на екрані. Це робить AR.js чудовим вибором для проєктів, що потребують простої та швидкої інтеграції доповненої реальності.

Хоча маркерна технологія є основною у AR.js, бібліотека також підтримує без маркерну доповнену реальність, де віртуальні об'єкти не прив'язані до конкретних маркерів, а можуть бути розміщені у фізичному просторі за допомогою відстеження поверхонь або розпізнавання оточення. Це забезпечує більшу свободу для користувачів, оскільки їм не потрібно мати при собі спеціальні маркери для роботи з віртуальними об'єктами.

Безмаркерная технологія працює завдяки аналізу зображення з камери пристрою, що дозволяє визначити площини або поверхні, на які можна розміщувати віртуальні об'єкти. Наприклад, у мобільних додатках користувачі можуть розміщувати віртуальні меблі або інші предмети у власних кімнатах, використовуючи технологію трекінгу простору.

У випадку AR.js, безмаркерная технологія поки що не є настільки розвиненою, як у спеціалізованих платформах (наприклад, Google ARCore), проте вона все ще дозволяє створювати прості безмаркерні сценарії для браузерів. Це забезпечує більшу гнучкість у розробці додатків, які не потребують фізичних маркерів для взаємодії з віртуальним контентом.

Одним із ключових аспектів вибору AR.js є її **висока продуктивність** у браузерному середовищі. AR.js розроблена з акцентом на швидкість і ефективність роботи на різних пристроях, включаючи мобільні телефони та планшети з обмеженими ресурсами. На відміну від деяких інших бібліотек, AR.js використовує мінімальну кількість ресурсів для рендерингу тривимірних об'єктів і відстеження маркерів, що дозволяє підтримувати плавну роботу навіть на пристроях із низькою продуктивністю.

Оптимізація роботи у веб-браузері є ще однією сильною стороною AR.js. Бібліотека була розроблена з урахуванням потреб веб-розробників і користується підтримкою таких сучасних веб-технологій, як **WebGL** (для рендерингу 3D-графіки), **WebRTC** (для доступу до камери пристрою) та **HTML5**. Це дозволяє забезпечити високу сумісність із різними платформами та браузерами без потреби у встановленні додаткового програмного забезпечення або плагінів.

AR.js підтримує WebXR — стандарт для роботи з віртуальною і доповненою реальністю у веб-браузерах. WebXR є важливою складовою майбутнього розвитку AR і VR у веб-середовищі, оскільки він забезпечує єдиний API для розробки додатків з інтеграцією віртуальних і доповнених елементів. Використання WebXR дозволяє розробникам створювати додатки, які працюють на різних пристроях і браузерах, включаючи мобільні телефони, планшети та настільні комп'ютери.

AR.js активно підтримує цей стандарт, що відкриває можливості для подальшого розширення функціональності застосунків. Оскільки WebXR продовжує розвиватися і набуває популярності, AR.js також отримує нові функції, які дозволяють створювати більш складні та інтерактивні сцени в доповненій реальності. Це робить AR.js довгостроковим рішенням для вебдодатків, оскільки підтримка WebXR гарантує його актуальність у найближчі роки.

Вибір **AR.js** для розробки веб-застосунку з елементами доповненої реальності був обґрунтованим рішенням завдяки її кросплатформенності, простоті інтеграції, підтримці маркерної та безмаркерної технології, високій продуктивності та сумісності з сучасними веб-технологіями. AR.js дозволяє розробникам створювати потужні AR-додатки без необхідності використання спеціалізованого обладнання або додатків, що робить її ідеальним вибором для кросплатформених рішень, доступних через веб-браузери. Технологія маркерів, яка лежить в основі AR.js, дозволяє легко інтегрувати віртуальні об'єкти у фізичний світ, забезпечуючи високу точність і швидкість обробки даних. Таким чином, AR.js забезпечує надійну основу для розробки інтерактивних та доступних веб-застосунків із елементами доповненої реальності. Використання AR.js для створення веб-застосунків із доповненою реальністю не обмежується тільки цією бібліотекою. Для повноцінної реалізації AR-середовищ у веб-просторі потрібні додаткові технології, які забезпечують рендеринг 3D-графіки, побудову інтерфейсу користувача та інтерактивність. Розглянемо основні технології, які використовуються разом із AR.js для створення комплексних AR-рішень, їх роль і особливості (рис. 4.5).

Three.js є однією з найбільш популярних бібліотек для створення тривимірної графіки у веб-браузерах. Вона побудована на основі **WebGL** і дозволяє розробникам легко рендерити 3D-об'єкти та сцени без необхідності глибоких знань про низькорівневі графічні API, такі як WebGL. Це робить

Three.js важливим компонентом у побудові доповненої реальності, оскільки AR-застосунки часто вимагають інтеграції тривимірних об'єктів у реальний світ. Основна роль Three.js у поєднанні з AR.js полягає у забезпеченні можливостей для створення віртуальних об'єктів, які можна накладати на реальний світ. Наприклад, за допомогою Three.js можна створювати детальні 3D-моделі, такі як архітектурні споруди, автомобілі або навіть персонажі, що відображаються на екрані користувача після розпізнавання маркера. Three.js надає інструменти для роботи з матеріалами,

текстурами, анімаціями, світлом і камерами, що дозволяє створювати реалістичні й інтерактивні об'єкти.

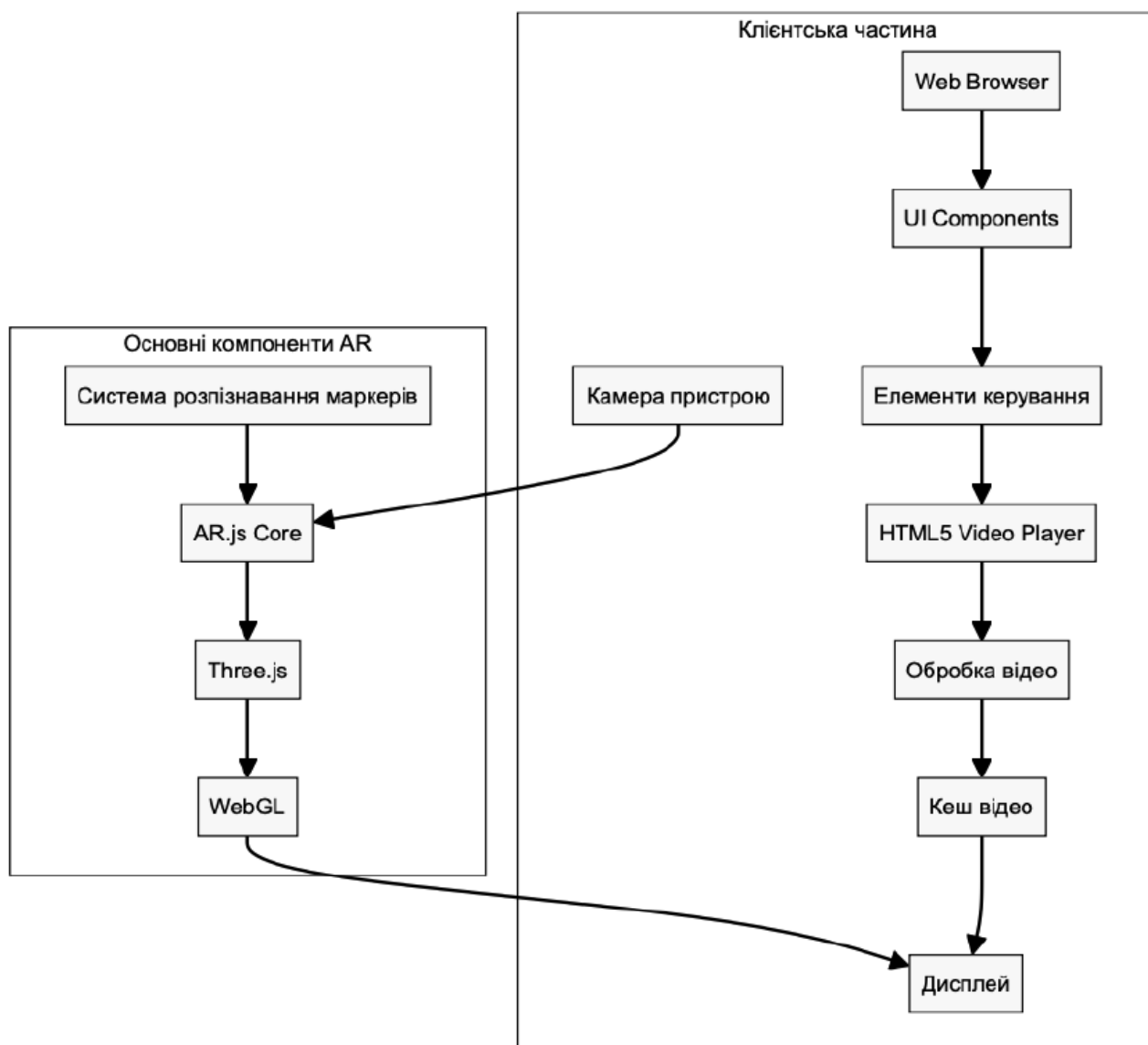


Рисунок 4.5. Архітектура системи AR.js

Однією з переваг Three.js є його **висока продуктивність**. Оскільки бібліотека працює на основі WebGL, вона використовує апаратне прискорення для рендерингу графіки, що дозволяє підтримувати плавну роботу навіть при складних сценах. Це особливо важливо для мобільних пристроїв, які можуть мати обмежені ресурси. Крім того, Three.js має широкую підтримку різних форматів 3D-моделей, таких як OBJ, FBX і GLTF, що дозволяє легко імпортувати об'єкти з інших середовищ для використання в AR-додатках.

Ще однією важливою характеристикою Three.js є його **гнучкість**. Бібліотека дозволяє легко комбінувати тривимірні об'єкти з двовимірними елементами, а також інтегрувати їх у складні сцени з декількома джерелами світла, тінями та відображеннями. Це відкриває великі можливості для реалізації AR-додатків з високим рівнем деталізації й реалістичності.

Крім того, Three.js має активну спільноту розробників і велику кількість прикладів та документації, що значно спрощує процес навчання та провадження нових функцій. У контексті даного проекту Three.js використовувався для створення інтерактивних тривимірних об'єктів, які взаємодіють із фізичними маркерами в реальному світі, що стало ключовим елементом розробки AR-сцен.

Незважаючи на те, що основна функціональність AR-додатків полягає у взаємодії з тривимірними об'єктами у віртуальному просторі, важливу роль відіграє інтерфейс користувача (UI), який забезпечується за допомогою **HTML** та **CSS**. HTML і CSS є основними технологіями для побудови веб-інтерфейсів, і вони також активно використовуються у створенні AR-застосунків.

HTML (HyperText Markup Language) відповідає за структуру веб-сторінок і надає можливість створювати елементи інтерфейсу, такі як кнопки, меню, текстові блоки та інші елементи, з якими взаємодіє користувач. У поєднанні з AR.js HTML використовується для побудови основної структури веб-додатку, що містить елементи, які керують AR-сценами, а також для відображення додаткової інформації, такої як текстові підказки або інструкції для користувача.

HTML забезпечує базові функції для створення веб-сторінок, але для їх стилізації використовується **CSS** (Cascading Style Sheets). CSS дозволяє визначати зовнішній вигляд елементів на сторінці, такі як колір, розміри, шрифти, відступи та інші параметри. У контексті AR-додатків CSS відіграє важливу роль у створенні інтуїтивно зрозумілого та привабливого інтерфейсу

користувача, що дозволяє забезпечити плавну та зручну взаємодію з ARконтентом.

Однією з особливостей HTML і CSS є їхня **адаптивність**. Це означає, що інтерфейси можуть бути легко налаштовані для роботи на різних пристроях із різними розмірами екранів, що є важливим аспектом для R-додатків, які мають бути доступними як на мобільних телефонах, так і на планшетах або настільних комп'ютерах. CSS також дозволяє використовувати **медіа-запити** для адаптації інтерфейсу до різних роздільних здатностей екранів, що робить веб-застосунок більш зручним і доступним для користувачів.

У поєднанні з AR.js HTML і CSS використовуються для створення інтерфейсу, який дозволяє користувачеві взаємодіяти з віртуальними об'єктами у доповненій реальності, керувати налаштуваннями AR-сцен та отримувати інформацію про стан взаємодії з маркерами або тривимірними об'єктами.

JavaScript є мовою програмування, яка забезпечує інтерактивність та логіку роботи веб-додатків. У контексті AR-додатків JavaScript використовується для керування взаємодією між користувачем і AR-сценами, обробки подій та взаємодії з маркерами й тривимірними об'єктами. Основною причиною вибору JavaScript для розробки веб-додатків є його **висока інтеграція з веб-технологіями** (HTML, CSS) і можливість працювати безпосередньо у веб-браузері.

JavaScript відповідає за обробку подій користувача, таких як натискання кнопок, переміщення маркерів або взаємодія з тривимірними об'єктами. Це дозволяє створювати інтерактивні AR-додатки, де користувачі можуть впливати на контент. JavaScript дозволяє динамічно змінювати AR-сцени на основі дій користувача або даних, отриманих у режимі реального часу. Наприклад, це може бути переміщення тривимірних об'єктів, зміна їхніх властивостей або завантаження нових моделей залежно від розташування маркера.

Також дозволяє реалізовувати взаємодію з серверною частиною, що може бути корисним для завантаження додаткового контенту або збереження стану взаємодії користувача. Наприклад, JavaScript може використовувати **AJAX** або **Fetch API** для отримання або надсилання даних на сервер без необхідності перезавантаження сторінки.

Крім того, JavaScript дозволяє інтегрувати додаткові бібліотеки, які розширюють функціональність AR-додатків. У поєднанні з AR.js JavaScript відповідає за відстеження маркерів, рендеринг тривимірних об'єктів і динамічну зміну AR-сцен. За допомогою JavaScript розробники можуть легко керувати поведінкою об'єктів у доповненій реальності, що дозволяє створювати складні та інтерактивні сцени з мінімальними зусиллями.

Окремо варто виділити **WebGL** — низькорівневий API для рендерингу 3D-графіки у веб-браузері. WebGL використовується в основі таких бібліотек, як Three.js, для забезпечення апаратного прискорення під час рендерингу тривимірних об'єктів. WebGL дозволяє безпосередньо використовувати графічний процесор (GPU) для обробки тривимірних сцен, що значно підвищує продуктивність AR-додатків і дозволяє відображати складні моделі без затримок. AR.js також використовує можливості WebGL для ефективного рендерингу AR-сцен у реальному часі. Завдяки апаратному прискоренню, яке забезпечує WebGL, AR.js може обробляти тривимірні об'єкти з високою точністю та швидкістю навіть на мобільних пристроях із обмеженими ресурсами.

Поєднання AR.js з такими технологіями, як Three.js, HTML, CSS, JavaScript і WebGL, дозволяє створювати повноцінні веб-застосунки з доповненою реальністю, які можуть працювати у будь-якому сучасному веббраузері. Three.js відповідає за рендеринг тривимірних об'єктів, HTML і CSS забезпечують побудову та стилізацію інтерфейсу користувача, а JavaScript надає необхідну інтерактивність і логіку роботи. WebGL, у свою чергу,

забезпечує високу продуктивність рендерингу, що є критично важливим для плавної роботи AR-додатків у реальному часі.

Ці технології дозволяють створювати кросплатформенні, інтерактивні й доступні AR-додатки, які не потребують встановлення додаткового програмного забезпечення або спеціалізованого обладнання, роблячи їх ідеальними для широкого кола користувачів.

Процес вибору технологій був спрямований на пошук рішень, які поєднували б у собі простоту використання, кросплатформеність і високу продуктивність. AR.js був обраний через свою здатність працювати безпосередньо через браузер, підтримку роботи з маркерами та відсутність вимог до потужного обладнання. Three.js було обрано як бібліотеку для рендерингу 3D-графіки завдяки її інтеграції з WebGL та можливостям створювати складні тривимірні сцени (рис. 4.6).

Цей вибір дозволив створити ефективний, доступний і продуктивний вебзастосунок із доповненою реальністю, який може працювати на різних пристроях без необхідності встановлення додаткового програмного забезпечення.

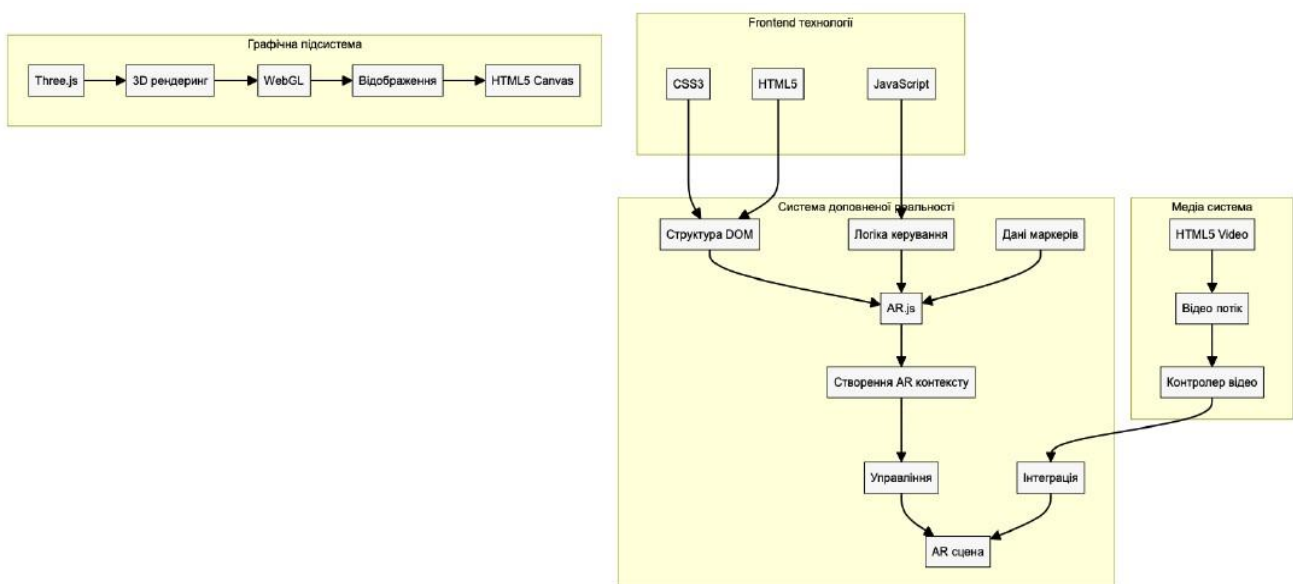


Рисунок 4.6. Блок-схема взаємодії між технологіями

4.3. Опис технологічного процесу проектування web-сервісу

Процес проектування веб-сервісу з доповненою реальністю складається з кількох важливих етапів, які включають визначення цілей проекту, вибір інструментів та технологій, розробку прототипу, а також його тестування та вдосконалення. У цьому підрозділі буде детально розглянуто кожен із цих етапів, а також труднощі, що виникали під час роботи, та методи їхнього вирішення.

Першим етапом проектування є визначення вимог до застосунку.

Основною метою цього веб-додатка було створення інтерактивного інструменту з елементами доповненої реальності, який дозволяє користувачам взаємодіяти з інформацією на паперових носіях через мобільні пристрої або настільні браузер. Для досягнення цієї мети необхідно було забезпечити наступні вимоги:

1. **Кросплатформенність:** додаток повинен працювати на всіх сучасних пристроях — як на мобільних телефонах, так і на планшетах і настільних комп'ютерах.
2. **Веб-доступність:** застосунок має бути доступним через веб-браузер, щоб уникнути необхідності встановлення окремого програмного забезпечення.
3. **Підтримка доповненої реальності:** використання технології AR для розпізнавання паперових маркерів і відображення тривимірних об'єктів на екрані користувача.
4. **Інтерактивність:** користувачі повинні мати змогу взаємодіяти з ARоб'єктами, а також отримувати додаткову інформацію у вигляді текстових підказок або графіків.
5. **Легкість використання:** інтерфейс користувача має бути інтуїтивно зрозумілим і не вимагати від користувача спеціальних технічних знань або досвіду роботи з AR.

На цьому етапі було проведено аналіз цільової аудиторії, щоб зрозуміти, якими пристроями користуються потенційні користувачі та які функції будуть

для них найважливішими. Враховуючи ці вимоги, було прийнято рішення використовувати веб-технології, зокрема AR.js і Three.js, для забезпечення доповненої реальності через браузер.

Для розробки було вирішено використовувати популярні інструменти для веб-розробки, такі як **Visual Studio Code** для написання коду, **Git** для контролю версій та **Chrome DevTools** для тестування та налагодження коду.

На наступному етапі було розпочато розробку **прототипу застосунку**.

Основною метою цього етапу було створення базової функціональності для тестування роботи з маркерами та відображення тривимірних об'єктів у реальному середовищі.

Прототип розроблявся поступово. Спочатку було реалізовано базовий інтерфейс користувача за допомогою HTML і CSS, щоб забезпечити зручний спосіб взаємодії з додатком. Потім було інтегровано бібліотеку AR.js для додавання функціональності розпізнавання маркерів. Було використано стандартні маркери AR.js для тестування, що дозволило швидко перевірити працездатність технології.

Після цього було інтегровано бібліотеку Three.js для відображення тривимірних моделей. Для першого тестування використовувалися прості 3D-об'єкти, такі як куби та сфери, які накладалися на маркери в реальному часі через камеру пристрою. Завдяки цьому вдалося перевірити, наскільки добре працює рендеринг тривимірних об'єктів у доповненій реальності та чи відповідає продуктивність вимогам проекту.

Під час розробки прототипу виникли кілька труднощів, зокрема проблеми зі стабільністю розпізнавання маркерів за умов поганого освітлення або при частковій видимості маркера. Ці проблеми були вирішені за допомогою налаштування параметрів розпізнавання у AR.js та покращення дизайну маркерів для забезпечення їхньої більшої контрастності та чіткості.

Після завершення розробки базового прототипу було проведено **тестування** на різних пристроях, включаючи мобільні телефони та настільні

комп'ютери. Тестування проводилося з метою перевірки роботи додатку в різних умовах, таких як різні рівні освітлення, швидкість інтернет-з'єднання та розміри екранів.

Окрему увагу було приділено **перевірці кросплатформенності** застосунку. Веб-додаток тестувався на пристроях з операційними системами Android та iOS, щоб переконатися в коректності його роботи на обох платформах. Також було перевірено сумісність із різними браузерами, зокрема Google Chrome, Mozilla Firefox і Safari.

Після тестування прототип було надано групі користувачів для збору зворотного зв'язку. Основними аспектами, які цікавили команду розробників, були: наскільки інтерфейс є інтуїтивно зрозумілим і зручним, чи стабільно працює розпізнавання маркерів у різних умовах і чи немає затримок у відображенні тривимірних об'єктів, чи працює додаток плавно на пристроях із різними технічними характеристиками.

На основі отриманого зворотного зв'язку були внесені певні корективи. Наприклад, було вдосконалено дизайн інтерфейсу для кращої видимості елементів на екранах різного розміру, а також було оптимізовано код для моделей.

Також було реалізовано кілька **оптимізацій** для підвищення продуктивності на мобільних пристроях. Наприклад, було зменшено кількість полігонів у 3D-моделях для зниження навантаження на процесор, а також додано попереднє кешування моделей для зменшення часу завантаження при повторному використанні.

Процес проектування веб-застосунку з елементами доповненої реальності складався з кількох важливих етапів, включно з визначенням вимог, вибором технологій, розробкою прототипу та його тестуванням. Завдяки вибору AR.js та Three.js вдалося реалізувати функціональний, продуктивний і доступний вебдодаток, який дозволяє користувачам взаємодіяти з доповненою реальністю через веб-браузери. Тестування та збір зворотного зв'язку дозволили виявити

недоліки і покращити якість застосунку, що зробило його зручним для широкого кола користувачів.

Труднощі та рішення під час проектування. Під час проектування вебзастосунку з елементами доповненої реальності виникали різні труднощі, пов'язані з технічними, організаційними та практичними аспектами розробки. У цьому розділі буде детально розглянуто основні проблеми, що виникли в процесі розробки, і рішення, які допомогли їх подолати. Такі труднощі є невід'ємною частиною будь-якого проєкту, особливо коли йдеться про складні технології, як-от доповнена реальність у веб-середовищі.

Однією з перших і найбільш значущих проблем, з якими зіткнулися, була проблема **продуктивності**. Тривимірна графіка, особливо у поєднанні з технологіями доповненої реальності, може створювати значне навантаження на ресурси пристрою, що може призводити до зниження продуктивності. Особливо ця проблема стала актуальною для мобільних пристроїв, які часто мають обмежені ресурси в порівнянні з настільними комп'ютерами.

Спочатку додаток працював задовільно на настільних комп'ютерах, але на мобільних пристроях відзначалися помітні затримки та низька частота кадрів при рендерингу складних 3D-сцен. Це негативно впливало на користувацький досвід і робило взаємодію з доповненою реальністю менш плавною і природною.

Одним із основних рішень цієї проблеми стало зменшення кількості полігонів у 3D-моделях. Було проведено ретельну оптимізацію всіх тривимірних об'єктів, щоб знизити навантаження на процесор і графічний чіп. Завдяки використанню менш детальних моделей із мінімальною кількістю полігонів вдалося значно покращити продуктивність, не втрачаючи при цьому якості візуалізації.

Ще одним ефективним рішенням стало попереднє завантаження моделей до того, як користувач почне взаємодію з ними. Це дозволило уникнути

затримок при завантаженні великих моделей у момент розпізнавання маркера, оскільки всі необхідні файли вже були доступні в пам'яті пристрою.

Для мобільних пристроїв було розроблено спеціальні, спрощені версії 3Dмоделей. Це дозволило створити більш плавний досвід для користувачів з мобільних пристроїв, зберігаючи при цьому основну функціональність та інтерактивність застосунку.

Робота з маркерами є ключовим елементом доповненої реальності вAR.js, але під час тестування виявилось, що **трекінг маркерів** не завжди працює стабільно. У деяких випадках маркери не розпізнавалися, якщо умови освітлення були поганими або якщо маркер був частково закритий іншим об'єктом. Крім того, виникали проблеми, коли камера не могла правильно розпізнати маркер через низьку роздільну здатність камери або через відблиски від маркера під певними кутами.

Такі проблеми значно знижували якість користувацького досвіду, оскільки користувачі могли стикатися із затримками в розпізнаванні маркерів або навіть із ситуаціями, коли маркер взагалі не розпізнавався.

Одним із перших кроків для вирішення цієї проблеми стало вдосконалення дизайну самих маркерів. Було вирішено використовувати більш **контрастні та чіткі маркери**, які легше розпізнавати навіть за умов слабого освітлення. Також були внесені зміни в розмір маркерів, щоб збільшити їх видимість для камери.

AR.js надає можливість тонкого налаштування параметрів розпізнавання маркерів. Було проведено експерименти з різними налаштуваннями для покращення стабільності трекінгу. Зокрема, було налаштовано **чутливість камери** до розпізнавання маркерів у складних умовах, таких як погане освітлення або часткове перекриття маркера.

Для тестування у лабораторних умовах було додано **додаткові джерела світла**, що дозволило усунути проблему відблисків і тіней, які заважали правильному розпізнаванню маркерів. Це рішення також було рекомендовано

кінцевим користувачам як один із варіантів покращення досвіду при використанні застосунку в умовах недостатнього освітлення.

Іншою важливою проблемою було забезпечення **кросплатформенності** застосунку та підтримки різних браузерів. Оскільки користувачі мали доступ до застосунку через веб-браузери, виникла необхідність забезпечити його стабільну роботу на різних операційних системах (Windows, macOS, Android, iOS) і в різних браузерах (Chrome, Firefox, Safari, Edge). Під час тестування виявилось, що застосунок працює не однаково на всіх платформах. Наприклад, у деяких версіях браузерів виникали проблеми із доступом до камери або з відображенням тривимірних об'єктів.

Щоб забезпечити повну сумісність із різними браузерами, було проведено ретельне тестування на всіх основних платформах. Було виявлено, що деякі браузери мають обмеження на доступ до камер або не підтримують певні функції WebGL. Для вирішення цих проблем були додані **попередні перевірки сумісності**. Якщо браузер не підтримував потрібні функції, користувачу пропонувалася інструкція щодо використання сумісного браузера або оновлення поточного.

Виявилось, що основною проблемою на деяких пристроях було неякісне рендерування через обмеження у WebGL. Було додано спеціальні оптимізації для **старіших версій WebGL**, щоб забезпечити коректне відображення навіть на старих або менш потужних пристроях. Для пристроїв із обмеженими ресурсами було додано можливість використовувати **спрощені версії графіки**. Наприклад, на таких пристроях відображалися більш прості 3D-моделі або ж користувачам пропонувалися статичні зображення замість динамічної анімації.

Ще однією проблемою було забезпечення інтуїтивно зрозумілого та зручного **користувацького досвіду (UX)**. Оскільки взаємодія з доповненою реальністю вимагає від користувача використання камери для розпізнавання маркерів, інтерфейс повинен бути максимально зрозумілим і простим, особливо для тих користувачів, які раніше не працювали з AR-технологіями. Спочатку

користувачі повідомляли про труднощі з розумінням того, як правильно використовувати маркери, як переміщати або масштабувати тривимірні об'єкти, і як взаємодіяти з іншими елементами застосунку.

Було вирішено додати детальні **інструкції** на початку використання додатку. Для покращення UX було зменшено кількість необхідних дій для користувача. Наприклад, автоматизовано процес розпізнавання маркерів, щоб користувач не мусив вручну запускати сканування або підтверджувати розпізнавання маркера. На основі зворотного зв'язку від тестової групи було внесено кілька змін у дизайн інтерфейсу, щоб зробити його більш інтуїтивним і зрозумілим для користувачів різного рівня технічної підготовки.

Процес розробки веб-застосунку з елементами доповненої реальності включав безліч технічних і дизайнерських викликів. Основними труднощами стали проблеми з продуктивністю на мобільних пристроях, трекінгом маркерів, забезпеченням кросплатформенності та створенням зручного користувацького інтерфейсу. Завдяки впровадженню рішень, таких як оптимізація 3D-моделей, налаштування трекінгу маркерів, забезпечення підтримки різних браузерів і додавання інструкцій для користувачів, вдалося подолати ці виклики та створити стабільний і продуктивний застосунок.

4.4. Поетапний план створення застосунку і налаштування середовища

Розробка прототипу веб-застосунку з елементами доповненої реальності, основною функцією якого є інтеграція відеофайлів (MP4), проходила в кілька етапів. Основною метою було забезпечити можливість розпізнавання паперових маркерів і автоматичного відтворення відео у веб-браузері через камеру пристрою.

На першому етапі було визначено вимоги до застосунку. Основними вимогами були: підтримка мобільних і настільних пристроїв, відтворення відео через веб-браузери без встановлення додаткового програмного забезпечення,

користувачі повинні мати змогу переглядати відео, яке запускається автоматично після розпізнавання маркера через камеру пристрою.

Було вирішено використовувати **AR.js** для розпізнавання маркерів і HTML5 для інтеграції та відтворення MP4-відеофайлів безпосередньо у веббраузері.

Було створено базову структуру застосунку за допомогою **HTML** і **CSS**. HTML забезпечив основу для сторінки з відеоплеєром, тоді як CSS відповідав за стилізацію інтерфейсу, забезпечуючи зручний вигляд для користувачів на різних пристроях.

Основний акцент робився на інтеграцію **AR.js** для розпізнавання маркерів. Камера пристрою починає розпізнавати маркер, після чого відбувається прив'язка відео до цього маркера. Застосунок автоматично підключається до камери пристрою, відстежує маркер і виводить відповідне відео на екран.

Замість тривимірних об'єктів були використані відеофайли формату MP4. За допомогою HTML5-відеоплеєра було реалізовано відтворення відео безпосередньо на сторінці. Відео запускається автоматично після того, як камера розпізнає маркер, і зупиняється, коли маркер виходить із поля зору.

Було важливо забезпечити, щоб відео було прив'язане до маркера і правильно масштабувалося залежно від того, як користувач переміщує камеру або маркер. Це дозволило користувачам переглядати відео у доповненій реальності, коли фізичний маркер був у полі зору камери.

Під час інтеграції відеофайлів виникла необхідність у оптимізації відтворення, щоб забезпечити плавну роботу на різних пристроях. Було вирішено використовувати відео у форматі MP4 через його підтримку всіма основними браузерами та його ефективність для стрімінгу.

Було проведено тестування для визначення оптимального розміру файлів і якості відео, що дозволило знизити навантаження на мережу і забезпечити швидке завантаження та відтворення навіть на мобільних пристроях із

повільним інтернет-з'єднанням. Після інтеграції відеофайлів було проведено тестування застосунку на мобільних і настільних платформах. Метою тестування було забезпечити стабільну роботу системи розпізнавання маркерів і коректне відтворення відео.

Було перевірено різні сценарії, наприклад, як швидко відео запускається після розпізнавання маркера, як воно реагує на переміщення маркера, а також якість відтворення на різних типах пристроїв. Проблеми, такі як затримки у відтворенні або нестабільна робота камери, були вирішені за допомогою оптимізації відеофайлів та корекції налаштувань розпізнавання маркерів.

Процес налаштування середовища розробки є важливим етапом під час створення будь-якого програмного продукту, оскільки від цього залежить стабільність і швидкість подальшого розроблення та тестування. Для створення веб-застосунку з доповненою реальністю (AR), який дозволяє відтворювати відео на основі розпізнавання паперових маркерів, було обрано технології

AR.js, HTML5, CSS і JavaScript. Нижче розглянуто поетапний процес налаштування середовища розробки з поясненням вибору інструментів, встановлення необхідних бібліотек та підготовки робочого середовища.

Для успішної реалізації проекту було важливо підібрати відповідні інструменти для кодування, налагодження та тестування веб-застосунку. Основними вимогами до інструментів були: інструменти повинні бути зручними для розробки веб-застосунків і дозволяти швидке налаштування та внесення змін, можливість використовувати інструменти як на Windows, так і на macOS та Linux, інструменти повинні мати інтеграцію з технологіями для веб-розробки, зокрема HTML5, JavaScript, AR.js.

Основним текстовим редактором для розробки було обрано **Visual Studio Code (VS Code)**. Це популярний редактор коду з відкритим вихідним кодом, який підтримує безліч розширень і плагінів для роботи з веб-технологіями.

Для встановлення Visual Studio Code достатньо завантажити його з офіційного сайту і виконати стандартну процедуру встановлення.

Node.js і **npm** (Node Package Manager) були обрані як ключові інструменти для управління залежностями проекту. Node.js дозволяє запускати JavaScript на сервері, а **npm** використовується для встановлення бібліотек і модулів, необхідних для роботи з AR.js.

Для встановлення Node.js та npm: перейти на офіційний сайт Node.js і завантажити останню стабільну версію. Після встановлення перевірити, чи коректно працює Node.js, за допомогою команди: `node -v`.

Git був обраний як система контролю версій для відстеження змін у проекті та спільної роботи над кодом. Git дозволяє зберігати історію змін, створювати гілки для окремих функцій та легко повертатися до попередніх версій у разі потреби.

Після встановлення необхідних інструментів було створено базову структуру проекту. Структура включала такі компоненти:

- **index.html** головна HTML-сторінка, на якій відображається відеоплеєр та інтерфейс для роботи з AR.
- **style.css**: файл для стилізації сторінки. Тут містилися правила для відображення інтерфейсу, включаючи позиціонування елементів, налаштування кнопок і відображення маркерів.
- **main.js**: основний файл JavaScript, що керує інтеграцією AR.js і відеовідтворенням через HTML5.

Директорії проекту були розташовані наступним чином: `/my-ar-project /cssstyle.css /js main.js /videos video.mp4 index.html`.

Для реалізації функціоналу доповненої реальності (розпізнавання маркерів і відтворення відео на основі розпізнаних маркерів) було обрано **AR.js**. AR.js – це бібліотека JavaScript, яка дозволяє працювати з доповненою реальністю безпосередньо через браузер. Вона підтримує роботу з різними маркерами та легко інтегрується в HTML5-додатки.

Для підключення AR.js до проекту було додано CDN (Content Delivery Network) для завантаження бібліотеки безпосередньо з інтернету:

```

<script
src="https://cdn.rawgit.com/jeromeetienne/ar.js/1.7.2/
aframe/build/aframe-ar.min.js">
</script>

```

Після підключення AR.js стало можливим реалізувати функцію розпізнавання маркерів через камеру та прив'язати до маркерів відповідні відеофайли.

Для відтворення відеофайлів було використано можливості **HTML5відеоплеєра**. Основна перевага HTML5 полягає в тому, що відеоплеєр підтримується всіма сучасними браузерами та дозволяє безпосередньо вбудовувати відеофайли у веб-сторінку. У нашому проєкті відео плеєр автоматично запускає відео, як тільки AR.js розпізнає відповідний маркер.

```

<video id="videoPlayer" width="400" controls>
  <source
                                src="videos/video.mp4"
type="video/mp4">
  Your browser does not support the video tag.
</video>

```

JavaScript код відповідає за автоматичний запуск відео після розпізнавання маркера:

```

document.querySelector("#markerId").addEventListener("
markerFound", function () {
  var video = document.getElementById("videoPlayer");
  video.play();
});

```

Після налаштування основних інструментів і інтеграції бібліотек виникла потреба у створенні ефективного середовища для тестування та налагодження.

Для цього використовувалися вбудовані інструменти браузерів, такі як **Chrome DevTools**.

Використання Chrome DevTools дозволило відстежувати роботу застосунку в реальному часі, зокрема перевіряти коректність підключення відео та роботи AR.js, відстежувати помилки у консолі JavaScript, перевіряти продуктивність та оптимізувати завантаження відеофайлів.

Також тестування проводилося на реальних мобільних пристроях через функцію **Remote Debugging**, яка дозволяє віддалено налагоджувати вебзастосунки на смартфонах.

Оскільки застосунок був орієнтований на роботу у веб-браузерах на різних пристроях, було важливо забезпечити його стабільну роботу в таких браузерах: Google Chrome, Mozilla Firefox, Safari, Microsoft Edge.

Під час тестування були виявлені деякі проблеми з доступом до камери у Firefox і Safari. Ці проблеми були вирішені за допомогою додаткових налаштувань дозволів у браузері та оптимізації взаємодії з камерою.

4.5. Інтеграція і оптимізація відео-контенту

Одним із ключових аспектів розробки веб-застосунку з доповненою реальністю є інтеграція мультимедійного контенту, зокрема відеофайлів у форматі MP4, що відображаються у прив'язці до розпізнаних маркерів. Це дозволяє користувачам переглядати відео, яке автоматично запускається при виявленні маркера через камеру пристрою. У цьому розділі розглянуто технічні аспекти інтеграції відео в застосунок, управління відео контентом на основі маркерів та оптимізацію процесу відтворення мультимедіа.

Основними технологіями, що були використані для інтеграції відеофайлів у веб-застосунок, стали ****HTML5-відеоплеєр**** та ****AR.js****. HTML5відеоплеєр надає можливість вбудовувати та відтворювати відео без використання додаткових плагінів чи програм, що робить його універсальним рішенням для роботи з мультимедіа у веб-браузерах. З іншого боку, AR.js

відповідає за розпізнавання маркерів і взаємодію камери з фізичними об'єктами, що дозволяє інтегрувати відеоконтент у доповнену реальність.

HTML5 забезпечує потужну підтримку відеофайлів у різних форматах, серед яких найпоширенішим є MP4. Оскільки MP4 підтримується всіма основними браузерами, він був обраний як формат для зберігання та відтворення відеофайлів у застосунку. HTML5-відеоплеєр також дозволяє налаштувати різні параметри відтворення, зокрема автозапуск, відображення елементів керування відео (кнопки "play", "pause" тощо) та контроль над гучністю.

Приклад базового коду для відеоплеєра виглядає наступним чином:

```
<video id="videoPlayer" width="640" height="360"
controls>
  <source src="videos/sample.mp4" type="video/mp4">
  Your browser does not support the video tag.
</video>
```

Цей простий HTML-код дозволяє відобразити відеоплеєр на веб-сторінці та відтворювати відео, коли користувач натискає кнопку "play". Однак, у нашому випадку відео має запускатися автоматично при розпізнаванні маркера за допомогою камери. Для цього була використана інтеграція з AR.js.

AR.js дозволяє розпізнавати спеціальні маркери, такі як QR-коди або інші унікальні зображення, через камеру пристрою. Після того, як маркер розпізнано, AR.js може виконати певні дії — у нашому випадку це запуск відео у HTML5-відеоплеєрі.

Основний принцип роботи полягає в тому, що для кожного маркера визначено відповідне відео. Як тільки камера розпізнає маркер, відео, прив'язане до цього маркера, починає автоматично відтворюватися. Цей підхід забезпечує інтерактивність і динамічність взаємодії користувача з застосунком.

Першим етапом інтеграції відео було створення маркерів, які могли б розпізнаватися камерою пристрою. Для цього використовувалися стандартні маркери AR.js, а також було можливе використання кастомних зображень, які система могла ідентифікувати. Кожен маркер відповідав конкретному відеофайлу, що повинен був відтворюватися після його розпізнавання.

Приклад коду для визначення маркера в HTML:

```
<a-marker preset="hiro" id="marker1">
  <!-- Додатковий контент маркера -->
</a-marker>
```

У цьому прикладі маркер використовує пресет "hiro" — один із стандартних маркерів AR.js. У реальному проекті можливо використовувати кастомні зображення, які можуть бути завантажені та прив'язані до певного відеофайлу.

Наступним кроком було прив'язування відео до кожного конкретного маркера. Після того, як камера розпізнавала маркер, система повинна була запустити відео, відповідне цьому маркеру. Для цього у JavaScript було додано прослуховувач подій для розпізнавання маркера:

```
document.querySelector("#marker1").addEventListener(
  "markerFound", function () {
    var video = document.getElementById("videoPlayer");
    video.play(); // Запуск відео при розпізнаванні
    маркера
  }) ;
```

Цей код відстежує подію "markerFound", яка виникає, коли камера розпізнає маркер "hiro". Після цього система автоматично запускає відео у відеоплеєрі.

Щоб забезпечити логічну взаємодію з відео контентом, необхідно було додати функцію зупинки відео, коли маркер виходить із поля зору камери. Це дозволяє зберегти інтерактивність і контроль над відтворенням відео залежно від положення маркера.

Для цього було додано ще один прослуховувач подій:

```
document.querySelector("#marker1").addEventListener("markerLost", function () {
    var video = document.getElementById("videoPlayer");
    video.pause(); // Зупинка відео при втраті маркера
    video.currentTime = 0; // Повернення до початку відео
});
```

Як тільки маркер виходить з поля зору, відео зупиняється і повертається до початку, щоб бути готовим до наступного запуску.

Однією з важливих задач при інтеграції відео було забезпечення оптимізації відеофайлів для стабільного відтворення у веб-браузерах. Відео у форматі MP4 є ефективним для використання в мережі завдяки своєму балансу між якістю та розміром файлу, однак для забезпечення швидкого завантаження та відтворення потрібно було врахувати кілька факторів.

Для досягнення найкращої сумісності з різними браузерами було вирішено використовувати відео в форматі MP4 з кодеком H.264, оскільки цей формат і кодек підтримуються всіма основними браузерами. Важливо було також забезпечити належне стискання файлів без значної втрати якості.

Одним із критичних факторів для продуктивності веб-застосунку є розмір відеофайлів. Чим менший розмір файлу, тим швидше він завантажується, особливо на мобільних пристроях із повільним інтернет-з'єднанням. Щоб знизити час завантаження та уникнути затримок при відтворенні, було вирішено використовувати оптимізацію відеофайлів шляхом стискання до розміру, який забезпечує швидке завантаження, зберігаючи при цьому достатню якість.

Для цього використовувалися інструменти, такі як **FFmpeg**, для стиснення та перекодування відеофайлів:

```
ffmpeg -i input.mp4 -vcodec h264 -acodec mp2
output.mp4
```

Ця команда забезпечує стиснення відео, використовуючи кодек H.264, що дозволяє зберегти високу якість відео при зменшенні розміру файлу.

Для забезпечення плавного відтворення відео було реалізовано механізм попереднього завантаження контенту (preloading). Це означає, що відео завантажується у фоні до того, як користувач наводить камеру на маркер. Завдяки цьому відео готове до відтворення в момент розпізнавання маркера, що мінімізує затримки при запуску.

Приклад коду для попереднього завантаження відео:

```
<video id="videoPlayer" preload="auto" width="640"
height="360">
  <source src="videos/sample.mp4" type="video/mp4">
</video>
```

Атрибут `preload="auto"` дозволяє браузеру завантажити відео заздалегідь, щоб воно було готове до моменту запуску.

Під час тестування застосунку на різних мобільних пристроях виникли проблеми з автоматичним запуском відео через обмеження на автозапуск мультимедіа у браузерах на мобільних платформах. Це обмеження було реалізовано для збереження трафіку та уникнення неочікуваного відтворення звуку.

Рішення: Було додано інтерфейсну кнопку для дозволу відтворення відео, щоб користувачі могли вручну підтвердити запуск, відповідно до вимог браузерів:

```

<button id="playButton" onclick="playVideo()">Play
Video</button>
<script>
    function playVideo() {
        var video =
document.getElementById("videoPlayer");
        video.play();
    }
</script>

```

Інтеграція відеофайлів у форматі MP4 з маркерами доповненої реальності дозволила створити ефективний і динамічний веб-застосунок, який надає користувачам можливість переглядати мультимедійний контент у взаємодії з реальним світом.

У процесі розробки веб-застосунку з елементами доповненої реальності було виявлено необхідність оптимізації та покращення існуючого коду для забезпечення кращої продуктивності та підтримуваності проекту (рис. 4.7).

Після детального аналізу початкової кодової бази було прийнято рішення провести рефакторинг, зосередившись на кількох ключових аспектах: оптимізації обробки відео-контенту, покращенні системи розпізнавання маркерів та вдосконаленні користувацького інтерфейсу.

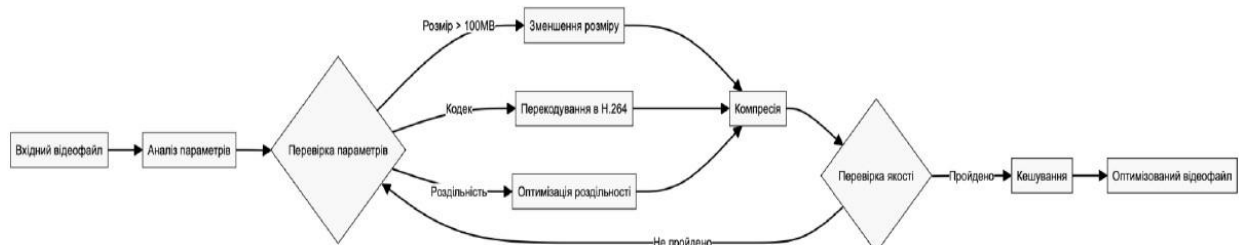


Рисунок 4.7. Діаграма процесу оптимізації відео файлів

В результаті рефакторингу було реорганізовано структуру проекту, впроваджено більш ефективні методи обробки подій та оптимізовано роботу з AR-маркерами. Особливу увагу було приділено покращенню продуктивності

при роботі з відео контентом, що дозволило зменшити затримки при відтворенні та забезпечити більш плавну роботу застосунку на мобільних пристроях. В Додатку Ж наведено структура коду в index.html після проведення рефакторингу:

4.6. Тестування та виправлення дефектів

Тестування є ключовим етапом у розробці будь-якого програмного продукту, особливо коли йдеться про інтеграцію сучасних технологій, таких як доповнена реальність (AR). Під час тестування прототипу веб-застосунку з ARелементами виникло кілька додаткових проблем, які не були враховані на етапі розробки. Деякі з цих проблем пов'язані з обмеженнями на мобільних платформах, проблемами продуктивності, стабільністю роботи відео та специфічними проблемами, що виникали у різних браузерах. У цьому розділі детально описано процес тестування та шляхи вирішення проблем.

Одна з основних проблем, що виникла під час тестування, стосувалася нестабільного відтворення відео на мобільних пристроях. Зокрема, відео могло перериватися, затримуватися або зовсім не запускатися при розпізнаванні маркера, що негативно впливало на взаємодію користувача з застосунком.

Причини проблеми:

1. Обмежені ресурси мобільних пристроїв. Деякі пристрої мають недостатньо потужні процесори або обмежену оперативну пам'ять, що ускладнює швидке завантаження та відтворення відео.

2. Проблеми з інтернет-з'єднанням. Під час тестування на мобільних пристроях із нестабільним або повільним інтернетом виникали проблеми з передаванням даних, через що відео могло завантажуватися занадто повільно.

Було прийнято рішення про подальшу оптимізацію відеофайлів. Для цього використовувалися інструменти стиснення відео, які знижували розмір файлів без суттєвих втрат якості. Це забезпечило швидше завантаження відео, особливо на мобільних пристроях із повільним інтернетом.

Було реалізовано систему попереднього кешування відеофайлів, щоб вони завантажувалися у фоні до того, як користувач наводив камеру на маркер. Це дозволило уникнути затримок при запуску відео.

Також, під час тестування було виявлено, що коли кілька відео одночасно прив'язувалися до кількох маркерів, система могла перевантажитися. Це призводить до зниження продуктивності або навіть краху браузера на деяких пристроях. Занадто велика кількість об'єктів: кілька відеофайлів одночасно завантажувалися в пам'ять, що перевищувало можливості деяких пристроїв. Відсутність обмежень на одночасне відтворення: відео могли одночасно запускатися, що збільшувало навантаження на процесор.

Було реалізовано механізм, що дозволяє відтворювати лише одне відео одночасно. Якщо інше відео починає відтворюватися, поточне відео автоматично зупиняється.

Було реалізовано механізм вивантаження відеофайлів із пам'яті після завершення їх відтворення. Це дозволило уникнути накопичення даних у пам'яті та знизити навантаження на ресурси мобільних пристроїв.

Під час тестування на реальних користувачах було виявлено, що розпізнавання маркерів могло займати значно більше часу, ніж очікувалося.

Деякі користувачі повідомляли про затримки до кількох секунд, що створювало враження повільної реакції застосунку. При недостатньому освітленні або при відблисках на маркері камера мала труднощі з розпізнаванням зображення. Низька якість камери на деяких мобільних пристроях також впливала на швидкість розпізнавання.

Було налаштовано параметри AR.js для підвищення чутливості камери та поліпшення процесу розпізнавання маркерів навіть у складних умовах. Маркери були адаптовані для кращої видимості при поганому освітленні. Зокрема, були використані більш контрастні зображення, що поліпшило швидкість їх розпізнавання.

Під час тестування на пристроях із великим екраном (планшетах, ноутбуках) виявлено, що відео могло некоректно масштабуватися або відображатися не так, як очікувалося. Це негативно впливало на користувацький досвід. Розмір відео автоматично підлаштовувався під розмір екрану, але не завжди робив це коректно, що призводило до обрізання відео або до його неправильного відображення.

Використання адаптивного дизайну за допомогою медіа-запитів CSS. Це дозволило налаштувати відеоплеєр для різних типів пристроїв і екранних роздільностей:

```
@media only screen and (min-width: 768px) {
  video {
    width: 80%;
  }
}
@media only screen and (max-width: 767px) {
  video {
    width: 100%;
  }
}
```

Було реалізовано фіксоване співвідношення сторін для відео, щоб уникнути його некоректного масштабування.

Під час тестування на браузері Safari (особливо на мобільних пристроях Apple) виявилися труднощі з доступом до камери. У деяких випадках Safari вимагав додаткових дозволів або взагалі не дозволяв використовувати камеру для розпізнавання маркерів. Особливості політики безпеки Safari на мобільних пристроях, які обмежують доступ до апаратних ресурсів без явного дозволу користувача.

Було додано функцію, яка запитує дозвіл на доступ до камери, перш ніж користувач починає взаємодіяти з AR:

```
navigator.mediaDevices.getUserMedia({ video: true
})
```

```

.then(function(stream) {
    console.log("Доступ до камери надано");
})
.catch(function(err) {
    console.log("Помилка доступу до камери: " +
err);
});

```

Було також додано повідомлення для користувачів про необхідність надання дозволу (рис. 4.8).

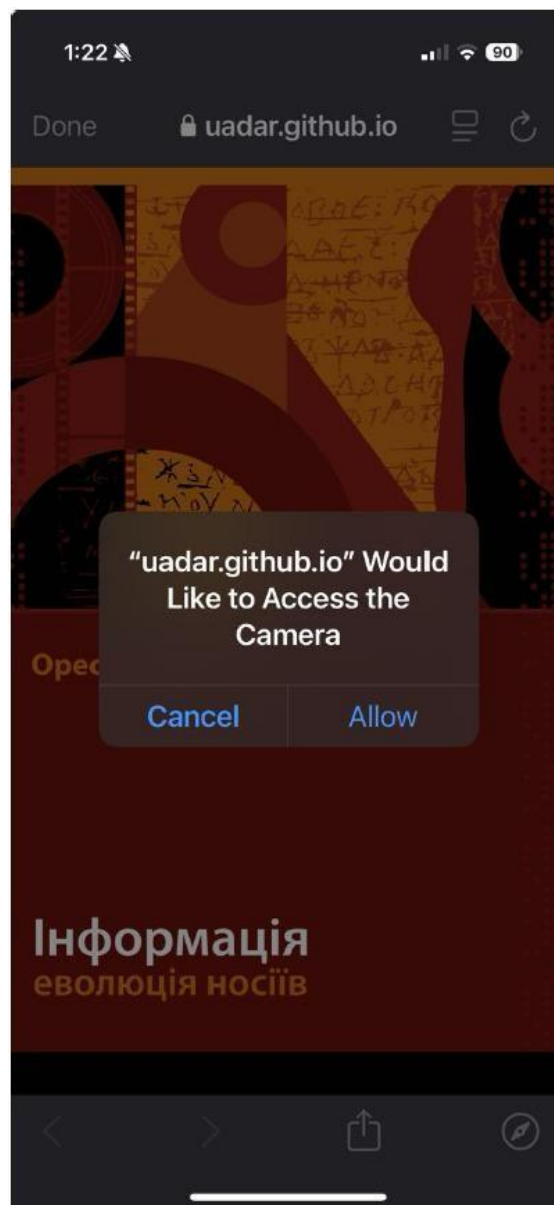


Рисунок 4.8. Реалізація повідомлення про необхідність надання дозволу

Під час тестування було виявлено, що на деяких старих версіях браузерів (наприклад, старі версії Chrome чи Firefox) відео не відтворювалося коректно або застосунок взагалі не працював. Нестача підтримки сучасних стандартів HTML5 у старих версіях браузерів.

Перед запуском застосунку було додано перевірку, чи підтримує браузер користувача сучасні стандарти. Якщо ні, користувачу пропонується оновити браузер.

Для тих користувачів, які не можуть оновити браузер, було реалізовано спрощену версію застосунку без інтерактивних функцій, але з можливістю перегляду статичного контенту.

Під час тестування з великими відеофайлами (обсягом понад 100 МБ) було виявлено, що на мобільних пристроях із повільним інтернетом відео завантажувалося дуже довго, що робило взаємодію з застосунком неприємною для користувачів. Великий обсяг відеофайлів перевантажував канал передачі даних, що призводило до тривалого завантаження контенту.

Шляхи вирішення

Було вирішено використовувати метод стрімінгу відео замість повного завантаження файлів. Це дозволило починати відтворення відео відразу після завантаження першого сегменту, не чекаючи повного завантаження файлу.

Також, була проведена додаткова оптимізація відео за допомогою більш ефективних алгоритмів стиснення відео, які дозволили зберегти якість при меншому розмірі файлів.

4.7. Розрахунок собівартості розробки мобільного додатку в порівнянні з веб-сервісом

Для розрахунків витрат на розробку мобільного додатка та веб-сервісу для AR у поліграфії ми спираємося на актуальну інформацію з веб-джерел про погодинні ставки розробників в Україні у 2025 році. Ось деякі наші напрацювання:

Погодинні ставки в Україні (2025) за даними з веб-джерел, таких як Qubit Labs, ProCoders та інших, середні погодинні ставки в Україні для ІТфахівців у 2025 році становлять:

Розробники: \$30–\$60/год (я взяв середнє \$45/год для стандартних розробників і \$50/год для AR-спеціалістів, оскільки AR вимагає специфічних навичок) [148].

- UI/UX-дизайнери: \$40–\$80/год (взяв \$50/год).
- QA-інженери: \$25–\$50/год (взяв \$35/год).
- Менеджери проєктів/бізнес-аналітики: \$40–\$100/год (взяв \$40–\$50/год) [149].

Ці ставки конкурентні порівняно з Західною Європою чи США, де вони можуть бути \$100+/год, що робить Україну привабливою для аутсорсингу [150].

Оцінка часу на розробку: ми оцінили кількість годин на основі типових проєктів середньої складності для AR у поліграфії (розпізнавання зображень, 3D-моделі, QR-коди). Дані про тривалість етапів базуються на галузевих стандартах і джерелах, таких як MoldStud та Apptunix, які описують часові рамки для подібних проєктів [150]. Наприклад: мобільний додаток: 400–600 годин на розробку через необхідність адаптації під iOS і Android; веб-сервіс: 200–300 годин, оскільки не потрібна нативна інтеграція; дизайн, тестування, управління проєктом оцінені за стандартними пропорціями (30% на дизайн, 15% на тестування, 15% на управління).

Ліцензійні витрати: для веб-AR враховано ліцензію платформи 8th Wall, яка є популярною для подібних проєктів. Базовий план коштує \$99/міс або \$1188/рік (взято річний тариф для оцінки) [151]; для мобільного додатка враховано разові витрати на публікацію в App Store (\$99/рік) і Google Play (\$25 одноразово) [152].

Підтримка та хостинг: дані про щомісячну підтримку (виправлення багів, оновлення) взяті з джерел, таких як Tech JDI, де вказані витрати \$200–\$500/міс для базового обслуговування. Ми оцінили 10–40 год/міс залежно від

типу проєкту; хостинг для AR-контенту (3D-моделі, відео) оцінено в \$50–\$200/міс на основі типових витрат для AWS або Google Cloud [153].

Галузеві стандарти: структура витрат (30% дизайн, 40% розробка, 15% тестування, 15% управління) базується на рекомендаціях від MoldStud і Arptunix для проєктів середньої складності [154]; для мобільних додатків враховано кросплатформний підхід (Unity з AR Foundation), який економить 20–30% часу порівняно з нативною розробкою [148].

Провівши дане дослідження внесемо дані для порівняння в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2.

Порівняльна таблиця витрат розробки AR застосунків

Вид робіт	Мобільний додаток	Веб-сервіс
Розробка	500 годин $\times$ \$45/год = \$22,500. Враховано кросплатформну розробку в Unity для iOS і Android, що зменшує час порівняно з нативною (Swift/Kotlin)	250 годин $\times$ \$45/год = \$11,250. Використання WebXR/8th Wall зменшує час, бо не потрібна адаптація під ОС.
Дизайн	125 годин $\times$ \$50/год = \$6250. Адаптація під обидві платформи збільшує час на 25%.	80 годин $\times$ \$50/год = \$4000. Простий інтерфейс для браузерів
Тестування	100 годин $\times$ \$35/год = \$3500. Перевірка на різних пристроях	70 годин $\times$ \$35/год = \$2450
Управління та аналіз	75 год (аналіз) $\times$ \$40 + 65 год (управління) $\times$ \$50 = \$6250	60 год (аналіз) $\times$ \$40 + 40 год (управління) $\times$ \$50 = \$4400
Публікація	\$125 + 15 год $\times$ \$40 = \$725	—
Ліцензія 8thWall	—	\$1188/рік
Підтримка	30 год/міс $\times$ \$40 $\times$ 12 міс = \$14,400 (середнє)	15 год/міс $\times$ \$40 $\times$ 12 міс + \$1188 = \$8388
Загалом	\$53,625 за перший рік	\$30,726 за перший рік

Розрахунки базувалися на свіжих даних 2025 року про погодинні ставки в Україні, тривалість розробки для AR-проектів і стандартні витрати на ліцензії та хостинг. Веб-сервіс виявився економічнішим (\$30,726 проти \$53,625 за рік) завдяки в основному меншій кількості годин на розробку та відсутності витрат на публікацію.

Висновок до розділу 4

1. Проведено аналіз та описано один з найбільш вживаних способів створення мобільного додатку для використання доповненої реальності за допомогою програмного засобу Unity.

2. Зазначено про складність використання даних розробок та їх обмеженість у використанні.

3. Як показали дослідження та розрахунки, для поліграфії з широкою аудиторією веб-сервіс — оптимальне рішення завдяки доступності, сумісності та швидкості впровадження.

4. Вибір AR.js для реалізації веб-застосунку з доповненою реальністю виявився слушним рішенням, зважаючи на її мультиплатформенність, легкість впровадження, підтримку маркерної та безмаркерної AR, відмінну продуктивність та узгодженість із сучасними веб-інструментами. AR.js відкриває перед розробниками можливість створення вражаючих AR-додатків, обходячись без специфічного обладнання або окремих програм, що робить її відмінним варіантом для кросплатформених рішень, доступних у веббраузерах.

5. Проведені економічні розрахунки підтверджують правильність вибору розробки та використання веб-застосунку.

ВИСНОВКИ

У межах проведеного дослідження вирішено науково-прикладне завдання вдосконалення імерсивних технологій для формування та візуалізації контенту поліграфічних видань шляхом аналізу й оптимізації ключових факторів впливу з використанням математичних методів. Основні результати дослідження узагальнено таким чином:

1. Проведено системний аналіз еволюції та застосування імерсивних технологій у різних сферах суспільного життя, з особливим акцентом на їх інтеграцію в поліграфічну галузь, що дозволило визначити потенціал і обмеження їх використання.
2. Здійснено ранжування факторів, що впливають на вибір оптимальної імерсивної технології для поліграфії, та розроблено багаторівневі моделі вагових коефіцієнтів. Побудовані моделі пріоритетного впливу факторів на якість процесу підтвердили їхню ефективність для оптимізації технологічного вибору.
3. Оптимізовано модель факторів впливу з використанням методу попарних порівнянь, отримавши значення максимального власного числа матриці ($\lambda_{\max} = 6,1$) та індексу узгодженості ($IU = 0,02$), що відповідає допустимим межах і підтверджує валідність отриманих результатів.
4. Встановлено, що інтеграція друкованих матеріалів із технологіями віртуальної реальності стикається з технічними, психологічними та практичними викликами, що потребують подальших досліджень. Запропоновано використання доповненої реальності (AR) як перспективного напрямку для поліграфічної галузі.
5. Виокремлено ключові елементи контенту імерсивних технологій, зокрема підкреслено роль шрифтів як складного інструменту дизайну. Визначено, що гарнітура шрифту вимагає ретельного аналізу її логіки, взаємодії з іншими шрифтами та емоційного впливу на сприйняття тексту.
6. Проведено оцінку вагомості текстового контенту, використавши коефіцієнт конкордації ($0,8$), який засвідчив високий ступінь

узгодженості експертних оцінок, підтверджуючи надійність отриманих даних.

7. Застосовано методи ранжування та попарних порівнянь для оцінки факторів, що впливають на вибір візуального контенту для AR, отримавши коефіцієнт конкордації (0,9), який підтверджує високу узгодженість експертних оцінок і ключову роль зображень у формуванні візуального сприйняття.
8. Обґрунтовано доцільність використання бібліотеки AR.js для розробки веб-застосунків із доповненою реальністю завдяки її мультиплатформенності, простоті впровадження, підтримці маркерної та безмаркерної AR, а також сумісності з сучасними веб-технологіями.
9. Запропоновано інтеграцію AR.js із технологіями Three.js, HTML, CSS, JavaScript і WebGL для створення високоефективних веб-застосунків із AR. Ця комбінація забезпечує рендеринг 3D-об'єктів, стилізацію інтерфейсу, інтерактивність і високу продуктивність, що є критично важливим для AR-додатків у реальному часі.
10. Проведено порівняльний аналіз витрат на розробку традиційних мобільних додатків і веб-застосунків для AR на основі актуальних даних 2025 року. Веб-застосунки виявилися економічно вигіднішими (\$30,726 проти \$53,625 на рік) завдяки меншій тривалості розробки та відсутності витрат на публікацію.

Отже, проведене дослідження підтверджує перспективність використання доповненої реальності в поліграфії, пропонуючи оптимізовані підходи до вибору технологій, аналізу контенту та економічної ефективності, що відкриває нові можливості для інновацій у цій галузі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стратегія розвитку читання на період до 2032 р. “Читання як життєва стратегія”. URL <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/190-2023-%D1%80#Text>.
2. Мартиненко В. О. Тенденції розвитку сучасних дитячих книговидаць в Україні: контекст взаємодії читачів з книжкою. https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/736531/1/%D0%9C%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%BA%D0%BE_%D1%81%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%82%D1%8F%2C%20%D0%9E%D0%B4%D0%B5%D1%81%D0%B0.pdf.
3. Бондаренко В. QR-код як інструмент маркетингової діяльності бібліотеки. Український журнал з бібліотекознавства та інформаційних наук. 2020. URL: <http://librinfosciences.knukim.edu.ua/article/view/205735>.
4. Гочарова Н. Технологія доповненої реальності в підручниках нового покоління. URL: <https://lib.iitta.gov.ua/id/eprint/716685/1/9c8b6a35b1ea5b7130c1ae9942824e97.pdf>.
5. Волинець В. Віртуальна, доповнена і змішана реальність: сутність понять та специфіка відповідних комп'ютерних систем. https://www.researchgate.net/publication/353313015_VIRTUALNA_DOPOVNENA_I_ZMISANA_REALNIST_SUTNIST_PONAT_TA_SPECIFIKA_VIDPOVIDNIH_KOMP'UTERNIH_SISTEM.
6. Троцюк М. Камера Обскура – геніальна коробка з діркою —. URL: <https://martatrotsiuk.com/archives/1334>.
7. Вітстоун Ч. Дослідження про зір людини: стереоскоп та його застосування. Лондон: Джон Мюррей, 1838. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Stereoscope>
8. Zone, Ray (2007). Stereoscopic Cinema and the Origins of 3-D Film, 1838–1952. Lexington: University Press of Kentucky. pp. 9–10. ISBN 978-0813124612.

9. Чарльз Вітстон. URL: <https://artsandculture.google.com/entity/m0kqdy?hl=uk>.
10. Mann, S. (2001). Intelligent Image Processing. Wiley-IEEE Press. URL: https://books.google.com/books/about/Intelligent_Image_Processing.html?id=NOdRAAAAMAAJ.
11. Життєвий цикл інновацій: погляд аналітиків Gartner. URL: <https://pmb.com.ua/uk/blog/zhiznennyj-tsikl-innovatsij-vzglyad-analitikov-gartner/>.
12. Доповнена і віртуальна реальність: схожість та відмінність. URL: <https://smart-eam.com/ua/news/dopolnennaja-i-virtualnaja-realnost-shodstvo-i-razlichie/>
13. Дорош С. М., Хамула О. Г. Цифровізація мистецтва у контексті сучасних тенденцій. *Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників і аспірантів (05 – 09 лютого 2024 р.): тези доп.* Львів, 2024. С. 122.
14. Впровадження імерсивної технології віртуальної та доповненої реальності на уроках історії. URL: <https://naurok.com.ua/dopovid-na-temu-vprovadzhennya-imersivno-tehnologi-virtualno-ta-dopovнено-realnosti-na-urokah-istori-387797.html>.
15. Колмакова В. О. Імерсивні технології як сучасна освітня стратегія підготовки майбутніх фахівців. *Українські студії в європейському контексті*. №5. 2022. С. 177-182.
16. Імерсивні технології в освіті : збірник матеріалів III Міжнародної науково-практичної конференції з міжнародною участю. / упоряд. : С. Г. Литвинова, Н. В. Сороко. Київ : ІЦОНАПН України, 2023. 211 с.
17. Інноваційні практики наукової освіти : матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції (Київ, 11–16 грудня 2024 року). – Київ : Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2024. – 1014 с.
18. Руїни в VR. Як українські компанії передають масштаби руйнувань. URL: <https://sviydim.media/articles/rebuilt/virtualna-realnist-masshtaby-rujnuvan-v-ukrayini/>.

19. Віртуальна та доповнена реальність у промоції культури. URL: https://tyktor.media/polytsia/na_vlasnii_shkuri/ar-vr-u-chernivtsiakh/.
20. Технології віртуальної та доповненої реальності для апгрейду вашого бізнесу. URL: <https://flexreality.pro/ua/>.
21. Лідер AR / VR ринку. URL: <https://www.adv.ua/>.
22. Проекти для України. URL: <https://creativeeurope.in.ua/posts/ukrainian-projects-vr-ar>.
23. Клівак, В. С. (2022). Сучасне мистецтво у віртуальній та доповненій реальності. *Український мистецтвознавчий дискурс*, (2), 20–26. URL: <https://doi.org/10.32782/uad.2022.2.3>.
24. Дорош С. М. Роль технологій у трансформації творчості. *Тези доповідей 29 Міжнародної науково-практичної конференції «Ерделівські читання»*, 29-31 травня 2024 р. Ужгород, 2024. С. 25-26.
25. Dorosh S., Khamula O. Immersive Technologies and Art. *The VII International Scientific and Practical Conference "Information technologies in education, technology and industry"*, February 19-21, 2024, Madrid, Spain. pp. 240-242. ISBN – 9-789-40372-365-5.
26. Дорош С. М., Танчин А., Хамула О. Г. Перспективи використання імерсивних технологій у мистецькому середовищі. *Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників і аспірантів (05 – 09 лютого 2024 р.): тези доп.* Львів, 2024. С. 218.
27. Дорош С. М., Хамула О. Г. Використання доповненої реальності при презентації творів мистецтва. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: тези доп. VIII Міжнар. наук.-техн. конф. (16-20 травня 2023)*, Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид», 2023. Т1. С. 88-89.
28. Дорош С. М., Пареляк А. Т., Хамула О. Г. Технології доповненої реальності в світі мистецтва. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: тези доп. VII Міжнар. наук.-техн. конф. (17-21 травня 2022)*, м. Харків: ХНУРЕ, 2022. Т1. С. 54-55.

29. Дорош С. М., Хамула О. Г. Порівняння технологій доповненої реальності для відтворення мистецьких творів. *Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників і аспірантів (06 – 10 лютого 2023 р.): тези доп.* Львів, 2023. С. 66.

30. 3D сканування культурної спадщини. URL: <https://pixelatedrealities.org/uk/>.

31. 50+ віртуальних екскурсій музеями світу і України. URL: <https://osvitanova.com.ua/posts/3833-150-virtualnykh-ekskursii-muzeiamy-svitu-i-ukrainy>.

32. Носенко, Ю. Г. (2024). Класифікація імерсивних технологій і сервісів для освітнього процесу. Наукові записки. Серія: Педагогічні науки, (216), 237-242. URL: <https://doi.org/10.36550/2415-7988-2024-1-216-237-242>

33. Види занурення. URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/98118/1/Imersyvni_tekhnolohii.pdf.

34. Хмельницька О. Застосування імерсивних технологій як прогресивний напрям модернізації професійної освіти. Вісник Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького. Професійна освіта. (за спеціалізаціями). №2. 2023. С. 191-197. <https://doi.org/10.31651/2524-2660-2023-2-191-197>.

35. Цимбалюк Т., Федасюк Д. Використання імерсивних технологій в освітньому процесі: переваги підходу, аналіз комерційних систем, класифікація навчальних середовищ. INFORMATION SYSTEMS AND NETWORKS. НУ «Львівська політехніка», Issue 15, 2024. С. 219-237. <https://doi.org/10.23939/sisn2024.15.219>.

36. Virtual Reality, VR. URL: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/virtualnaja-realnost-vr>

37. Що таке доповнена реальність (AR) і як це працює. URL: <https://ulab.sumdu.edu.ua/uk/shho-take-dopovnena-realnist-ar-i-yak-ce-pracjuie>.

38. Augmented Reality, AR. URL: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/dopolnennaja-realnost-ar>.

39. Дорош С. М., Хамула О. Г. Аналіз технологій створення доповненої реальності для творів мистецтва. *Квалілогія книги : матеріали V Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції студентів, магістрантів та аспірантів (Львів, 8 червня 2023 р.): УАД, 2023. С. 112-114.*

40. Що таке доповнена реальність? URL: <https://teach-hub.com/scho-take-dopovnena-realnist/>

41. Сидорук А. Що таке доповнена реальність (AR) і як це працює. URL: <https://drukarnia.com.ua/articles/sho-take-dopovnena-realnist-ar-i-yak-ce-pracyuye-kslvr>.

42. Яка різниця між AR, VR і MR? URL: <http://ua.xdvirtualreality.com/info/what-is-the-difference-between-ar-vr-and-mr-97385631.html>.

43. Віртуальна реальність. Відео 360 і VR 180. URL: <https://edpit.org/uk/blog-uk/virtualna-realnist-video-360-i-vr-180-2/>.

44. Голограми в івентах: технології та принципи використання. URL: <https://arenacs.ua/ua/news/gologrammy-v-yventah/>.

45. Використання імерсивних технологій вчителями у процесі змішаного навчання в закладах загальної середньої освіти : метод. рек. / СГ. Литвинова, Ю.Г. Носенко, Н.В. Рашевська, О.В. Слободяник, О.М. Соколюк, Н.В. Сороко, А.С. Сухих ; за заг. ред. Носенко Ю.Г. Київ : ІЦО НАПН України, 2024. 121 с.

46. Ткачук Г. Технологія доповненої реальності: поняття, особливості, класифікація. URL: https://www.researchgate.net/publication/364761972_TEHNOLOGIA_DOPOVNEN_OI_REALNOSTI_PONATTA_OSOBLIVIST_KLASIFIKACIA

47. Voss C., Washington P., Haber N., Kline A., Daniels J., Fazel A., De T., McCarthy B., Feinstein C., Winograd T., Wall D. "Superpower Glass: Delivering Unobtrusive Real-time Social Cues in Wearable Systems". arXiv preprint arXiv:2002.06581, 2020. URL: <https://arxiv.org/abs/2002.06581>.

48. Окуляри доповненої реальності Microsoft Hololens 2. URL: <https://viaria.com.ua/ua/microsoft-hololens-2>

49. Окуляри доповненої реальності MagicLeap. URL: https://viaria.com.ua/ua/ar-headsets/f/brand_10.
50. Smart окуляри — пристрій, що змінює реальність. URL: <https://evergreens.com.ua/ua/articles/ar-smart-glasses.html>
51. Додаток з доповненої реальності PokemonGo, щойно з'явившись, наздоганяє за популярністю Твітер. URL: https://texty.org.ua/fragments/69022/Dodatok_z_dopovненоji_realnosti_pokemon_g_o_shhojno-69022/.
52. IKEA випускає додаток з доповненою реальністю для швидкого підбору меблів. URL: <https://iland.ua/news/ikea-vypuskaie-dodatok-z-dopovненоiu-real-nistiu-dlia-shvydkoho-pidboru-mebliv/>.
53. Ханикіна Н. "Віртуальна та доповнена реальність у сучасному освітньому процесі: переваги та недоліки". Актуальні проблеми гуманітарних наук, 2021, вип. 36, ч. 2, с. 186–190.
54. Кузьмін О. «Історія Інтернет». URL: <https://www.istoriya.in.ua/istoriya-internet>.
55. Що таке HTML та як за допомогою нього увійти в IT. URL: <https://mc.today/uk/shho-take-html-ta-yak-za-dopomogoyu-nogo-uvijti-do-it/>.
56. 45. HTML документ. Структура html документа. Що тестувати? URL: <https://training.qatestlab.com/blog/technical-articles/html-document-structure-what-to-test/>.
57. Що таке CSS? URL: <https://css.tutorial.in.ua/what-is-css/>.
58. Каскадні таблиці стилів. Стильове оформлення сторінок. URL: <https://sites.google.com/view/cool-informatic/%D0%B2%D0%B5%D0%B1-%D0%B4%D0%B8%D0%B7%D0%B0%D0%B9%D0%BD/css-%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D0%BE%D0%B2%D0%B5-%D0%BE%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F-%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%80%D1%96%D0%BD%D0%BE%D0%BA>.

59. Що таке CSS і для чого потрібен веб-розробнику. URL: <https://kiev.itstep.org/blog/what-is-css-and-why-does-a-web-developer-need-it>.
60. Інформаційне забезпечення наукових досліджень. URL: https://pidru4niki.com/1538050861418/pedagogika/informatsiye_zabezpec.
61. JavaScript-анімації. URL: <https://uk.javascript.info/js-animation>.
62. Мурадян В. Javascript для всього. URL: <https://highload.tech/uk/blogs/javascript-dlya-vsogo/>.
63. Y. Yin, P. Zheng, C. Li, L Wang, A state-of-the-art survey on augmented reality-assisted digital twin for futuristic human-centric industry transformation, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, volume 81, June 2023, 102515. doi:10.1016/j.rcim.2022.102515.
64. M. Eswaran, A.-K. Gulivindala, A.-K. Inkulu, R. Bahubalendruni, Augmented reality-based guidance in product assembly and maintenance/repair perspective: a state of the art review on challenges and opportunities, Expert Systems with Applications, volume 213, part A, 1 March 2023, 118983. doi:10.1016/j.eswa.2022.118983.
65. Prabhakaran, A.-M. Mahamadu, L. Mahdjoubi, Understanding the challenges of immersive technology use in the architecture and construction industry: A systematic review, Automation in Construction, volume 137, May 2022, 104228. doi:10.1016/j.autcon.2022.104228.
66. F. Rizzetto, A. Bernareggi, S. Rantas, A. Vanzulli, M. Vertemati, Immersive Virtual Reality in surgery and medical education: Diving into the future, The American Journal of Surgery, volume 220, issue 4, October 2020, pp. 856-857. doi:10.1016/j.amjsurg.2020.04.033.
67. F. Rizzetto, A. Bernareggi, S. Rantas, A. Vanzulli, M. Vertemati, Immersive Virtual Reality in surgery and medical education: Diving into the future, The American Journal of Surgery, volume 220, issue 4, October 2020, pp. 856-857. doi:10.1016/j.amjsurg.2020.04.033.
68. C. Jung, G. Wolff, B. Wernly, ..., M. Kelm, Virtual and Augmented Reality in Cardiovascular Care: State-of-the-Art and Future Perspectives, JACC:

Cardiovascular Imaging, volume 15, issue 3, March 2022, pp. 519-532. doi:10.1016/j.jcmg.2021.08.017.

69. S.Blanco-Pons, B.Carrión-Ruiz, J.-L. Lerma, V.Villaverde, Design and implementation of an augmented reality application for rock art visualization in cova dels cavalls (Spain), Journal of Cultural Heritage, volume 39, September–October 2019, pp. 177-185. doi:10.1016/j.culher.2019.03.014.

70. C. Innocente, L. Ulrich, S. Moos, E. Vezzetti, A framework study on the use of immersive xr technologies in the cultural heritage domain, Journal of Cultural Heritage, volume 62, July–August 2023, pp. 268-283. doi:10.1016/j.culher.2023.06.001.

71. Wisher, A. Needham, Illuminating palaeolithic art using virtual reality: A new method for integrating dynamic firelight into interpretations of art production and use, Journal of Archaeological Science: Reports 50 (2023) 104102. doi:10.1016/j.jasrep.2023.104102.

72. Z. He, L. Wu, X.-R. Li, When art meets tech: the role of augmented reality in enhancing museum experiences and purchase intentions, Tourism Management, volume 68, October 2018, pp. 127-139. doi:10.1016/j.tourman.2018.03.003Get rights and content.

73. Tymchenko O., Khamula O., Vasiuta S., Lukovska O., Dorosh S., Sosnovska O. Determining the Importance of Factors in the Selection of Immersive Technology for Artworks Reproduction. *Proceedings of the 2st International Workshop on Social Communication and Information Activity in Digital Humanities (SCIA-2022)*. Lviv, Ukraine, November 9, 2023. CEUR Workshop Proceedings, 2023, pp. 155-164. ISSN 1613-0073. <https://ceur-ws.org/Vol-3608/>.

74. Доценко С., Ван Чжен. Імерсивні технології: симбіоз цифрових технологій та мистецтва. (2023). НАУКОВИЙ ІНФОРМАЦІЙНИЙ ЖУРНАЛ «Новий колегіум». №1-2. 2023 (110). Харків. С.118-124. <http://doi:10.30837/nc.2023.1-2.118>.

75. Величко Н. Інтерактивність як засіб формування дизайну дитячої друкованої книги. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 022 Дизайн ОНП Дизайн. – Харківська державна академія дизайну і мистецтв, Харків, 2021.

76. Pepsi MAX. Unbelievable Bus Shelter.
URL:<https://www.youtube.com/watch?v=NLni05wVkc0>.
77. L'Oréal Paris - MakeUp Genius - Case study.
URL:<https://www.youtube.com/watch?v=R5OnjiDa71s>.
78. Coca-Cola: Coke AR.
URL:<https://www.youtube.com/watch?v=ZVB338qU5hg>.
79. Heineken AR Experience.
URL:<https://play.google.com/store/apps/details?id=nl.Recreate.HeinekenARExperience&hl=uk>.
80. Aurasma. URL:<https://www.auganix.org/hud/aurasma/>
81. Дитячі книжки з доповненою реальністю (AR) для всієї родини.
URL:<https://artnationloyalty.com/uk/cases/case-books-ar>.
82. В Україні заснували нове видавництво «Біла Сова».
URL:<https://chytomo.com/v-ukraini-zasnuvaly-nove-vydavnytstvo-bila-sova/>.
83. Підгорна А. Книги, які «оживають»: інтерактивні додатки, які роблять книгу справжнім дивом! URL:<https://arbook.info/knygy-yaki-ozhyvayut-interaktyvni-dodatky-yaki-robyat-knygu-spravzhnim-dyvom/>.
84. Перспективи та можливості технологій віртуальної та доповненої реальності. URL:<https://lemon.school/blog/perspektyvy-ta-mozhlyvosti-tehnologij-virtualnoyi-ta-dopovnenoyi-realnosti>.
85. Віртуальна та доповнена реальність: як нові технології надихають вчитися. URL: <https://osvitoria.media/opinions/virtualna-ta-dopovnena-realnist-yakoyu-mozhe-buty-suchasna-osvita/>.
86. AR примірка одягу. URL:<https://aestar.com.ua/uk/ar-prymirka-odiagu/>.
87. Цифрова трансформація освіти: теоретико-методичні засади : збірник мат. Міжнародної науково-практичної конф., присвяч. 70-річчю проф. В. П. Сергієнка. – Київ : Вид-во УДУ імені Михайла Драгоманова, 2024. – 485 с.

88. Фундаментальні та прикладні проблеми суспільства: історія, сьогодення, майбутнє [Електронний ресурс] : тези доп. Міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 11 квіт. 2024 р.) / відп. ред. А. Кравченко. – Київ : Держ. торг.-екон. ун-т, 2024. – 313 с.

89. Концепція виховання дітей та молоді в цифровому просторі / Національна академія педагогічних наук України. – 2021. – 52 с.

90. Дорош С. М., Пареляк А. Т., Хамула О. Г. Технології доповненої реальності в світі мистецтва. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: тези доп. VII Міжнар. наук.-техн. конф. (17-21 травня 2022), м. Харків: ХНУРЕ, 2022. Т1. С. 54-55.*

91. Дорош С. М., Хамула О. Г. Порівняння технологій доповненої реальності для відтворення мистецьких творів. *Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників і аспірантів (06 – 10 лютого 2023 р.): тези доп. Львів, 2023. С. 66.*

92. Дорош С. М., Хамула О. Г. Використання доповненої реальності при презентації творів мистецтва. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: тези доп. VIII Міжнар. наук.-техн. конф. (16-20 травня 2023), Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид», 2023. Т1. С. 88-89.*

93. Мистецтво в розширеній реальності. Лекція Ульріха Шраута про XR-фестивалі <https://pryvit.media/article/xr-festivals/>.

94. Дорош С., Хамула О. Виокремлення факторів, що впливають на вибір та використання AR-технології. *Поліграфія і видавнича справа. Vol. 1, № 87. 2024. с. 28–33. URL: <https://doi.org/10.32403/0554-4866-2024-1-87-28-33>.*

95. Object Recognition in Augmented Reality. URL: <https://virtualrealitypop.com/object-recognition-in-augmented-reality-8f7f17127a7a>.

96. Роль технологій доповненої та віртуальної реальності у післявоєнному відновленні України. URL: <https://www.adv.ua/article/rol-tehnologij-dopovnenoi-ta-virtualnoi-realnosti-u-pislyavoennomu-vidnovlenni-ukraini-2/>.

97. Augmented Reality System. URL:
<https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/augmentedreality-system>.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780240824086000035?via%3Dihub>.
98. Як AR та VR технології змінюють правила гри для бізнесу. URL:
<https://proit.org.ua/iak-ar-ta-vr-tiekhnologhiyi-zminiuiut-pravila-ghri-dlia-bizniesu>.
99. Fundamental concepts. URL:
<https://developers.google.com/ar/discover/concepts..>
100. Augmented Reality, AR. URL: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/dopolnennaja-realnost-ar>.
101. Доповнена реальність для онлайн-рітейлу та електронної комерції.
 URL: <https://uk.photorobot.com/blog/augmented-reality-for-online-retail-and-e-commerce>.
102. Types of AR– Digital Promise. URL:
<https://digitalpromise.org/initiative/360-story-lab/360-production-guide/investigate/augmented-reality/getting-started-with-ar/types-of-ar/>.
103. 4 ключові типи AR: пояснення кожного типу з прикладами | Програма-Ас. URL: <https://program-ace.com/blog/types-of-ar/>.
104. How Does AR Work: Technology Behind the Augmented Experience.
 URL: <https://litslink.com/blog/what-is-augmented-reality-and-how-does-it-work>.
105. Дорош С. М., Хамула О. Г. Аналіз технологій створення доповненої реальності для творів мистецтва. *Квалілогія книги : матеріали V Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції студентів, магістрантів та аспірантів (Львів, 8 червня 2023 р.): УАД, 2023. С. 112-114.*
106. Віртуальна та доповнена реальність: як нові технології надихають вчитися. URL: [https:// osvitoria.media/opinions/virtualna-ta-dopovnena-realnist-yakoyu-mozhe-buty-suchasna-osvita/](https://osvitoria.media/opinions/virtualna-ta-dopovnena-realnist-yakoyu-mozhe-buty-suchasna-osvita/).
107. Augmented reality (AR). URL: <https://www.adv.ua/article/augmented-reality-ar/>.

108. B. Marr. 9 Powerful Real-World Applications Of Augmented Reality (AR) Today Powerful Real. URL: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/07/30/9-powerful-real-world-applications- of-augmented-reality-ar-today/>.

109. Матвієнко Ю. С. Застосування технології доповненої реальності в освітній галузі. Новітні інформаційно-комунікаційні технології в освіті. С. 163-165. URL: <http://dspace.pnpu.edu.ua/bitstream/123456789/5173/1/Matvienko1.pdf>.

110. Dorosh S., Khamula O. Identification of the main parameters of influence on the creation of quality AR-technology and their interactions. *Наукові записки УАД*. Vol. 1 №68. 2024. pp. 23-30. URL: <https://doi.org/10.32403/1998-6912-2024-1-68-23-30>.

111. Y. Liu, F. Khalid, M. R. Mustaffa, A. Azman. Dual-modality learning and transformer-based approach for high-quality vector font generation. *Expert Systems with Applications* Volume 240, 15 April 2024, 122405. doi.:10.1016/j.eswa.2023.122405.

112. R. Galiano, V. Augereau-Depoix, N. Baltenneck, L. Latour, H. Drissi. Luciole, a new *font* for people with low vision. *Acta Psychologica*. Volume 236, June 2023, 103926. doi.:10.1016/j.actpsy.2023.103926.

113. Janouskova, J. Kocyan, M. Simova, K. Uvirova, K. Zahradnickova, M. Vaculik, J. Prochazka. The effect of *font* readability on the Moses illusion: A replication study. *Consciousness and Cognition*. Volume 99, March 2022, 103284. doi.:10.1016/j.concog.2022.103284.

114. Koornneef, A. Kraal. Does BeeLine Reader's gradient-coloured font improve the readability of digital texts for beginning readers? *Computers in Human Behavior Reports*. Volume 6, May 2022, 100197. doi.:10.1016/j.chbr.2022.100197.

115. Beier, C. A.T. Oderkerk. High letter stroke contrast impairs letter recognition of bold fonts. *Applied Ergonomics*. Volume 97, November 2021, 103499. doi.:10.1016/j.apergo.2021.103499.

116. P.-C. Yeh. Impact of button position and touchscreen font size on healthcare device operation by older adults. *Heliyon*. Volume 6, Issue 6, June 2020, e04147. doi.:10.1016/j.heliyon.2020.e04147.

117. W. Wang, V. Chattaraman, J. Kerpelman, Y. Lee. Effects of Font Size and Color Contrast in Food Packaging Labels on Perceived Reading Difficulty and Consumer Response. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. Volume 123, Issue 9, Supplement, September 2023, Page A61. doi.:10.1016/j.jand.2023.06.207.

118. J. A. Mead, R. Richerson, W. Li. Dynamic Right-Slanted Fonts Increase the Effectiveness of Promotional Retail Advertising. *Journal of Retailing*. Volume 96, Issue 2, June 2020, Pages 282-296. doi.:10.1016/j.jretai.2019.10.002.

119. P. Ki Kwok, M. Yan, Z. H. Xu, J. Yun Lin, R. Da Chen, S. LongWen. Effects of line length, number of lines, line spacing, and font size on reading performance of Chinese text in virtual reality environment. *International Journal of Industrial Ergonomics*. Volume 96, July 2023, 103469. doi.:10.1016/j.ergon.2023.103469.

120. Bäckström, P. Jonsson. A framework for analysing state-abstraction methods. *Artificial Intelligence*. Volume 302, January 2022, 103608. doi: 10.1016/j.artint.2021.103608.

121. H. Deng, H. Mitsuno, E. Kuroda, S. Niki, R. Kanzaki, T. Nakamoto. Gas-phase odor mixture quantification based on relative comparison method using multiple olfactory receptors. *Sensors and Actuators B: Chemical*. Volume 401, 15 February 2024, 134995. doi.:10.1016/j.snb.2023.134995.

122. M. A. Alves, B. A. Soares de Oliveira, F. G. Guimarães. Ensemble ranking: An aggregation of multiple multicriteria methods and scenarios and its application to power generation planning. *Decision Analytics Journal*. Available online 28 February 2024, 100435. doi:10.1016/j.dajour.2024.100435/

123. H. A. Tekile, M. Brunelli, M. Fedrizzi. A numerical comparative study of completion methods for pairwise comparison matrices. *Operations Research Perspectives*. Volume 10, 2023, 100272. doi.:10.1016/j.orp.2023.100272.

124. P. Magnot, J. Mazurek, V. Čerňanová. A gradient method for inconsistency reduction of pairwise comparisons matrices. *International Journal of Approximate Reasoning*. Volume 152, January 2023, Pages 46-58. doi:10.1016/j.ijar.2022.10.005.

125. K. Karaa, G. C. Yalçın, V. Simic, Z. Baysale, D. Pamucar. The alternative ranking using two-step logarithmic normalization method for benchmarking the supply chain performance of countries. *Socio-Economic Planning Sciences*. Volume 92, April 2024, 101822. doi:10.1016/j.seps.2024.101822.

126. O. Tymchenko, S. Vasiuta, O. Khamula, Optimization of the Mathematical Model of Factors of Composite Design of Infographic. *International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies*, 2018, 2, pp. 58–61, 8526673. doi:10.1109/STC-CSIT.2018.8526673.

127. F. Zhou, L. Wu, L. Guo, Y. Zhang, X. Zeng. Local connectivity of the resting brain connectome in patients with low back-related leg pain: A multiscale frequency-related Kendall's coefficient of concordance and coherence-regional homogeneity study. *NeuroImage: Clinical*. Volume 21, 2019, 101661. doi:10.1016/j.nicl.2019.101661.

128. Google Fonts. URL: <https://fonts.google.com/>.

129. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B0_%D1%80%D0%B5%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%96%D1%81%D1%82%D1%8C

130. <https://osvita.diia.gov.ua/uploads/0/535-vrandar.pdf>

131. <https://teach-hub.com/scho-take-dopovnena-realnist/>

132. <https://unity.com/download>

133. <https://foxminded.ua/dvyzhok-unity/>

134. <https://www.tinkerteens.com/blog-post/uroky-z-unity-vstanovlennia-rushiiia-nalashtuvannia-interfeisu-ta-robota-z-obiektamy/>

135. <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>

136. <https://developer.vuforia.com/home>

137. <https://learn.microsoft.com/uk-ua/windows/mixed-reality/develop/unity/vuforia-development-overview>
138. <https://unity.com/unity-hub>
139. <https://bytescout.com/blog/sdk-vs-jdk-vs-ndk-vs-apk.html>
140. https://en.wikipedia.org/wiki/Vuforia_Augmented_Reality_SDK
141. https://uk.wikipedia.org/wiki/Android_NDK
142. Overview of ARCore and supported development environments | Google for Developers. *Google for Developers.* URL: <https://developers.google.com/ar/develop>
143. ARKit | Apple Developer Documentation. *Apple Developer Documentation.* URL: <https://developer.apple.com/documentation/arkit/>
144. Introduction | 8th Wall. *Powering the world's WebAR | 8th Wall.* URL: <https://www.8thwall.com/docs/home/intro/>.
145. WebXR Device API - Web APIs | MDN. *MDN Web Docs.* URL: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebXR_Device_API.
146. AR.js Documentation. *AR.js GitHub Pages.* URL: <https://ar-js-org.github.io/AR.js-Docs/>.
147. three.js docs. *Three.js – JavaScript 3D Library.* URL: <https://threejs.org/docs/index.html#manual/en/introduction/Creating-a-scene>.
148. How Much Does It Cost to Hire Developers in Ukraine? URL: <https://qubit-labs.com/developer-salary-ukraine/>.
149. How Much Does Software Development Cost in 2025? URL: <https://qubit-labs.com/how-much-does-software-development-cost/>.
150. Cost-Effective Mobile App Development Guide Ukraine. URL: <https://moldstud.com/articles/p-exploring-the-cost-effectiveness-of-mobile-app-development-in-ukraine-a-comprehensive-guide>.
151. What Is the Average Price of Software Development in ... URL: <https://techbehemoths.com/blog/average-price-software-development-ukraine>.
152. How Much Does Custom Software Development Costs ... URL: <https://www.spaceotechnologies.com/blog/software-development-cost/>.

153. Ukraine: IT Outsourcing Rates and Other Reasons to ...
URL:<https://onix-systems.com/blog/why-are-outsourcing-development-rates-different-in-ukraine>.

154. Cost-Effective Mobile App Development Guide Ukraine.
URL:<https://moldstud.com/articles/p-exploring-the-cost-effectiveness-of-mobile-app-development-in-ukraine-a-comprehensive-guide>.

ДОДАТКИ

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧКИ СОЛОМІЇ ДОРОШ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у наукових виданнях, включених до наукометричної бази

Scopus:

1. Dorosh S., Tymchenko O., Khamula O., Vasiuta S., Lukovska O., Sosnovska O. Using Fuzzy Logic in the Research of the Data Visualization Process in Infographics. *Proceedings of the 1st International Workshop on Social Communication and Information Activity in Digital Humanities (SCIA-2022)*. Lviv, Ukraine, October 20, 2022. CEUR Workshop Proceedings, 2022, 3296, pp. 116–127. ISSN 16130073.
2. Dorosh S., Khamula O., Drimaylo M., Tymchenko O., Vasiuta S., Sosnovska O. Determining the Priority of Factors Influencing the Selection of Information Technology for Distance Education. *Proceedings of the IEEE 17th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT)*. CSIT 2022. 10-12 November, 2022 in Lviv, Ukraine. pp. 279-283. URL: <https://doi.org/10.1109/CSIT56902.2022.10000567>.
3. Dorosh S., Tymchenko O., Khamula O., Vasiuta S., Lukovska O., Sosnovska O. Determining the Importance of Factors in the Selection of Immersive Technology for Artworks Reproduction. *Proceedings of the 2st International Workshop on Social Communication and Information Activity in Digital Humanities (SCIA-2022)*. Lviv, Ukraine, November 9, 2023. CEUR Workshop Proceedings, 2023, pp. 155-164. ISSN 1613-0073. <https://ceur-ws.org/Vol-3608/>.
4. Dorosh S., Tymchenko O., Khamula O., Vasiuta S., Sosnovska O. Development of Font Selection Method for Text Content in Immersive Technologies. *1st International Workshop on Intelligent and Cyber Physical Systems, ICyberPhys 2024*. Khmelnytskyi 28 June 2024. Code 201321. CEUR Workshop Proceedings Volume 3736, Pages 112–128. 2024. ISSN 16130073.

Публікації у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних (Index Copernicus) та є науковими фаховими виданнями України:

5. Dorosh S., Khamula O. Identification of the main parameters of influence on the creation of quality AR-technology and their interactions. / *Наукові записки УАД*. Vol. 1 №68. 2024. pp. 23-30. URL: <https://doi.org/10.32403/1998-6912-20241-68-23-30>.

6. Дорош С., Хамула О. Виокремлення факторів, що впливають на вибір та використання AR-технології. / *Поліграфія і видавнича справа*. Vol. 1, № 87. 2024. с. 28–33. URL: <https://doi.org/10.32403/0554-4866-2024-1-87-28-33>.

Публікації у фахових наукових виданнях України:

7. Дорош С., Сорока Н. Аналіз параметрів що впливають на загрузку пам'яті та обробку даних в AR-додатках. / *Квалілогія книги*. 2024. Vol. 2, № 46. с. 76–84. URL: <https://doi.org/10.32403/2411-3611-2024-2-46-76-84>.

Публікації у збірниках матеріалів конференцій:

8. Дорош С. М., Хамула О. Г. Цифрові технології у створенні сучасного мистецтва. *Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників і аспірантів (07 – 11 лютого 2022 р.): тези доп.* Львів, 2022. С. 144.

9. Дорош С. М., Пареляк А. Т., Хамула О. Г. Технології доповненої реальності в світі мистецтва. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: тези доп. VII Міжнар. наук.-техн. конф. (17-21 травня 2022), м. Харків: ХНУРЕ, 2022. Т1. С. 54-55.*

10. Дорош С. М., Хамула О. Г. Порівняння технологій доповненої реальності для відтворення мистецьких творів. *Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників і аспірантів (06 – 10 лютого 2023 р.): тези доп.* Львів, 2023. С. 66.

11. Дорош С. М., Хамула О. Г. Використання доповненої реальності при презентації творів мистецтва. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: тези доп. VIII Міжнар. наук.-техн. конф. (16-20 травня 2023)*, Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид», 2023. Т1. С. 88-89.
12. Дорош С. М., Хамула О. Г. Аналіз технологій створення доповненої реальності для творів мистецтва. *Квалілогія книги : матеріали V Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції студентів, магістрантів та аспірантів (Львів, 8 червня 2023 р.): УАД*, 2023. С. 112-114.
13. Дорош С. М., Хамула О. Г. Цифровізація мистецтва у контексті сучасних тенденцій. *Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників і аспірантів (05 – 09 лютого 2024 р.): тези доп. Львів, 2024. С. 122.*
14. Дорош С. М., Танчин А., Хамула О. Г. Перспективи використання іммерсивних технологій у мистецькому середовищі. *Науково-технічна конференція професорсько-викладацького складу, наукових працівників і аспірантів (05 – 09 лютого 2024 р.): тези доп. Львів, 2024. С. 218.*
15. Dorosh S., Khamula O. Immersive Technologies and Art. *The VII International Scientific and Practical Conference "Information technologies in education, technology and industry"*, February 19-21, 2024, Madrid, Spain. pp. 240242. ISBN – 9-789-40372-365-5.
16. Дорош С. М. Роль технологій у трансформації творчості. *Тези доповідей 29 Міжнародної науково-практичної конференції «Ерделівські читання», 29-31 травня 2024 р. Ужгород, 2024. С. 25-26.*

Додаток Б

ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

- of the 1st International Workshop on Social Communication and Information Activity in Digital Humanities (SCIA-2022).Lviv, Ukraine, October 20, 2022;
- of the IEEE 17th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT). CSIT 2022. 10-12 November, 2022 in Lviv;
- of the 2st International Workshop on Social Communication and Information Activity in Digital Humanities (SCIA-2022). Lviv, Ukraine, November 9, 2023;
- 1st International Workshop on Intelligent and Cyber Physical Systems, ICyberPhyS 2024. Khmelnytskyi 28 June 2024;
- звітних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, наукових працівників і аспірантів Української академії друкарства (Львів, 2022-2024);
- VII Міжнар. наук.-техн. конф. «Поліграфічні, мультимедійні та webтехнології» (17-21 травня 2022), м. Харків: ХНУРЕ, 2022;
- VIII Міжнар. наук.-техн. конф. «Поліграфічні, мультимедійні та webтехнології» (16-20 травня 2023),
- V Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції студентів, магістрантів та аспірантів «Квалілогія книги» (Львів, 8 червня 2023 р.) Львів: УАД, 2023;
- the VII International Scientific and Practical Conference "Information technologies in education, technology and industry", February 19-21, 2024, Madrid, Spain;
- 29 Міжнародна науково-практична конференція «Ерделівські читання», 29-31 травня 2024 р. Ужгород, 2024.

Додаток В

Проректор з науково-педагогічної роботи
Української академії друкарства



Угрин Я.М.

24 06 2024 р.

Д О В І Д К А

про використання в освітньому процесі
результатів дисертації Дорош С. М.

**«Удосконалення імерсивної технології для формування та візуалізації
контенту поліграфічних видань»**

Підготовка спеціалістів в Українській академії друкарства орієнтована на сучасний стан поліграфії та видавничої справи зі запровадженням прогресивних інформаційних технологій. В дисциплінах використовуються видавничі системи для опрацювання і верстання мультимедійного контенту, пакети керування базами даних, засоби організації мультимедійних інтерактивних видань в поєднанні використанням імерсивних технологій.

Одні з основних технологічних дисциплін навчального плану передбачають комп'ютеризацію та моделювання процесів комп'ютерного опрацювання мультимедійного контенту для випуску мультимедійних інтерактивних видань, в тому числі побудову, дослідження та удосконалення технології проектування мультимедійних видань під певні типи видавничих призначень. Це знайшло відображення в робочих навчальних програмах і методичних посібниках для лекційних та практичних курсах студентів освітнього ступеня «бакалавр», «магістр» спеціальності «Видавничо-поліграфічна справа» і студентів спеціальності «Образотворче мистецтво,

декоративне мистецтво, реставрація», а саме такі дисципліни як «Верстка вебвидань», «Технологія електронних видань», «Вебдизайн», «Програмування мобільних додатків» на кафедрі інформаційних мультимедійних технологій та «Мультимедійні технології в мистецтві», «Видавничо-поліграфічні процеси та технології» на кафедрі книжкової та станкової графіки Української академії друкарства.

Під час вивчення перерахованих вище дисциплін використовуються технології, моделі та методи, побудова, дослідження і реалізація яких здійснені у дисертаційній роботі Дорош С. М. «Удосконалення імерсивної технології для формування та візуалізації контенту поліграфічних видань». Основні серед них: мультимедійні технології, імерсивні технології, доповнена реальність, упорядковані за ваговими коефіцієнтами та оптимізовані графічні моделі вагових значень та пріоритетного впливу факторів на якість сприйняття інформації з екранів моніторів; імітаційна модель розрахунку факторів впливу на саме представлення електронних видань, які є основою створення електронних мультимедійних видань; когнітивні особливості людини.

Матеріали дисертації також використовуються під час визначення тем та змісту бакалаврських та магістерських кваліфікаційних робіт студентів інженерно-технологічних та мистецьких спеціальностей.

Завідувач кафедри інформаційних
мультимедійних технологій
д.т.н., професор



Володимир САБАТ

Завідувач кафедри книжкової
та станкової графіки
доцент, Заслужений
художник України



Сергій ІВАНОВ

Додаток Д

ARS-LONGA-VITA-BREVIS

ЖИТТЯ ШВИДКОПЛИННЕ –
МИСТЕЦТВО ВІЧНЕ

ПАЛАЦ МИСТЕЦТВ

ДЕПАРТАМЕНТ З ПИТАНЬ КУЛЬТУРИ, НАЦІОНАЛЬНОСТЕЙ ТА РЕЛІГІЙ
ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСНОЇ ДЕРЖАВНОЇ АДМІНІСТРАЦІЇ
КОМУНАЛЬНИЙ ЗАКЛАД КУЛЬТУРИ ЛЬВІВСЬКОЇ ОБЛАСНОЇ РАДИ
КУЛЬТУРНО-МИСТЕЦЬКИЙ ЦЕНТР
«ЛЬВІВСЬКИЙ ПАЛАЦ МИСТЕЦТВ»

Україна, 79005, м. Львів, вул. Коперника, 17
Код ЗКПО 23958316, р/р UA073257960000026001300600400,
ЛОУ АТ «Ощадбанк», МФО 325796
тел.: /032/ 297-00-10, 261-44-11, 261-44-91
e-mail: palace@i.ua, www.artpalace.org.ua

11 листопада 2022 року

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

Ми, представники Львівського Палацу мистецтв в особі генерального директора **Юрія ВІЗНЯКА** та заступника генерального директора з науково-мистецької діяльності **Ольги ЛУКОВСЬКОЇ** даним актом стверджуємо впровадження та використання рекомендацій, що стосуються технологічних особливостей створення доповненої реальності в процесі проведення виставки професора Української академії друкарства Ореста Хамули під назвою «Інформація: еволюція носіїв», яка проходила в період з 12 жовтня 2022 року по 2 листопада 2022 року в Львівському палаці мистецтв.

Аспіранткою Соломією Дорош запропоновано надати експонатам інтерактивності, використовуючи доповнену реальність (AR). Це нові технології поряд з віртуальною реальністю (VR), які широко застосовуються у виставковій діяльності. Використана технологія (AR) надає можливість додати творам багатошаровості та дає їм ще одне життя у віртуальному світі.

Розроблені методи й технології створення доповненої реальності є науковим здобутком дисертаційної роботи Соломії Дорош та будуть в подальшому використовуватися у виставковій діяльності Львівського палацу мистецтв.

Генеральний директор
Львівського палацу мистецтв,
кандидат економічних наук, доцент

Заступник генерального директора ЛПМ
з науково-мистецької діяльності
доктор мистецтвознавства, професор


Юрій ВІЗНЯК


Ольга ЛУКОВСЬКА

Додаток Е



ЛЬВІВСЬКА ОБЛАСНА РАДА
КОМУНАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ЛЬВІВСЬКА ОБЛАСНА БІБЛІОТЕКА ДЛЯ ДІТЕЙ»

79008, м.Львів, вул.В. Винниченка, 1,
тел. +38(032)235-87-48
e-mail : biblioteka@lodb.org.ua
www.lodb.org.ua
p/p UA218201720344230101000024404
ДСУ у м. Київ
МФО 820172 ЗКПО 02221768

11.05.2023 № 48
На № _____

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

Ми, представники в особі директора Львівської обласної дитячої бібліотеки Ольги КОНОСОВОЇ та завідувачки відділу обслуговування користувачів Ірини ПГУРИ даним актом стверджуємо впровадження та використання рекомендацій, що стосується технологічних особливостей створення доповненої реальності під час проведення виставки професора Української академії друкарства Ореста Хамули під назвою «Інформація: еволюція носіїв», яка проходила в період з 22 квітня 2023 року по 10 травня 2023 року в Львівській обласній дитячій бібліотеці.

Розроблені дисертантом методи та технології, що є науковими результатами дисертаційної роботи Дорош С. М. дають можливість удосконалення технологій відтворення доповненої реальності, що в свою чергу дає можливість для більш кращого візуального подання інформації про представлені експонати.



Директор

Ольга Конасова

Код програми

```

<!DOCTYPE html>

<html lang="en">

<head>

<meta charset="UTF-8">

<meta name="viewport"
  content="width=device-width, initial-
scale=1.0">

  <style>
    body
, html {
    ma
rgin:
0;
    pad
ding:
0;
    widt
h: 100%;
    heigh
t: 100%;
    overflow:
hidden;

    }

    #loading-screen {
    position
: fixed;
    t
op:
0;
    l
eft:
0;
    widt
h:

```

```

100%
;
    heigh
t: 100%;
    background:
url('assets/mainbackground.png')
    no-repeat center
center fixed;
    background-
size: cover;
    z-
index:
999;

    }
    .play-button {
    position
: fixed;
    t
op:
50%;
    le
ft:
50%;
    transform: translate(-
50%, -50%);
    widt
h: 80px;
    heigh
t: 80px;
    displa
y: none;
    justify-content:
center;
    align-items:
center;
    cursor:
pointer;
    z-
index:
1000;

    }

```

```

    .play-button::before {

```



```

        cont
ent: '';
        w
        idth:
        0;
        he
ight:
0;
        border-
style: solid;

        border-width: 20px 0 20px 40px;
        border-color: transparent
transparent transparent
rgba(255, 255, 255, 0.7);
        transform:
translateX(5px);
        position:
absolute;

    }

    #ar-scene {
        widt
h: 100%;
        heigh
t: 100%;
        position
: fixed;
        t
op:
0;
        l
eft:
0;

    }

</style>

<script
src="https://aframe.io/releases/1.3.0/aframe.mi
n.js"><

    /script>

```

```

    <script
      src="https://cdn.jsdelivr.net/npm/mind-
ar@1.2.0/dist/m
      indar-image-
aframe.prod.js"></script>

    </head>

    <body>

      <div id="loading-screen"></div>

      <div id="ar-scene">

        <a-scene
          mindar-
image="imageTargetSrc:
./targets.mind;
filterMinCF:0.0001;
filterBeta:0.001"
          e
mbedd
ed
          vr-mode-
ui="enabled: false"
          device-orientation-permission-
ui="enabled:
          f
als
e"

        >

        <a-camera position="0 0 0"
          look-controls="enabled:
false"></a-camera>

        <a-assets>

        <video
          id
="vid1
"
```

```

        src="assets/asset.mp4"
        preload
="auto"
        1
o
o
p
        crossorigin="anonymous"
        play
sinline
        webkit-
playsinline

```

```

    ></video>

```

```

        <video
        id
="vid2"
"
        src="assets/asset2.mp4"
        preload
="auto"
        1
o
o
p
        crossorigin="anonymous"
        play
sinline
webkit-
playsinline

```

```

    ></video>

```

```

</a-assets>

```

```

<a-entity mindar-image-target="targetIndex:
0">

```

```

        <a-plane
        wi
dth="1
"
        heigh
t="1.5"
        position
="0 0 0"
rotation="0
0 0"
        material="transparen
t: true"
        video-
material="video: #vid2"
        visible=
"false"

    ></a-plane>

</a-entity>

<a-entity mindar-image-target="targetIndex:
1">

    <a-plane
    widt
h="1.5"

    hei
ght="1"
    position
="0 0 0"
rotation="0
0 0"
    material="transparen
t: true"
    video-
material="video: #vid1"
    visible=
"false"
    ></a-plane>

    </a-entity>

```

```

    </a-scene>

</div>

<div id="playButton" class="play-button"></div>

<script>

    AFRAME.registerComponent('video-material', {
      schema
    : {
      video: { type:
'selector' }

      },

      init:
function () {
  const mesh =
this.el.getObject3D('mesh');
  const video =
this.data.video;
  const
vertexShader = `
    varying
vec2 vUv;
    void
main() {
  v
Uv =
uv;

  gl_Position =
projectionMatrix *
  modelViewMatrix *
vec4(position, 1.0);

  }

  `;
  const
fragmentShader = `
    varying
vec2 vUv;

```

```

        uniform sampler2D
videoTexture;
        void
main() {
    vec4
color =
texture2D
(videoTex
ture,
    v
Uv
);

    // Calculate distance from edges
    float dx = min(vUv.x, 1.0 -
vUv.x); float dy = min(vUv.y,
1.0 - vUv.y);
    float edgeDistance =
min(dx, dy);

    // Create soft edges
    float fadeWidth = 0.15; //
Adjust this
    value to control
fade width
    float opacity =
smoothstep(0.0,
    fadeWidth,
edgeDistance);

    // Apply overall transparency
    float globalOpacity = 0.9;
// Adjust
    this value for overall
transparency
    gl_FragColor = vec4(color.rgb,
color.a

    * opacity * globalOpacity);

}

`;
```

```

        const
videoTexture = new

        THREE.VideoTexture(video);
videoTexture.min
Filter =

        THREE.LinearFilter;
videoTexture.mag
Filter =

        THREE.LinearFilter;

videoTexture.format = THREE.RGBAFormat;
const
material = new

        THREE.ShaderMaterial({
        vertexShader:
vertexShader,
        fragmentShader:
fragmentShader,
        uni
forms:
{
        videoTexture: { value:
videoTexture }

        },
        transpare
nt: true

        });

        mesh.material =
material;

        }

        });
        document.addEventListener('DOMContentLoaded',
        func
tion() {

```

```

    const
video1 =
    document.getElementById('
vid1');
    const
video2 =
    document.getElementById('
vid2');
    const
playButton =
    document.getElementById('playBu
tton');
    const
loadingScreen =
    document.getElementById('loading-
screen');
    let currentVideo
= null; let
currentPlane = null;
let targetDetected =
false;

    const
sceneEl =
    document.querySelector('a-
scene');
    function
setupVideo(video) {
    video.addEventListener('loadedmet
adata',

        () => {
            console.log(video.id + '
metadata
lo
aded')
;

            });

        }

    [video1, video2].forEach(setupVideo);
    sceneEl.addEventListener('arReady',
() => {

```



```

        loadingScreen.style.display =
'none';

    });
    playButton.addEventListener('click',
() => {
    if (targetDetected &&
currentVideo) {

        playButton.style.display =
'none';
        currentPlane.setAttribute('vi
sible',
t
rue
);
        currentVideo.play().catch(er
ror => {
            console.error('Error playing
video:',
e
rror
);
            playButton.style.display =
'flex';

        });

    }

    });
    function
pauseOtherVideos(currentVid) {

        [video1, video2].forEach(video => {
            if (video !==
currentVid) {
                video.p
ause();
                video.currentT
ime = 0;

            }

        });

```

```

    }

    [0, 1].forEach(targetIndex => {
      const
targetEntity =
      document.querySelector(`a-entity[mindar-image-
target="
      targetIndex:
${targetIndex}"]`);
      const
plane =
      targetEntity.querySelector('a-
plane');
      targetEntity.addEventListener('targetFound',
      () => {
        console.log(`Target
${targetIndex}
f
ound`
);
        targetDetected
= true;
        currentVideo = targetIndex
=== 0 ?
        video2 :
video1;
        currentPlane
= plane;
        pauseOtherVideos(current
Video);
        playButton.style.display =
'flex';

      });

      targetEntity.addEventListener('targetLost',
      () => {
        console.log(`Target
${targetIndex}
l
ost`
);
        if (currentVideo ===
(targetIndex === 0

```

```

        ? video2 :
video1)) {
currentVideo.pause
();
    currentVideo.currentT
ime = 0;
    playButton.style.display =
'none';
    targetDetected
= false;
    plane.setAttribute('visible',
false);

    }

    });

    });

    [video1, video2].forEach(video => {
    video.addEventListener('play',
    () => {
        pauseOtherVideos(
video);

        });

        video.muted
= false;

        });

        });

</script>

</body>

</html>

```