

Міністерство культури та інформаційної політики України
Харківська державна академія дизайну і мистецтв

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ФОМІНА КАРІНА ОЛЕКСАНДРІВНА

(прізвище, ім'я по батькові)

Прим. № _____

УДК 7.01+7.021.2]:004.451.84 (043.5)
(індекс)

ДИСЕРТАЦІЯ

**ДИЗАЙН СИСТЕМ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ —
ТИПОЛОГІЯ ІНТЕРФЕЙСІВ І ПРИНЦИПИ ПРОЄКТУВАННЯ**
(назва дисертації)

Спеціальність 022 – Дизайн
(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття наукового ступеня
Доктора філософії (Ph.D)

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

_____ К. О. Фоміна
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Наукові керівники
Даниленко Віктор Якович,
доктор мистецтвознавства, професор, академік

Опалєв Михайло Леонідович,
кандидат мистецтвознавства, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Харків – 2023

АНОТАЦІЯ

Фоміна К. О. Дизайн систем доповненої реальності: типологія інтерфейсів і принципи проєктування. — Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії (Ph.D.) зі спеціальності 022 «Дизайн». — Харківська державна академія дизайну і мистецтв. Харків, 2023.

Дисертацію присвячено дослідженню особливостей дизайну систем доповненої реальності в контексті інтерфейсів взаємодії. Розкрито питання особливостей проєктування системи та її складників. Системи доповненої реальності (AR-системи) поєднують багато інтерфейсів в одному продукті і самі стають інтерфейсом між реальним та віртуальним. Їхнє проєктування пов'язане з визначенням тих будівельних блоків, що сформують майбутню систему відповідно до дизайн-концепції та наявних можливостей. Через велику варіативність складників для дизайнера ускладнено вибір оптимального рішення й постає потреба у формуванні типології систем та їхніх компонентів, визначенні характеристик та особливостей, що зумовлює актуальність дослідження.

Об'єктом дослідження є дизайн систем доповненої реальності. Предметом дослідження — типологія інтерфейсів та принципи проєктування систем доповненої реальності.

Наукова новизна полягає в тому, що в роботі вперше розроблено типологію інтерфейсів доповненої реальності та її складників на основі комплексного аналізу дизайну AR-систем. Виведено формулу створення AR як явища та визначено характеристики, необхідні для її утворення. Уточнено поняттєвий апарат. Виділено типи концептуальних метафор, що лежать в основі формотворення AR. Окреслено два концептуальні напрями розвитку інтерфейсів доповненої реальності: інтерфейси мистецтва (авторський термін) та лудичні (розважальні). Розглянуто взаємодію, покладену в основу AR-

проектів, та систематизовано рівні інтерактивності. Визначено особливості дизайну контенту, роль та особливості анімації, використання руху та простору. Укладено перелік чинників та означено основні принципи, які варто враховувати в процесі розроблення. Робота порушує питання концептуально узгодженого дизайну та окреслює особливості сучасних AR-складників і можливості щодо формування інтерактивних систем, які відповідають певним критеріям системно та обґрунтовано. Спрямовує пошук принципів та підходів дизайну AR щодо вирішення прикладних завдань.

Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел та додатків (тексту рукопису, альбому ілюстрацій, текстів додатків).

У *першому розділі* викладено результати аналізу історіографії проблеми, наведено джерельну базу, обґрунтовано актуальність теми та вибір методів дослідження. Аналіз фахової літератури дав змогу простежити етапи зародження доповненої реальності (AR) та виявити її зв'язок з аудіовізуальними практиками. Дослідження AR мультидисциплінарні і здебільшого зосереджені на технічному або освітньому складниках. Водночас питання дизайну розглянуті побічно й у контексті загальніших мистецтвознавчих питань. Виявлено потребу в комплексних дослідженнях дизайну доповненої реальності, а також відсутність сталої термінологічної бази. З огляду на нестачу в українськомовному полі чіткої термінології, уточнено та доповнено поняттєвий апарат. Визначено поняття *віртуального* та показано, що потреба в дизайні віртуальних продуктів пов'язана із загальною віртуалізацією суспільства та його процесів. Розглянуто трансформацію поглядів на доповнену реальність упродовж її розвитку: від конкретної технології до віртуального явища, яке постає на рівні сприйняття. Встановлено місце й роль AR щодо інших видів реальності, як-от віртуальна чи змішана, та віртуального загалом. Виділено особливості вживання доповненої реальності у дизайн-термінології.

У *другому розділі* визначено та класифіковано фізичні складники систем доповненої реальності, а саме: засоби відстеження і реєстрації та засоби відображення. Проілюстровано, як різні компоненти формують різні за формою і типом взаємодії види доповненої реальності: маркерну, безмаркерну, суперімпозиційну, мобільну, просторову тощо. Розглянуто нестандартні матеріали дисплеїв, зокрема воду та пісок, а також двовірні та тривимірні дисплеї. Уточнено типологію AR за функційними властивостями та галузями й доповнено розподілом за метафорами. Найпоширеніші концептуальні метафори, що лежать в основі формотворення: чарівне дзеркало, фальшиве вікно (вікно у світ), активний друк, геопозиціонування, рентгенівське бачення, акваріум, візор, ліхтарик та печера. Запропоновано концепцію формування доповненої реальності. Її утворення пов'язане зі сприйняттям користувачем створеного наративу між віртуальними даними та контекстом у базовій реальності. Розглянуто умови виникнення такого наративу. Зокрема, актуальність даних та інтерактивність стають опосередкованим способом його посилення.

У *третьому розділі* докладніше розглянуто поняття інтерфейсу та складено класифікацію інтерфейсів AR за сенсорними каналами (модальністю), мірою фізичної присутності, концептуальним підходом. Візуальні, слухові та гаптичні (тактильні) інтерфейси дають змогу створити мультимодальний інтерфейс, який поєднує сильні сторони кожної модальності. Визначено, що AR запозичує в інтерфейсі здобутки з WIMP, пост-WIMP, HUD (інтерфейсів комп'ютерних ігор) та 3D-інтерфейсів.

Особливе місце серед інтерфейсів взаємодії займають матеріальні та доповнені матеріальні. Вони дають змогу поєднати контент та засоби управління в простий та інтуїтивний спосіб, завдяки введенню фізичних об'єктів для керування. Такий підхід вирішує проблему тривимірної взаємодії в просторі. Окрім фізичних об'єктів, для взаємодії застосовуються різні цифрові двовірні та тривимірні техніки, які зумовлюють і вибір елементів управління, як-от кнопки, панелі, меню, віджети тощо.

Виділено два основні напрями концептуального спрямування доповненої реальності як інтерфейсу мистецтва (авторський термін) та лудичного (розважального) інтерфейсу. Інтерфейси мистецтва, які більше представлені як доповнені простори (перформанси, інсталяції тощо), демонструють вектор розвитку на видовищність. Особливістю просторових інтерфейсів стає можливість занурення в комбінований простір, часто без використання додаткового переносимого обладнання. Вони мають низку характеристик, які допомагають класифікувати такі системи: імерсивність, інтерактивність, змінність, знаходження користувача, напрямок сприйняття та масштабність. Розважальні інтерфейси спираються на принципи гейміфікації звичайних процесів для мотивації та залучення користувачів, зокрема системи рівнів та винагороди. Вони намагаються також створити ефект занурення, але не фізичного, а когнітивного — в ідею продукту. Досягають цього завдяки стилізації елементів управління та фізичного реквізиту, мультимодальному зв'язку та звуковому супроводу.

Встановлено, що AR-контент має тісніші зв'язки з інтерфейсом та простором, ніж в інших цифрових системах. Визначено основні принципи, що впливають на його дизайн. Виявлено значний вплив ідейного та концептуального складника. Зважаючи на ергономічні особливості та поширеність мобільної AR, затребуваною стає контекстна анімація, що вирізняється коротким часом експонування, наповненістю деталями та циклічністю. Разом з композиційною побудовою тривимірної сцени, вона стає рушійною силою розповіді. В AR змінено підхід до залучення простору, що вможливорює не тільки заглиблення в простір зображення, але й вихід у реальність та за межі фізичного формату. Відзначено потребу в узгодженості ролі доповнення та вирівнюванні відносно середовища. Виділено рух як перспективну основу для побудови взаємодії з простором та AR та окреслено умови, які спонукають користувачів до переміщень: формування в просторі зони інтересу, закладання запрограмованих реакції об'єктів та середовища на рухи та наближення до певної точки у просторі, а також винагороди.

У *четвертому розділі* розглянуто принципи побудови AR-системи: забезпечення інтерактивності, врахування людського чинника, впровадження мультимодального зв'язку, управління увагою та створення репрезентацій за принципами «спокійних технологій», постійне тестування зручності використання. Зокрема, досліджено питання взаємодії з інтерфейсом як засобу опосередкованого спілкування. Взаємодія може значно відрізнятися за якостями та властивостями і, відповідно, мірою інтерактивності від проєкта до проєкта. Систематизовано різні класифікації рівнів та площин розгляду інтерактивності, що можуть застосовуватися під час аналізу та розроблення проєктів з інтерактивним складником, зокрема AR. Більша свобода дій та керування потребує уваги до людського чинника для підтримування когнітивних процесів та виконання завдань, а також врахування ергономічних потреб, зручності, комфорту чи втоми в процесі роботи. Зважаючи на використання реального простору для функціонування в AR-інтерфейсах, було розглянуто загальні принципи проєктування таких систем, об'єднані концепцією «спокійних технологій», яка полягає в зменшенні навантаження на свідоме сприйняття та увагу користувача й окреслює підходи до подання інформації та сповіщень, серед яких «мінімум технологій», «найменша можлива увага», «інформувати та заспокоювати», «використання периферії», «поєднання технологій та людяності», «комунікувати без розмови», «працювати, коли зламається», «поважати соціальні норми» та «пошук способів заспокоєння».

Систематизовано основні проблеми, з якими може зіткнутися дизайнер під час проєктування дизайну AR-системи, пов'язані з вибором деяких фізичних компонентів, зовнішніми чинниками, внутрішніми технічними обмеженнями, сприйняттям, ергономікою, безпекою, обчисленнями, обмеженнями ПЗ тощо. Розглянуто питання процесу проєктування AR-систем, яке пов'язане з вибором певної дизайн-методології та проведенням систематичних практичних тестів, спрямованих на оцінювання загальної

ефективності системи, вдалості візуального рішення та анімацій, підтримання продуктивності та зручності використання.

Ключові слова: AR, доповнена реальність, дизайн, дизайн простору, інтерфейс, цифрове мистецтво, інноваційні технології, арт-інсталяція, медіа-мистецтво, відеомепінг, імерсивність, інтерактивність, візуальна репрезентація, аудіовізуальна проєкція, мультимедійний дизайн.

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ, В ЯКИХ ОПУБЛІКОВАНІ ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Фоміна К. О. Ключові характеристики доповненої реальності. *Art and Design*. 2021. Вип. 3. С. 82–95. DOI: [10.30857/2617-0272.2021.3.8](https://doi.org/10.30857/2617-0272.2021.3.8).
2. Фоміна К. О. Conceptual Metaphors in Augmented Reality Projects. *Art and Design*. 2023. Вип. 1 (21). Р. 34–44. DOI: [DOI:10.30857/2617-0272.2023.1.3](https://doi.org/10.30857/2617-0272.2023.1.3).
3. Фоміна К. О. Характеристики доповненого простору як інтерфейсу взаємодії з доповненою реальністю. *Актуальні питання гуманітарних наук: міжвузівський збірник наукових праць молодих вчених Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка*. 2023. Вип. 65. Т. 3. С. 59–66. DOI: [10.24919/2308-4863/65-3-9](https://doi.org/10.24919/2308-4863/65-3-9).
4. Фоміна К. О., Іваненко Т. О. Аналіз рівнів інтерактивності та взаємодії для проєктування інтерфейсів дизайн-продуктів. *ХУДПРОМ*. 2023. Вип. 2. С. 17–30. DOI: [10.33625/hudprom2023.02.017](https://doi.org/10.33625/hudprom2023.02.017).

ПУБЛІКАЦІЇ, ЯКІ ЗАСВІДЧУЮТЬ АПРОБАЦІЮ МАТЕРІАЛІВ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Фоміна К. О. Аналіз дизайну та досвіду взаємодії AR гри-розповіді «На схід від скелястих гір». *«Україна та Європа. Культура в глобальних викликах сьогодення»*: матеріали Міжнародної наукової конференції, Київ, 20-21 вересня 2023 року. Київ, 2023. С. 146–149.

2. Фоміна К. О. The Experience of Using Augmented Reality in Spatial Art. *ПЕРШІ ТАРАНУШЕНКІВСЬКІ ЧИТАННЯ*: збірник матеріалів Всеукраїнської наукової конференції, 14-15 квітня 2023 р. Харків: ХДАДМ, 2023. С. 118–120.

3. Фоміна К. О. Using Levels of Interactivity for Analysis of Augmented Reality Projects. *«Актуальні проблеми сучасного дизайну»*: матеріали V міжнародної науково-практичної конференції, 27 квітня 2023 р. Київ: КНУТД, 2023. С. 25-27.

4. Фоміна К. О. Challenges in the design of augmented reality systems. *Десяті Платонівські читання*: тези доповідей Міжнародної наукової конференції, Київ, 2022 р. Львів-Торунь: Liha-Pres, 2022. С. 239–240. DOI: 10.36059/978-966-397-301-2-111.

5. Фоміна К. О. Щодо термінів доповнена реальність та дизайн доповненої реальності. *Практичні та теоретичні питання розвитку науки та освіти*: матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції, м. Львів, 29-30 квітня 2022 року. Львів: Львівський науковий форум, 2022. С. 27–30.

6. Фоміна К. О. Сюжетні засоби анімації в проєктах із доповненою реальністю (на прикладі «Знайдення» з проєкту «Автопортрет з яблуком»). *Міжнародна науково-практична конференція «Синтез візуальних мистецтв крізь сторіччя: діалоги про вищу художню освіту Харкова», присвячена 100-річчю заснування вищої художньої школи Харкова*: збірник статей. Харків: ХДАДМ, 2021. С. 15–17.

7. Фоміна К. О. Водяні екрани, інтерфейси та доповнена реальність. *Перспективи розвитку сучасної науки та освіти*: матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції м. Львів, 25-26 вересня 2021 року. Львів: Львівський науковий форум, 2021. С. 15–17.

8. Опалєв М. Л., Фоміна К. О. Використання простору в дизайні доповненої реальності для творів живопису і графіки. *International scientific and practical conference «Cultiral studies and art criticism: things in common and development prospects»*. Venice: Izdevniecida «Baltija Publishing», 2020. С. 163–167. DOI: 10.30525/978-9934-26-004-9-111.

9. Фоміна К. О. Потенціал використання віртуальної та доповненої реальності у роботі дизайнерів. *Всеукраїнська наукова конференція професорсько-викладацького складу і студентів ХДАДМ за підсумками роботи 2019/2020 навчального року: збірник статей*. Харків: ХДАДМ, 2020. Т. 15. С. 48–50.

ПУБЛІКАЦІЇ, ЯКІ ДОДАТКОВО ВІДОБРАЖАЮТЬ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Фоміна К. О. Застосування технології доповненої реальності у вивченні геометрії. *Сучасні проблеми геометричного моделювання*. 2020. Вип. 19. С. 163–178. DOI: 10.33842/22195203/2020/19/163/178.

2. Фоміна К. О. Доповнена реальність, як дидактичний матеріал у вивченні геометрії. *XXII Міжнародна науково-практична конференція, 2-5 червня 2020 р.*: збірник тез. Мелітополь: Мелітопольський державний педагогічний університет ім. Б. Хмельницького, 2020. С. 33.

ABSTRACT

Fomina K. O. Design of augmented reality systems: typology of interfaces and design principles. — Qualifying scientific work as a manuscript.

Thesis for a Doctor of Philosophy (Ph.D.) in the specialty 022 – Design. Kharkiv State Academy of Design and Arts. Kharkiv, 2023.

The dissertation is dedicated to the investigation of design peculiarities within augmented reality systems in the context of interaction interfaces. The study delves into the issues of system design and its components. Augmented reality systems (AR systems) integrate multiple interfaces within a single product and become interfaces themselves between the real and virtual worlds. Their design involves defining the building blocks that will shape the future system in accordance with the design concept and available capabilities. Due to the extensive variability of components,

designers face challenges in selecting optimal solutions, necessitating the formulation of a typology of systems and their components, and the determination of characteristics and features. This underscores the relevance of the research.

The object of the study is the design of augmented reality systems, while the subject of the research is the typology of interfaces and principles of augmented reality system design.

The scientific novelty lies in the development, for the first time, of a typology of augmented reality interfaces and their components based on a comprehensive analysis of AR system design. A formula for creating AR as a phenomenon has been derived, and characteristics necessary for its formation have been identified. The conceptual apparatus has been refined. Types of conceptual metaphors underlying the formation of AR have been identified. Two conceptual directions for the development of augmented reality interfaces have been outlined: artistic interfaces (authorial term) and ludic (entertainment) interfaces. The interaction underlying AR projects has been examined, and levels of interactivity have been systematized. The design features of content, the role and characteristics of animation, the use of motion, and space have been determined. A list of factors and fundamental principles to consider in the development process has been compiled. The work addresses questions of conceptually coherent design, delineates the features of contemporary AR components, and explores possibilities for forming interactive systems that meet specific systemic and reasoned criteria. It directs the search for principles and approaches to AR design in addressing applied tasks.

The thesis is structured into an introduction, four chapters, conclusions, a list of references, and appendices (manuscript text, illustration album, appendix texts).

The first chapter presents the results of the historiographical analysis of the problem, provides the source base, justifies the relevance of the topic, and elucidates the choice of research methods. The examination of scholarly literature allowed tracing the stages of augmented reality (AR) emergence and identifying its connection with audiovisual practices. Interdisciplinary studies of AR predominantly focus on technical or educational components. Simultaneously,

design issues are considered peripherally and within the context of broader art-related concerns. The need for comprehensive research on augmented reality design has been identified, accompanied by a lack of consistent terminological foundations. Given the absence of clear terminology in the Ukrainian-speaking sphere, conceptual apparatus has been refined and expanded. The concepts of "virtual" and "virtual design" have been clarified, emphasizing the association between the demand for the design of virtual products and the general societal trend of virtualization and its processes. The transformation of perspectives on augmented reality throughout its development has been examined, evolving from a specific technology to a virtual phenomenon perceived on a cognitive level. The position and role of AR in relation to other forms of reality, such as virtual or mixed reality, as well as virtuality in general, have been established. Specific features of augmented reality usage in design terminology have been delineated.

In the second chapter, the physical components of augmented reality systems are defined and classified, specifically tracking and registration tools, as well as display devices. The chapter illustrates how various components shape different forms of augmented reality interaction in terms of form and type: marker-based, markerless, superimposed, mobile, spatial, and others. Unconventional display materials such as water and sand are discussed, along with two-dimensional and three-dimensional displays. The typology of augmented reality is refined based on functional properties and domains, complemented by a distribution according to metaphors. The most common conceptual metaphors underlying the shaping of augmented reality are explored, including the magic mirror, false window (window into the world), active print, geopositioning, X-ray vision, aquarium, visor, flashlight, and cave. A conceptual framework for the formation of augmented reality is proposed. Its creation is linked to the user's perception of the narrative created between virtual data and the context in the underlying reality. The conditions for the emergence of such a narrative are examined, with the relevance of data and interactivity serving as indirect means of strengthening it.

In the third chapter, the concept of the interface is examined in more detail, and a classification of AR interfaces is developed based on sensory channels (modality), the degree of physical presence, and conceptual approach. Visual, auditory, and haptic (tactile) interfaces enable the creation of a multimodal interface that combines the strengths of each modality. It is identified that AR borrows interface advancements from WIMP, post-WIMP, HUD (computer game interfaces), and 3D interfaces. Material and augmented material interfaces hold a particular place among interaction interfaces. They allow combining content and control elements in a simple and intuitive manner by introducing physical objects for manipulation. This approach addresses the challenge of three-dimensional interaction in space. In addition to physical objects, various digital two-dimensional and three-dimensional techniques are applied for interaction, influencing the selection of control elements such as buttons, panels, menus, widgets, etc.

Two main conceptual directions have been identified for the conceptual orientation of augmented reality as an interface: the art interface (or the interface of art, an authorial term) and the ludic interface. Art interfaces, primarily presented as augmented spaces (performances, installations, etc.), showcase a development vector towards spectacularity. Spatial interfaces, as a distinct type, offer the possibility of immersion in a combined space, often without the need for additional portable equipment. They possess several characteristics that aid in classifying such systems: immersiveness, interactivity, variability, user location, perception direction, and scalability.

Ludic interfaces leverage the principles of gamifying ordinary processes to motivate and engage users, incorporating systems of levels and rewards. They seek to create an immersion effect, not physical but cognitive — immersing users in the idea of the product. This is achieved through the stylization of control elements and physical props, multimodal communication, and sound accompaniment.

It has been established that AR content has closer ties to the interface and space than in other digital systems. The main principles influencing its design have been identified, emphasizing the significant impact of conceptual and ideational

components. Given the ergonomic features and prevalence of mobile AR, contextual animation becomes essential, characterized by short exposure times, detail richness, and cyclicity. Alongside the compositional construction of the three-dimensional scene, contextual animation becomes a driving force in storytelling.

In AR, there is a shift in the approach to engaging with space, enabling not only immersion into the spatial representation but also an exit into reality and beyond the physical format. The need for consistency in the role of augmentation and alignment with the environment is highlighted. Motion is recognized as a promising basis for spatial interaction with AR, and conditions that prompt users to move are outlined: the formation of zones of interest in space, programming reactions of objects and the environment to movements, and approaching a specific point in space, along with associated rewards.

In the fourth chapter, the principles of constructing an AR system are discussed, including ensuring interactivity, considering the human factor, implementing multimodal communication, managing attention, and creating representations based on the principles of "calm technology." Continuous usability testing is emphasized. The interaction with the interface, as a means of indirect communication, is explored. Interaction can significantly vary in qualities and properties, and consequently, the degree of interactivity, from project to project. Different classifications of levels and planes of interactivity are systematized, applicable during the analysis and development of projects with an interactive component, particularly in AR.

Greater freedom of actions and control requires attention to the human factor to support cognitive processes and task execution, considering ergonomic needs, convenience, comfort, and fatigue during work. Given the use of real space in AR interfaces, general design principles for such systems are considered, unified by the concept of "calm technology."

Systematizing the primary challenges, a designer may face during the design of an AR system involves issues related to the selection of certain physical components, external factors, internal technical constraints, perception, ergonomics,

safety, computations, software limitations, and more. The process of designing AR systems is examined, which involves choosing a specific design methodology and conducting systematic practical tests aimed at evaluating the overall system effectiveness, the success of visual solutions and animations, and maintaining productivity and usability.

Keywords: AR, augmented reality, design, spatial design, augmented space, interface, digital art, innovative technologies, art-installation, media-art, projection videomapping, interaction, immersiveness, interactivity, visual representation, audiovisual projection, multimedia design.

THE LIST OF RESEARCH PAPERS IN WHICH THE MAIN RESULTS OF THE THESIS WERE PUBLISHED

1. Fomina K. O. (2021). Kliuchovi kharakterystyky dopovненоi realnosti [Key characteristics of augmented reality]. *Art and Design*. (No. 3). pp. 82–95. DOI: 10.30857/2617-0272.2021.3.8 [in Ukrainian].

2. Fomina K. O. (2023). Conceptual metaphors in augmented reality projects [Conceptual metaphors in augmented reality projects]. *Art and Design*. (No. 1 (21)). pp. 34–44. DOI: 10.30857/2617- 0272.2023.1.3 [in Ukrainian].

3. Fomina K. O. (2023). Kharakterystyky dopovnenoho prostoru iak interfeisu vzaiemodii z dopovnenoiu realnistiu [Characteristics of augmented space as an interface for interaction with augmented reality]. *Aktualni pytannia humanitarnykh nauk: mizhvuzivskyi zbirnyk naukovykh prats molodykh vchenykh Drohobyt'skoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu imeni Ivana Franka*. (No. 65. Vol. 3). pp. 59–66. DOI: 10.24919/2308-4863/65-3-9 [in Ukrainian].

4. Fomina K. O., Ivanenko T. O. (2023). Analiz rivniv interaktyvnosti ta vzaiemodii dlia proiektuvannia interfeisiv dyzain-produktiv [Analysis of levels of interactivity and interaction for the design of product design interfaces]. *KhUDPROM*. (No. 2). pp. 17–30. DOI: 10.33625/hudprom2023.02.017 [in Ukrainian].

PUBLICATIONS WHICH CERTIFY THE APPROVAL OF THE DISSERTATION MATERIALS

1. Fomina K. O. (2023). Analiz dyzainu ta dosvidu vzaiemodii AR hry-rozpovidi «Na skhid vid skeliastykh hir» [Analysis of the design and interaction experience of the AR story game "East of the Rockies"]. *«Ukraina ta Yevropa. Kultura v hlobalnykh vyklykakh sohodennia» ["Ukraine and Europe. Culture in today's global challenges"]*. Kyiv. P. 146–149 [in Ukrainian].

2. Fomina K. O. (2023). The experience of using augmented reality in spatial art [The experience of using augmented reality in spatial art]. *PERSHI TARANUSHENKIVSKI ChYTANNYA [THE FIRST TARANUSHENKI READINGS]*. Kharkiv: KhDADM. pp. 118–120 [in English].

3. Fomina K. O. (2023). Using levels of interactivity for analysis of augmented reality projects [Using levels of interactivity for analysis of augmented reality projects]. *Zbirnyk materialiv V Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Aktualni problemy suchasnoho dyzainu», m. Kyiv, 27 kvitnia 2023 roku: u 2 tomakh [Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference "Actual Problems of Modern Design", Kyiv, April 27, 2023: in 2 volumes]*. Kyiv: KNUTD. (Vol. 1). pp. 25–27 [in English].

4. Fomina K. O. (2022). Challenges in the design of augmented reality systems [Challenges in the design of augmented reality systems]. *Desiati Platonivski chytannia [Ten Platonic Readings]*. Lviv-Torun: Liha-Pres. pp. 239–240. DOI: 10.36059/978-966-397-301-2-111 [in Ukrainian].

5. Fomina K. O. (2022). Shchodo terminiv dopovnena realnist ta dyzain dopovnenoii realnosti [Regarding the terms Augmented Reality and Augmented Reality Design]. *Praktychni ta teoretychni pytannia rozvytku nauky ta osvity [Practical and theoretical issues of the development of science and education]*. Lviv: Lvivskyi naukovyi forum. pp. 27–30 [in Ukrainian].

6. Fomina K. O. (2021). Siuzhetni zasoby animatsii v proiektakh iz dopovnenoiiu realnistiu (na prykladi «Znaidennia» z proiektu «Avtoportret z

iablukom»). [Story animation tools in projects with augmented reality (for example, "Finding" from the "Self-portrait with an apple" project).]. *Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «Syntez vizualnykh mystetstv kriz storichchia: dialohy pro vyshchu khudozhniu osvitu Kharkova», prysviachena 100-richchiiu zasnuvannia vyshchoi khudozhnoi shkoly Kharkova, 6 zhovtnia 2021r. [The international scientific and practical conference "Synthesis of visual arts through the centuries: dialogues about the higher art education of Kharkiv", dedicated to the 100th anniversary of the foundation of the Kharkiv Higher Art School, October 6, 2021.].* Kharkiv: KhDADM. pp. 15–17 [in Ukrainian].

7. Fomina K. O. (2021). Vodiani ekrany, interfeisy ta dopovnena realnist [Water screens, interfaces and augmented reality]. *Perspektyvy rozvytku suchasnoi nauky ta osvity [Prospects for the development of modern science and education]*. Lviv: Lvivskyi naukovyi forum. pp. 15–17 [in Ukrainian].

8. Opaliev M. L., Fomina K. O. (2020). Vykorystannia prostoru v dyzaini dopovnenoï realnosti dlia tvoriv zhyvopysu i hrafiky [The use of space in the design of augmented reality for works of painting and graphics]. *International scientific and practical conference «Cultural studies and art criticism: things in common and development prospects» [International scientific and practical conference «Cultural studies and art criticism: things in common and development prospects»]*. Venice: Izdevniecida «Baltija Publishing». pp. 163–167. DOI: 10.30525/978-9934-26-004-9-111. URL: http://www.aphn-journal.in.ua/archive/65_2023/part_3/9.pdf [in Ukrainian].

9. Fomina K. O. (2020). Potentsial vykorystannia virtualnoi ta dopovnenoï realnosti u roboti dyzaineriv [The potential of using virtual and augmented reality in the work of designers]. *Vseukrainska naukova konferentsiia profesorsko-vykladatskoho skladu i studentiv KhDADM za pidsumkamy roboty 2019/2020 navchalnoho roku [All-Ukrainian scientific conference of professors and teaching staff and students of KhDADM based on the results of the work of the 2019/2020 academic year]*. Kharkiv: KhDADM. (Vol. 15). pp. 48–50 [in Ukrainian].

PUBLICATIONS WHICH ADDITIONALLY REFLECT SCIENTIFIC RESULTS OF THE THESIS

1. Fomina K. O. (2020). Zastosuvannia tekhnolohii dopovненоi realnosti u vyvchenni heometrii [Application of augmented reality technology in the study of geometry]. *Suchasni problemy heometrychnoho modeliuvannia*. (No. 19). pp. 163–178. DOI: 10.33842/22195203/2020/19/163/178.

2. Fomina K. O. (2020). Dopovnena realnist, iak dydaktychnyi material u vyvchenni heometrii [Augmented reality as a didactic material in the study of geometry]. *XXII Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia, 2-5 chervnia 2020 r. [XXII International Scientific and Practical Conference, June 2-5, 2020]*. Melitopol: Melitopolskyi derzhavnyi pedahohichnyi universytet im. B. Khmelnytskoho. pp. 33 [in Ukrainian].

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	4
ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ I. ТЕОРЕТИЧНІ РОЗРОБКИ В ГАЛУЗІ	
ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ	
1.1. Історіографія та аналіз літератури з дизайну систем AR	14
1.2. Методи дослідження	38
1.3. Поняттєвий апарат доповненої реальності.....	40
Висновки до першого розділу.....	57
РОЗДІЛ II. СКЛАДНИКИ СИСТЕМ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ	
ТА ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМИ.....	
2.1. Складники системи та їхній вплив на дизайн доповненої реальності.....	61
2.2. Ключові характеристики, які відіграють роль у формуванні AR	79
2.3. Форми репрезентації та метафори доповненої реальності	87
Висновки до другого розділу	99
РОЗДІЛ III. ДОПОВНЕНА РЕАЛЬНІСТЬ ЯК ІНТЕРФЕЙС	
ЛЮДИНО-КОМП'ЮТЕРНОЇ ВЗАЄМОДІЇ	
3.1. Розподіл інтерфейсів за сенсорними каналами	101
3.2. Нестандартні інтерфейси доповненої реальності	111
3.2.1. Форми AR-інтерфейсів мистецтва.....	111
3.2.2. Характеристики просторово доповнених середовищ.....	119
3.2.3. Принципи покладені в основу лудичних AR-інтерфейсів	126
3.3. Дизайн контенту доповненої реальності	133
3.3.1. Об'ємно-просторовий дизайн контенту.....	133
3.3.2. Рух як основа дослідження простору	145
Висновки до третього розділу.....	150
РОЗДІЛ IV. ПІДХОДИ ТА ПРИНЦИПИ ПРОЄКТУВАННЯ	
AR-СИСТЕМИ.....	
4.1. Взаємодія, рівні інтерактивності та людський чинник у AR-системі	153
4.2. Підходи до проєктування AR, виклики, стандарти та оцінювання	166

Висновки до четвертого розділу.....	174
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	177
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	185
ДОДАТКИ.....	226
Додаток А. Аналітичні схеми та таблиці.....	226
Додаток Б. Ілюстрації	258
Додаток В. Перелік схем, ілюстрацій та таблиць	345
Додаток Г. Термінологічний словник	364
Додаток Д. Додаткові матеріали.....	369
Додаток Е. Список публікацій здобувача	431
Додаток Ж. Апробація результатів дослідження	434

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- AR — Доповнена реальність (Augmented reality)
- GUI — Графічний інтерфейс користувача (Graphic User Interface, GUI)
- HCI — Взаємодія «Людина-Комп'ютер» (Human-computer interaction, HCI)
- HMD — Наголовний дисплей (Head-mounted display, HMD)
- HUD — Надголовний дисплей (Head-Up display, HUD)
- HHI — Взаємодія «Людина-Людина» (Human-Human interaction, HHI)
- HII — Взаємодія «Людина-Інформація» (Human-Information interaction, HII)
- MR — Змішана реальність (Mixed reality)
- OST — Оптично прозорі дисплеї (Optical see-through, OST)
- RR — Справжня реальність (Real reality)
- RV — Континуум реальності-віртуальності (Reality-Virtuality)
- SD — Просторові дисплеї (Spatial Display, SD)
- SID — Просторово занурені дисплеї (Spatial immersive display, SID)
- UI — Інтерфейс користувача (User Interface, UI)
- VE — Віртуальне середовище (Virtual Environment)
- VR — Віртуальна реальність (Virtual reality)
- VST — Відео-прозорі дисплеї (Video see-through, VST)
- ПЗ — Програмне забезпечення

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Доповнена реальність набула широкого застосування в багатьох сферах людського життя. Вона охоплює галузі навчання, ігор, воєнних технологій, допомагає в повсякденних справах і спеціалізованих проєктах. Доповнена реальність стала складником робочого процесу в інженерному проєктуванні, будівництві, автомобільній промисловості, авіації — там, де потрібно отримувати актуальну інформацію з урахуванням навколишніх змінюваних обставин.

Доповнена реальність (англ. *Augmented reality*, далі — AR) є поєднанням звичайної реальності, яку сприймає людина, здебільшого своїм зором, з віртуальним шаром, що накладається на цю реальність за допомогою певного пристрою та дає змогу доповнити її додатковою інформацією. Уже зараз AR використовується у багатьох галузях: мистецтво та дизайн-процеси, освіта, навігація та картографія, підказки та інструкції, симуляції, розваги. Вона додає відчуття гри у звичайні процеси та змінює сприйняття навколишнього світу. Поширенню й популярності технології AR сприяли переваги, що отримує кінцевий споживач, серед яких:

1. зрозумілість інформації. Наочне розміщення інформації в просторі в поєднанні з базовою реальністю роблять її зрозумілішою. Зокрема, накладання моделі скелету на поверхню руки дає змогу наочно розгледіти розміщення кісток і роздивитися їх у різних ракурсах з урахуванням положення руки та робить процес навчання медичній справі простішим [78].

2. Інтерактивність. Отримання інформації щодо об'єкта спостереження (інструкції виконання робіт під час ремонту або вказівок щодо руху за маршрутом тощо).

3. Візуальна ефектність. Багато проєктів, особливо у галузі мистецтва, які створюють доповнену реальність, приваблюють глядачів ефектним поданням та багатим аудіовізуальним рядом.

4. Наочність. Навчання з використанням AR набуває популярності у світі й дає змогу зробити процес більш цікавим і наочним.

5. Реалістичність. Завдяки поєднанню з середовищем, AR має більший ефект впливу на глядача порівняно зі сприйняттям у віртуальній реальності.

6. Інноваційність. AR сприймається як щось нове й сучасне, що переносить користувача у світ майбутнього. Це уявлення підкріплене реальними здобутками науки, адже її створення та розвиток забезпечується застосуванням та розробкою передових, найсучасніших технологій.

7. Широкі можливості застосування. Варіанти та нові ідеї застосування AR весь час поповнюються.

Таке поширення доповненої реальності та збільшення її доступності і популярності пов'язане з появою нових можливостей та викликів для дизайнерів. По-перше, це розширило діапазон як зображальних засобів мистецтва, так і утилітарних застосунків. По-друге, це поставило дизайнерів у доволі жорсткі межі й зробило дизайн не просто мультидисциплінарним, а квазімультидисциплінарним, коли у найскладніших випадках дизайнеру (або дизайн-команді) доводиться працювати одночасно з реальним і віртуальним простором, ставати його архітектором, продумувати сценарії не лише продукту, а й організаційних процесів навколо нього. Проектувати інтерфейси різного рівня заглиблення та модальності, залучаючи як «традиційні», так і досить новітні засоби тривимірної взаємодії, не говорячи вже про образно-стилістичне, концептуальне та сюжетне рішення. Серед усіх видів проектування, деякі види систем доповненої реальності складніші навіть за системи віртуальної реальності.

Сучасний стан проблеми. Хоча напрям досліджень у галузі доповненої реальності розвивається, що особливо помітно в останні роки, але такі дослідження більше пов'язані з технічним утіленням та іншими дисциплінами, які не стосуються суто дизайну. Розроблення щодо дизайну систем доповненої реальності та дизайну інтерфейсів загалом — несистемні й, основне, не мають узагальненого підходу щодо принципів проектування таких об'єктів. Принципи побудови графічних інтерфейсів науковці опрацьовують лише переважно щодо віконних та вебінтерфейсів. Через це зараз

існує чималий пробіл з боку досліджень з дизайну систем доповненої реальності, а більшість практичних розроблень демонструють безсистемний підхід та інтуїтивне проєктування інтерфейсу. Данну проблему намагаються вирішити для своїх продуктів великі компанії, такі як: «Microsoft», «Google», «Apple», — але поки що зазначене питання перебуває у стані формування та спрямоване більше на внутрішні потреби компаній.

Складність дослідження полягає також, по-перше, у багатомірності та контекстуальності його компонентів, зокрема інтерфейсу, інтерактивності, доповненої реальності. По-друге, відбувається постійний розвиток технологій, які забезпечують створення нових видів доповненої реальності, що впливає на зміну й розширення можливих підходів до дизайну інтерфейсу, арсеналу засобів виразності. Усе це зумовлює актуальність теми дослідження.

У практичному аспекті разом з розвитком та впровадженням технології AR постає ще одна вагома проблема — керування та взаємодія із середовищем, сформованим технологіями. AR-система потребує можливості взаємодії з користувачем та обміну даними, але традиційні графічні віконні інтерфейси, що керуються за допомогою клавіатури та миші, не відповідають її потребам. За останні десятиліття людство зробило значний крок у технологічному плані — від кнопкових приладів, які довго застосовувалися для управління різноманітними пристроями та системами, перейшло до розпізнавання положень у просторі, систем машинного навчання, що дало змогу втілити та покращити алгоритми аналізу даних. Завдяки цьому набули розвитку інтерфейси, що зосереджені на керуванні дотиком, рухами, жестами, голосом.

Сьогодні таке різноманіття можливостей і відповідних інтерфейсів дає змогу поєднати в AR-системі різноманітні компоненти, які забезпечать взаємодію та врахують її особливості. Водночас її проєктування охоплює й визначення складників, тих будівельних блоків, що сформують майбутню систему відповідно до дизайн-концепції та наявних можливостей. Через велику варіативність складників AR-системи, вибір оптимального рішення й

комбінації для дизайнера ускладнюється і постає потреба у формуванні типології AR-систем та її компонентів.

Оскільки дизайн систем доповненої реальності має свої характерні особливості, постала науково-прикладна *проблема, яка містить декілька завдань: необхідність узагальнення знань про різновиди доповненої реальності, типологію інтерфейсів та можливості взаємодії з ними; визначення характеристик і критеріїв, що впливають на дизайн інтерфейсу; та принципи проєктування інтерфейсу в контексті AR.* Укладення типології доповненої реальності та з'ясування принципів проєктування окреслює подальший розвиток як у теоретичних дослідженнях, так і наукових розробленнях для вирішення практичних завдань. З одного боку, це порушує питання дизайну сучасних інтерфейсів, відкриває можливості щодо формування інтерактивних систем, які відповідають певним критеріям системно та обґрунтовано. З іншого, спрямовує пошук підходів та формування принципів дизайну AR для вирішення прикладних завдань. Отже, *вирішення поставленої в роботі проблеми, пов'язаної з дизайном систем доповненої реальності, є актуальним як у теоретичному (типологія інтерфейсів та визначення їхніх особливостей і принципів проєктування), так і в практичному значенні (використання принципів дизайну для розробки інтерфейсів систем доповненої реальності різного спрямування).*

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження виконано відповідно до плану наукової роботи кафедри мультимедійного дизайну Харківської державної академії дизайну і мистецтв за темою «Інновації в мультимедійному дизайні у контексті науково-технологічного прогресу» (затверджено Вченою Радою ХДАДМ 29 жовтня 2021 року, протокол №15).

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є визначення типології інтерфейсів та систематизація особливостей дизайну систем доповненої реальності. Поставлена мета передбачає вирішення таких завдань:

- на основі аналізу інформаційних джерел з теми дослідження виявити ступінь наукового осмислення дизайну систем доповненої реальності;
- розглянути генезис систем доповненої реальності;
- узгодити базові поняття й термінологію відповідно до теми дослідження та визначити методи дослідження;
- дослідити системи доповненої реальності, визначити їхні складники та особливості формування AR;
- сформувати типологію AR-систем і виділити основні інтерфейси, над розробленням яких працює дизайнер;
- визначити принципи, за якими розробляється дизайн системи;
- окреслити перспективи подальших наукових розвідок.

Об’єкт дослідження — дизайн систем доповненої реальності.

Предметом дослідження є типологія інтерфейсів та принципи проєктування систем доповненої реальності.

Матеріалами дослідження є програми, мобільні застосунки та об’єкти, які використовують технологію доповненої реальності, а також мультимедійні матеріали, що демонструють візуальні рішення, анімації, ефекти, розроблені для використання в доповненій реальності, які зібрано з джерел масової інформації, профільних електронних каталогів, вебсайтів, наукових статей та іншої спеціальної літератури, присвяченої графічному та мультимедійному дизайну й доповненій реальності, а також з інформаційних ресурсів мережі Інтернет. Поміж розмаїття інтерфейсів та мультимедійних матеріалів обрано ті, що використовують у своїй роботі доповнену реальність або в яких вона є вагомим складником дизайнерського рішення.

Хронологічні межі дослідження визначені періодом 1960–2023 років з фокусом на останні 20 років, оскільки саме в цей час виникли і формувалися нові засоби взаємодії з інтерфейсами, експерименти у сфері технологій та дизайну, що сприяли актуалізації пошуків нових технічних і художніх засобів виразності, а також співзвучної цьому часу візуально-образної мови дизайнерських об’єктів. Формування основних принципів проєктування

інтерфейсів з доповненою реальністю відбувається саме зараз, з оперттям на здобутки дизайну графічних віконних, повноекранних, ігрових та мобільних інтерфейсів, що стало визначальним для становлення дизайну систем доповненої реальності.

Територіальні межі дослідження визначені специфікою роботи й охоплюють досвід проєктування систем доповненої реальності дизайнерів із різних країн світу, зокрема США, Австралії, Австрії, Вірменії, Великобританії, Італії, Іспанії, Канади, Китаю, Німеччини, Нової Зеландії, ОАЕ, Південної Кореї, Польщі, Румунії, Сінгапуру, Словенії, Фінляндії, Франції, Швеції, Японії, а також з України, оскільки саме в цих країнах у період із 2000-х років дизайнерська спільнота гостро реагувала на технологічні зміни початку XXI ст. та проводились експерименти з доповненою реальністю.

Методи дослідження. Загальне спрямування дослідження передбачає використання герменевтичної та феноменологічної стратегії дослідження, що є цілком характерним для досліджень у галузі дизайну, а також, застосування мультиметодологічного підходу. Вивчення досвіду створення AR-проєктів у науковій літературі та окремих візуальних AR-творів з відкритих джерел — у взаємозв'язку ергономічних, психологічних, естетичних чинників, технік взаємодії та виразності форми — спрямоване на пошук характеристик та особливостей, що відрізняють дизайн доповненої реальності. Методологічну базу дослідження становить сукупність загальнонаукових і спеціальних методів: метод аналізу та синтезу, теоретичний аналіз, системно-історичний аналіз, класифікація, систематизація, поняттєво-аналітичний метод, порівняльний, системно-структурний, типологізація, графічно-аналітичний метод, емпіричне використання.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що:

уперше:

— розроблено типологію інтерфейсів доповненої реальності та її складників на основі комплексного аналізу дизайну AR-систем;

- виведено формулу створення AR як явища та визначено характеристики, необхідні для її утворення;
- виділено типи концептуальних метафор, що лежать в основі формотворення доповненої реальності;
- окреслено два концептуальні напрями розвитку інтерфейсів доповненої реальності: інтерфейси мистецтва (авторський термін) та лудичні (розважальні);
- систематизовано рівні інтерактивності;
- визначено особливості дизайну контенту й роль анімації;
- розглянуто використання руху та простору у дизайні AR;
- складено перелік чинників, які має враховувати дизайнер в процесі проєктування.

Удосконалено:

- уявлення про особливості дизайну AR;
- визначення поняття «доповненої реальності», «взаємодія» (інтеракція) та «інтерактивність»;
- класифікацію проєктів доповненої реальності за функційним призначенням та галузями використання;

Набуло подальшого розвитку:

- систематизація історіографії розвитку доповненої реальності;
- дослідження інтерфейсів загалом і доповненої реальності зокрема;
- формування теоретичної бази та практичних рекомендацій щодо розроблення дизайну для AR.

Теоретичне значення дослідження полягає в тому, що воно формує цілісне, науково обґрунтоване уявлення про дизайн систем доповненої реальності загалом та її складників, що може бути корисним: в орієнтації в наявному різноманітті їхніх форм; у використанні у навчальному процесі, наприклад, під час підготування лекційних курсів, підручників та навчальних посібників з мультимедійного дизайну; в подальших наукових розвідках щодо дизайну різноманітних видів доповненої реальності.

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості використання матеріалів дослідження під час проєктування AR-інтерфейсів різного порядку, зокрема, з урахуванням підходів, принципів, чинників та послуговуючись для пошуку ідей описаними прийомами й візуальним матеріалом.

Особистий внесок здобувача. Автором комплексно досліджено особливості дизайну систем доповненої реальності в усій її багатоваріантності та мультидисциплінарності. Основні результати отримані автором особисто. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, дисертанту належить фактичний матеріал і основний творчий доробок.

Апробація результатів дослідження відбувалась на 9 всеукр. і міжнар. наук. та наук.-практ. конф.: Міжнародна наукова конференція «Україна та Європа. Культура в глобальних викликах сьогодення» (Київ, 20-21 вересня 2023 року) доповідь *«Аналіз дизайну та досвіду взаємодії AR гри-розповіді “На схід від скелястих гір”»*; Всеукраїнська наукова конференція «ПЕРШІ ТАРАНУШЕНКІВСЬКІ ЧИТАННЯ» (Харків, 14-15 квітня 2023 р.) доповідь *«Досвід використання доповненої реальності у просторовому мистецтві»*; V міжнародна науково-практична конференція «Актуальні проблеми сучасного дизайну» (Київ, 27 квітня 2023 р.) доповідь *«Використання рівнів інтерактивності для аналізу проєктів доповненої реальності»*; Міжнародна наукова конференція «Десяті Платонівські читання» (Київ, 20 листопада 2022 р.) доповідь *«Виклики в дизайні систем доповненої реальності»*; V Міжнародна науково-практична конференція «Практичні та теоретичні питання розвитку науки та освіти» (Львівський науковий форум, 29-30 квітня 2022 року) доповідь *«Щодо термінів доповнена реальність та дизайн доповненої реальності»*; Міжнародна науково-практична конференція «Синтез візуальних мистецтв крізь сторіччя: діалоги про вищу художню освіту Харкова», присвячена 100-річчю заснування вищої художньої школи Харкова (Харків, 6 жовтня 2021 р.) доповідь *«Сюжетні засоби анімації в проєктах із доповненою реальністю (на прикладі “Знайдення” з проєкту “Автопортрет*

з яблуком”»); IV Міжнародна науково-практична конференція «Перспективи розвитку сучасної науки та освіти» (Львівський науковий форум, 25-26 вересня 2021 року) доповідь *«Водяні екрани, інтерфейси та доповнена реальність»*; Міжнародна науково-практична конференція «Cultural studies and art criticism: things in common and development prospects» (Венеція, 27-28 листопада 2020 р.) доповідь *«Використання простору в дизайні доповненої реальності для творів живопису і графіки»*; Всеукраїнська наукова конференція професорсько-викладацького складу і студентів ХДАДМ за підсумками роботи 2019/2020 навчального року (Харків, 18 травня 2020 р.) доповідь *«Потенціал використання віртуальної та доповненої реальності у роботі дизайнерів»*.

Публікації. Основні положення дослідження були оприлюднені в 13 наукових публікаціях: 4 з них — у фахових виданнях (включені до переліку МОН України), 9 — у збірниках матеріалів і тез наукових конференцій. Додатково висвітлюють результати дослідження: 1 стаття в фаховому виданні та 1 тези конференції.

Структура і обсяг роботи. Робота містить вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел (414 позицій), ілюстрації (153 іл. на 91 стор.), схеми та таблиці (39 табл. на 27 стор.), додатки, список публікацій та апробацій результатів дослідження. Загальний обсяг роботи складає 420 стор., основний текст – 180 стор.

РОЗДІЛ I

ТЕОРЕТИЧНІ РОЗРОБКИ В ГАЛУЗІ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ

З одного боку, завдяки мультидисциплінарності предмету, теоретична база дизайну систем з доповненою реальністю ввібрала в себе напрацювання з різних галузей та десятиліття досвіду в суміжних сферах дизайну. З іншого, це — усе ще дуже молодий напрям, в якому дизайнерами тільки починається переосмислення під свої потреби тих підходів та принципів, що вже сформувалися, і пошук нових шляхів вираження зі своїми індивідуальними рисами. Для розуміння того, яким має бути дизайн доповненої реальності, насамперед варто визначити, що являє собою доповнена реальність на сучасному етапі розвитку.

1.1. Історіографія та аналіз літератури з дизайну систем доповненої реальності

Доповнена реальність (AR) пройшла довгий шлях формування, щоб набути ті можливості, які зараз має змогу використовувати мистецька та інші галузі. Як зазначив Джеймс Бенігер (James R. Beniger), інформаційна «революція контролю» не відбулася в один момент у 1960-х з появою перших ЕОМ. Зміни в суспільстві, розвиток технологій, накопичення знань відбувалися поступово впродовж століття в складі більших процесів і вони все ще тривають [106; 390]. Так само, і технології доповненої реальності є результатом тривалого розвитку, як технологічного, так і концептуального.

Дослідження дизайну AR-систем лежить на перетині різних дисциплін: інженерії, інформатики, когнітивістики, віртуалістики, філософії, культурології, мистецтвознавства загалом та дизайну зокрема. Така велика кількість дисциплін свідчить про наявний інтерес до предмету та проникнення доповненої реальності в різні сфери. Кожна з дисциплін має свої погляди на певні поняття в цій галузі, а AR розглядається окремо або в межах більших

понять — віртуального та нових медіа. Це водночас збагачує та ускладнює дослідження, виявляючи багатошаровість феномену доповненої реальності та багатокомпонентність її системи.

AR формувалася на стику оптичних ілюзій, розвитку практик аудіовізуального мистецтва та імерсійних вистав, відеопроєкцій та 3D-мепінгу, комп'ютерних обчислень та симуляцій, портативних дисплеїв та носимих пристроїв. Її шлях тісно пов'язаний з розвитком комп'ютерної віртуальної реальності та технологій відображення і відстеження, які вони обидві використовують. Не обійшлося і без запозичення досвіду просторового дизайну комп'ютерних ігор та принципів, що використовуються в цифрових та реальних інтерфейсах. Спроби доповнити наявну реальність виникали в людей ще в до комп'ютерну епоху. Поміж таких прикладів використання камери Обскура (перше задокументоване зображення у 1545 році) [129] або ілюзія привида Джона Генрі Пеппера (John Henry Pepper) в 1860-ті [304], покладена в основу деяких сучасних приладів для показу AR. Перший стереоскоп, за авторством Чарльза Вітстона (Charles Wheatstone), прашур наголовного дисплея, датовано ще 1832 роком. З винаходом фотоапаратів, фотографи навчилися доповнювати зроблені світлини вигаданими деталями, наприклад фото «Феї з Коттінглі» (1917 р.), або використовувати оптичні ілюзії для зміни сприйняття простору.

Довгий шлях колаборації технічних винаходів та аудіовізуального мистецтва почався ще в 1950-х роках. Розширення реальності на цьому етапі досягалося із застосуванням докомп'ютерних технологій (світла, аудіоефектів, відео, тактильних відчуттів). Зокрема, «Сінерама», панорамна кінематографічна система, розроблена 1952 року в США Фредом Уоллером (Fred Waller), Газардом Рівсом (Hazard Reeves) та групою технічних фахівців, була така популярна, що перший фільм не сходив з екранів кількох кінотеатрів Америки протягом двох років [238; 19; 38]. Особливістю системи було одночасне використання трьох кіноплівок, на кожну з яких знімалася своя частина панорамного кінокадру з великим горизонтальним кутом огляду

(іл. Б.1.1.1, Б.1.1.2). У спеціально обладнаних кінотеатрах з величезними на ті часи напівкруглими екранами завширшки від 25 до 50 метрів відвідувачам пропонувалося неймовірно яскраве видовище із семиканальним звуком. Один з каналів містив звукові ефекти, які відтворювалися додатковими гучномовцями, розташованими навколо залу для глядачів. Для ввімкнення потрібних гучномовців використовувався другий ефектний канал, на якому записувалися службові мітки [6]. Ефект присутності, що виникав через активацію периферійного зору, практично перетворював видовище на «віртуальну реальність».

Просторова AR неодноразово ставала ефектним розважальним засобом у різних втіленнях. На Всесвітній виставці 1958 року в Брюсселі були вперше застосовані радіо та нові аудіовізуальні методи: «Футурама» й «Сінерама» (павільйон США), «Латерна магіка» (гра акторів на тлі кінопроекції), «Поліекран» (павільйон ЧССР), «Циркорама» [45]. Павільйон фірми «Філіпс», авторства Ле Корбюзьє, започаткував широке застосування досягнень електронних й аудіовізуальних засобів на наступних виставках [38]. В середині він був схожий на порожній грот, у стінах та у схованих приміщеннях якого було багато рефлекторів, 300 гучномовців та 30 тис. метрів дроту [38]. Він міг умістити 500 людей і протягом 8 хвилин відвідувачі були під впливом звукових, світлових і колірних ефектів спектаклю «Електронна поема». У розробленні світлозвукового спектаклю разом з Ле Корбюзьє брали участь Пабло Пікассо, багато інженерів, електронників та акустиків.

На Лозанській виставці ЕХРО 1964 року подальшого вдосконалення зазнала циркорама, уперше показана 1958 року в Брюсселі. Залізнична компанія, що фінансувала цей павільйон, замовила двадцятихвилинний фільм, де глядачі наче ставали пасажирами й милувалися пейзажами з «вікна» вагона. Новим способом застосування кінопроекції стало так зване «глобальне бачення». Світловий і звуковий спектакль розігрувався спочатку на звичайному екрані, потім на трьох екранах і на закінчення на напівциліндричному екрані довжиною 46 м. Сорок проєкторів і триста

п'ятдесят освітлювальних приладів створювали оточення, що швидко змінювалося, у якому глядач спостерігав зміну напіваабстрактних кольорових зображень у відповідному звуковому супроводі [38].

«Сенсорама» (англ. Sensorama) — пристрій, що часто називають одним з найбільш ранніх прикладів застосування технології мультисенсорного занурення; перший у світі віртуальний симулятор. Був створений 1957 року й запатентований [199] 1962 року американським кінематографістом і винахідником Мортоном Хейлігом (Morton Heilig), якого часто називають «батьком віртуальної реальності» [376] завдяки своїм розробленням, що поклали початок розвитку технологій віртуальної реальності. Надихнувшись «Сінерамою» Фреда Уоллера і Газарда Рівса, М. Хейліг прагнув створити «кіно майбутнього». Саме так називалася опублікована 1955 року стаття [200], у якій він зазначав, що «Сінерама», поряд з 3D-фільмами, була логічним кроком в еволюції мистецтва.

Передові погляди Мортон Хейліга зіткнулися з проблемою затримки розвитку стереокінематографа й озвучених фільмів. Його пропозиції були відкинуті в Голлівуді, але М. Хейліг зумів втілити свої ідеї в життя на базі Анненбергської школи Пенсильванського Університету (де він у той час здобував ступінь магістра в галузі комунікацій) [303]. Створений там апарат «Сенсорами» був громіздким пристроєм, зовні схожим на ігрові автомати 80-х, і давав змогу відчувати досвід занурення у віртуальну реальність, наприклад, покататися на мотоциклі вулицями Брукліна (іл. Б.1.1.3). Ефект присутності досягався через вплив на всі основні органи чуття одночасно: екран демонстрував запис «від першої особи», сидіння тремтіло, динамік транслював звуки жвавої вулиці, у камеру надходили відповідні запахи [303]. Згодом Хейлігом була також розроблена модель «Театру відчуттів», що вможливлювала колективне занурення у віртуальне середовище за принципом Сенсорами [199], однак нестача інвесторів та їхня недовіра до ризикованого проєкту змусила М. Хейліга припинити роботу над симуляторами. Модель Сенсорами була використана в різних конфігураціях у парках розваг Уолта

Діснея — від вібруючих сидінь до дугоподібних широкоформатних дисплеїв і 360-градусного звуку. Атракціони, засновані на технологіях Сенсорами, використовуються в Діснейлендах донині.

Практики створення імерсійних просторів з різним рівнем занурення, імітації реальності реальним реквізитом, аудіовізуальними засобами та комп'ютерними симуляціями продовжилися і в наступні роки, і на всесвітніх виставках світ побачив «Діаполіекран», «Полівізір», «Оргораму», «Астрораму» тощо. На ЕХРО'2010 ефект присутності втілювала інсталяція в Австралійському павільйоні. Навкруги неї на подіумі були шість екранів, що виїжджали. На сцену в реальному часі відбувалася проєкція анімаційного ролику, яку можна було розгледіти з усіх боків та відчувати ефект присутності (іл. Б.1.1.5) [163]. У центрі сцени була розташована точна копія конструкції з ролику і частина дійства відбувалася на ній та проєктувалася на об'єкти.

Окрім застосування екранів та відеопроєкцій, в арсеналі розважальної індустрії 60-х з'явився ще один підвид проєкції — меппінг (mapping), дослівно — «картографування». Незважаючи на те, що термін «проєкційний меппінг» (projection mapping) досить новий, сама техніка йде корінням у пізні 1960-ті, коли вона називалася відеомеппінгом (videomapping), просторовою AR або лампами затінення [377]. Перший задокументований публічний показ відбувся 1969 року під час відкриття в Діснейленді нового атракціону «Примарний маєток» (іл. Б.1.1.6). Атракціон використовував підроблені відрубані голови, на які проєктувався 16 мм фільм з анімованими обличчями. На відміну від проєкцій, що використовували порожню поверхню екрана, Дісней використав реальний тривимірний об'єкт для поєднання його з проєкцією. Отже, компанію Дісней та особисто Уолта Діснея можна вважати засновниками технології 3D-меппінгу. Вони не тільки першими у світі продемонстрували відеомеппінг широкому загалу, але й зареєстрували перший патент у сфері 3D-меппінгу «Пристрій і спосіб для проєктування на тривимірний об'єкт» («Apparatus and method for projection upon a three-dimensional object») [377].

У 1980 році зафіксовано цікаве застосування меппінгу, коли інсталяційний художник Майкл Наймарк знімав людей у вітальні, а потім проєктував відзняте в тій самій кімнаті, створюючи ілюзії, ніби люди дійсно були в цій кімнаті й чіпали в ній усі речі [288; 289]. Експериментувати зі світлопроєкційними технологіями на поверхнях фасадів окремі медійні художники почали наприкінці ХХ–го століття. Угорські митці Дора Беркес (Dora Berkes) і Пітер Козьма (Peter Kozma), які створили разом творчий колектив «Dorkandkozma», вигадали унікальну арттехнологією «Raupainting». Починаючи з 1996 року, вони створювали різнокольорові абстрактні малюнки на склі, а потім за допомогою потужних проєкторів «наносили» їх світлом на навколишні будинки, тротуари, автомобілі та людей. Вони «розфарбовували» будинки в Будапешті для різних міських свят.

Наприкінці 1990-х років ідея проєкційного меппінгу була досліджена професійно в університеті Північної Кароліни, де студенти працювали над проєктом під назвою «Офіс майбутнього» [321]. До 2001 року дедалі більше художників почало використовувати меппінг у творчій роботі, а корпорації, зокрема Майкрософт, почали експериментувати з ним, щоб використовувати як технологічну перевагу. Щорічні конкурси та фестивалі заохочують і сьогодні приєднатися до експериментів у цій галузі.

Розроблення в галузі аудіовізуальних ефектів, кінопроєкцій, інтерактивних проєкцій стали основою для формування такого напрямку, як просторова AR, однією з переваг якої є змога спільного групового перегляду, а іншою — відсутність необхідності використовувати індивідуальне обладнання. Для інтерактивного експерименту 1997 року «Displaced Emperors» іспанського медіахудожника Рафаеля Лозано-Хіммера (Rafael Lozano-Hemmer) була розроблена установка, яка використовувала інтерфейс під назвою «архітекта» для взаємодії з фасадом замку Габсбургів у Лінці, Австрія. Бездротові 3D-датчики розраховували, у яке місце фасаду показував учасник проєкту, та спрямовували туди анімовану проєкцію із зображенням

великої руки. У проєкті зrealізовано ідею збереження культурної спадщини замість підтримки імператорського духу.

Водночас не відставали й розроблення персоналізованих систем створення AR та пристроїв, здатних її відображати. Цьому напряду сприяв розвиток електронних обчислювальних машин, що керували логікою роботи системи. Багато джерел називають Айвана Сазерленда першим дослідником AR, а другу половину 1960-х точкою відліку її історії. У 1965 році дослідник описав концепцію найкращого (ultimate) дисплея, кімнати, у якій комп'ютер міг би контролювати існування матерії та створювати реальні об'єкти [372]. Вона дуже схожа на кімнату з оповідання «Вельд» Р. Бредбері, написаного у 1950 р. Особливим у роздумах науковця було те, що на відміну від наявних рішень аудіовізуальних систем, А. Сазерленд наголосив, що користувач такого дисплея повинен мати змогу взаємодіяти з віртуальним середовищем.

Результатом його роздумів стало розроблення першого функціонуючого наголовного дисплею (Head-Mounted Display), який кріпився до голови [372]. Перший прототип системи, що працював, він побудував 1967 року та опублікував розробку 1968 року. Незважаючи на назву пристрою (наголовний дисплей), значна частина сенсорів та обладнання була прикріплена до стелі лабораторії. Як описує О. Бімбер, у ролі окулярів А. Сазерленд використовував напівсрібні дзеркала, як оптичні поєднувачі, що давало змогу одночасно бачити, як відтворені комп'ютером зображення, відбиті від електронно-променевих трубок (CRTs), так і предмети в кімнаті [112]. Крім того, він використовував механічні та ультразвукові датчики положення голови для вимірювання положення голови користувача. Це забезпечило правильну реєстрацію реального середовища та графічних накладань. Айван Сазерленд створив першу техніку 3D-взаємодії, що й досі є фундаментальною [124, с. 46]. Завдяки шолому користувачі повертали голову, щоб побачити різні частини віртуального світу, застосовуючи інтуїтивний спосіб взаємодії.

Хуберт Аптон, інженер «Bell Helicopter», створив свій прототип AR-окулярів 1967 року. Він задумав пристрій як особистий проєкт, який допоможе

людям з вадами слуху візуалізувати звуки. Його оригінальна конструкція включала мікрофон, який аналізував звуки за допомогою портативного переносного комп'ютера та передавав сигнал на світлодіодний світловод, вбудований в окуляри. На жаль, ця ідея не набула реалізації, а технологія була перероблена для військових пілотів, щоб світло випромінювало лінії перед ними, надаючи інформацію про напрямок під час польоту літака через складні райони або під час приземлення вночі [190, с. 7].

Працівники компанії «Bell Helicopter Company» створили кілька ранніх AR-систем на основі камер 1968 року. В одній з них головний дисплей був поєднаний з інфрачервоною камерою, яка давала пілотам воєнних гелікоптерів можливість сідати вночі в пересіченій місцевості. Інфрачервона камера, що була встановлена на дні гелікоптера, рухалася синхронно з рухом голови пілота, а поле зору пілота було зоною видимості камери.

Окрім шоломів та наголовних дисплеїв, почали розвиватися, як окрема галузь, портативні речі-пристрої, які можна носити на собі, функціонал яких ідейно подібний до доповненої реальності. Наприклад, у 1977 році К. С. Коллінз, науковий співробітник Інституту зорових наук Сміта-Кеттвелла, розробив п'ятикілограмову камеру, яку можна носити на голові, для людей з вадами зору. К. С. Коллінз використав популярну нині техніку тактильного зворотного зв'язку і перетворив 1024-точкове зображення з камери на 10-дюймову квадратну тактильну сітку на жилеті [190, с. 7]. У 1981 році Стівен Манн, згодом професор університету Торонто, який тоді навчався в середній школі, прикріпив до свого рюкзака мультимедійний комп'ютер на базі 6502-го процесора та шолом, що відтворював текст, графіку, відео та мультимедіа. Із 1989 року юнак носить комп'ютеризовану систему окулярів, яку будує та перебудовує сам [190, с. 7]. С. Манн став першим, хто почав використовувати AR у повсякденному житті на безперервній основі.

Слід зауважити, що незважаючи на неабиякі просування в технічному плані, покращення технологій реєстрації та відстеження, як зазначає Д. Бовман, користувацькі можливості в 3D у 80-ті роки були вкрай обмежені

й типовий застосунок давав змогу виконати навігацію крізь простір або показ імені під час дотику до об'єкта [124, с. 47]. Значно раніше за доповнену реальність відбувся вихід за межі лабораторії віртуальної реальності. Зокрема, американська фірма «Forte Technologies» ще 1994 року розробила шолом віртуальної реальності для масмаркету, тобто звичайних користувачів. Задовго до випуску VFX1 була розгорнута широкомасштабна рекламна компанія, залучені розробники ігор, так що ще до виходу шолома йому була забезпечена підтримка найсучасніших на той момент ігор [53].

У 1997 році Р. Азума зазначає: «... розширена реальність набагато відстає від віртуального середовища у зрілості. І якщо вже є комерційні постачальники «віртуального середовища під ключ», то системи AR на базі HMD знаходяться переважно в академічних та промислових дослідницьких лабораторіях» [96]. На EXPO'98 однією з найпопулярніших визначних пам'яток були «Підводні пригоди». Павільйон демонстрував найсучаснішу комерційну віртуальну реальність, а чуттєвий досвід глядачів створювали стереонавушники та сидіння, які рухалися разом із дисплеєм. Це був приклад ефективної розваги та навчання [160]. За проєкт «Virtual Oceanarium» відповідала компанія «Centro de Computação Gráfica» (1996–1998). Він відтворював середовище Лісабонського океанаріуму, у той час найбільшого в Європі та давав змогу робити віртуальну навігацію. Акваріум був реалізований модульним способом, що дало змогу легко інтегрувати в нього нові види контенту (іл. Б.1.1.4 (а), Б.1.1.4 (b)) [77].

Однак, після досить великої популярності віртуальної реальності настав період затишшя. Роздільна здатність та якість картинки в іграх виросла, а шоломи не могли підтримувати належний рівень графіки для побутового використання. AR на той момент і загалом не була доступна звичайним користувачам. Одна з основних причин зменшення ажіотажу навколо AR в кінці 90-х років — обмеженість обчислюваних потужностей та технічна складність реалізації. Зважаючи на громіздкі установки в експериментальних лабораторіях, зафіксовані проблеми реєстрації зображень, мобільності,

статистичних та динамічних помилок, сенсорних проблем (низька роздільна здатність, повільність оброблення тощо), мова про суцільне комерційне впровадження технології не йшла, і довгий час AR була більше предметом експериментів дослідницьких лабораторій.

Відзначимо, що іншою складністю стала потреба дослідження та розроблення нових та ефективних способів взаємодії у тривимірному просторі та розроблення відповідних інтерфейсів. Хоча віртуальна реальність була технічно розвиненіша, її теж не оминула криза досліджень взаємодії у 3D, досить молодого напрямку в HCI. Для взаємодії, на рівні з експериментальними способами вводу, наприклад, рукавички «VPL DataGlove», застосовувалися більш звичні — клавіатури, джойстики, миші. Найбільш успішними в графічному плані стали проекти, що були спрямовані на створення вражень (океанаріум на EXPO'98) і загалом не передбачали від глядачів взаємодії, а лише давали змогу спостерігати за віртуальним світом.

Хоча вже на той момент галузь досліджень людино-комп'ютерної взаємодії активно розвивалася та з'являлися ґрунтовні дослідження (наприклад, загальні принципи дизайну інтерфейсів Нільсена та Моліч [292], покращення користувацького досвіду Хікса та Хартстона [197] та моделі обробки інформації під час взаємодії Карда та колег [124, с. 47], що дали змогу покращити 3D-інтерфейси загалом), 3D-взаємодія все ще залишалася (та залишається) сферою, що містить свої особливі питання та виклики. Наприклад, питання плавного переходу між фізичною та доповненою реальністю в інтерфейсі для спільної роботи в дослідженні науковців із США та Японії М. Біллінгхарста, Х. Като та І. Попирева (Mark Billinghamurst, Hirokazu Kato, Ivan Poupyrev) у своєму проєкті «MagicBook» [109]. MagicBook — це звичайна книга, яку можна читати без жодних додаткових технологій, однак під час перегляду сторінок книги за допомогою портативного дисплея (handheld display) на них накладаються тривимірні віртуальні зображення. Читачі можуть переглядати ці AR-сцени з будь-якої точки огляду, а також можуть «влітати» в ці сцени і сприймати їх як світ віртуальної реальності.

Впровадження нових способів взаємодії потребує ресурсів та часу і відбувається досить повільно. Такі розроблення, як «MagicBook», залишаються експериментальними та все ще недосяжними для загалу, навіть 2022 року, простіші проєкти, наприклад доповнені книги, поступово з'являються на споживчому ринку.

Сучасний етап розроблень з AR розпочався приблизно з 2010-х років. У цей період компанія «Google» випускає на ринок доповнені окуляри «Google Glass» (2013 рік), експериментальні творчі проєкти з AR множаться, а трохи згодом (2015 рік) компанія «Snapchat» додає у свій застосунок «Lens», живі візуальні ефекти, які накладаються на зображення, і доповнена реальність стає частиною буденного життя мільйонів користувачів у всьому світі. Просуваються і дослідження над доповненими зображеннями. Якщо попередні дослідження приділяли увагу узгодженому накладанню зображень у просторі, поточні розроблення зосереджено на складніших речах. Наприклад, дослідники з Університету Вашингтона і компанії «Facebook» (Chung-Yi Weng, Brian Curless, Ira Kemelmacher-Shlizerman, University of Washington, Facebook Inc., USA) розробляють програмне забезпечення «Photo Wake-Up», яке може знімати будь-яке зображення, що містить людське тіло й автоматично створювати анімаційний персонаж, який з'являється в реальному світі [402]. У 2023 році компанія «Apple» випустила свої AR-окуляри, ще більше посилюючи інтеграцію AR у повсякденне життя.

Р. Азума зазначає, що від малювання примітивних паличок та прямокутників на екрані до фотореалістичних динозаврів у «Парку Юрського періоду» пройшло майже 25 років, то ж «ще через 25 років ми мали б мати змогу носити пару окулярів AR на відкритому повітрі, щоб побачити та взаємодіяти з фотореалістичними динозаврами, які їдять дерево в нас на задньому дворі» [96, с. 35]. Через 25 років після цих слів (у 2022 р.) і справді можна сказати, що «ми вже майже на місці». Нові 25 років досліджень повільно, але впевнено просувають технології створення AR (включно з інтерфейсами, просторовим дизайном та теорією сприйняття) уперед. Усе ще

залишається багато роботи щодо покращення технологій та слідування естетичним вимогам часу, але сподівання Р. Азуми справджуються.

У таблиці табл. А.1 підсумовано хронологічний розвиток доповненої реальності та загальні важливі кроки вдосконалення технологій, такі як поява графічного інтерфейсу та розвиток можливостей комп'ютерної графіки. Хронологія охоплює перехід AR від ранньої концептуалізації до її нинішнього статусу широкодоступної технології, яка революціонізує спосіб взаємодії людини з віртуальними даними та сприйняття навколишнього середовища.

Як свідчить матеріал дослідження, увага до AR та інших видів реальності (віртуальної, змішаної) має хвилеподібний характер. Періоди затишшя змінюються періодами підвищеного інтересу з боку пересічних користувачів та бізнесу, як це відбулося в 10–20-ті роки XXI століття. Підйому сприяє сукупність багатьох чинників, серед яких: успіхи в теоретичних дослідженнях, необхідних для AR; ріст технічних потужностей, а отже, можливості покращення естетичних якостей системи; поява доступних пристроїв та інструментів творення для широкого загалу. Поширення та доступність відкривають творчий і комерційний потенціал, збільшують інтерес до відповідних технологій з боку бізнесу, спонукають до пошуків корисного застосування. Своїй популяризації AR також може завдячувати зокрема таким продуктам, як Google Glass. Хоча самі окуляри не стали комерційно успішними, їхня поява та розголос підштовхнули інші компанії до подібних впроваджень, а незалежних творців до творчих пошуків. Найбільш помітно це виявляється в мистецькій сфері, де є простір для свободи та креативних експериментів, і де відбувається постійний взаємообмін досвідом між кіно, перформансом, комп'ютерними іграми тощо.

Дослідження AR — мультидисциплінарні, що водночас і збагачує горизонт знань та ширину розвідки, й ускладнює виокремлення основного. Відзначаємо, що попри фрагментованість досліджень та брак комплексних оглядів, все ж є змога знайти в них зачіпки та корисні концепти, які побіжно торкалися тієї чи тієї частини процесу дизайну. Вагомий внесок у розвиток

теорії інформаційних систем, питань взаємодії людини та комп'ютера, користувацьких інтерфейсів та доповненої реальності зробили іноземні науковці, а саме: теоретичні концепції віртуальної та доповненої реальності — Д. Енгельбарт [159], Ф. Кішіно [280], П. Мілграм [281; 280], С. Фейнер [166], П. Хенкок [193]; класифікації та типології — Р. Азума [96], Дж. Ролланд [331]; алгоритми та робочі моделі — Т. П. Кодел (Caudell) [131], Д. Міцел [131], А. Е. Сазерленд [371], Д. Вагнер [392], С. Силтанен [353; 354], Г. Фітцморис [172]; комплексні огляди — М. Біллінгхарст [108; 110; 109; 230], О. Бімбер [113]; теоретичні та практичні концепції інтерфейсів — Д. Раскин [323], Г. Кауфман [231]. Зокрема їхні погляди, класифікації та практичні впровадження стали відправною точкою для побудови комплексного бачення.

Посібник з віртуальних середовищ, укладений Kelly S. Hale, Kay M. Stanney [194], містить внески провідних фахівців у цій галузі та забезпечує всебічний, сучасний облік віртуальних середовищ (Virtual Environment, VE). Він описує особливості людського зору та сприйняття простору для побудови переконливого, реалістичного віртуального середовища. Зокрема, розділ про дизайнерські підходи та стратегії впровадження стосується когнітивних стратегій дизайну; окреслює перцептивні (чуттєві) ілюзії, що можна використовувати в дизайні VE, наприклад відтворення: перспективи, глибини, руху, візуального групування за рахунок близькості, подібності, спільних ознак тощо; обговорює навігаційні питання, нахшталт навігації та загублення у віртуальному світі і візуальних підказок.

Дослідження взаємодії між людиною та комп'ютером (Human Computer Interaction, HCI) дає змогу дизайнерам у всьому світі створювати кращі, більш орієнтовані на користувача продукти. Тривимірні інтерфейси стали одним з напрямів дослідження HCI та складником дизайну AR. HCI дослідженням присвятили увагу такі вчені, як Е. Гудман, Л. В. Столтерман [183], S. Bødker [118], L. Bannon [192], S. Harrison, D. Tatar та P. Sengers [195], V. Pipek та V. Wulf, [312], C. N. Klokmoose, M. Korn [118], E. Grönvall, S. Kinch,

M. G. Petersen та M. K. Rasmussen [187] D. A. Basballe, M. Breinbjerg, J. Fritsch [101], E. Blevis, I. K. Koskinen, K-P. Lee, S. Bødker, L-L. Chen, Y-k. Lim, H. Wei та R. Wakkary [115] T. Williams, D. Szafir, T. Chakraborti [134; 145; 407], H. Ben Amor [85; 407], R. S. Andersen, O. Madsen, T. B. Moeslund [85], J. Baumeister [102].

HCI дослідження розвивалися в декілька хвиль, під час яких їхній «фокус» та методології розроблення дизайну зміщувалися, а база знань поповнювалася новими аспектами аналізу. Першою хвилею стали когнітивні науки та людські чинники. Вони були націлені на побудові моделі взаємодії та зосереджені на людині як предметі, який варто вивчати за допомогою жорстких вказівок, формальних методів та систематичних тестувань [192]. Друга хвиля зробила акцент на групах людей, що працюють з певним переліком застосунків та груповій взаємодії. Ситуативні дії, розподілене пізнання та теорія діяльності були важливими джерелами теоретичної рефлексії, а таким поняттям, як контекст, приділяли увагу під час аналізу та проєктування взаємодії людина-комп'ютер. С. Бодкер зазначає, що в цей період до практичних інструментів додалися проактивні методи, прототипування та контекстуальні запити [117]. Завданням третьої хвилі стали дослідження поєднання досвіду професійних і непрофесійних користувачів та внесок, який відбувається під час спільної діяльності з артефактами [117]. Відзначаємо, що з розвитком технологій останніх десятиліть з'явилась потреба у вивченні можливостей концептуального мислення та подоланні дихотомії між роботою і раціональністю та їхніми протилежними сторонами, емоціями та розвагами [117], що дає нам змогу зафіксувати збільшення фокусу уваги на розважальні інтерфейси. С. Бодкер та співавтори пропонують також звернути увагу на активності, пов'язані зі спільною практикою, спільною діяльністю. Оскільки тісний партнерський підхід найбільш можливий у доповненій та віртуальній реальностях, можемо очікувати розвиток великої кількості способів її спільного застосування, що, своєю чергою, також

окреслює потребу в пошуку екологічних способів взаємодії людини з віртуальними даними або іншими людьми з боку дизайну.

AR стає простором для спілкування між аватарами (віртуальні репрезентації осіб, найчастіше у формі зображень або 3D-моделей), людьми, роботами. Т. Williams, D. Szafir, T. Chakraborti, H. Ben Amor [407], розглядаючи методи взаємодії між людиною та роботом, зауважують можливість використання системи доповненої чи віртуальної реальності, як посередника в цьому процесі, що створює простір для взаємодії, місце для візуальних підказок та фізичних жестів. У проєктах Р. Чадалавади та А. Ватанабе, спрямованих на створення систем для візуалізації траєкторії мобільного візку та робота, автори констатують, що люди віддають перевагу роботам, які візуально демонструють свої наміри [133; 396]. Проте, дослідження в цій сфері більше зосереджені на технічних аспектах взаємодії з інтерфейсом, ніж на візуальному дизайні.

Вивченням звичайних інтерфейсів та пов'язаних з віртуальним простором присвячені праці таких науковців, як M. Usoh [358], С. Фейнер [167], Дж. Рекімото [326], Дж. Ролланд [332], Roland Sigrist [351], Е. Розе [333], С. Wisneski, Н. Ishii, А. Dahley, М. Gorbet, S. Brave, В. Ullmer та Р. Yarin [408], J. Löwgren [256], А. Ajanki [81]. Зокрема, не оминули увагою і візуальну, аудіальну та інші модальності та їхнє комбінування в інтерфейсі.

Відзначимо, що довгий час графічний інтерфейс був побудований з використанням «вікон» (прямокутних зон екрана, які можуть відображати свій вміст незалежно від решти екрана, так званий WIMP-інтерфейс). Основою для дискусії про не-віконні інтерфейси стала робота 1993 року «Non Command User Interfaces» Якоба Нільсена [291] та «The Anti-Mac Interface» Дона Гентнера та Якоба Нільсена [178]. Автори розглядали напрями розвитку користувацьких інтерфейсів та передбачили відхід від моделі «вибір функції та об'єкта» і покрокового управління комп'ютером до більшого фокусу на виконанні завдань, більшій автономності та самостійності внутрішніх

процесів, адаптивності систем і розширенні діапазону форм інтерфейсів та способів взаємодії.

Пропозиції щодо нових підходів обговорюються в «Інтерфейсі користувача після WIMP» Андріса ван Дама, де автор аналізує способи маніпуляцій у тривимірному просторі та тактильні інтерфейси майбутнього [142]. Мішель Бодуен-Лафон запропонував структуру під назвою «інструментальна взаємодія», яка визначає простір проектування для методів взаємодії пост-WIMP (WIMP — віконний інтерфейс) і набір властивостей для їхнього порівняння [103]. До простору пост-WIMP взаємодії належить тривимірна взаємодія [124] та взаємодія на основі реальності [221].

Принципам проектування 3D-інтерфейсів присвячена невелика підбірка рекомендацій: принципи розроблення ефективних методів 3D взаємодії Р. МакМахана та ін. [275], огляд 3D-інтерфейсів користувача Д. Бовмана та ін. [122], техніки оцінки впливу орієнтації та пристрою на (обмежені) техніки тривимірного руху Р. Тітетра та В. Штюрцлінгера [374], «CLIMATE», основа для розроблення цілісного аналізу вимог у віртуальних середовищах Т. Конкар та ін. [138], оцінювання моделі взаємодії з віртуальними середовищами К. Каура та ін. [232], проблем дизайну віртуальної реальності, пов'язаних з користувачем С. Міллса та Дж. Нойесе [282].

Значний внесок у розвиток підходів до дизайну та принципів проектування AR-систем роблять комерційні компанії, світові гіганти інформаційних технологій, (наприклад, «Google» [184], Apple [90], Facebook, Adobe [401]) та фреймворки (каркаси для проектування), зокрема «Vuforia» [179], SnapChat Lens Studio [141] та інші компанії, що займаються розробкою ПО, пристроями та надають рекомендації щодо застосування своїх продуктів у процесі проектування систем з доповненою реальністю. Такий внесок сприяє загальному прогресу в галузі та підігріває інтерес до опанування технології серед розробників та дизайнерів.

Слід зауважити, що взаємодія, інтерактивність та інтерактивні технології є неодмінним складником AR-систем. Їх розглядають як

у контексті використання нових медіа, так і в контексті дизайну середовища та графічного дизайну. Т. Міронова [47] приділяє увагу інтерактивному мистецтву; І. Малиніна [44] розглядає інтерактивні презентації у доповненій реальності та AR у сучасному мистецтві; Н. Зражевська [33] аналізує нові форми комунікації, що виникли завдяки новим медіа; Н. Брижаченко [12] вивчає підходи формування дизайну громадських інтер'єрів на основі залучення інтерактивних мультимедійних об'єктів; Т. Бегаль [104] аналізує сучасні інтерактивні експозиційні рішення; Н. Коржик [39] вивчає особливості функціонування інтерактивної книги; А. Кириченко [37] розглядає використання віртуальної реальності в сучасних концертних шоу; О. Ганоцька [22] аналізує можливості інтерактивного пакування; О. Бойчук та В. Петряник [10] досліджують дизайн інтерактивної реклами в міському середовищі. Н. Скляренко [56] досліджує термін «інтерактивність» з ухилом у бік інформаційних технологій та розглядає взаємодію комбінацій суб'єктів та об'єктів між собою. О. Муха проводить дослідження інтерактивності та інтерпасивності в поведінці Іншого та їхнього зображення в сучасному медіасвіті та його продуктах [49]. Н. Брижаченко [13] описує деякі визначення інтерактивності, прийняті в українськомовному просторі та окреслює рівні інтерактивності мультимедійних об'єктів на рівні повідомлень. Увагу рівням взаємодії та інтерактивності приділено у працях іноземних дослідників: Дж. Азбела [329], Д. Біра, Д. Буніка, Н. Гана [176], Дж. Дейгхтона [144], Дж. Йенсена [225], Д. Каратцаса, Х. Лінга [251], Т. Маркуса, М. Маклухана [274], Л. Мановіча [266], Т. Манінена, М. Мірсон, М. Мура [285], Дж. Нунамейкер [296], П. Парсонса [302], Р. Рімана [325], Д. Родза [329], А. Ель Саддіка [157], К. Седіга [346], Дж. Стюера [366], Дж. Томпосона [381], Р. Швіра [343], Л. Шрама [254], Р. Шультмайстра [341].

Важливе місце займають дослідження типології AR-систем та класифікація їхніх компонентів. Два основні напрями поділу систем доповненої реальності в науковій літературі — за функціями та за складниками, що входять у AR-систему. Розподіл систем за функціями та іншими ознаками

розглядають Венді Маккей [259], Р. Суомела та Дж. Лехікойнен [370], Роберт Ліндеман та Харуо Номе [253], Маркус Тонніс і Девід Плечер [384], Жан-Марі Норманд та співавтори [294]. Їхні основні критерії зібрані у табл. А.2. Венді Маккей (W. Maskay) [259] використовує для поділу мету доповнення: доповнення користувача, об'єкта чи середовища, доповнення інформаційного простору на базі зібраної датчиками інформації. Користувач розглядається в цій таксономії більше як носій пристрою, ніж об'єкт доповнення. Р. Суомела та Дж. Лехікойнен (R. Suomela, J. Lehtikoinen) [370] пропонують таксономію для візуалізації інформації на основі координат розташування цифрових даних у реальності, яка ґрунтується на моделі середовища (від 0D до 3D виміру) та обраній точці зору.

Класифікувати застосування AR можна й на основі того, де відбувається змішування реального світу та створених комп'ютером подразників (віртуальної інформації). Роберт Ліндеман та Харуо Номе (Robert Lindeman, Haruo Noma) [253] пропонують розглядати вісь розташування змішування як континуум між середовищем і мозком та описують два шляхи, якими проходить подразник на шляху до користувача: прямий (змішування на фізичному об'єкті-цілі) й опосередкований (за допомогою допоміжного прошарку, пристрою, екрана). Комбінуючи місця, куди можна вставити згенеровані елементи («точки змішування»), автори будуть свою класифікацію для кожного фізичного відчуття в мультисенсорній AR.

Маркус Тонніс і Девід Плечер (M. Tönnis, D. A. Plecher) з відділу доповненої реальності Технічного університету Мюнхена в Німеччині у своїй доповіді [384] класифікують простір представлення, що використовується в застосунках AR, на основі шести класів принципів представлення: тимчасовість, розмірність, реєстрація, система відліку, прив'язування до об'єктів із базового простору та місце розміщення віртуального об'єкта у просторі. Жан-Марі Норманд зі співавторами [294] пропонують таксономію AR на основі чотирьох осей: кількості вимірів, необхідних для відстеження;

типу доповнення, прямого чи опосередкованого; часової прив'язки вмісту до контексту; врахування візуальних та невізуальних модальностей.

Аналіз різних типологій AR дає змогу зробити висновок, що попри різноманітні підходи до класифікації доповненої реальності, автори, хоч і називають певні ознаки та характеристики, що є в цих системах, все ж не формулюють чітко того, чому та чи та система формує доповнену реальність. Вони розглядають AR як очевидне явище, яке водночас не має чітких критеріїв свого існування, а визначення доповненої реальності носять доволі загальний характер.

Перейдемо до розгляду поділу AR-систем за складниками, як це розглядають Х. Браз і Х. Перейра [126], Е. Дюбуа і колеги [152; 151] та О. Бімбер [112] (табл. А.3). Хосе Браз та Хуан Перейра у 2008 році [126] представили TARCAST (Taxonomy for augmented reality casting with web support, таксономія трансляції AR з вебпідтримкою), таксономію формування AR із шести наявних підсистем (табл. А.3). Е. Дюбуа та колеги у 1999 році [152] запропонували підхід OPAC (the System, the Object of augmentation, the Person and the Adapters) та заклали в його основу: систему, об'єкт доповнення або особу (користувача), адаптери (пристрої введення або виведення) та місце виконання завдання користувача (табл. А.3). Обравши основою континуум реальність-віртуальність Мілграма та Кішіно [280], автори пропонують два різні континууми, що варіюються від реальності до віртуальності ($R \rightarrow V$) і навпаки ($V \rightarrow R$), де вздовж осі $V \rightarrow R$ вони позиціонують різні принципи взаємодії: інтерфейс клавіатури, графічний, жестовий, матеріальний та втілений (запропонований Фішкіним та колегами [169], містить фізичні регулятори для управління). У 2003 році Е. Дюбуа та колеги [151] запропонували розширення своєї класифікації під назвою ASUR (Adapters, System, User and Real object) з дещо зміненими компонентами, що охоплюють адаптери, систему, користувача та реальний об'єкт. Методи OPAC і ASUR пропонують нотацію для опису зв'язків між компонентами системи в процесі розроблення мобільної змішаної реальності загалом, не виділяючи окремо AR.

О. Бімбер (професор комп'ютерної графіки в Університеті імені Йоганна Кеплера в Лінці) та Р. Раскар (ад'юнкт-професор Массачусетського технологічного інституту та голова дослідницької групи Camera Culture лабораторії MIT Media Lab.), розглядаючи склад AR-систем, виділяють (подібно до Р. Азуми, який оперує поняттям шарів) рівні компонентів, зображені на табл. А.3 знизу. Вони окреслюють три базові складові компоненти системи доповненої реальності [112, с. 21]:

— *відстеження та реєстрація* (сенсори, датчики, маркери, камери тощо; використовуються для сканування навколишнього середовища та перетворення отриманих даних у цифрову інформацію;

— *візуалізація* (рендерінг); відповідає за те, що саме буде зображено та в якому вигляді, що особливо критично під час відображення в реальному часі; подібна до того, що Х. Браз і Х. Перейра назвали підсистемою змішування реальностей;

— *технології відображення* (дисплеї та системи відтворення аудіо та сенсорних відчуттів); допомагають вирішити, у який спосіб та за допомогою чого буде відображена інформація.

Шар відстеження, візуалізації та відображення — основа для побудови системи. На цьому ґрунтується другий рівень компонентів. Усе це поєднується в застосунок, який використовує користувач. О. Бімбер називає такий застосунок свого роду інтерфейсом для користувача [112, с. 6]. Саме цей поділ ми запозичили в подальше розроблення схеми AR-системи, що аналізуватимемо у другому розділі. О. Бімбер та Р. Раскар відзначають, що на відміну від VR, де чимала частина досліджень переходить на другий рівень (техніки та засоби взаємодії, презентація та інструменти створення), AR все ще має вирішувати значні проблеми на базовому рівні, тобто проблеми трекінгу, реєстрації, візуалізації та відображення. Такі проблеми вимагають від дизайнерів пошуку рішень, стійких до помилок системи. Водночас подібні складнощі не заважають розвивати інші рівні складників AR-системи.

Проаналізувавши наявні таксономії систем доповненої реальності, можна зробити висновок, що всі вони зосереджують увагу на формуванні уявлень про технічні складники системи та її реалізацію, не розглядаючи прицільно дизайн інтерфейсу системи та користувача. Однак, комбінуючи між собою певні технічні компоненти системи та відповідний контент, є змога створення різних типів AR, кожний зі своїм інтерфейсом, відмінними характеристиками та особливостями.

Варто зазначити, що багато прикладів проектування AR фіксуємо в різних галузях. Наприклад, зростає інтерес до концептуалізації, розроблення та реалізації віртуальних ініціатив навчання, що потребує виявлення та вирішення багатьох соціальних, поведінкових, організаційних, технічних питань, якими займаються R. K. Jena [224], W. A. R. W. M. Isa, A. I. H. Suhaimi, N. Noordin, N. A. Othman [217], F. Ke, S. Lee, and X. Xu [234], R. Phungsuk, C. Viriyavejakul, T. Ratanaolarn [309], D. Stricker, D. Weibel, B. Wissmath [368] Y. Wautelet, S. Heng, M. Kolp, L. Penserini, S. Poelmans [399] та інші. B. R. Barricelli, D. Gadia, A. Rizzi, and D. L. R. Marini розглядають семіотику віртуальної реальності як процесу спілкування з акцентом на синтаксисі, семантиці, прагматиці та деяких принципах генеративної семіотики [100].

Використання віртуальної реальності для вивчення промислового дизайну, машинобудування досліджують A. Jimeno-Morenilla, J. L. Sánchez-Romero, H. Mora-Mora, R. Coll-Miralles [226], W. S. Alhalabi [83], B. Salah, M. H. Abidi, S. H. Mian, M. Krid, H. Alkhalefah, A. Abdo [334], G. Papanastasiou, A. Drigas, C. Skianis, M. Lytras, E. Papanastasiou [299], A. K. B. G. Bharathi and C. S. Tucker [107], J. Grodotzki, T. R. Ortelt, and A. E. Tekkaya [186], C. Wang, H. Li, and S. Y. Kho [394], A. Shirazi and A. H. Behzadan [350] та інші. Дослідження зосереджені на меті впровадження в навчальний процес технологій (AR, VR), що допоможуть дизайнеру подолати обмеження візуалізації прототипу та прийняти якісніші дизайнерські рішення; сформулюють наочне бачення та розуміння складної системи й можливостей взаємодії.

Відзначимо, що багато науковців підтверджують позитивний ефект застосування технології AR в навчанні та можливості підвищити ефективність та залучення до процесу в різних закладах освіти, від шкіл до університетів та академій, серед них: Х. Мартін-Гутьєррес та ін. [269], М. Т. Рестіво [328], Т. Різов [330], Є. О. Модло [48] та інші. S. A. Yoon, E. Anderson, M. Park, K. Elinich, J. Lin [413] продемонстрували у дослідженні, що якість навчання студентів у науковому музеї зростає, коли вони отримують доступ одночасно до всіх трьох стовпів подавання інформації (AR, текст, комунікативна взаємодія). Як зазначає С. Matuk [273], музейні дизайнери можуть використовувати потенціал AR для представлення простору та часу, розповіді та інтерактивності, персоналізованого огляду та співпраці в реальному часі для створення змістовного досвіду навчання. А. Javornik та співавтори відзначають, що текст, зображення чи аудіо по-різному впливають на потоковий процес сприйняття, а також на інші афективні та поведінкові реакції користувачів, а накладення зображень у комбінації з текстовою інформацією, є найбільш вдалим способом привернути увагу та забезпечити більшу залученість у процес пізнання [223].

Поряд із суто технічним підходом, відбуваються експерименти щодо ігрового підходу до навчання, які також розглядають вплив технологій на покращення залучення та ефективність засвоєння знань. К. Alanne [82], L. Alves Fernandes та ін. [84], A. Menin, R. Torchelsen, and L. Nedel [277], J. Kawai [233], Болетсіс К. та інші досліджують HCI-взаємодію та покращення досвіду роботи користувачів (UX).

У сфері мистецтва інтерес до доповненої та віртуальної реальності теж продукує різноманітні творчі експерименти і багато сучасних науковців досліджують мистецький складник AR. Можна зробити висновки, що AR стала одним з виявів новітнього чинного середовища, яке є виявом «тотальності візуального» та результатом дії принципу конвергенції, про які говорить проф. З. Алфьорова [4]. Подібне середовище відмінне такими ознаками, що взаємодіють: аудіовізуальне, медіальне (медійне) та віртуальне.

З. Алфьорова відмічає, що AR, як морфологічна система аудіовізуального, має ознаки автономності та вияви принципу диспативності, тобто за критичної фази може змінювати рівень або вектор розвитку, а її художні форми динамічно складаються під впливом безлічі флуктуацій [1; 2].

Т. Міронова та М. Новіков визначають роль AR у сучасній образотворчості. Т. Міронова зазначає оновлення мистецьких практик, пов'язане з оновленням засобів виразності. Дослідниця відзначає інтерактивність, як основну характерну якість сучасного мистецтва [47]. М. Новіков акцентує на змозі AR збагачувати інформативність [50]. М. Опалєв розглядає AR у контексті архітектурного 3D-мепінгу, під час якого відбувається візуальне розкриття концепцій і принципів дизайну певного архітектора [51]. Т. Габрель виділяє віджеїнг (імпровізовані аудіовізуальні перформанси, часто з використанням відеомепінгу) у самостійний вид медіа-мистецтва [20; 21]. Т. Совгира, розглядаючи відеомепінг, констатує актуальність його використання в сценічному просторі [57].

С. Кривуц та Лу Бінь [8] досліджують інтерактивні арт-інсталяції в контексті Китаю, та відмічають потребу у багатоаспектному аналізі і визначенні сучасних підходів до дизайну подібних творів мистецтва. С. Кривуц, О. Гончар, А. Скороходова та М. Радомський констатують, що синтез 3D-відео зображень, звуку та мультимедійних технологій дає змогу збудувати сучасні інтерактивні комунікаційні системи, здатні формувати розуміння культурних та історичних аспектів; а також потребу у розробці методологічних підходів для оптимізації проектів медіадизайну, сприяння розвитку мультимедійної культури та встановлення нових критеріїв оцінювання [243]. Н. Скляренко, А. Дідух, О. Колосніченко, К. Пашкевич описують досвід проектування інтерактивного простору арт-релаксації з опорою на мультифункціональність, естетичність та образність, а також візуальні та комунікативні взаємодії, відмічаючи зв'язки між аспектами дизайну та ефективністю релаксаційних процесів [356]. С. Піранделло досліджує питання AR-сторітеллінгу під час доповнених подорожей містом та

виділяє благодатний ґрунт AR для побудови інтерактивних фантазій, наративів і уявлень про майбутнє середовища [313]. М. Воробчук, К. Пашкевич та А. Шинкар відмічають потенціал застосування AR як інструменту для імерсійного проєктування та раннього отримання уявлень про кінцевий дизайн продукту [18]. Питань застосування AR в друкованих виданнях торкалися А. Бессараб [7], Н. Величко [15], М. Біллінгхарст [110], які відзначають появу нових форм взаємодії та візуальної комунікації.

Цифрове мистецтво, як зазначають Д. Чембержі, С. Пашукова та І. Єрмак, впливає на соціокультурний простір та відкриває нові шляхи для сприйняття та взаємодії, як між автором та глядачем, так і культурним середовищем [74]. Змінюючи й акт творення і спосіб комунікації, воно сприяє розвитку культурної різноманітності. Автори виділяють аспекти впливу цифрового мистецтва на користувача, взаємодію та сприйняття, а саме: інтерактивність, розширення сприйняття, доступність, експериментальність, інноваційність та можливість формування спільнот. Доповнена реальність теж може бути означена такими характеристиками. Театральне мистецтво завжди прагнуло опанувати інноваційні та видовищні технології. Аналіз сучасного театрального досвіду, на думку О. Кундеревиц, К. Кириленко та О. Бенюк, дає змогу відзначити потребу сучасної людини в «імерсивності», актуалізацію свого тілесного досвіду та відчуття своєї фізичної присутності у світі [40]. Питанню імерсивності приділяє увагу О. Губернатор, який визначає її як «набір прийомів естетичного впливу на глядача, що дає змогу залучати його в мультимедійне або трансмедійне середовище» [25]. О. Чепелик, досліджуючи імерсійні простори, зазначає, що на міру «занурення» впливає багато чинників, зокрема, окрім візуального потоку, наявність просторової інформації з інших модальностей, а також демонструє різноманіття «занурення» на прикладі сучасних українських та іноземних практик [75].

Отже, вивчення наукової літератури свідчить, що дослідження AR становлять постійний інтерес через швидку зміну та еволюцію технологій, а також можна зазначити дуже широке коло дисциплін, зацікавлених AR.

Сучасних досліджень дизайну доповненої реальності серед вітчизняних праць недостатньо, а закордонних досліджень хоч і більше, та вони переважно спрямовані на аналіз зручності, покращення алгоритмів, технічну реалізацію, оцінку ефективності тощо. Проведена систематизація наукових джерел свідчить про необхідність нових фундаментальних праць у галузі дизайну систем доповненої реальності. Наукова розвідка щодо дизайну AR-інтерфейсів хоч і проводилася, але сучасних досліджень комплексного й усебічного характеру не вистачає і дизайн-складник не достатньо вивчений у контексті доданої чи віртуальної реальності. Відзначається потреба розвитку термінологічної бази в галузі дизайну доповненої реальності, систематизації принципів, підходів до проєктування AR-інтерфейсу, що зумовлює актуальність нашого дослідження.

1.2. Методи дослідження

Проблематика та специфіка предмета дослідження потребують використання комбінованого підходу. Загальне спрямування дослідження, поміж кількісними та якісними методами, передбачає увагу на використання саме якісних методів (герменевтичної, феноменологічної стратегії дослідження), що цілком характерно для галузі дизайну. Дослідження дизайну інтерфейсів спирається на багато інших дисциплін, разом із психологією, семіотикою, культурологією, комунікацією, педагогікою, інформатикою та когнітивістикою. Відповідно, мультиметодологійний підхід є найефективнішою стратегією для отримання розуміння такої складної дослідницької галузі, як дизайн інтерфейсів, зокрема тому, що застосування кількох методів, доповнює один одного та забезпечує цінний зворотний зв'язок [296, с. 363]. Методологічну базу дослідження становить сукупність загальнонаукових і спеціальних методів.

Метод аналізу та синтезу теоретичного та практичного досвіду, що висвітлює проблеми дизайну інтерфейсів та розроблення продуктів

з доповненою реальністю дав змогу різносторонньо дослідити тему й вивчати об'єкт дослідження як загалом, так і охарактеризувати його складники.

У роботі з літературними джерелами, що висвітлюють проблеми проєктування і специфічні властивості інтерфейсів, застосовано *метод теоретичного аналізу*.

Метод системно-історичного аналізу покладено в основу дослідження історичного розвитку інтерфейсів та доповненої реальності.

Метод систематизації та верифікації використано для опрацювання базових професійних понять з наукової літератури, для визначення особливостей інтерфейсів систем з доповненою реальністю.

Поняттєво-аналітичний метод дав змогу витлумачити терміни «інтерфейс», «взаємодія», «інтерактивність», «віртуальність», «доповнена реальність», «дизайн доповненої реальності» тощо та сформуувати поняттєвий апарат дослідження.

Фактичний збір візуального матеріалу проводився через постійний моніторинг медіапростору та ЗМІ. *Метод порівняльного аналізу* було обрано для дослідження відмінностей у продуктах з доповненою реальністю та аналізу дизайну доповненої реальності.

Метод класифікації візуального матеріалу за засобами дизайну, принципами взаємодії, елементами інтерфейсу було обрано для упорядкування зразків, виокремлення типових груп елементів та визначення принципів проєктування інтерфейсів доповненої реальності.

Системно-структурний аналіз застосовано під час визначення пріоритетних якостей інтерфейсів, їхньої класифікації за рівнями та під час формування класифікації структури інтерфейсу.

Метод типологізації використано для визначення особливостей візуальної мови в AR-інтерфейсах.

Графічно-аналітичний метод застосовано для візуалізації результатів дослідження в схемах та таблицях.

За допомогою *методу проєктного аналізу* було визначено якою мірою принципи сприяють підвищенню якості дизайну інтерфейсів.

Метод *емпіричного використання* застосовано в розробці рекомендацій щодо створення дизайну інтерфейсів доповненої реальності, а саме: під час використання у реальних умовах навчально-ігрового застосунку (додаток Д.3), перегляду низки AR-робіт студентів кафедри мультимедійного дизайну.

1.3. Поняттєвий апарат доповненої реальності

Доповнена реальність, як уявне явище, тісно пов'язана з такими поняттями як «віртуальність», «віртуальна реальність», «змішана реальність», які потребують більш детальних роз'яснень. Зазначимо також, що у цій роботі такі поняття, як «віртуальна інформація» та «віртуальні дані», взаємозамінні. Незважаючи на те, що в інформаційній теорії поняття «інформація» та «дані» мають різне семантичне значення, ми не будемо їх розділяти та під даними матимемо на увазі саме інформацію, тобто таку, що несе певне значення, а поняття «віртуальні дані», «цифрові дані» розглядатимемо як синоніми, що позначають цифрову інформацію у формі, придатній для використання в доповненій реальності.

1.3.1. Віртуальність та естетизація віртуального. Дослідження показують, що поняття «віртуального» є набагато ширшим і давнішим, ніж його популяризоване комп'ютерне трактування та будь-які електронні прилади загалом. У філософських дискурсах поняття на основі кореня *vir(t)*-, лежать переважно у сфері онтологічного і співвідносяться з питаннями реального й ідеального, а також реального й різних варіантів ілюзорного. На додаток до цього, у філософії XX ст. поняття на основі кореня *vir(t)*-використовуються також і у зв'язку з проблемами тіла та тілесності, ідентичності, симуляції і симулятивності і т. ін. У латинсько-українському словнику слово *virtus* має чотири значення, що містять такі якості, як

мужність, гідність, талант, чудову якість, моральну досконалість тощо, з яких можна зробити висновок про те, що *virtus* натякає на «рукотворну» досконалість та технічний аспект, емпіричну «зробленість». Це в деякий спосіб «розвинена», добудована реальність, яка містить поділ на суще й належне, який можна співвіднести з платонівськими категоріями реального та ідеального або аристотелівськими — актуального та потенційного.

У сучасній англійській мові в слові *virtual* представлені всі ті сенси і значення, які історично формувалися в найрізноманітніших зв'язках, епохах і мовах. Поміж однокореневих слів можна зафіксувати такі значення, як: любов до мистецтва; художній смак; фактичний; сутність, істота, потенційність; віртуальність; чеснота, моральність; гарна якість, позитивна риса або сторона; гідність; перевага і т. ін. Завдяки своїй полісемантичності поняттю віртуального приділено увагу в галузях філософії, культурології, соціології, політології, мистецтва, дизайну, інформатики, де розглядаються різні сторони, погляди та підходи (Ж. Бодріяр, Ж. Деррида, Ж. Делез, Ж.-Ф. Ліотар, Ш. Тьоркл, С. Хоружій, М. Опеньков, Е. Ковалевська та інші). З появою комп'ютерних технологій, які дали змогу не лише розмірковувати про віртуальне, а й побачити його, віртуальність отримала статус наукового поняття та певну «технічну» та й «наукову» міфологізацію в повсякденному дискурсі. В основу віртуального в комп'ютерному розумінні була покладена симуляція, моделювання фізичних процесів. Ще не йшлося про симуляцію окремої реальності, але процеси, які обчислювалися, ставали складнішими й зароджувалося розуміння віртуальної реальності в її комп'ютерному сенсі. З появою мережі Інтернет та змоги обміну інформацією стала очевидною поява «нової реальності» й саме поняття комп'ютерної віртуальності набуло ширшого значення, ніж симуляція.

Словосполучення «віртуальна реальність» запропонував Джарон Ланьє в середині 1980-х років для позначення цього нового явища. Однак, ця комп'ютерна віртуальність за своїм змістом виявилася набагато ширшою, ніж просто сукупністю технологій та машин, які її створювали. Комп'ютерна

віртуальність дала змогу «віртуалізувати» не лише передання повідомлень чи створення штучних світів. Вона дала поштовх до перегляду світогляду та суспільних процесів. Аналіз *віртуального* змінив свій курс від моноонтизму та відношень *реальне–віртуальне* до парадигми поліонтизму. Класична парадигма стала занадто обмеженою, для того, щоб працювати з віртуальним лише в межах людської, фізичної об'єктивної реальності та віртуальної реальності. Простою ілюстрацією полівіртуальності може бути гра «Fallout VR» [165], де можна наочно побачити AR у віртуальному ігровому світі, реальність якого сама віртуальна.

Особливий погляд на реальність дає щодо цього віртуалістика — тип постнекласичного світогляду. Вона проголошує ідею віртуального існування. Згідно з її поглядами, світ — віртуальний, а також багатошаровий, складний та непостійний. Породжене так само реальне, як і породжувальне. Цілі світи або частини можуть породжуватися та вмирати, а кожна частина існує на власних підставах. Віртуалістика не заперечує традиційну науку та філософію, а надає їм статус константної реальності. Згідно з віртуалістикою, віртуальна реальність може породжувати віртуальну реальність щодо себе і сама бути породженням віртуальної реальності. Для позначення базової, породжувальної реальності використовують термін «константна», а для породженої «віртуальна» (яка, зі свого боку, може бути константною для іншої реальності). Зазначається, що *віртуальність* не означає *нереальність*. Це просто інша реальність, яка відбувається прямо *тут і зараз*. Незалежно від її «природи» (фізичної, психологічної, соціальної, біологічної, технічної та інших), виділяють такі властивості:

- породженість (віртуальна реальність продукується активністю будь-якої іншої реальності, зовнішньої щодо неї);
- актуальність (віртуальна реальність існує актуально, тільки «тут і тепер», поки активна реальність, що породжує);
- автономність (у віртуальної реальності свій час, простір та закони існування (у кожній віртуальній реальності своя «природа»);

— інтерактивність (віртуальна реальність може взаємодіяти з іншими реальностями, зокрема і з тими, що породжує, як така, що онтологічно незалежна від них).

Зазначені вище властивості визначають межі існування віртуальної реальності незалежно від її походження. Погляди віртуалістики відповідають принципам конструктивізму, за ними реальності розглядаються відносно одна одної, не шукаючи *справжню* реальність. Таке абстрагування дає змогу дослідити навіть ті втілення реальностей, що технологічно не можливі у фізичній реальності, але цілком реальні в породжених нею віртуальних реальностях.

Слід зазначити, що віртуальна реальність має особливу позицію до константної, а саме:

- те, що зображено, імітує властивості того, що зображується;
- об'єкти можуть докорінно змінюватися;
- показ віртуального зображення можна почати і припинити, тобто керувати породженням віртуальної реальності.

Віртуалізація в загальному розумінні — це будь-яке заміщення реальності її симуляцією. Її (віртуалізації), привабливість у тому, що вона дає змогу робити щось у спосіб, неможливий у реальності. Соціальні мережі, інтернет-магазини, портали державних послуг, інструменти та сервіси в смартфонах, кооперативні онлайн-ігри, метасвіти тощо — все це теж наслідки віртуалізації та потреби змінити звичні процеси, зробити їх більш зручними та доступними. Паралельно відбуваються процеси симуляції реальних явищ і процесів різних галузей та їхнє переосмислення у віртуальності.

Художні образи віртуальної реальності на багато десятиліть випередили розвиток технологій, здатних їх втілити. Перша концепція розширеної реальності була унаочнена в романі Френка Л. Баума «Головний ключ: електрична казка, заснована на таємницях електрики та оптимізмі її прихильників», написаному 1901 року, у якому набір електронних окулярів

відображав інформацію про людей і його називали «маркером персони» [378; 91]. Письменник-фантаст Рей Бредбері 1950 року у своєму оповіданні «Вельд» зобразив можливі технології майбутнього та симуляцію віртуальної реальності. Терміни «віртуальна реальність», «кіберпростір», «доповнена реальність» стали дуже популярними поза науковою спільнотою, зокрема завдяки мистецтву. На думку Олівера Бімбера [112, с. 2], науково-фантастичні фільми, наприклад, «Зоряний шлях» (1966), «Зоряні війни» (1977), «Трон» (1982), не лише представили цю концепцію публіці, але й спонукали наукове товариство до пошуків шляхів реалізації фантастичних технологій у реальності.

Однак мистецтво не лише зображувало віртуальне у своїх класичних формах. Віртуальність проникла в нього ззовні та зсередини, змінивши і зміст, і форму. Застосування технологій породило «нове» мистецтво, яке є лише в цифровому вигляді або як суміш цифрового та матеріального, повноцінний перегляд якого можливий лише з використанням обчислювальної техніки. Прикладом такого віртуального мистецтва може бути віртуальний світ цифрового художника Кевіна Мака (Kevin Mack) під назвою «Blortasia» [237]. Абстрактний тривимірний світ наповнений різнобарвними аморфними формами, яким можна блукати у віртуальній реальності. Комп'ютерні технології стали використовуватися і як інструмент створення віртуального, цифрового та взаємодії з ним, і як майданчик для існування цифрових даних, і як місток між людьми та комп'ютерною віртуальністю. Віртуалізується мистецтво, самі твори мистецтва, засоби їхнього перегляду та навіть місця та підхід експонування. Крім того, змінюється поняття образу та роль глядача, а також мова твору, його інструментарій і формат.

Варто зазначити, що саме в епоху постмодерну виникла потреба в дизайні не лише реального середовища, а й віртуального. Продукти віртуалізації стали осяжними завдяки комп'ютерним технологіям, а паралельно з процесом матеріалізації віртуального формувався і запит на його естетизацію та гуманізацію. Н. Сбітнєва зазначає [22; 55, с. 192], що

графічний дизайн сьогодні охоплює розроблення елементів віртуального середовища, а віртуалізація графічного дизайну — «одна з важливих рис його сучасного розвитку й реальна перспектива на найближчі десятиріччя».

Продукти комп'ютерної віртуальності розділилися на дві категорії першого та другого порядку — ті, що не змінюють сприйняття реальності та ті, що змінюють. Цифрові продукти першого порядку цілком природно вбудувалися в наявну фізичну реальність, наслідуючи та симулюючи її закони й фізичні об'єкти (газети — сайти новин, крамниці — інтернет-магазини, предмет калькулятор — програма калькулятор, жива гра — тривимірна гра на екрані пристрою тощо). Цифрові продукти другого порядку, використовуючи як основу, продукти першого порядку, змінюють саме сприйняття людиною константної реальності, впливаючи на те, що вона бачить та чує.

Предметом нашого аналізу стануть продукти комп'ютерної віртуальності другого порядку. Ця комп'ютерна віртуальність суттєво відрізняється за своїми властивостями залежно від ступеня поєднання константного та віртуального. Поміж категорій комп'ютерної віртуальності розрізняють доповнену, змішану та віртуальну реальності. Усі ці категорії віртуальні за походженням, але мають відмінності. Щоб вилучити плутанину, далі термін *віртуальна реальність* буде розглядатися не як глобальна категорія, а як позначення відповідного типу комп'ютерної віртуальності.

1.3.2. Термінологічний аналіз понять «технології доповненої реальності» та «дизайн доповненої реальності». Термін «доповнена реальність» (Augmented Reality, AR) ввели у компанії «Боїнг» (Boeing) 1990 року дослідники Том Кодел (Tom Caudell) та Девід Мітчел (David Mizell) [131, с. 659]. Система, яку вони запропонували, була альтернативою дорогим схемам на фанерних дошках та маркувальним пристроям, які тоді використовували для інструктажів робітників на виробництві літаків. Це був основний пристрій, який відображав конкретні схеми та інструкції за допомогою AR-окулярів та проектував їх на багатофункційні багаторазові

дошки [324]. Т. Кодел та Д. Мітчел зазначають, що: «... ця технологія дає змогу накладати та стабілізувати створену комп'ютером схему на конкретне місце на реальному об'єкті». Відбувається «доповнення» зорового поля користувача інформацією, потрібною для виконання поточного завдання. Відмінність AR від «повної» віртуальної реальності (VR) автори технології вбачають у концепції «доповнення» реальності та економії обчислювальних потужностей, бо замість генерації кожного видимого пікселя (як у VR), відтворювалася лише невелика їхня кількість та накладалася на оточення користувача. Ця робота примітна тим, що дала змогу звернути увагу на існування реальності — не повністю *віртуальної*, але й відмінної від *реальної* — доповненої віртуальними (цифровими) графічними об'єктами, а також пропонувала конкретну технологію створення такої реальності та її назву.

Зазначимо, що доповнена реальність, як концепція, не прив'язана до конкретних технологій і може бути створена різними способами. Т. Кодел та Д. Мітчел, вірогідно, назвали її технологією тому, що, по-перше, до того моменту це словосполучення ніхто не використовував, а по-друге, тому, що в нашому реальному світі ми можемо створити доповнену реальність лише за допомогою певних технічних приладів. Вони назвали свою технологію *доповненою реальністю*, але, використавши слово *реальність*, тим самим уже вийшли за межі означення лише технології.

І сьогодні нерідко можна зустріти тексти, де словосполучення «доповнена реальність» вживається замість «технологія(-ї) [створення] доповненої реальності», а словосполучення «технології доповненої реальності» там, де маєтись на увазі сама «доповнена реальність» як явище, а не технологія. Технологія (від грец. τεχνολογία, що походить від грец. τεχνολογος; грец. τεχνη — майстерність, техніка; грец. λογος — (тут) передавати) — наука («корпус знань») про способи (набір і послідовність операцій, їхні режими) забезпечення потреб людства за допомогою (через застосування) технічних засобів (знарядь праці). Мета технології — розкласти на складники процес досягнення якого-небудь результату.

Під технологією розуміють: 1. Сукупність знань, відомостей про послідовність окремих виробничих операцій у процесі виробництва чогось-небудь. 2. Сукупність способів обробки або переробки матеріалів, виготовлення виробів, проведення різних виробничих операцій тощо. 3. *розм.* застосування наукових знань для вирішення практичних завдань [59]. Виходячи з наведеного, можна сформулювати, що *технологія доповненої реальності* є сукупністю знань про методи та процеси створення доповненої реальності за допомогою технічних засобів. Технологій створення цього явища може бути багато, але кінцевим результатом застосування таких технологій буде *доповнена реальність* сама собою. Отже, доповнена реальність у загальному трактуванні не технологія, а результат застосування певної технології [72]. Водночас це й назва однойменної технології, яку використали Т. Кодел та Д. Мітчел.

Втім, саме словосполучення «технології доповненої реальності» легітимне й означає, що йдеться саме про сторону створення або про певний набір технічних складників. Хоча краще було б назвати це «технології створення доповненої реальності». Однак у літературі словосполучення «технології доповненої реальності» нерідко скорочується до просто «доповненої реальності», коли маються на увазі саме «технології», що, вірогідно, пов'язано з тим, що питання саме про способи втілення AR стоять найгостріше та найчастіше обговорюються саме в технологічному контексті.

Варто зауважити, що коли йдеться про *дизайн доповненої реальності*, розглядаються не лише технічні аспекти втілення, а й естетизація створеної реальності. Проте повною мірою, говорячи про дизайн доповненої реальності, не можна обійти увагою і технічний складник процесу створення, оскільки нинішні технічні можливості накладають обмеження і на те, який дизайн може бути створений уже зараз, а що стане можливим у майбутньому.

Термін *доповнена реальність* теж потребує уточнення. У різних українських джерелах спершу він називався по-різному: доповнена, додана, додаткова, добавлена, розширена, поліпшена, збагачена. Це створювало

плутанину та ускладнювало пошук релевантних джерел. Термін «доповнена реальність» був утворений від англ. *augmented reality*. Згідно з кембриджським словником, дієслово «*augment*» тлумачать так: «збільшити розмір чи значення чогось, додавши щось до нього» [88]. Дієслово «доповнювати» в українській мові має тлумачення «додаючи що-небудь до того, що вже є або відомо, робити його повнішим» [29]. Це найближче відповідає трактуванню оригінального визначення.

Дієслово «додавати» має багато значень: 1. Давати, класти, сипати, лити та т. ін. у додаток до чого-небудь; добавляти. 2. Збільшувати, посилювати, робити відчутним що-небудь. 3. Говорити або писати на додаток до вже сказаного чи написаного; доповнювати. 4. мат. Виконувати додавання (у 2 знач.) [30]. Тлумачення дієслова «додавати» в другому значенні теж схоже на оригінальний варіант, але, якщо розглянути приклади, можна побачити, що в цьому значенні «додавання» приводить до якогось іншого стану й утворює пари з причинно-наслідковим зв'язком: ніжна шкіра додає вроди; пісня до роботи додає охоти й таке інше. *Додатковий*, своєю чергою, означає «який є додатком (у 2 знач.) до чого-небудь» [28]. Наведені приклади доводять, що слово вживається зі значенням «цілком самостійний характер», наприклад, «додаткова робота». «Добавлений» має те ж саме значення, що й доданий.

Відтінки значень отримують і словосполучення із цими дієсловами. «Додаткова реальність» або «добавлена реальність» натякає, що це деяка реальність, яку можна відокремити від основної реальності й розглядати окремо (за аналогією з додатковою вартістю). Під час спостереження результату доповнення можна умовно відділити таку реальність від константної (якщо відомо, які саме елементи належать до штучно створеної реальності), але це розділення не дає змоги створити нову надреальність, адже саме її існування пов'язане з константною реальністю.

«Додана реальність» — більш прийнятний варіант для вживання, ніж попередні, але теж має свої недоліки. По-перше, з огляду на приклади вживання, *додавання* більше підходить для поєднання «рівнозначних

об'єктів», які можуть утворити одне ціле, наприклад, чай та цукор; або для посилення чого-небудь — «додавати впевненості». У разі використання цього прикметника зі словом «реальність» вона не стає «реальнішою» за ту, що була, тому вживання в першому, другому та четвертому значеннях не підходять. У разі вживання в третьому значенні краще використати синонім «доповнення». Ще одним аргументом на користь саме «доповненої реальності» є те, що «додавати» має більше відтінків трактування, і позбавляє тлумачення конкретності, на відміну від «доповнювати». Інколи ще використовують термін «змішана реальність», але він охоплює все в континуумі віртуальності-реальності та позначає ширше явище. Його використання як заміник неправильне.

«Доповнена реальність», своєю чергою, означає, що первинна, базова, дійсна реальність (яка вже існує) була доповнена чимось новим, таким, що не може існувати, бути створеним, окремо від цієї реальності, тобто базується на ній. Це роз'яснення ще не є повним визначенням, а лише пояснює суть доповнення. Найбільш прийнятним скороченням є використання його англійської аббревіатури — AR, що дає змогу запобігти плутанині з іншими українськими можливими скороченнями та однозначно розпізнається в контексті статей про доповнену реальність. Подібний погляд на трактування змісту доповненої реальності цілком відповідає сучасній ситуації вживаності термінів, що закріпилася у науковій та професійній спільноті. Зокрема, порівнявши уживаність термінів із точним збігом (приблизна кількість посилань) за кількістю результатів у пошуку «Google» (табл. А.4), заключаємо, що «доповнена реальність» вживається найчастіше.

Розглянемо, у яких сполученнях можуть бути використані терміни «доповнена реальність» і «дизайн». «Дизайн доповненої реальності» — означає більшою мірою процес створення контенту, що демонструється в доповненій реальності. Він може й охоплювати й дизайн механіки взаємодії з контентом, і розроблення самого наповнення та суміжних об'єктів, що передують активації AR. Доповнена реальність постає як об'єкт дизайну.

Прикладом дизайну доповненої реальності можуть бути маски для застосунків «Снепчат» (Snapchat), «Фейсбук» (Facebook), «Інстаграм» (Instagram) тощо, які накладаються на обличчя людини або середовище та демонструють на ньому певні анімовані ефекти. На іл. Б.1.3.1 зображений лава-фільтр та водний фільтр від компанії «Снепчат», що застосовують технології машинного навчання та сегментування поверхні.

«Дизайн із доповненою реальністю», «дизайн з елементами доповненої реальності» — зображує результат дизайну, тобто певний продукт, що містить у своєму складі точки активації доповненої реальності та відповідний тематично пов'язаний віртуальний контент. Приклади такого дизайну можна знайти в пакуванні, поліграфії, плакатах, книжках тощо. Агентство «Бекбон Брендинг» (Backbone Branding) створило 2020 року дизайн пакування з доповненою реальністю для бренду «Mrgastan» (Вірменія). У проморолику можна побачити, як за допомогою мобільного застосунку, під час наведення на пакування, у фруктах з'являються наповнені рухом зображення ландшафтів Вірменії (іл. Б.1.3.2).

«Дизайн із використанням доповненої реальності» або «дизайн у доповненій реальності» — зображує зовсім іншу сторону процесу. У цьому разі доповнена реальність стає середовищем, у якому відбувається процес створення продукту або в якому зображено результат такої діяльності. Прикладом може бути спільна робота над дизайном пакування, поточний варіант якого проєктується на реальний об'єкт, як у проєкті SPARK, що розвивається за підтримки фінансування програмою Європейського Союзу з досліджень та інновацій «Horizon 2020» [286]. На іл. Б.1.3.3 можна побачити демонстрацію того, як дизайн накладається на прототип пакування. Його розміщення може редагуватися за допомогою простого інтерфейсу в реальному часі, паралельно зі змінами в самому дизайні. Отже, AR відіграє щонайменше дві ролі у дизайні: 1) першочергову чи другорядну роль, як об'єкт дизайну; 2) як інструмент або середовище для творення. Вживання відповідних словосполучень, дає змогу це семантично віддзеркалювати.

1.3.3. Зв'язок та відмінності доповненої реальності від інших видів реальності. Поняття *доповнена реальність*, як і *віртуальне*, — полісемантичне та багатостороннє. Розуміння того, чим саме є доповнена реальність та її визначення, змінювалися в процесі розвитку технологій. В 1994 році, після майже тридцяти років розроблень у цій сфері, різні автори зазначали проблему того, що термін *доповнена реальність* (augmented reality) почав часто виникати в літературі, але без ґрунтового визначення [280, с. 282]. Через тридцять років потому фіксуємо лише незначне покращення. Відповідно, слід встановити, що ж таке доповнена реальність та в чому її відмінності від інших видів.

Розглянемо найвідоміші погляди на доповнену реальність. У 1994 році Пол Мілгрем (Paul Milgram), Харуо Текемура (Haruo Takemura), Акіра Утсумі (Akira Utsumi) та Фуміо Кішіно (Fumio Kishino) [280] запропонували концепцію континууму реальності-віртуальності (RV). Ця концепція покладена в основу більшості уявлень про різні градації комп'ютерних реальностей, зокрема і доповненої. На ілюстрації іл. Б.1.3.4 в лівій частині розташована Реальність (реальне середовище, Real Environment, RE), а в правій Віртуальне середовище (Virtual Environment, VE). Простір між ними — змішана реальність.

Згідно з авторським визначенням, *реальність* (реальне середовище, Real Environment, RE) — середовище, унаочнене лише реальними об'єктами та яке охоплює те, що можна спостерігати, коли бачиш реальний світ, будь-то власними очима, або через певного роду вікно, або через певний тип дисплея [280, с. 283]. *Віртуальне середовище* (Virtual Environment, VE) — середовище, що складається лише з віртуальних об'єктів, приклади яких можуть охоплювати звичайні комп'ютерні графічні імітації, на основі монітора або імерсійні (технології занурення, див. додаток Г.1).

Змішана реальність (Mixed Reality, MR) — середовище, у якому об'єкти реального та віртуального світу представлені разом на одному дисплеї, де завгодно в межах континууму (у літературі ще фіксуємо, як його синонім,

термін «гібридне середовище» hybrid environment) [322]). Складниками MR середовища, за Мілгредом, відповідно стають *Доповнена Реальність* (Augmented Reality — AR) та *Доповнена віртуальність* (Augmented Virtuality — AV). Доповнена віртуальність за П. Мілгредом передбачає повністю графічні середовища відображення, або повністю імерсійні, частково імерсійні, або інші, до яких додано деяку кількість справжньої реальності (відображеної в певний спосіб — на відео, накладанням тощо).

Відмітимо, що у первинному континуумі не використовується поняття *віртуальної реальності*, з яким постійно порівнюють та якому протиставлять доповнену реальність, а використовується *віртуальне середовище*. Однак у повсякденному вжитку зустрічаємо, що у цьому контексті використовують поняття *віртуальної реальності*. Її сприймають саме у вузькому розумінні й ототожнюють зі штучним комп'ютерним середовищем. Якщо скласти всі характеристики сучасного трактування терміна, що здебільшого позначають як «VR», він буде розташовуватися у крайній точці континууму RV та позначатиме повністю змодельований, імерсійний світ, що прагне до реалізму.

Основна відмінність між AR та VR полягає у співвідношенні між двома реальностями: AR намагається поєднати цифрове та фізичне, щоб створити єдину «змішану реальність», а VR фокусується на створенні повністю штучних, занурювальних цифрових середовищ, які повністю замінюють аспекти фізичного світу та підходять для створення таких середовищ, які важко або неможливо реалізувати у фізичному світі, наприклад, занурювальну візуалізацію дна океану або іншої планети.

П. Мілгред, Ф. Кішіно та колеги розглядають два види AR:

— на базі наскрізних (прозорих) дисплеїв, що кріпляться до голови; — на базі моніторів (не імерсійних, які вони ще називають «вікном у світ» (“window-on-the-world”, WoW).

Застосування того чи того виду визначає метафору того, як спостерігач відчуває своє місцезнаходження в системі — егоцентрично, занурившись у світ, або екзоцентрично, спостерігаючи світ зовні. Окрім континууму

Реальності-Віртуальності, науковці виділяють три важливі чинники, що впливають на формування різних AR/AV систем [280, с. 287]:

— *реальність*: деякі середовища є насамперед віртуальними, у тому сенсі, що вони були створені штучно за допомогою комп'ютера, а інші — насамперед реальні;

— *занурення*: віртуальне та реальне середовища можуть відображатися без потреби бути повністю зануреним у них спостерігачеві;

— *безпосередність*: чи розглядаються об'єкти первинного світу безпосередньо або за допомогою якогось електронного процесу синтезу.

На базі цього П. Мілгрем та колеги запропонували також тривимірну таксономію, за допомогою якої можуть бути зображені AR/AV системи в термінах (мінімально) багатовимірного простору. Три виміри, пов'язані з RV: обсяг знань про світ, у якому показуються об'єкти (EWK) (іл. Б.1.3.5); точність та якість відтворення графіки, ступінь реалізму (RF) (іл. Б.1.3.6); ступінь метафори присутності, занурення (EPM) (іл. Б.1.3.7). Останній особливо важливий, адже інколи AR називають імерсійною технологією, але це неправильно, адже концепція доповненої реальності не обов'язково передбачає ефект занурення.

Перераховані виміри впливають не тільки на технічні складники та складність AR/AV систем, а й на їхній дизайн: принципи створення, засоби втілення та фінальний результат. Базуючись лише на згаданих характеристиках можна створити щонайменше 75 варіантів доповненої реальності. П. Мілгрем та колеги зосереджують свою увагу на протиставленні реальне-віртуальне, але їхню концепцію континууму можна без перешкод застосовувати і з позицій віртуалістики, так само розглядаючи континуум між певною константною та віртуальною реальностями.

Зазначимо, що у 1997 році Рональд Азума робить кілька важливих узагальнень [96] та пропонує три ключові вимоги до AR системи, яка:

1. поєднує реальне і віртуальне;
2. інтерактивна в реальному часі;

3. зареєстрована в 3D-просторі (константної реальності, — прим. К. О.).

Звернемо увагу, що визначення Р. Азума не накладає обмеження на використання різних технологій для втілення AR. Дослідник роз'яснює, що три вимоги відкидають фільми чи двовимірні накладання (наприклад, комбінацію реального відео та комп'ютерних моделей чи ефектів у кіно, або їхнє накладання поверх відео в режимі реального часу), однак, допускають інтерфейси на основі монітору, монокулярні системи, прозорі HMD та різні інші технології комбінування.

У 2002 році К. Фейнер (K. Feiner) [166] дає своє визначення AR: «Доповнена реальність належить до комп'ютерних дисплеїв, які додають віртуальну інформацію до сенсорного сприйняття користувачів». Робиться акцент на суб'єктивному сприйнятті користувача та його активній ролі. Ще один різновид класифікації AR є у мапі «Метаверс» (Metaverse) [359], побудованій на базі концепції Ніла Стівенсона (Nil Stephenson) про зближення практично посиленої фізичної реальності та фізично стійкого віртуального простору. Мапа «Метаверс» спирається на континууми технологій та їхню направленість, що змінюється від внутрішньої, орієнтованої на ідентичність та дії особистості, до зовнішньої, зосередженої на світ загалом (іл. Б.1.3.8). За визначенням авторів [359], технології доповнення — це технології, що додають нові можливості до реальних систем, а технології моделювання або симуляції моделюють реальність.

У 2011 році Олів'є Х'ю (O. Hugues) та колеги представили таксономію середовищ AR на основі функційного призначення [206]. Вони поділяють середовища на дві окремі групи, перша стосується посиленого сприйняття реальності, а друга — створення штучного середовища. Подібно до К. Фейнера, вони ставлять запитання, що саме доповнюється в реальності, якщо реальність це все навколо? І пропонують свою відповідь: «Доповнюється не реальність, а сприйняття реальності» [206, с. 2], формуючи власний термін «доповнене сприйняття».

У процесі визначення доповненої реальності багато плутанини виникає з поняттям змішаної реальності (mixed reality, MR). Можна зафіксувати хибні уявлення, що змішана реальність — це доповнена реальність з можливістю взаємодії, або, власне VR з деякими доповненнями зі справжньої реальності (real reality, RR), або AR із застосуванням Hololens (спеціальних окулярів), чи навіть суміш AR та VR. Ці уявлення помилкові. Здебільшого, таку думку висловлюють автори інтернет-публікацій, неознайомлені з континуумами, розглянутими вище. Як було зазначено, найбільш сталим та прийнятим у науковому розумінні MR є континуум Мілгрема-Кішіно, у якому все, що розташовано між константною реальністю та віртуальною реальністю, тобто всі їхні можливі співвідношення, позначаються поняттям «змішана реальність», а «довповнена реальність» — це одна з проміжних ланок між константною та віртуальною реальністю.

Інколи до доповненої та до змішаної реальності апелюють також ще й як до «XR» чи «X-реальності». XR, як «Екстраполяція» («extended reality» or «extended response»), бере свій початок ще 1961 року, коли Чарльз Вікофф (Wyskoff) подав патент на фотографічну плівку «XR», яка давала змогу людям бачити ядерні вибухи та інші явища, що виходять за межі нормального людського зору [264, с. 2; 411, с. 17]. У 1991 році Стів Манн та Чарльз Вікофф спільно розробляли пристрої «XRvision» — гарнітури AR/VR для доповнення та сенсорного розширення людини за допомогою зображень широкого динамічного діапазону (High Dynamic Range, HDR) [263], де XR використовувалося у значенні екстраполяції (eXtrapolation) для розширення (eXtend / augment / eXpand) сенсорних можливостей людини за допомогою переносних комп'ютерів. У цьому сенсі «X» позначало вісь, яка проходить повз «реальність».

Джозеф Парадізіо та Джеймс Лендей (J. Paradisio, J. Landay) визначають XR, як середовище змішаної реальності, яке є «об'єднанням усюдисущих мереж сенсорів / виконавчих механізмів та спільних інтернет-віртуальних світів», тобто як специфічний вид змішаної реальності [300, с. 15]. Б. Колеман

(B. Coleman) визначає XR як крос-реальність (також відома як x-реальність), де відбувається обмін інформацією або медіа між системами реального та віртуального світу [136, с. 16].

Терміни «XR», «X-Reality», «X-REALITY» та «XREALITY» постають також як торгові марки, зареєстровані 2010 року корпорацією «Sony», та використовуються в контексті доповненої реальності для мобільних пристроїв у Sony Xperia X -Reality™ [264, с. 2]. Використання Sony XR та X-Reality узгоджено з концепцією Вікоффа-Манна щодо розширеного сенсорного сприйняття людини завдяки високому динамічному діапазону. XR (X-Реальність), за підсумком С. Манна [264, с. 2], в сучасному розумінні має принаймні чотири визначення:

- XR / X-Reality базовано на «осі X», яка проходить як через «реальність», так і через «віртуальність»; якесь положення на осі X;
- технологія розширеного сприйняття реальності (екстраполяція Манна-Вайкова);
- підмножина змішаної реальності (поєднання «носіїв та розумних міст» Парадизо-Ландая);
- Cross-реальність, реальність на перетині RE та VR (інтерполяція Коулмана, точка на континуумі Мілгрема, від слова змінювати (miXing)).

Ікс-реальністю автори публікацій в інтернеті позначають також загальну назву для AR- та VR-технологій, маючи на увазі, що на місце X необхідно підставляти певну літеру (A, V тощо). Загальне для всіх визначень XR (X-Reality) те, що вона базується на осі, яка проходить, як через «реальність», так і через «віртуальність», позначаючи на ній певну точку (X).

Безліч технологій постають посередниками між глядачем та оточенням, яке він спостерігає. Для того, щоб описати, як змінюється реальність з урахуванням її модифікованих станів, Стів Манн 1994 року вводить концепцію «опосередкованої реальності» (Mediated Reality, XYR), яка полягає у фільтрації або модифікації погляду на реальний світ [262]. За допомогою двомірного континууму, який об'єднує континуум Мілгрема та обсяг

фільтрації, можна вивести різні рівні модифіковано-доповненої реальності (іл. Б.1.3.9). Є багато прикладів оброблення та фільтрування реальності, що бачить людина, яка вже не є *реальною реальністю*, але ще не стала *доповненою реальністю*. До таких прикладів можна уналежнити електронні окуляри, які роблять світ чорно-білим, або окуляри Стреттона, які завдяки системі лінз показують зображення перевернутим.

З метою уніфікації XYR, XR, MR та подібних реальностей, а також інших метареальностей, що мають синтетичні та феноменологічні компоненти, 2002 року С. Манн пропонує Все-реальність «All Reality» [261; 264]. Дослідник визначає Всеохоплюючу Реальність як мультипосередковану, мультимаштабну, мультисенсорну, мультивимірну та мультиспостерігаційну [264, с. 3]. Вона охоплює різні фізичні масштаби — від імплантатів та переносних пристроїв до розумних міст та розумних світів. Сюди, звісно, входить і доповнена реальність.

Висновки до першого розділу

1. Виявлено, що ступінь наукового осмислення дизайну систем доповненої реальності знаходиться на рівні практичних експериментів, а теоретична сторона питання розроблена нерівномірно. Найбільше уваги до AR історично приділяють у галузях комп'ютерних технологій, інженерії та педагогіки, а в галузі дизайну фрагментований активний рух почався в останні десятиліття, а саме: дослідження мистецького потенціалу, експериментальні практики, проблеми реалістичного відтворення, оцінювання зручності, особливості взаємодії. Водночас дослідження, що присвячені суто дизайну, зосереджуються на конкретних проєктах, не узагальнюючи досвід розроблення, а наявні типології сфокусовані більше на технічних компонентах або функціях, і не враховують особливості дизайну системи. Зазначимо, що і дослідження інтерфейсів здебільшого торкаються 2D простору, і значно менше 3D простору, у якому може відбуватись AR взаємодія.

Було також розглянуто генезис систем доповненої реальності та визначено, що доповнена реальність онтологічно має тісний зв'язок з аудіовізуальним і видовищним мистецтвом, готовим до експериментів з інноваційними технологіями. Водночас, завдяки таким особливостям, як поєднання віртуального та реального та специфіці використання простору, дизайн AR потребує окремого вивчення. У зв'язку із переліченим виявлена та обґрунтована актуальність теми дослідження.

2. Визначено, що термін «доповнена реальність» окрім свого загального широкого абстрактного розуміння може позначати «технологію доповненої реальності», «систему доповненої реальності» тощо. Встановлено, що термін «доповнена реальність» найприйнятніший поміж варіантів використання та найбільш повно відповідає оригінальному змісту терміна та його сутності.

3. Сформовано визначення типів реальностей: доповненої, віртуальної, змішаної та гіперреальності, — що покращує розуміння їхнього співвідношення між собою:

Доповнена реальність (англ. augmented reality, AR) – 1. Різновид реальності, що утворюється на основі базової реальності, через введення в зорове поле або поле сприйняття будь-яких актуальних сенсорних віртуальних даних, які мають просторову прив'язку та формують з контекстом наратив. Що чіткішим та яснішим є наратив з контекстом, то сильнішим є доповнення реальності. 2. Результат введення в зорове поле або поле сприйняття користувача будь-яких сенсорних віртуальних даних (Feiner [166] називає його різновидом комп'ютерного дисплея) для доповнення або зміни сприйняття об'єкта або середовища. 3. Однотипна технологія, що передбачає розміщення віртуального об'єкта в базовому середовищі в режимі реального часу та з урахуванням його розташування в просторі.

Доповнена віртуальність (англ. augmented virtuality, AV) (за Мілгремом [280]) — повністю графічне середовище відображення (віртуальне середовище), імерсійне повністю або частково, або інше, до якого додано

деяку кількість справжньої (базової) реальності (відображеної в деякий спосіб — на відео, накладанням тощо).

Віртуальна реальність (англ. virtual reality) — 1. Комп'ютерна модель середовища (простору). Віртуальне середовище — синтетичний світ, який має свої закони, свій алгоритм існування, свої правила та сприймається через відчуття: зорові, слухові, тактильні тощо. В. Р. імітує як вплив, так і реакцію на вплив. Викликає у глядача відчуття реальної дійсності. 2. Підхід, який використовує дисплеї, відстеження та інші технології, щоб занурити користувача у віртуальне середовище. На практиці віртуальне середовище та віртуальна реальність вживаються як синоніми [124, с. 43]. 3. Особлива сфера уявлень щодо простору й часу, сформована на базі комп'ютерних технологій. Повністю змодельований, імерсійний світ, що прагне до реалізму. 4. У широкому, філософському розумінні, різновид реальності у формі тотожності матеріального й ідеального (уявного), що створюється та існує завдяки іншій реальності.

Змішана реальність (англ. mixed reality, MR) — узагальнена назва реальностей на шкалі RE-VR континууму між RE та VR. Суміщення віртуальних та реальних об'єктів в одному середовищі, що дає змогу динамічно взаємодіяти із цифровим вмістом у режимі реального часу. Варто наголосити на потребі уникати прирівнювання змішаної реальності тільки до:

- а) VR з деякими доповненнями реальної реальності (real reality, RR);
- б) AR з застосуванням спеціальних окулярів чи в) AR із можливістю взаємодіяти з об'єктами.

Гіперреальність (англ. hyperreality) — термін, запозичений у Жака Лакана та описаний Жаном Бодрійяром, фіксує нездатність свідомості відрізнити «реальне» від його означника. Означає стан, за якого немає чіткої межі та різниці між реальним та віртуальним/вигаданим. Наприклад, поєднання реального й віртуального або людського й штучного інтелекту.

4. З'ясовано, що необхідно розрізняти в різних якостях: дизайн доповненої реальності, дизайн з доповненою реальністю та дизайн з

використанням доповненої реальності, — адже в цих словосполученнях доповнена реальність та дизайн постають у різних якостях.

А. Дизайн доповненої реальності — процес створення продукту або частини продукту та відповідний результат дизайну, що використовує певні технології й віртуальні дані для створення доповненої реальності. До нього може входити дизайн механіки взаємодії з контентом, розроблення самого наповнення та суміжних об'єктів, що передують активації AR тощо.

Б. Дизайн з доповненою реальністю або дизайн з елементами доповненої реальності — зображує результат дизайну, тобто певний продукт або його частину, що містить у своєму складі точки активації доповненої реальності та, відповідно, можливість перегляду і взаємодії з її наповненням.

В. Дизайн з використанням доповненої реальності або дизайн у доповненій реальності — доповнена реальність стає середовищем, у якому відбувається процес створення продукту, або у якому зображується результат такої діяльності.

Основні результати цього розділу дисертації апробовано в статті [68] та доповідях [72; 69], а також у додатковій статті [67] та доповіді [66].

РОЗДІЛ II

СКЛАДНИКИ СИСТЕМ ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ ТА ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМИ

Дизайн систем доповненої реальності визначається її складниками, а також деякими теоретичними аспектами, що мають на неї вагомий вплив. По-перше, системно крізь роботу із системами доповненої реальності проходить взаємодія, ключовий процес, що лежить в основі AR та її інтерфейсу. По-друге, цікаве саме поняття інтерфейсу в контексті доповненої реальності. По-третє, роль користувача й те, як він опрацьовує інформацію. Ключові точки, з яких складається дизайн систем доповненої реальності, це:

- (а) фізичні складники системи доповненої реальності та ПЗ;
- (б) ідейний складник, концепція та наратив;
- (в) віртуальні дані, які системи накладають, тобто контент;
- (г) користувач, який користується цим контентом;
- (д) інтерфейс, через який він взаємодіє з віртуальними даними;
- (е) і сама взаємодія та засоби взаємодії.

2.1. Складники системи та їхній вплив на дизайн доповненої реальності

На базі розглянутих класифікацій [112; 126; 152; 151; 253; 259; 294; 370; 384] (табл. А.3) було сформовано схему AR-системи (табл. А.5) разом з позначенням зони інтерфейсу, що враховує взаємодію з користувачем. Фізичні частини системи показані зафарбованими блоками, стрілки зазначають напрям впливу того чи того процесу, а біля стрілок розміщені процеси, що відбуваються між блоками.

Ключовий об'єкт — це об'єкт або об'єкти, що є метою доповнення (об'єкт доповнення). Такі об'єкти зчитуються сенсорами, або буквально, наприклад, камерами, або побіжно, коли об'єкт для зчитування визначається

за доступними даними, наприклад, координатами GPS. Сенсори збирають інформацію про навколишнє середовище, об'єкти та дії користувача і відповідають за реєстрацію та відстеження. Зібрані дані передаються в блок обчислень. Він складається з фізичного обладнання, яке охоплює сховище даних і програмного забезпечення (ПЗ) та відповідає за логіку роботи системи. Отримана інформація використовується для осмислення реального світу та накладання на нього цифрових зображень. ПЗ вирішує, які дані необхідно обробляти та відображати, ініціює процес їхньої візуалізації, результат якої передається на пристрій відображення (дисплей). Засоби відстеження та презентації разом з ключовим об'єктом утворюють інтерфейс користувача. Користувач не є частиною системи, але його положення та дії впливають на її роботу, а нерідко й він сам стає ключовим об'єктом для доповнення.

Зупинимось на форматі програмного забезпечення, у якому поставляється AR. Воно має вплив на загальну концепцію та дизайн графіки, бо формує технічні обмеження. Можливі формати: мобільний застосунок, комп'ютерна програма, веб-AR, спеціалізоване ПЗ у спеціалізованому пристрої. Більшість програм та мобільних застосунків потребують окремого встановлення, що створює додаткову перепону на шляху до користувача, який може не вміти, боятися або не бажати встановлювати зайвий застосунок. Як результат, усе більшу популярність набирають системи, що працюють на базі вже відомих і добре поширених платформ («Facebook», «Instagram», «Snapchat», «Viber») або використовують один застосунок, що агрегує у своїй базі окремі розроблення (Artvive, Vuforia тощо). Але, не всі з них дозволяють використовувати 3D-графіку, а також значно обмежені функційно, пропонуючи, зазвичай, тільки накладання та найпростіші взаємодії, на кшталт дотику до елемента. Відповідно, індивідуальні рішення мають перевагу у вигляді особливого функціоналу, стилістики або наповнення. Особливе місце займає web-AR, що потребує використання спеціального браузеру, але після його встановлення AR-працює на всіх AR-сайтах. І нарешті, найбільш прилаштовані під конкретні завдання — спеціальні пристрої, сконструйовані

прицільно під проєкт.

Зазначимо також, що для проєктування дизайну AR системи важливим є розуміння обмежень та можливостей різних технологій відстеження. Найчастіше AR класифікують за способом відстеження як безмаркерну (markerless) та маркерну (marker-based), а також інколи виділяють окремо ще і третій вид — суперімпозиційну (superimposition), що фактично розташована десь посередині, бо базується на оптичному розпізнаванні. Т. Різов та Є. Різова для цього вводять поняття «підготовленої» та «непідготовленої» сцени (віртуального простору моделювання), тобто нерозміченої чи розміченої зони роботи, куди виконується проєкція зображення [330].

Розрізняють два типи безмаркерного відстеження: «зовні-всередину» та «зсередини-назовні» [112, с. 5]. Системи типу «зовні-всередину» мають нерухомі датчики в середовищі, які відстежують випромінювачі на рухомих цілях. Системи на зразок «зсередини-назовні» використовують датчики на рухомих цілях для визначення положення відносно нерухомих випромінювачів у середовищі. Технології відстеження, розподілені за шістьма основними принципами дії: час польоту (TOF), просторове сканування, інерційне зондування, механічні зв'язки, зчитування різниці фаз та безпосереднє зондування [331], — зібрані у табл. А.6. Системи, що поєднують кілька технологій та принципів дії, дістали назву «гібридні системи».

Безмаркерна AR побудована на основні просторових даних та використовує GPS, компас, гіроскоп, акселерометр, щоб визначити положення користувача відносно світових та локальних координат. Основна проблема GPS — неточність (до 5 м від визначених позицій). Для покращення відстеження переважно використовують метод S.L.A.M. (Simultaneous localization and mapping, одночасна локалізація та картографування). Окрім даних від датчиків, фреймворк за допомогою комп'ютерного зору оптично зчитує об'єкти навколо і використовує всю зібрану інформацію для регулювання положення доповнення. Саме через це розміщення віртуальних об'єктів на поверхні з багатьма точками для візуальної фіксації має працювати

краще, ніж розміщення на білому папері.

Суперімпозиційна доповнена реальність — різновид безмаркерної AR. Вона побудована на базі комп'ютерного зору, що розпізнає будь-які об'єкти та поверхні в просторі, а не тільки спеціально підготовлені. Отримання повних даних про середовище є необхідним етапом у створенні AR. Воно було б не повним без можливості вимірювати глибину простору. Для цього потрібні камери, що здатні зчитувати глибину зображення та будувати на її основі тривимірне зображення. Застосовують два підходи зчитування. Перший виконує оцінювання глибини з двох точок, триангулюючи відстань точки від камери вздовж напрямку огляду камери [54]. Другий — «час польоту» (Time-of-Flight, ToF), працює в інфрачервоному спектрі та справді вимірює глибину. Камери з оцінюванням за двома точками ще поділяються за типом зчитування на: структуроване світло (SL); пасивне стерео (PS); активне стерео (AS).

Завдяки вимірюванню глибини з дизайнера знімається потреба ручного створення складних масок для коректного накладання доповнення на предмети, а деякі проєкти не було б можливо втілити без використання таких приладів, як «LightForm» від компанії «LUX». Це апаратне забезпечення оптимізує процес аналізу глибини простору, використовуючи зчитування на базі структурованого світла (Structured light), процесу проєкції відомого візерунка (сітки або горизонтальних смуг) на сцену. Те, як він деформуються під час зіткнення з поверхнями, дає змогу обчислювати інформацію про глибину та поверхню об'єктів у сцені. «Perficient Digital Labs» із Чикаго, США, продемонструвала цифровий конфігуратор дизайну взуття, що накладає різні дизайни та кольорові комбінації із залученням «LightForm» (іл. Б.2.1.1). У демонстраційному відео інтерфейс управління реалізований проєкцією, а розпізнавання дотику зроблене за допомогою комп'ютерного зору «OpenCV». Користувач обирає колір, торкаючись кольорової плями поряд з кросівкою і відбувається 3D-накладання потрібного узору.

У 2020 році компанія «LUX» створила для Квіткової консерваторії Сан-Франциско анімовану проєкцію на рослини для зимового світлового шоу

«Night Bloom» (іл. Б.2.1.2, Б.2.1.3). Щоб звести технічне обслуговування до мінімуму, була створена одна поверхня, маска, яка вкрила всю живу стіну з рослин м'якою рамкою з розтушованими краями, а реактивні ефекти програмного забезпечення робили все інше. Створення вручну 3d-сітки для накладання проєкції було б неможливим і дуже складним завданням для дизайнера, а завдяки скануванню глибини проєкція коректно накладається на кожен листок. Безмаркерні рішення складні в реалізації, але вони найбільш перспективні, адже дають змогу створювати доповнення в рухомому, мінливому просторі.

Маркерні рішення цікаві доступністю та простотою використання. *Маркери* — це візуальні підказки, розпізнавання яких активує оброблення та показ віртуальної інформації [268]. Маркерами можуть бути звичайні зображення або невеликі об'єкти, які запрограмована шукати програма. Після розпізнання маркера його позиція, нахил та масштаб слугують підказками, як трансформувати та накладати віртуальну інформацію. У таблиці А.7 зібрані типи маркерів з ілюстраціями.

Маркери-рамки — перший та найбільш популярний вид (табл. А.7, 1). Зазвичай вони мають товсту чорну або білу рамку та позначки чи зображення в середині. Спершу система шукає рамку, а потім перевіряє чи співпадає внутрішня частина з маркером. Такі маркери часто мають контрастні зображення в середині, написи, абстрактні геометричні композиції. Основним завданням для дизайнера під час розробки маркерів стає створення контрастної графіки, що має унікальний візерунок і добре розпізнається алгоритмом. Цей тип маркерів також активно використовується в ролі елементів управління доповненням.

Маркери-зображення, так звані NFT-маркери (табл. А.7, 2). Назва походить від Natural Feature Tracking Marker (NFT) — Маркер відстеження природних особливостей — зображення, які не потребують рамки навколо себе. Якість та стабільність роботи такого маркера буде відрізнятися залежно від обраного для проєкту AR-фреймворку. Відповідно підбір та створення

маркеру вимагає неодмінного тестування та пошуку зображення з виразними за формою елементами.

Маркери-3D-об'єкти — тонка межа між маркерним відстеженням та безмаркерним на основі комп'ютерного зору (технології, що забезпечують розпізнавання оточення, жестів, міток, дотиків) ((табл. А.7, 3). З одного боку, це вже справжній тривимірний об'єкт у просторі, з іншого, система має бути здалегідь налаштована на його пошук. Коли немає готової CAD моделі, то для використання об'єкта-маркера сканують реальний об'єкт за допомогою технології 3D-сканування (LiDAR, Light Identification, Detection and Ranging) та/або за допомогою фотограмметрії з використанням композицій зображень. Зазвичай 3D-маркери активно застосовуються у проєктах для дітей, де персонажі-іграшки мають виразний зовнішній вигляд і чітко розрізняються.

Мультимаркери — це група з кількох окремих маркерів, які мають заздалегідь визначене відношення один до одного [268] (табл. А.7, 4). Аналіз візуального матеріалу дозволяє заключити, що дизайн маркерів підпорядкований загальному оформленню проєкту. Коли вони виконують подвійну роль (точка активування та управління), то зазвичай застосовуються маркери-рамки, що містять просту графіку, яка чітко розрізняється і людьми і алгоритмами. Коли маркери слугують тільки для активації, то часто використовують ілюстрації та фотографії.

Візуальні маркери не єдиний варіант розміщення точки відстеження. Видимі або невидимі об'єкти-мітки, наприклад, RFID-мітки (Radio Frequency Identification, радіочастотна ідентифікація) та NFC (англ. Near-Field Communication, «комунікація ближнього поля»), використовуються для бездротового зв'язку на короткій відстані. Схожі мітки ставлять на одяг для захисту від крадіжки або для виконання безконтактної оплати. Цей самий метод може бути використаний для запуску локальної віртуальної інформації.

Вибір технології відстеження, це завжди компроміс між точністю, технічною та програмною складністю, дизайнерським задумом і зручністю. Залежно від технології варіюється точність та роздільна здатність, можливі

помилки в позиціонуванні або орієнтації об'єкта в просторі у світовій або відносній системі координат, хибні спрацьовування або просто висока ціна використання. Усе це впливає на обраний масштаб об'єктів дизайну та взаємодії, на те, наскільки щільно можна розміщувати елементи, як багато простору використовувати, чи буде коректно розпізнаватися позиція тіла чи жести тощо. Робота в реальному часі без затримок — одна з вимог якісної AR, проте зазвичай є певна затримка між реальною дією та відповіддю на неї. Для покращення користувацького досвіду у процесі переходу від одного стану до іншого та маскування затримки використовують візуальні ефекти переходу, індикатори процесу зчитування та очікування тощо.

Варто зазначити, що заздалегідь продумані шляхи масштабування проєкту теж вплинуть на вибір технологій. Часті питання: чи можна AR використовувати в більшому приміщенні, з іншими навколишніми умовами, відкритим простором або більшою кількістю учасників. Ці питання одночасно апелюють і до вибору методу відстеження, і до візуального дизайну. Дизайнер має перевіряти, чи не перевантажить систему великою кількістю графіки, чи коректно відображається дизайн за одночасної участі великої кількості людей, чи зручно роздивлятися проєкт, якщо буде занадто багато відвідувачів, чи відповідають нові умови якісній презентації тощо. Дж. П. Ролланд зазначає, що зазвичай обмеження, з якими стикаються системи AR, мають системний характер і часто не пов'язані суто з обмеженнями технологій відстеження та залежать, як від швидкості збору та передавання даних відстеження, так і від швидкості візуалізації [331, с. 35]. Відповідно, обсяг візуальних даних та загальний спосіб відображення графіки (2D, 3D-каркас, 3D-поверхні та рівень реалістичності освітлення та матеріалів) лімітовані оптимальною швидкістю візуалізації, бо впливають на загальну продуктивність системи AR.

Зазначимо, що на концепцію майбутньої доповненої реальності неабиякий вплив має вибір типу дисплея (табл. А.8). *Дисплей* (англ. Display) — пристрій відображення, призначений для виводу інформації у візуальній або тактильній формі (остання використовується, наприклад, у тактильних

електронних дисплеях для незрячих людей). Коли подана вхідна інформація має електричний сигнал, дисплей називається електронним. *Екран* (фр. *écran*, букв. «заслон, ширма», англ. *screen*) — пристрій, поверхня якого поглинає, перетворює або відбиває випромінювання різних видів енергії. Також це поверхня, зокрема різноманітних апаратів, таких як телевізор, на яку передають і демонструють зображення (кіноекран, телеекран тощо). Відмінність дисплея від екрана в тому, що дисплей — це пристрій для відображення, який не завжди має екран або є електронним. Екран — це та частина дисплея (електронного, або штатива із закріпленням на ньому полотном тощо), яка безпосередньо відповідає за демонстрацію зображення. Коли призначення пристрою лише у відтворенні певної модальності (зображення, звуку) — його називають монітором.

Проаналізувавши багато літератури, ми сформувавши класифікацію дисплеїв доповненої реальності відносно двох способів змішування базових і віртуальних зображень — відеозмішування та оптичного змішування. *Відеозмішування* передбачає об'єднання відеопотоків з камери (запису на льоту) і комп'ютерної графіки та відображає результат змішування на екрані [113, с. 2]. *Оптичне змішування* передбачає використання екрана з розміщеним на ньому зображенням так, щоб здавалося, що воно розташоване в середовищі. Воно відбувається в певній точці на шляху світла від об'єкта до сітківки ока глядача. Це може бути: безпосередньо на поверхні об'єкта (табл. А.8 (10)); на екрані в середовищі (табл. А.8 (7)); на екрані окулярів (табл. А.8 (8)); як пряма проєкція в око.

Основним в *оптично прозорому дисплеї* — є комбінатор, тобто оптичний елемент, який змішує світло, що випромінюється освітленим реальним середовищем, зі світлом, створеним джерелом зображення, яке містить обчислену графіку [113, с. 13]. Більшість оптично прозорих дисплеїв працюють за принципом «Привида Пеппера» (табл. А.8 (25)), використовуючи замість реального об'єкта екран або проєктор, що транслює правильно обчислене, трансформоване зображення. Джон Генрі Пеппер (John

Henry Pepper) — британський учений та винахідник, що популяризував у 1860-ті роки ілюзію, з якою влаштовував вистави в театрі [304]. Патент на авторство цієї ілюзійної техніки належить Генрі Дріксу та Джону Генрі Пепперу. У найпростішому вигляді конструкція для створення ілюзії складається з великої скляної пластини, встановленої перед сценою, зазвичай під кутом 45° до аудиторії та замаскованої темної ніші з об'єктами для відображення. Положення об'єкта розраховане в такий спосіб, щоб віддзеркалюватися у площині пластини в той момент, коли він буде підсвічуватися. Відповідно, дивлячись крізь скляну пластину, глядачі бачать одночасно сцену та віддзеркалене зображення поза нею.

Прозорі екрани не цілком прозорі, а лише до певного ступеня. Їхнє завдання одночасно пропускати світло від реального середовища (яке відбивається від об'єктів) і в той самий час випромінювати (відбивати) світло від згенерованої графіки. Деякі екрани містять активні випромінювальні елементи (наприклад, прозорі LCD екрани [113, с. 13]) або застосовують, як зовнішні джерела світла, голографічні проєкційні та спеціальні тонкі плівки (табл. А.8 (16, 17, 22, 23)). Перші розсіюють світло під вузьким кутом, для того, щоб посилити яскравість для обмеженого кута огляду (табл. А.8 (18)). Другі розсіюють світло під широким кутом, підтримуючи більш гнучкий кут огляду та більшу прозорість, і підходять для перегляду декількома глядачами одночасно. Із застосуванням прозорих екранів створюють такі 2D-візуальні ефекти, як злиття з оточуючим середовищем, злиття з предметами та людьми позаду екрану, ефекти голограми, зміни прозорості, а також, ілюзію повноцінного 3D-зображення (табл. А.8 (26)). Часто особливістю графіки є відсутність тла, що підкреслює ефект її левітації в повітрі, а також використання яскравих кольорів. Відмітимо також, що найкращий вигляд вона має у затемненому середовищі.

Як свідчить матеріал дослідження, окрім оптичного змішування з використанням прозорих екранів, можлива також і *пряма проєкція* на певну поверхню в середовищі, так званий проєкційний меппінг або проєкційне

картування (табл. А.8 (12)). Це найбільш затребувана технологія створення AR. Вона не потребує від глядача тримання пристрою для перегляду та має широкі творчі можливості, а саме створення ефектів: текстурування (імітація матеріалу на нейтрально оформленій поверхні, наприклад матовій гіпсовій статуї), об'єму (за рахунок імітації тіней та бліків), освітлення, маскуванню та декомпозиція поверхонь, зміни розмірів та форми, ілюзія руху, оптичні викривлення та ілюзії, — які бувають як статичними, так і динамічними. Проекційний меппінг також залучають для створення мультидисплейних сценаріїв, де віртуальні ефекти переходять з однієї поверхні чи об'єкта на іншу, створюючи безперервний сюжет.

За форм-фактором дисплеї поділяють на: приєднані до користувача та просторові (табл. А.9). *Приєднані до користувача* дисплеї (мобільні дисплеї) тісно пов'язані з його положенням у просторі. Вони розміщуються відносно голови, тіла або мають триматися в руках і можуть ще називатись *портативними* (табл. А.8 (2)). Дисплеї, що кріпляться до голови, поділяються на надголовні, підголовні, наголовні шоломи, ретинальні дисплеї та наголовні проекційні дисплеї. *Надголовні дисплеї* зазвичай використовують прозорий екран, на який накладається додаткова інформація. Найуживаніший приклад — екран для пілота, де вона проєктується на лобове скло або на спеціальну прозору панель, закріплену перед ним (табл. А.8 (7)). Дисплей зафіксований у певному положенні, і пілот може відвернутися від зображення, на відміну від наголовного дисплея, що переміщується разом з головою.

Наголовні дисплеї, зазвичай шоломи, окуляри тощо, бувають як з прозорими дисплеями, через які видно середовище, так і з непрозорими, що повністю ізолюють поле зору від перегляду реального середовища власними очима. *Ретинальні дисплеї* транслюють зображення прямо на сітківку ока (ретина-дисплеї). Вони мають низку таких переваг, як висока яскравість та контрастність, придатна для використання на вулиці, енергоефективність. Утім це перспективні технології майбутнього. Зараз доступні лише червоні малопотужні лазери, що генерують монохромні зображення, не вирішена

проблема відчуття акомодатії ока через обхід моторної системи ока та сканування прямо на сітківку.

Дисплеї, що кріпляться до голови, часто залучають в проєктах, що надають навігаційні підказки та інструкції для операторів транспортних засобів, інформацію про стан засобу, маршрут, наявні обмеження та середовище, покращують пошук об'єктів та прицілювання. В такому разі, для накладання найчастіше використовують просту лінійну графіку (відмітки, піктограми, лінійки), яка мінімально перекриває огляд, а перед дизайнером постає завдання ефективно відобразити дані, не перевантажуючи інтерфейс. Зазначимо, що наразі інтерфейс операційної AR-системи в наголовних дисплеях побудований на принципах інтерфейсу для смартфонів з iOS та Android (згортання та розгортання застосунків, кнопка повернення, віджети тощо), з тією відмінністю, що для управління задіяні рухи голови, приціл в зоні перед очима, а також кнопка підтвердження. А розробки хоча б концептуальних прототипів, підлаштованих під окуляри та 3D-простір у відкритому доступі, відсутні.

Портативні дисплеї (hand-held displays) це різного роду персональні цифрові помічники з відеоекраном (мобільні смартфони, планшети), ручні проєктори та портативні рішення з оптичним прозорим дисплеєм [112, с. 9] (табл. А.10). Переважна їх більшість — це дисплеї на базі відеозмішування. Вони широко застосовуються у показі доповненого контенту для індивідуального перегляду і цікаві тим, що дають користувачу вільно змінювати ракурс та місце огляду. Такі дисплеї мають невеликий розмір екрана, що зменшує зону огляду та обсяг можливої для одночасного показу інформації. Однак, взаємодія з ними будується на так званому ефекті Паркса, який означає, що переміщення вікна перегляду в просторі сцени більш зручне, ніж управління сценою на нерухомому вікні, як це відбувається на ПК [301]. Відмітимо, що портативні пристрої потребують під час експлуатації однієї або двох рук для взаємодії і тримання. Такий формат накладає обмеження щодо розташування елементів керування на екрані та врахування принципів

ергономічності: зручного тримання та легкого досягання елементів, що в разі хвату обома руками обмежені зоною руху великих пальців.

Комбінування таких характеристик дисплею, як *портативність* та *тип оптичного змішування*, дало змогу створити унікальні AR-проекти. Наприклад, *ручний проєктор «iLamps»*, експериментальний портативний варіант з прямою проєкцією. Проєкт Р. Раскара та колег, побудований на принципі імітації ліхтарика та створенні ефекту тіней від віртуальних об'єктів [320]. Інший приклад — *ручний томограф*, портативне рішення від Стеттона та колег, з оптичним змішуванням на прозорій панелі [113, с. 6; 365]. Це також приклад того, коли доцільно проєктувати окремий прилад під специфічні задачі. Всі елементи управління в ньому винесені у фізичну площину, забезпечено зручний хват та маніпуляцію тільки однією рукою, а на екрані залишились тільки дані томограми, що вирівнюються відносно руки. Все це, а також невеликий розмір дисплея, забезпечили критичну потребу лікаря бачити крізь екран та мати змогу виконувати маніпуляції в процесі перегляду. Відмінності між портативною AR та просторовою проілюстровано наступною схемою (табл. А.13), де зображена тенденція того, як змінюється кількість одночасних глядачів, розмір вікна доповнення, безпосередність доповнення, вбудованість у середовище, контроль над положенням (що ширша смуга, то більші можливості).

Розглянувши класифікацію портативних дисплеїв та створену на їхній основі AR, перейдемо до *просторових дисплеїв* (Spatial Display, SD). Це найбільша та найцікавіша за рішеннями і творчим потенціалом категорія. Вона охоплює чотири типи: відеопрозорі, оптично прозорі, прямої проєкції та дисплеї-монітори (так звані «акваріуми»). Як зазначає О. Бімбер: «просторовий дисплей від'єднує технологію відображення від користувача та інтегрує її в навколишнє середовище» [112]. Просторові дисплеї максимально вбудовані в середовище (табл. А.8 (15)), а просторово занурені дисплеї (Spatial immersive display, SID) ще й створюють ефект присутності в середині сформованого простору (табл. А.12). Варто зазначити, що *стаціонарні*

дисплеї теж відносимо до просторових. Це можуть бути відеодисплеї чи дисплеї на основі проєктора (наприклад, настільні монітори (табл. А.8 (19, 20, 21, 24)) або стійки-екрани для проєкції), що окремо розміщуються у просторі і не потребують участі користувача чи вбудовування в середовище, можуть використовуватися для виводу *результату* доповнення (табл. А.8 (5)). *Просторові дисплеї-монітори* («акваріуми») — це монітори або голографічні дисплеї, що імітують вбудованість у середовище. Вони створюють ефект акваріуму, у який можна зазирнути та побачити об'ємний шмат реальності (табл. А.8 (3)).

Відмітимо, що кількість дисплеїв в просторовій AR може бути більше одного. Кілька розділених дисплеїв створюють фрагментований простір, де дизайнер може відображати ілюзії що об'єднуються і розділяються залежно від ракурсу або під час анімації (табл. А.8 (4)). Навпаки, багато безшовно об'єднаних дисплеїв створюють ілюзію об'ємного простору, що в подальшому обіграється візуально (табл. А.8 (3)).

Просторові відеопрозорі дисплеї за принципом дії подібні до HMD та смартфонів. Зображення з камери, що знімає простір за екраном, змішується з віртуальними даними, а результат цього виводиться на екран так, наче він прозорий (табл. А.8 (6)). Створенню ефекту доповнення сприяє забезпечення коректного ракурсу, перспективних викривлень, кольорова корекція повітряної перспективи, узгодженість освітлення. *Просторові оптично-прозорі дисплеї* створюють зображення, вирівняні відносно фізичного середовища (табл. А.8 (22, 25, 26)). За використання такого дисплею у 2010-х роках створено сучасну версію ілюзії Пеппера для появи на сцені артистів та створення «живих» концертів за участі віртуальних моделей зірок, наприклад, концерти Елвіса Преслі, Тупака Шакура, Абби, Майкла Джексона. Відзначимо, що особливістю розроблення графіки для цього типу дисплею є застосування чорного фону, щоб зображені об'єкти та фігури максимально зливались із простором, або прозорого фону, у разі лазерної проєкції на поверхню з розсіювачем.

Окрім одного прозорого шару, що працює оптичним об'єднувачем, можливе використання *мультиплощинних об'єднувачів*, коли певні ділянки майбутнього комбінованого зображення відбито на різних площинах, але для глядача вони виглядають як одне ціле, що створює 3D-зображення. Зазначимо також, що існують не лише плоскі, а й викривлені, конусоподібні поверхні, що віддзеркалюють зображення. Прикладом мультиплощинного об'єднувача, який легко зробити і можна оглядати з різних сторін, є перевернута піраміда (іл. Б.2.1.8). Це найбільш простий та ефектний спосіб створення 3D-AR. Піраміда також дає змогу відображати окремі зображення на кожній панелі, або одне цільне зображення на всіх площинах.

Просторові дисплеї на основі прямої проєкції (прямого доповнення, Direct Projection, DP) поділяємо на фронтальні (front), коли проєктори розміщені з тієї самої сторони, що і спостерігач та тильні (rear) [112, с. 38] (табл. А.8 (11, 13, 14), табл. А.11). Графіка для тильної проєкції створюється як дзеркальне відображення того, що має бачити глядач. За типом роботи поділяємо на лампові та лазерні. Лампові мають один недолік, накладене зображення завжди буде мати фон та обриси проєкційного вікна, а лазерні дають змогу проєктувати зображення з прозорими частинами, що дає змогу реалістично накласти доповнення. Обмеження графіки, пов'язані проєкторами викладені у додатку Д.7. Варто зупинитись на особливому способі освітлення, який можна втілити за допомогою проєкторів, як це було зроблено в проєкті «Офіс Майбутнього» (The Office of the Future, OOTF) [321]. Прототип такого офісу розробили в 1998 році студенти Рамеш Раскар та колеги з Університету Північної Кароліни, Чапел-Хілла та Науково-технологічного центра комп'ютерної графіки та наукової візуалізації NSF. Основна ідея полягає у тому, щоб замінити звичайні офісні лампи проєкторами та отримати точний контроль над усім освітленням в офісі (іл. Б.2.1.10). За рахунок цього його можна доповнювати синтетичними зображеннями на поверхнях і у просторі, без сторонніх перешкод збоку небажаного світла, яке є частою проблемою в проєкціях, та не співпадіння напрямку тіней та їхньої корекції.

Враховуючи наведений поділ, виділяємо три категорії AR на базі рівня взаємодії дисплея із середовищем: оптично-прозора доповнена реальність (OST-AR, Optical see-through AR), відеопрозора доповнена реальність (VST-AR, Video see-through AR) (табл. А.8 (1)) та доповнена реальність прямого доповнення простору (DSAR, Direct spatial AR). А також, дві великі категорії за принципом розміщення: доповнена реальність прикріплена до користувача, на яку ще покликаються як на мобільну (MAR, Mobile AR), та просторова доповнена реальність (SAR, Spatial AR).

Подальше уточнення типу AR відбувається шляхом поєднання характеристик, наприклад, «безмаркерна занурююча просторова AR на базі прямої тильної проєкції». Зупинимось на цьому прикладі детальніше. *Занурення* є одним із найвидовищніших ефектів, які можна створити в AR. За рахунок масштабності та близькості до глядача, який опиняється в епіцентрі дії, та особистого залучення, занурюючі простори справляють яскраве емоційне враження. Загальною назвою-метафорою цього типу простору став проєкт «CAVE». Він був створений у 1992 році в лабораторії електронної візуалізації Університету Іллінойсу Кароліна. Круз-Нейра, Деніел Дж. Сандін і Томас А. ДеФанті винайшли автоматичне віртуальне середовище «Cave» (CAVE), що використовує проєктори, спрямовані на стіни куба (іл. Б.2.1.9). Назва «CAVE» (ПЕЧЕРА) є відсиланням до алегорії Печери Платона. Як правило, стіни «CAVE» і подібних проєктів складаються з екранів тильної проєкції, хоча і пласкі дисплеї стають усе поширенішими. Посилення ілюзії реальності, відбувається шляхом додаткового одягання 3D-окулярів, які допомагають побачити та обходити 3D-графіку, згенеровану «CAVE» (об'єкти, які нібито літають у повітрі).

Варто зауважити, що «справжнє» реалістичне доповнення простору не можливе без інформації про глибину, адже люди звикли до біноккулярного сприйняття реальності. Відповідно, за типом сприйняття зображення дисплеї (і AR) поділяються на 2D та 3D. Двовимірні дисплеї репрезентують тривимірне зображення на двовірній площині, не надаючи інформацію про

третій вимір — глибину. Створення повноцінного 3D-зображення, що має глибину, — крок до втілення гіперреальності, у якій усі об'єкти мають своє місце в просторі. У табл. А.14 зображена класифікація тривимірних дисплеїв. Вони поділяються на стереоскопічні, автостереоскопічні та мультископічні. Докладний огляд цих дисплеїв та їхніх підвидів є в додатку Д.1. За їхньої допомоги втілюють віртуальні об'ємні зображення. Наприклад, базуючись на концепції *3D-дисплея зі зміщенням у глибину (Depth-fused 3D (DFD) display)*, Ча Лі, Стефен ДіВерді та Тобіас Холлер розробили концепт дисплея, що використовує комбінацію з двох туманних екранів для створення 3D-зображення, крізь яке користувачі можуть проходити та мають змогу наскрізно маніпулювати 3D-сценою (іл. Б.2.1.7) [249]. *Об'ємометричний дисплей* відкриває можливості і використання воксельних зображень. На базі *дисплеїв перевідображення*, побудований ефект об'єкта, що плаває в повітрі. Вони можуть відображувати не лише статичні зображення, а й відео з об'єктами, що рухаються та обертаються. Вищезазначені дисплеї стали основою для створення нового типу інтерфейсу, в якому працюють у справжньому 3D-просторі (табл. А.8 (28, 29)).

Комерційний *мультископічний дисплей* «Looking Glass Portrait» від компанії «Looking Glass Factory», який побудований на принципах паралакс-дисплея, дає змогу споглядати тривимірні зображення кільком людям, з різних ракурсів та без окулярів (табл. А.8 (27)). Пристрій генерує одночасно 100 положень для перегляду тривимірного зображення і складається з удосконаленої високоточної лінзи та масиву мікроламель (тонкі пластинки для створення специфічних оптичних ефектів). Дисплей підтримує взаємодію з контентом за допомогою жестів (іл. Б.2.1.4 (а)), дає змогу автономно виводити на ньому статичні та анімовані зображення (іл. Б.2.1.4 (с, b)) та підтримує показ голографічних сцен під час роботи в 3D-редакторах (іл. Б.2.1.4 (d)). За його допомогою створюють ефект повного відчуття ілюзії об'ємного «акваріуму» та «реальності в коробці». Підтримка цієї ілюзії досягається також за рахунок правильного масштабу віртуальних об'єктів та

реалістичної візуалізації.

Нарешті, Бенджамін Музін, студент медіа та інтерактивного дизайну в ECAL/Університет мистецтва та дизайну в Лозанні 2013 року створив AR-проект під назвою «Повне обертання» (Full Turn), що використовує концепцію *мультиплощинного об'ємного дисплея*. Два тонкі монітори з електронно-променевими трубками спиною до спини закріплені на шпінделі. Обертаючи цю конструкцію дуже швидко, світле зображення на темному фоні починає зливатися в об'ємну форму. На іл. Б.2.1.5 та Б.2.1.6 можна побачити етапи, починаючи від старту відліку, початку запуску та виходу на робочу частоту обертання. За допомогою такого дисплею є змога створювати як різні абстрактні форми та своєрідні кінетичні світлові скульптури, так і показувати образні зображення. Наприклад, в проекті показано балерину, що танцює (в масштабі 1:10). Створену тривимірну анімаційну послідовність можна роздивлятися з 360 градусів. Без сумніву, приклад авторського дизайн-рішення, побудованого на творчому використанні засобів відображення.

Тим часом і двомірні дисплеї пропонують шукати творче вираження у застосуванні нестандартних матеріалів. Хоча найпоширеніші види 2D-дисплеїв це звичайні електронні та проєкційні дисплеї, однак, вони не обов'язково мають бути плоскими, їхня поверхня може бути вигнутою, деформованою, об'ємною і навіть складатися не із суцільного матеріалу (табл. А.8 (11)). Завдяки своїй пластичності вода та пісок вже знайшли багато застосувань у сфері мультимедійного дизайну й мистецтва, а завдяки поєднанню з проєкційним обладнанням є змога винаходити нові форми візуалізації доповненої реальності [65].

Поміж прикладів застосування води можна виділити парові завіси, водяні екрани, водяні «принтери». Паровий, або туманний, екран — це спеціальним способом підготовлена вода, що з холодної пари розпорошується щільною стіною та дає змогу спроекціювати на неї звичайним або лазерним проєктором якісне, чітке зображення. Такий екран може бути обладнаний сканером, що дає змогу використовувати його як сенсорний екран (touch

screen) і не просто показувати імерсійну проєкцію обмежених кількості учасників, як, наприклад, в експериментах компанії «Microsoft» [153], а і зробити віртуальний простір справді об'ємним.

Захопливими виглядають лазерні проєкції компанії «LCI», де не пара, а справжні потоки розпиленої дрібними краплями води стають основою для проєкцій, у яких посеред озера чи затоки з'являються об'ємні образи, що виринають (іл. Б.2.1.11) [247]. Особливістю такого екрана можна назвати можливість утворення не лише площинного, а й 360-градусного екрана-купола. Іншим є приклад водяного принтера, який виготовили для комерційної реклами компанії «Gatorade» [409]. Він інтерпретує тривимірну анімацію та перетворює її на потік крапель води в такий спосіб, щоб краплі, які падають, відтворили 3D-модель. За допомогою спалахів та фотозйомки, кадри якої були об'єднані та пришвидшені, творці відтворили те, що здавалося можливим лише за допомогою комп'ютерної графіки (іл. Б.2.1.12).

У проєкті «Крапля» надшвидкісний проєктор періодично проєктує у точно визначений час зображення, створюючи ілюзію, що кожна крапля води анімована [150]. Це інтерактивний витвір мистецтва, який змінює відображення крапель, коли до них торкаються або тримають рукою (іл. Б.2.1.13). В експерименті студії «Dxbproductions» за основу взяли не краплі, а цілий басейн [398]. На темну поверхню, наповнену водою, за допомогою проєктора накладалися різні зображення: квітковий килим, риби та рослини тощо (іл. Б.2.1.14). Усі зображення можна бачити крізь товщу води, торкатися неї. Завдяки такій інтерактивній поверхні, у яку можна фізично проникнути, виникає ефект присутності та ілюзія того, що риби справді є в басейні. Вода може стати середовищем взаємодії в інтерфейсі, як наприклад, у пристрої «Minamo» Японського дослідника Таїчі Іноуе («поверхня води» з японської). Він розмістив над екраном ємність з водою, щоб керувати вказівником через відстеження в ній рухів. Врахування глибини занурення дасть змогу застосовувати це для тривимірного управління [17]. Наведені приклади ілюструють потенціал використання води як основи для створення

AR, а також повноцінних інтерфейсів для взаємодії.

Отже, вибір дисплею відіграє важливу роль у формуванні певного типу доповненої реальності. Дисплей безпосередньо впливає на її сприйняття та закладає основу для тих ефектів, які можна втілити та використати, а також окреслює технічні обмеження щодо можливостей зображення в AR-системі.

2.2. Ключові характеристики формування доповненої реальності

Під час дослідження було виділено два основні напрями поділу типологій систем доповненої реальності. Перший намагається розподілити ці системи за певними функційними ознаками, визначити в них роль користувача тощо [253; 259; 294; 370; 384]. Другий формує класифікацію технічних компонентів, з яких створюється система [112; 126; 152; 151]. Хоч кожен з них містить логічні та інформативні висновки, що можуть стати основою класифікації AR-систем, проте, жоден не надає прямої відповіді на питання, що ж собою являє доповнена реальність. Оминаючи ж це питання, неможливо визначити, як розробляти дизайн для такої системи і загалом, чи буде успішним створення доповненої реальності. Ми маємо на меті окреслити достатню варіативну базу, що продемонструє та підтримає аргументацію щодо характеристик, які впливають на формування AR.

На нашу думку, основними умовами для утворення AR (табл. А.15) є: наявність контексту, віртуальних даних та явного чи неявного наративу [68]. Контекст — це зв'язок з реальністю, що може виявлятися через середовище (наприклад, через координати GPS) або об'єкт у ньому — «прив'язку» («registration»), як назвали О. Бімбер та Р. Раскар подібний зв'язок [113]. Об'єктом може бути, як тривимірний фізичний предмет, так і двовимірне зображення (маркер), на розпізнавання якого налаштована система. Зв'язок між контекстом та віртуальними даними виявлено в утворенні *наративу*. Наратив дає розуміння як поєднуються між собою контекст та дані, і саме його наявність, як третя умова, сигналізує, що це доповнена реальність. Не варто

плутати наратив із присутністю в проєкті сюжету. Сюжет, як система подій у мультимедійному творі, не пов'язаний з утворенням наративу між контекстом та віртуальними даними й може бути загалом відсутній.

Роль користувача-глядача — ключова в утворенні доповненої реальності. Саме в його сприйнятті та інтерпретації побаченого чи відчутого вона формується та існує. Це узгоджується з принципом неолокальності, який виділяє З. Алфьорова під час розгляду комп'ютерного типу мислення та візуально-віртуальних арт-практик [З. І. Алфьорова, 3]. Дослідниця зазначає, що емпірична (базова, прим. К. О.) та віртуальна реальність взаємозумовлені, а актуалізацію дійсного з віртуальним здатна здійснити лише людина.

Залежно від типу (просторова, мобільна AR), способу (оптичного змішування чи відеозмішування) та засобів (проектори, відеодисплеї, оптично-прозорі дисплеї тощо), що використані для її створення, AR може бути одночасно доступна як одному глядачеві, так і багатьом. Це подібно до того, як пласкі малюнки перетворюються на об'ємні, залежно від точки огляду. Користувач та його сприйняття є вирішальними в цьому процесі.

Однак, поєднання певних технічних компонентів ще не означає, що буде створена AR. Наприклад, для того, щоб показати людині доповнену реальність без пристрою-посередника, використовують різні технічні засоби відображення, зокрема і прямі проєкції на поверхні. Розглянемо на прикладі різних варіантів проєкцій у який момент виникає наратив. Вибір проєкції, як способу відображення, не гарантує створення AR. Наприклад, під час проєкції фільму на будь-яку поверхню (іл. Б.2.2.1, іл. Б.2.2.2): стіну, підлогу, стелю, — глядачу не важливо куди саме кіно проєктується, важливим є його зміст (приклад «А»).

Кіно з тривимірними сценами більш занурене в середовище, у якому воно транслюється, як наприклад, фігура динозавра, що виринає з екрана під час перегляду (іл. Б.2.2.3) (приклад «Б»). Хоча зображення і тривимірне, проте воно, насправді, не намагається якимось доповнити саме поточну реальність. Навпаки, це глядачі занурюються в реальність фільму та отримують змогу

відчуті об'ємність його елементів. Ті самі віртуальні дані можуть як утворювати AR, так і не утворювати. На зображенні (іл. Б.2.2.4) показаний той самий фільм, що й на прикладах вище, який транслюється в порожню раму, яка стоїть на столі (приклад «В»). У цьому прикладі змінився контекст. Важливим є не стільки те «що» зображується, а й «де» зображується. Рама на столі стала частиною розповіді. Глядач спостерігає історію про раму з рухомим мінливим змістом, і ця прив'язка віртуального до реального і є тим ключовим моментом, який формує AR. Вміст трансляції в цьому прикладі не такий важливий, якщо є чітка прив'язка до середовища. Коли ж проєкція не враховує форму об'єкта, тобто контекст, наприклад, як проєкція Джені Холзер (Holzer) на Палац Бленгейм 2017 року, вона не створює AR (приклад «Г», іл. Б.2.2.8).

Відповідно, доповнену реальність може формувати будь-яке мультимедійне зображення, текст, абстракція чи образна ілюстрація тощо, якщо їхня мета доповнити поверхню і врахований контекст розміщення. У рекламі проєктора «ATMOS FX», за допомогою якого пропонують прикрасити страхітливими проєкціями свій дім до Хелловіну, на стіну накладене спеціально підготовлене відео, у якому руки наче виринають зі стіни, а потім знову зникають (приклад «Д», іл. Б.2.2.5). У наведеному прикладі площа стіни та проєкція утворюють рівноправну єдність: важливо «що» зображується та «де». Така проєкція враховує контекст, і, як видно з цього прикладу та прикладу з рамою, баланс зв'язку між змістом та контекстом може варіюватися.

У проєкті «JCB Interactive projection wall» компанії «The Rightclick Innovations» була використана проєкція з інтерактивними елементами на поверхні (приклад «Д», [379]). Користувач мав змогу взаємодіяти із частиною проєкції та активувати показ додаткової інформації, а завдяки натягнутому полотну дія «натискання» відчувалася більш природною (іл. Б.2.2.6). У системах, що передбачають взаємодію, окрім контенту, можливе відображення й елементів управління як складників самої проєкції, так

і окремих елементів. Хоча наведений приклад дуже схожий на приклад «А», у ньому з'являється важливий елемент — інтерактивність.

Р. Азума зазначає, що одна з характеристик AR — інтерактивність у реальному часі. Це справедливо для наголовних систем, але проєкції найчастіше використовуються в поєднанні зі статичним контекстом (стіною, поверхнею) та певним налаштованим ракурсом (з технічних причин) тому, живий відгук на зміну положення об'єкта прив'язки в просторі може лише матися на увазі. Під час застосування камери, інтерактивність та прив'язка до простору виявляються більш помітно. Базова інтерактивність передбачає лише коректне відображення у просторі, на подальших ступенях виникає можливість реактивної та множинної взаємодії. Завдяки можливості керувати проєкцією, опосередковано стіна починає враховуватися як контекст для проєкції. Це та реальна поверхня, з якою насправді взаємодіє користувач, коли «натискає» елемент управління на проєкції. Інші приклади простих AR проєкцій, що схожі на варіанти «Г» чи «Д»: проєкція квітів, риб та озера на екран з водою [398], інтерактивні ігри, які враховують поверхню, наприклад, «класики» або проєкційні піщані столи (іл. Б.2.2.7) [86] тощо.

Зазначимо, що напрям відеомеппінгу або 3D-меппінгу, який в аудіовізуальному мистецтві являє собою 3D-проєкцію на фізичний об'єкт з урахуванням його геометрії та розташування в просторі, теж може формувати AR. У проєкті від студії «Urbanscreen», що розробила проєкцію на Галерею сучасного мистецтва «Гегенварт» 2019 року [388], показаний 3D-меппінг, який демонструє конструкцію та просторове сприйняття цього місця за допомогою самої будівлі (приклад «Е»). Велетенські руки грають з плитками на стіні галереї, вони вдавлюються, виступають, або й геть зникають для показу інших фрагментів історії (іл. Б.2.2.9). Завдяки анімації та накладанню тривимірної проєкції виникає відчуття того, що будівля оживає. Отже, 3D-меппінг може створювати AR, якщо своїми даними він доповнює базову реальність (простір або конкретні об'єкт / об'єкти), тобто враховує контекст у такий спосіб, що утворюється новий наратив.

Поверхня для проєкції може рухомою і нестабільною. У Дубаї 2017 року на фестивалі «Imagine» пройшло найбільше у світі лазерне шоу, підготовлене компанією «Laservision». Воно проєктувалося на поверхню величезного водяного 360° екрана [397] (приклад «Ж»). У цьому шоу можна було зазначити тонку межу між звичайною проєкцією та AR-проєкцією. Деякі фрагменти анімацій справляли справжнє враження доповнення, коли великі фігури прямували крізь натовп, коли гігантські риби пірнали у воду навколо екрана, що виглядало ефектно через віддзеркалення у воді. Інші фрагменти (наприклад, відеоголови) — використовували поверхню лише як екран, не створюючи проте ефекту AR (іл. Б.2.2.11).

Проєктор — лише засіб для відображення, його наявність для створення AR не обов'язкова. Компанії WWF та «Coca-cola» влаштували в Науковому музеї Лондона AR-інсталяцію під час кампанії для збереження арктичного льоду «The Arctic Home Campaign» 2013 року (приклад «И») [410]. Спеціальні камери зчитували зображення людей у певній точці простору, які потім за допомогою технічних засобів комбінувалися з тривимірними моделями віртуальних білих ведмедів, що наче стоять поруч, і результат транслювався на великий екран, де глядачі та учасники в реальному часі бачили, як вони ніби взаємодіють зі звірами. На іл. Б.2.2.10 зображено фрагмент відео, яке демонструє те, що бачать учасники навпроти себе на екрані. Насправді ж вони стоять на білій тканині, яка імітує лід, а навкруги лише темна підлога. У цьому прикладі не важливо яким є екран (чи він електронний, чи зображення подається на площину через проєктор), бо він використовується лише як засіб відображення створеної AR. Важливо, що фігури людей наживо виступають як прив'язка до реальності та створення доповнення. Саме їхня участь перетворює показ анімаційного ролика на AR. З наведеного прикладу заключаємо також, що якщо зміна технічного засобу відображення не змінює суті наративу, такою заміною можна знехтувати, наприклад, заміна електронного дисплею на екран з проєкцію тощо.

Система доповненої реальності — це сукупність елементів, що пов'язані

між собою та утворюють єдність, яка забезпечує умови створення та відображення доповненої реальності. Електронний дисплей, проєкція або інші подібні пристрої, що входять до складу такої системи, можуть виконувати різні функції залежно від задуму та від того, чи вписані вони в навколишній контекст. Наприклад, дисплей як втілення віртуальної реальності (варіант «В»), як інструмент взаємодії з реальністю (варіант «Д»), як спосіб відображення результату (варіант «І»).

Як свідчить візуальний матеріал дослідження, багато сучасних додатків/програм використовують камеру пристрою для отримання інформації з навколишнього середовища, але водночас не всі з них створюють AR. Наприклад, зчитування QR-коду камерою та відкриття посилання не є AR. Лише використання інформації з реального світу не достатня умова для її формування. Цифрові фільтри для оброблення зображення з камери, змінюють його та вносять нові дані в режимі реального часу, але це ще не формує AR. Хоча цифрова інформація (дані про колір пікселів) і піддається модифікації, проте вона в жодний спосіб не враховує контекст, тобто середовище або людей у ньому, адже алгоритм не відрізняє людей від інших пікселів. Маски ж на обличчя, які застосовуються під час зйомки в мобільних застосунках, навпаки формують AR. Вони поєднують віртуальні зображення з реальним обличчям, розпізнають його серед інших об'єктів у кадрі та враховують його положення та дії.

AR можна зустріти не лише в розважальній та мистецькій сфері, а й у повсякденному житті, наприклад, проєкції на скло автомобіля, літака, візора пілота тощо. У системах, де зручність та швидкість реагування має значення, прискіпливо ставляться до впливу розміщення, наприклад: яке місце розташування на поверхні, чи буде накладена інформація заважати сприйманню важливої інформації тощо. Контент у таких AR-системах демонструє якісну характеристику віртуальних даних — актуальність. Визначення того, що саме вважати актуальним, залежить від конкретної системи. Якщо йдеться про паркування, актуальною є відстань до сусідньої

машини в цей момент часу, а якщо про 3D-меппінг, то важлива відповідність проєкції геометрії поточного об'єкту. Актуальними варто вважати дані, найбільш відповідні та корисні в поточний момент часу в умовах контексту їхнього існування.

Окуляри змішаної реальності теж тільки засіб для перегляду даних, і відповідно, не всі дані, які можна переглядати, «доповнюють» реальність чи загалом враховують її. В одному з прикладів застосування [279] жінка ремонтує труби під умивальником, а поряд у просторі «висить» плеєр з елементами управління, і чоловік у кадрі плеєру розкажує щось пов'язане з її роботою (приклад «Н»). Доповнює реальність не саме відео, а плеєр, який позиціонується в просторі відносно окулярів. Якщо ж подібні окуляри затемняться і будуть показувати певний текст або зображення перед очима, без врахування простору, це вже буде не AR, а лише перегляд віртуальної інформації. Саме через це самі розробники називають свої окуляри — XR окуляри, окуляри розширеної або змішаної реальності.

Одним з важливих кроків опрацювання можливостей побудови дизайну засобами доповненої реальності є експериментальні проєкти, що виконуються у Харківській державній академії дизайну і мистецтв. Студенти кафедри Мультимедійного дизайну, ХДАДМ, під керівництвом М. Опалєва 2020 року розробили проєкт з AR [32], що дав змогу оживити фігури на фризі будівлі СОАС у Барселоні (приклад «П»). У цьому прикладі анімація повністю відповідає геометрії фасаду, підлаштовується під ракурс камери та створює AR способом відеозмішування.

Декорації, як повністю цифрові, так і ті, що поєднують цифрові та фізичні елементи, за певних умов можуть теж створювати доповнену реальність. Наприклад, як у проєкті студії «teamLab», що створила цифрові декорації до опери Джакомо Пуччіні «Турандот» режисера-постановника Данієля Крамера в Женеві й Токіо (іл. Б.2.2.12). Застосовуючи просторові світлові скульптури та цифрові світлові ілюстрації, декорації об'єднують простір сцени та глядачів. У першій частині вистави використовуються

віртуальні світлові площини для створення тривимірних світлових скульптур над сценою і туманні тонкі лазери. Підсвідомий світ вистави представлений світлодіодною конструкцією великого трикутника, яка розділена на три дзеркальні кімнати, що відбивають світлодіодні твори мистецтва та створюють калейдоскопічні кімнати, схожі на діамант. Усі об'єкти синхронізовані з діями акторів та темпоритмом опери. З одного боку, декорації схожі на кінопроекції з перших прикладів, але на відміну від них, вони мають більшу смислову прив'язку до поточного моменту, до контексту, у якому відбувається дія, до акторів, якщо такі є. Загалом вони мають сильніший ідейний зв'язок з реальністю.

Огляд існуючих проєктів дає змогу заключити, що тип інформації (вміст), що використовується в AR, представляє собою будь-яку доступну форму репрезентації даних з використанням візуальної, аудіальної і навіть тактильної модальностей. У табл. А.16 показані характеристики можливих віртуальних даних у AR-системах. Візуальна форма: 2D-об'єкти, такі як текст, зображення, відео, анімація, та 3D-об'єкти. Аудіальна форма: Музика, звукові ефекти, голоси. Тактильна форма: Коливання, термовплив, електростимули. Вміст AR може нести повідомлення, образи або лише естетичні переживання. Може відрізняєтись за масштабом, який охоплює: віртуальний світ, майданчик для взаємодії чи локальний інструмент. Може бути як статичний (наприклад, попередньо створені аудіозаписи, 3D-моделі, графіка чи відеозаписи), так і згенерований в реальному часі.

Варто зазначити, що поєднання тактильних та аудіальних даних або всіх трьох видів даних знайшло своє застосування в театральному мистецтві, наприклад, як постановок з використанням навушників або постановок для виклику інтероцептивних відчуттів (оцінювання власних внутрішніх систем, що охоплюють сигнали: від шкіри, опорно-рухового апарату; від внутрішніх органів, зокрема частоту серцевих скорочень, дихання, травлення) [241].

2.3. Форми репрезентації та метафори доповненої реальності

Ми виділяємо три класифікації проєктів доповненої реальності: за сферами, за функціями та за метафорами. Помічено, що інші науковці [96; 97; 113; 124] в своїй класифікації проєктів змішують сфери та функційне спрямування в одну загальну класифікацію, що, на нашу думку, вносить плутанину у процес поділу. Відповідно, ми удосконалили наявний поділ.

За сферами діяльності (табл. А.17) проєкти AR можна поділити на: будівництво, конструкції та архітектура; воєнна справа; дизайн та прототипування (як процес); ігри та розваги; інформаційні технології; культурна спадщина та туризм; маркетинг та реклама; медицина, охорона здоров'я, психіатрія; мистецтво; мода та краса; навчання; спорт, тренування та активний відпочинок; інструменти та сервіси загального вжитку. Список сфер використання не претендує на повноту й лише окреслює поточний стан використання доповненої реальності, до того ж деякі AR-розроблення, інструменти та сервіси можуть застосовуватись у багатьох сферах одночасно.

Залежно від *функційного спрямування* (табл. А.17), яке може траплятися в будь-якій із зазначених сфер, AR можна поділити на: інструменти створення AR або об'єктів для AR; інструменти для творчості чи творення; інструменти навігації; інструменти комунікації та співпраці [124, с. 44]; інструменти для аналізу та інформування; інструменти модифікації та покращення; інструменти для роботи (різноманітні інструкції, схеми, підказки в робочому процесі); невидимі помічники та сервіси (переважно не візуалізовані віртуальними даними, але допомагають вирішити контекстні завдання, наприклад відкриття мобільного AR-застосунку в разі наближення до NFC-мітки); інструменти симуляції, тренування, розваг [124, с. 44]; інструменти для управління роботами, аватарами.

Створення дизайн-продукту потребує від дизайнера вирішення низки дизайн-завдань. Одним з таких завдань є пошук форми репрезентації. У її виборі дизайнеру допомагають різні підходи, поміж яких і робота з базою

наявних рішень. Однак теоретична розробленість створення дизайну доповненої реальності значно відстає від практичних експериментів у цій сфері і «словник» можливих рішень ще не сформований. Аналіз робіт з AR показує регулярне звернення дизайнерів до низки прийомів репрезентації контенту, які можна охарактеризувати метафорами з реальності. З їхньою допомогою, з одного боку, відбувається концептуалізація принципів функціонування, а з іншого, у більшій чи меншій мірі окреслюється і образний складник. Когнітивна метафора, згідно з визначенням М. Блека, допомагає зробити об'єкт пізнання доступнішим, забезпечуючи категоризацію та концептуалізацію дійсності [9]. А згідно з Дж. Лакоффом і М. Джонсоном, вона дає змогу розмежувати мовні засоби вираження і розуміння одного явища в термінах іншого [41]. Це означає, що вдало використана метафора, крім можливої візуальної виразності, сприяє кращому когнітивному розумінню принципів функціонування користувачами.

У проєктах з доповненою реальністю можна виділити дев'ять поширених метафор інтерфейсу: чарівне дзеркало, фальшиве вікно, активний друк, геопозиціонування, рентгенівське бачення, акваріум, візор (HUD), ліхтарик [61] та печера. Поміж характеристик метафор – позиція глядача відносно репрезентації, вид від першої чи третьої особи, вплив на образність змісту (контенту), характер взаємодії з простором.

Чарівне дзеркало (Magic mirror) — це загальна концепція AR, яка метафорично зазначає змінене відображення реальності на певній поверхні. Термін «Magic Mirror» сформувався через те, що на дисплеї відбито *енантіоморф*, який є дзеркальним відображенням того, що фіксують датчики. У такий спосіб система імітує фізичне дзеркало реального світу [120]. *Чарівне дзеркало* застосовують у багатьох сферах, зокрема в косметичній промисловості, примірювальних стендах у магазинах та вдома, у фізичних «дзеркалах» в магазинах та в соціальних медіа (в ролі масок). Ця метафора є особливо привабливою для користувачів, оскільки в реальному житті набагато легше змінити навколишнє середовище, ніж наші фізичні аспекти, які

є обмеженішими й тісно пов'язаними з особистістю [386, с. 11]. Відзначають як позитивний вплив на самопочуття та самовизначення людини [386, с. 38] завдяки можливості змінювати свою зовнішність та експериментувати зі своїм образом, так і появу дисонансу в самосприйнятті [14]. Поміж прикладів застосування можна відзначити використання штучного інтелекту для зістарювання та омолодження фотографій у «SnapChat» (іл. Б.2.3.1); створення в «Facebook» креативних персонажів за мотивами кіно «Deadly Class AR Filters» від компанії «Sony Pictures» (іл. Б.2.3.2); накладання ефектів на фон та обличчя, наприклад, веселкові промені, анімовані AR-емоджі, ефекти малюнку та живі субтитри в «Apple Clips» (іл. Б.2.3.3); тематичні фони та ефекти, наприклад, Гелуїн-тема від студії «Nexus» для «Messenger» (іл. Б.2.3.4). Сцени із цією метафорою дуже різні та необмежені за тематикою, стилем і можливостями трансформації, діапазоном використаних ефектів, анімацій та змістовного наповнення тощо (іл. Б.2.3.5, Б.2.3.6, іл. Б.2.3.7 (а), Б.2.3.7 (b), Б.2.3.7 (c), Б.2.3.7 (d)). Єдиним обмеженням щодо графіки вбачаємо врахування перспективи простору та об'єктів накладання.

Метафора чарівного дзеркала спрямована насамперед на доповнення користувача, але можливе й доповнення навколишнього простору та об'єктів навкруги. Водночас основна відмінність від «активного друку» полягає в тому, що доповнюване розміщене напроти дисплея. Вона дає змогу доповнювати простір або об'єкти навколо користувача не тільки за допомогою телефону чи планшета, а й використовуючи доступні цифрові дисплеї, зокрема монітори, телевізори, іноді замасковані під звичайні дзеркала. Користувач може побачити себе як частину доповнення від першої особи або спостерігати за своїми діями на екрані з погляду третьої особи [386, с. 38]. Наприклад, компанія «Grand Visual» створила AR-систему для просування нового серіалу на стримінговому майданчику «Amazon Prime» — «Добрі знамення» (Good Omens) 2019 року (іл. Б.2.3.8). За допомогою доповненої реальності творці випустили на Таймс-сквер щупальця кракена, НЛО та рибний дощ, занурюючи натовп в апокаліптичні сцени із серіалу. Ця метафора задає певні функційні

рамки, але майже не обмежує те, що може «віддзеркалитися» у дзеркалі.

Підробне вікно (Bogus Window (рідше *фальшиве вікно*)), або *Портал у світ*, — метафора, яка передбачає розширення зору користувача на навколишнє середовище цифровими об'єктами, здебільшого за допомогою таких пристроїв, як телевізійні екрани або монітори, що імітують звичайні скляні вікна [338, с. 3]. Користувач, який переглядає доповнену реальність через це фіктивне вікно, не бачить себе частиною доповненого середовища, натомість він бачить світ, що міститься за цим вікном. Ілюстрацією цього кейсу є проєкт, створений компанією «A1 Slovenija» (раніше Si.mobil) 2017 року. Рекламний сіті-лайт був розміщений на найжвавішій набережній у центрі столиці й містив серію анімацій, які вбудовували елементи з телевізійного рекламного ролика (іл. А.1 (g)) [146; 93]. Спочатку люди на зупинці думали, що поряд розміщений сіті-лайт з камерою, яка показує, що відбувається далі вулицею, але раптом у кадрі з'являлися дельфіни, або пропливали медузи тощо. У проєкті було використано прийом поєднання реального вуличного фону з анімацією, яка була запрограмована на адаптацію до мінливого середовища.

Схожий прийом обрала компанія Pepsi, яка 2020 року запустила кампанію «Unbelievable Bus Shelter Pepsi Max» у партнерстві з агентствами AMV BBDO, OMD, «Talon» та «Little Dot» (іл. Б.2.3.10) [305; 306]. Пасажири чекали на автобусній зупинці у Лондоні й не знали, що скло в конструкції було замінено AR-екраном. Несподівано пасажери ставали свідками сцени викрадення перехожих інопланетними тарілками, падіння метеориту, нападу прибульців, диких звірів тощо. Хоча такі проєкти технічно складно створити, вони забезпечують величезну залученість глядачів. Проєкт здобув визнання і численні нагороди [387; 307; 305]. Дизайн на основі цієї метафори потребує копіткого розроблення сценаріїв доповнення та активного залучення простору, просторової композиції, реалістичного розміщення об'єктів. На відміну від чарівного дзеркала, де можливе використання 2D-графіки не вбудованої в простір, ця метафора зливається з базовим середовищем.

Нерідко, замість прозорого «вікна», використовується «портал», який показує не світ за вікном, а «двері» в інший світ. У дослідницькій статті «Двері, між реальністю та віртуальністю» («Doors, between reality and virtuality») розробники зі студії «Théoriz» з Ліона експериментують зі сприйняттям нескінченного простору (іл. А.1 (i), Б.2.3.11) [380]. Вони створили анаморфне програмне забезпечення, яке розраховує перспективу найближчої людини. Відчиняючи реальні двері, глядачі спостерігають віртуальні аудіореактивні ландшафти, які також реагують на рух у просторі людини навпроти дверей та коригують видиму перспективу. Прийом використання реальних фізичних об'єктів створює додатковий драматичніший ефект, а реальні двері метафорично перетворюються на засіб телепортації.

Метафору вікон використали в проєкті для Музею сучасного мистецтва Сан-Франциско (SFMOMA), який співпрацював з глобальною дизайнерською та стратегічною фірмою «Frog», щоб створити «Інтерпретативну галерею» для їхньої спеціальної виставки «Рене Магрітт: П'ята пора року» навесні 2018 року [92]. Галерея була розроблена так, щоб дати змогу відвідувачам відчувати парадокси реальності, які Р. Магрітт досліджував у своїх пізніх роботах. Галерея містить серію змінених і доповнених «вікон», натхненних візуальними каламбурами й парадоксами, що трапляються в роботах Р. Магрітта. Цифрові сцени у вікнах стають одночасно й порталами, і головоломками, щодо того, як вони пов'язані між собою. Наприклад, в одному вікні відвідувачі можуть побачити, що відбувалося біля іншого деякий час тому (іл. А.1 (h), Б.2.3.12). Цей приклад вирізняється використанням прийомів колажного поєднання, коли частини відео поєднуються в єдиний колаж із двомірною графікою, та часового розриву, коли відеофіксація та відображення рознесені в часі.

Використання цієї метафори безпосередньо впливає на ті зображальні засоби, що будуть використані в дизайні, зокрема візуальне обігравання «порталу», максимально наближена до реальної перспектива та масштаб, а також використання сюжетних ходів та можливостей взаємодії, тісно

пов'язаних із зображеним простором. Зміна простору «за вікном» варіюється від імітації прозорого екрана, наближеного до реальності, до перенесення місця дії в інші світи. Можливі як мобільні, так і стаціонарні втілення цієї метафори, але останні, на нашу думку, пропонують захопливіший досвід, завдяки використанню реального реквізиту, що дає змогу більш природно інтегрувати доповнення в середовище.

Активний друк (Active Print) — це метафора, яка стосується концепції доповнення насамперед фізичних друкованих матеріалів, таких як: плакати, журнали, білборди, пакування, каталоги, — цифровими об'єктами, доступними через персональні пристрої [284]. Однак вона також може бути використана й щодо інших поверхонь та об'єктів, які працюють як маркери. Доповнений вміст з використанням активного друку не видно до початку взаємодії, але він тісно контекстуально пов'язаний з відповідним маркером, яким часто стають зображення та предмети, що мають цілком зрозумілу фігуративну форму. Часто це контури, малюнки чи фото предметів, тематично пов'язані зі змістом доповнення. Активний друк відрізняється від чарівного дзеркала тим, що об'єкт доповнення розташований позаду дисплея, а від фальшивого вікна тим, що сфокусований на доповненні окремих об'єктів та отриманні інформації із середовища.

Завдяки тому, що технічно створити доповнену реальність на основі цієї метафори порівняно легко, а закладена ідея «накладання» може трактуватися дуже широко, вона найпоширеніша та має різноманітне візуальне втілення. Одним з масштабних українських проєктів, прем'єра якого відбулася 2021 року в мережі супермаркетів «Сільпо», стала «Мавка. Лісова пісня», основою сюжету якої є однойменна п'єса Лесі Українки, українські міфи та культурні традиції [43; 42]. Цей комплексний проєкт охоплює книгу-гру з історіями та AR, спеціальні об'єкти-маркери (дерев'яні фігурки з вирізаними на них рунами), AR-застосунок «Мавка Сільпо» від компанії «LiveAnimations Corp», а згодом вийшов і повнометражний анімаційний фільм від української студії «Animagrad» (іл. А.1 (d), Б.2.3.13-Б.2.3.15). В цьому проєкті

використаний *прийом диференціювання графіки*. Ілюстрації книги мають додаткові сценки та анімації, які в AR можна змінювати за допомогою фізичних ігрових елементів, що накладаються на ілюстрації та створюють таким чином виразний дизайн.

Розглянемо брендоване пакування, що часто стає основою для експериментів з новими технологіями. Наступні приклади демонструють спільний прийом — гейміфікацію досвіду користування продуктом. Пиво «IPA» разом з агентством «Zulu Alpha Kilo» 2021 року створили серію банок, які допомагають вивчити основні акорди та зіграти їх (іл. Б.2.3.16). Австралійський розробник «Immertia» 2021 року випустив прототип застосунку, який дає змогу гейміфікувати пивні банки (іл. Б.2.3.17). За допомогою програми «Swigr» користувачі можуть сканувати власні етикетки, надруковані на контейнерах для напоїв, та отримати доступ до розваг, наприклад, гри «Beer Invaders» (аналог «Space Invaders»). Промовідео програми демонструє й інші цікаві підходи до застосування AR на пакуванні, зокрема соціальні мережі, відеокоментарі тощо [362].

Бренд-дизайнер Розі Грант та графічний дизайнер Моллі Воткінс створили для компанії «Brand Opus Chrysalis» інноваційну та футуристичну концепцію напою «Verve» (іл. Б.2.3.18) [391]. Елементи AR, наприклад, прості геометричні форми та узагальнені образи предметів відпочинку в компліментарному поєднанні рожево-помаранчевого та синьо-зеленого, заповнюють простір навколо, запрошуючи до створення селфі та фото з друзями (іл. Б.2.3.19). Відомі французькі цифрові художники Клер Бардайн і Едріан Монко (Adrien M & Claire B) у грудні 2017 року зробили резонансну виставку в Ліоні, яка демонструвала «делікатний збіг між віртуальним та матеріалом з використанням доповнених малюнків, голографічних ілюзій, гарнітур віртуальної реальності, масштабних проєкцій» (іл. Б.2.3.20). Метафора активного друку схожа за принципом на «вікно у світ», але найчастіше застосовується з портативними засобами відображення і не має такої сильної образної прив'язки.

Рентгенівський зір (X-ray vision) — це метафора, яка використовується для опису здатності бачити внутрішню структуру та склад об'єктів або просторів, подібно до того, як працюють рентгенівські промені. Ця метафора часто використовується в освітніх програмах доповненої реальності (наприклад, анатомія, географія та фізика). Вона також може бути використана для візуалізації таких даних, як пошарова візуалізація, внутрішня структура й перерізи, збірка або розбирання в часі і просторі, а також еволюція. Рентгенівський зір та активний друк подібні. Активний друк більш узагальнювальна метафора, у межах якої можна описати будь-яке накладання з використанням маркерів, водночас зір втілює конкретизований підхід до репрезентації, який може відрізнятися за формою подання чи візуальним стилем. У проморолику компанії «Bose Automotive» показано, як внутрішній каркас автомобіля використовується для демонстрації типового й нового розміщення динаміків з прив'язкою до кузова автомобіля (іл. А.1 (j), Б.2.3.21). Візуальний прийом, що використовує поєднання нетекстурованої об'ємної графіки з тінями та 3D-сітки, можна назвати класичним для цієї метафори з погляду дизайну.

Інший приклад, демонстраційне відео для HoloLens, що показує, як рентгенівський зір можна використовувати для вивчення анатомії людини та окремих частин тіла, використовує повнотекстурні реалістичні моделі (іл. А.1 (m), Б.2.3.22) [155]. У програмі з галузі будівництва, Argyle Build, що відображає шари комунікацій, які можна переглядати під час пересування будівельним майданчиком, для візуалізації конструкцій використовується лінійна, каркасна графіка [76] (іл. А.1 (k), Б.2.3.23). Рентгенівський зір у доповненій реальності — це здебільшого метафора, але вже є розроблення з використанням RFID-міток, які і справді дають змогу користувачам знаходити речі, навіть заховані в коробках [94; 95].

Гео-позиціонування або *гео-шар* (Geo-Layer) — базовано одночасно на традиції нанесення позначок на мапи, прийомах, перейнятих із цифрових мап і навігаційних систем та невізуальних даних. Доповнена реальність

з геошаром використовує ті самі дані геолокації, GPS і/або просторове розпізнавання (розпізнавання орієнтирів, вулиць тощо) для доповнення простору навколо користувача цифровими об'єктами, як пов'язаними, так і не пов'язаними з конкретним місцем. Приклади застосувань охоплюють розміщення віртуальних творів мистецтва, скульптур та інсталяцій у певному місці, позначення визначних пам'яток і допомогу в навігації. Ще немає української віртуальної мапи, де користувачі можуть побачити розташування всіх цифрових артефактів, але багато митців експериментують з віртуальними скульптурами, обираючи певне місце в реальному світі та розробляючи його доповнений вигляд. Технічно цифрову скульптуру можна було б побачити з будь-якого місця, але прив'язка до координат спонукає до фізичної активності та реального відвідування. Поміж новаторів — Ілля Новгородов, Петро Гронський, Микола Милишко, Артем Волокітін, Олексій Золотарьов, Микита Кадан, Ксенія Гнилицька, Вартан Маркарян, Віталій Кохан, Роман Мінін, Віталій Кохан, Костянтин Зоркін та Влас Белов [46].

На відміну від активного друку, в розробленні використовується не стільки потік з камери, скільки дані геолокації для розміщення об'єктів, що зумовлює його більшу функціональну направленість дизайну: спонукання до руху та фізичного переміщення в просторі. Прямий приклад накладання геошару можна знайти в навігаційних продуктах. Компанії «Apple» та «Google» додали можливості візуальної AR-навігації до своїх додатків, щоб спростити орієнтування маршрутом [383]. У процесі візуальної навігації помітки та підказки накладаються безпосередньо на поле зору камери. Запланований маршрут представлений лініями або іншими графічними елементами на підлозі, а також стрілками-індикаторами. На іл. Б.2.3.24 зображено типовий вигляд навігаційного застосунку в режимі показу AR на прикладі «Apple Maps».

Студія Nexus пішла ще далі й запропонувала розважити користувача під час проходження маршруту, скориставшись послугою компаньйона-гіда (іл. А.1 (о), Б.2.3.25). У застосунку «Hotstepper» ексцентричний персонаж

проводить маршрутом, розставляючи вказівники, принагідно танцюючи та роздивляючись навколо [203]. Інший приклад застосунку — гра «Pikmin Bloom» від компанії «Niantic» 2021 року, яка також розробляла гру «Pokemon Go» [244]. Гравцю пропонується переміщуватися у реальному світі, отримувати за це винагороди для істот Pikmin та вирощувати квіти на своїй території (іл. Б.2.3.26). Гра використовує прийом поєднанні реальних координат зі стилізованою мапою, яка відбиває всі дії, виконані в реальності у магічному світі (іл. А.1 (n)).

Акваріум (fish tank) — метафора, що використовують для опису певного замкненого простору з відомою глибиною, у який можна зазирнути й дослідити його. Відрізняється від *підробного вікна* та *вікна у світ* тим, що має визначені межі та глибину, водночас вікно може показувати нескінченний простір за ним. Голографічні дисплеї є типовим прикладом прямої реалізації цієї метафори, але далеко не єдиним. Найяскравішим і найпопулярнішим прикладом є 3D-білборди, також відомі як анаморфні ООН, Digital out of home, DOOH або DeepScreen. Словосполучення «out of home» виникло завдяки грі з межами такого екрана та створенню ілюзії виходу за них. Рекламний білборд — це, фактично, два екрани, розміщені під кутом 90 градусів один до одного, що створює ілюзію простору та 3D-ефект.

Деякі з всесвітньо відомих 3D-білбордів розташовані на Таймс-сквер у Нью-Йорку, Пікаділлі в Лондоні та Сібуї в Токіо, а також в інших місцях з високим рівнем скупченості людей у всьому світі. Найбільший 3D-білборд, площею 1300 квадратних метрів над готелем «Edition» на розі 47-ї вулиці та Сьомої авеню на Таймс-сквер у Нью-Йорку, був використаний для реклами запуску «HBO House of the Dragon» та багатьох інших відомих фільмів, брендів та проєктів. Поміж прикладів робіт: робота рекламного агентства «Goodby Silverstein & Partners» для відділу BMW Північної Америки 2022 року [116] (іл. Б.2.3.27) у Нью-Йорку, «Shinjuku cat» 2021 року [222] (іл. Б.2.3.28), «Рік Тигра» від «Samsung» 2022 року [336] (іл. Б.2.3.29), Кінг-конг, робот-ремісник (іл. Б.2.3.30), «HelloKitty Family», сафарі (іл. Б.2.3.31),

гігантський кит, гаджет «Vivo» (іл. Б.2.3.32), «Resident Evil» від «Netflix», «Pokemon Go» [327], циклоп від «ESKY MALL» [79] (іл. Б.2.3.33), пес породи акіта-іну, який забирається вертикальним екраном на башту й там створює безлад [348] (іл. А.1 (р), Б.2.3.34), та багато інших.

Візуалізація метафори акваріуму тісно пов'язана з прийомом створення ілюзії виходу за його межі. Щоб її створити, часто використовують рамку, яка окреслює фальшиві межі екрана й залишає простір для розміщення частин, які в майбутньому висунуться за ці межі. Для посилення відчуття прориву використовують такі ефекти та об'єкти, як пил, дим, шматки підлоги або землі, розбите екранне скло, бризки тощо. Часто застосовують обмежений простір з очевидною перспективою і ракурсом відносно потенційних глядачів, наприклад: клітка, кімната, коробка, печера або контур стелі чи стіни. Одним з обмежень 3D-білбордів є те, що повне відчуття об'єму досягається лише під певними кутами, які можуть відрізнитися для різних екранів.

Отже, більшість розглянутих метафор використовують простір як основу для розміщення графіки, але є одна метафора, що побудована на зворотному принципі, це HUD. Запозичивши прийом трансляції даних на панель перед пілотом, комп'ютерні ігри неабияк розвинули його, застосовуючи багату палітру візуальних стилів та елементів, які можуть розміщуватися в імітованому HUD. І тепер уже ці рішення стають натхненням для доповнених інтерфейсів, умовно або буквально імітуючи прозорий екран або візор уявного шолому. Метафора *візора* використовує периферійну зону екрана для показу актуальної інформації, не вбудованої в контекст середовища з видом від першої особи. Формальне використання цієї метафори не накладає на дизайнера обмежень щодо вибору засобів виразності чи стилістики для відображення інформації, але буквальне трактування задає цілком конкретні рамки, пов'язані з таким асоціативним рядом, як технології, майбутнє та інновації (іл. А.1, f). Також часто бачимо в проєктах використання таких прийомів імітації реального шолома, як імітація відблисків світла, віддзеркалення на пластику електронних написів чи обличчя глядача тощо.

Використання розглянутих метафор більш притаманне AR, що створюється завдяки технології відеозмішування, а портативний чи стаціонарний засіб відображення нерідко стає частиною AR та стилістично оформлюється. Використання проєкційних дисплеїв теж можливе. Однак, якщо казати про оптичне змішування, для створення AR на базі прямої проєкції дизайнери не часто звертаються до концептуальних метафор, а намагаються створити реалістичне та безшовне зображення, що змішається із середовищем, яке воно доповнює.

Проте можна виділити одну метафору, яка успішно застосовується з прямою проєкцією, — метафору *ліхтарика*. Проєктор сам собою є великим джерелом світла, але не завжди на цьому зосереджується увага і його функції художньо обіграються. Використання цієї метафори можна побачити в експериментальному проєкті Рамеша Раскара для інтерактивного створення ефектів тіні від віртуальних об'єктів на реальних поверхнях, у доповнених перформансах «Rubens Cupid» 2014 року (іл. А.1(е)) чи «Die Invasion der Gallerie» 2016 року художнього колективу «Skullmapping» з Бельгії [320]. Проєкція імітує підсвітку віртуальних об'єктів ліхтариком, що дає змогу об'єктам відкидати цифрові тіні на фон, підсилюючи ефект об'ємності та втіленості в об'єктів проєкції. Їхня тінь стає більш або менш різкою залежно від відстані до стіни та дає змогу активніше відділити рухи вздовж стіни від польотів. Віртуальні тіні створюють потужну когнітивну підказку та спрощують сприйняття простору. Метафору ліхтарика здебільшого поєднано з об'ємними віртуальними об'єктами, вона не залежить від позиції огляду та потребує наявності поверхні для відображення.

Печера (Cave) — метафора, яку використовують для опису зануреного доповненого простору. В її основі лежить переважно тильна проєкція, але дедалі більше прикладів маємо з фронтальною, а також відеодисплеями. Перший проєкт «CAVE» вже розглядався нами в попередньому підрозділі, а аналізу доповнених просторів далі буде присвячено окремий підрозділ. Концептуальна форма доповненої реальності може не обмежуватися однією

метафорою та поєднувати одночасно кілька або використовувати різні метафори в певних частинах проєкту. Вона також взаємопов'язана з типом змішування, способом розміщення відображення в просторі та об'єктом доповнення. Цей взаємозв'язок зображено в таблиці табл. А.18.

Висновки до другого розділу

1. Виявлено системи доповненої реальності та визначено, що фізично вони складаються з (а) обчислювального обладнання та програмного забезпечення, (б) засобів відображення, (в) засобів відстеження і реєстрації та (г) ключового об'єкта. У цьому разі кожен з компонентів має вплив на те, якої форми вираження набуде дизайн AR, а компоненти (б), (в) і (г) разом з техніками взаємодії та виводу даних утворюють інтерфейс.

2. З'ясовано, що фізичні компоненти та способи сприйняття зображень стали основою поділу AR-інтерфейсів на різні види завдяки особливостям взаємодії з ними та відмінностям у їхніх можливостях. За способами реєстрації виділяють маркерну, безмаркерну та суперімпозиційну AR, а за засобами відображення — приєднану до користувача (портативну) та просторову, які своєю чергою, мають ще підвиди. Дисплей займає в AR-системах важливе місце, завдяки різноманіттю форм та властивостей. Доповнену реальність також поділяють за способом змішування базових та віртуальних зображень: оптичне та відеозмішування.

3. Виявлено, що тип сприйняття зображення (2D та 3D) та спосіб його перегляду формують широку лінійку двомірних та тривимірних дисплеїв, які застосовуються у системах AR. Розподіл відбувається також за такими характеристиками, як портативність, позиція користувача відносно системи (імерсивні та не імерсивні) тощо. Досліджено різні за формою проєкти з AR та обґрунтовано, що використання певних засобів відображення не гарантує створення AR. Умовами її створення постає збереження сутності наративу, що спричинює змогу зміни засобів відображення.

4. Визначено три обов'язкові умови формування AR: наявність віртуальних даних, наративу та контексту. Віртуальні дані в AR-системі мають бути вбудовані в контекст, яким може бути як саме середовище, так і конкретний цільовий об'єкт у ньому. Результатом якісної взаємодії контексту та віртуальних даних стає виникнення наративу, що і приводить до формування AR. Це зумовлює додаткову потребу прискіпливого опрацювання ідейної та концептуальної основи дизайну.

5. Встановлено важливі характеристики складників AR: актуальність та інтерактивність. Актуальність — якісна характеристика віртуальних даних, вона посилює зв'язок між даними та середовищем. Визначення потрібного ступеня актуальності залежить від проєкту. Прив'язка даних до контексту може відбуватися явно або опосередковано, завдяки наявності інтерактивності в AR-системі. Базова інтерактивність передбачає, що накладені віртуальні дані підлаштовуються до контексту та реагують на зміни в ньому (наприклад, зміна ракурсу або переміщення об'єкту прив'язки). AR-проєкти відрізняються за своїм зв'язком з базовою реальністю. Високий зв'язок передбачає активне використання інформації про середовище в роботі системи, водночас низький — передбачає використання простору лише для розміщення даних. Визначені характеристики дають змогу відділити проєкти з AR від інших видів.

6. Уточнено класифікацію доповненої реальності за функціями та галузями застосування. Визначено вплив концептуальних метафор на функційний та образний складник AR-проєкту та окреслено основні типи. З огляду на свій тісний зв'язок між візуальною формою та функцією, доповнена реальність, використовуючи метафору вирішує як функційне, так й образне завдання. Проаналізовані проєкти демонструють можливості різноманітного, творчого втілення доповненої реальності, що відрізняється поєднанням різних компонентів системи та, навіть побудованої на базі однакових метафор.

Основні результати цього розділу дисертації апробовано в статтях [61; 68] та доповідях [65].

РОЗДІЛ III

ДОПОВНЕНА РЕАЛЬНІСТЬ ЯК ІНТЕРФЕЙС ЛЮДИНО- КОМП'ЮТЕРНОЇ ВЗАЄМОДІЇ

AR-системи уособлюють наступний крок у розвитку інтерфейсів, що максимально занурені в реальний світ. Дослідники доповненої реальності О. Бімбер та Р. Раскар стверджують: «Використовуючи доповнену реальність, наша загальна мета — впровадити застосунки, які є інструментами, що дають змогу нам ефективніше розв'язувати проблеми. Отже, AR — це не що інше, як інтерфейс людина-комп'ютер, який може бути ефективнішим для одних програм, ніж інші» [112, с. 6]. Подібної думки й дослідник технологій комп'ютерних інтерфейсів М. Білінгхарст [108, с. 75], що висловився про впровадження технології AR, як останнього зусилля вчених та інженерів зробити комп'ютерні інтерфейси невидимими та покращити взаємодію користувачів з реальним світом.

3.1. Розподіл інтерфейсів за сенсорними каналами

Поняття «інтерфейс» увійшло в ужиток у різних професіях та повсякденному житті. Перші згадки, як зазначається в Оксфордському словнику англійської мови (2-ге вид., 1989), зафіксовані в 1882 та 1883 рр. [213] та належать до галузі хімії. Сучасний термін «інтерфейс» має кілька значень, які виникли поступово у відповідь на розвиток наук та технологій (див. додаток Д.2). У загальному значенні інтерфейс — «спільна межа» (засіб або місце взаємодії) між окремими системами, через яку вони взаємодіють між собою; сукупність засобів і правил, що забезпечують взаємодію відокремлених систем.

На якому б рівні не відбувалася взаємодія, точкою такої взаємодії є інтерфейс, який дає змогу комунікації між двома середовищами. На схемі іл. А.2 інтерфейс показаний чорними точками в місцях сполучення ліній.

Кожен інтерфейс уособлює функцію. Інтерфейс користувача (User Interface, UI), за визначенням дослідників Д. Хікс та Х. Хартсона, розуміють як «середовище, через яке відбувається спілкування між користувачами та комп'ютерами [196] за [124, с. 39]. Він перетворює дії та стан користувача (вхідні дані) у представлення, яке комп'ютер може зрозуміти та на яке може впливати, а також він трансформує дії та стан (вихідні дані) комп'ютера на представлення, яке користувач-людина може зрозуміти та на яке може впливати». Інтерфейс користувача — багатовимірний, і його можна розділити на рівні, розглядаючи кожен окремо. Він не обмежений лише екраном, а охоплює «всі компоненти інтерактивної системи, що забезпечують інформацію та засоби управління для виконання користувачами певних завдань за допомогою цієї системи», згідно з ISO 9241-110:2006 [207].

Інтерфейси користувача можна поділити за модальністю (табл. А.19), що обрана для репрезентації та взаємодії. Найбільше AR покладається на візуальну модальність, втілюючи різні типи графічних інтерфейсів (табл. А.21), але застосовує також й інші інтерфейси як альтернативні способи взаємодії (табл. А.20). Виділяють: візуальні, слухові, тактильні, жестові та мультимодальні інтерфейси. Зазначимо, що використання тільки однієї модальності цілком можливе, але накладає значні обмеження на систему, оскільки обраний канал може бути неефективним в певних ситуаціях. Через це більшість сучасних інтерфейсів спираються на кілька каналів, які доповнюють або замінюють один одного. Розглянемо кожний з них окремо.

Слухові інтерфейси (табл. А.20) покладаються на слухову модальність для введення і виведення та охоплюють системи розпізнавання і синтезу мови та системи звукового зворотного зв'язку. Під час взаємодії лише на основі аудіо, інтерфейси страждають від недостатньої видимості команд [139]: користувачам важко зрозуміти обсяг можливостей. Повідомлення про доступні дії проходить шляхом їхнього перерахунку, а це може бути довгим або навіть нездійсненним. Низька видимість часто призводить до того, що користувачі повідомляють про плутанину та нерозуміння того, що їм

«дозволено» говорити. Робота зі слуховим інтерфейсом потребує візуального супроводу та спеціальних процесів знайомства з доступними командами, постійних підказок та обов'язкового етапу навчання. Однак у комбінації з візуальним інтерфейсом слухові інтерфейси створюють додатковий комфорт під час роботи в доповненій реальності та дають змогу полегшити такі непрості активності, як введення тексту та вибір різноманітних команд. Вдале застосування бачимо у проєкті Wonderscope, який створила команда художників та інженерів Within для дітей. У застосунку різні розважальні та повчальні AR-оповіді використовують розпізнавання голосу для взаємодії з персонажами та просування сюжетом (іл. Б.3.1.1) [216]. Взаємодія побудована таким чином, що цифрова сцена чекає на ключові слова, щоб перейти на наступний етап. Система чітко надає підказки щодо команд і відображає їх візуально на екрані. Своїм підходом вона спонукає до читання та створює враження справжнього спілкування із цифровим героєм.

Гаптичні або тактильні інтерфейси (табл. А.20) формально покладаються на соматосенсорну систему сприйняття, де тактильні відчуття є тільки частиною діапазону. Утім, часто на всі подібні інтерфейси покликаються як на тактильні. Вони охоплюють: власне тактильні дисплеї, системи зворотного зв'язку за силою натиску та системи захоплення руху. Утілення тактильного інтерфейсу дуже різноманітні (як за пристроями вводу, так і за можливостями): вібромоторний відгук у джойстиках; екрани, що реагують на дотики; дисплеї для введення шрифту Браєля; рукавички, які передають силові імпульси та здатні передавати відчуття від віртуальної поверхні. Ці інтерфейси використовують для ненав'язливого зворотного зв'язку, а саме: привернути увагу, повідомити про помилку чи успіх виконаного завдання, акцентувати віртуальний дотик до поверхні, передати фактуру матеріалу віртуального об'єкту тощо.

В останні роки стали поширеними безконтактні рішення та *жестові інтерфейси*. Процес керування у них відбувається за допомогою рухів тіла та жестів без торкання до клавіатури, миші чи екрана. Такі рішення гігієнічніші

й підходять для використання в людних громадських місцях [143]. Це досить не розроблений напрям, який дизайнери тільки починають опановувати. Наприклад, в експериментальному проєкті доповненого вебсайту, дизайнерка Elena Jiga демонструє, як можуть працювати різні жести [363] (іл. Б.3.1.2). Із відео робимо висновок, що для ефективного розпізнавання жести мають бути розмашистими та неквапливими, мати відмінний малюнок силуету та доволі широкий діапазон руху. Це дає змогу заключити, що взаємодія жестами має відбуватися в спокійному оточенні та з достатнім вільним простором. Зауважимо, що додавання мовлення, рухів, жестів тощо, наближає AR до концепції *природніх інтерфейсів (Natural UI)*, що найбільше використовують звичні та природні для користувачів дії та рухи.

Зупинимось детальніше на візуальному інтерфейсі, який залишається найбільш популярним засобом взаємодії з комп'ютерами за рахунок найбільшої щільності доступної інформації (табл. А.21). Відзначимо також, що кожен тип візуального інтерфейсу, що виникав, не витісняв попередній, а розширював можливу палітру засобів взаємодії та займав свою нішу використання. За кількістю вимірів інтерфейси поділяють на 2D та 3D, а за типами — на символічні та графічні, які, своєю чергою, також поділяють на WIMP, пост-WIMP та HUD.

Символьний інтерфейс користувача став першим візуальним цифровим інтерфейсом. Певні візуальні елементи та способи взаємодії, які вперше виникли в символічному інтерфейсі, залишилися і в графічному: текстовий рядок з адресою файла чи каталога в системі, курсор-індикатор місця вводу тексту, використання клавіші *Введення* для підтвердження команди та інші комбінації.

Графічний інтерфейс користувача (Graphic User Interface, GUI) оперує графічними елементами, реалізованими на основі метафор, які відображають їхнє призначення. «Класичний» GUI — *Віконний інтерфейс* або WIMP: вікна (windows), піктограми (іконки, icons), меню (menu) та вказівник (pointer), — який на сьогодні є стандартним інтерфейсом настільних комп'ютерів. Він

використовує такі метафори, як «робочий стіл», «корзина», «файл», «папка» тощо. Інтерфейси WIMP стали такими поширеними з моменту їхнього створення в дослідній лабораторії «Xerox PARC» тому, що вони дуже добре абстрагують робочі простори, документи та їхні дії, а їхнє базове подання як прямокутних зон на 2D-екрані дало змогу легко їх компоновати [178]. Не зайвим буде додати, що незалежно від типу введення, кожен із перелічених в цьому підрозділі візуальних інтерфейсів, хоч формально і вважається GUI (оскільки містить графічні елементи), проте є певна традиція називати GUI саме двомірний інтерфейс програм та застосунків, тому деякі типи графічних інтерфейсів отримали свої власні назви, наприклад: інтерфейси ігор (HUD), природні (NUI), матеріальні (TUI), тривимірні (3DUI) тощо.

В AR концепція WIMP, робота з документами та метафора робочого столу перейшли у новий вимір. По-перше, стали можливі просторові рішення, де робота відбувається на справжньому електронному столі або поєднанні столу та вертикальної «дошки», що посилюють аналогію з реальними об'єктами (табл. А.8 (19, 20, 21). По-друге, об'єкти, над якими відбувається взаємодія, стали більш реалістичними, і нерідко показуються в реальному масштабі. По-третє, відбулось перенесення панелей з елементами управління з області «вікна», до простору поряд з об'єктом, а їхній показ став більш контекстним, наприклад, поверхня столу (дисплею) може розпізнати об'єкти, що лежать на ній, і показати можливі пов'язані дії (табл. А.8 (24).

Віконні інтерфейси довго залишалися основним рішенням упродовж кількох десятиліть, але під впливом еволюції мобільних пристроїв та технологій розпізнавання голосу, образів і жестів, теж почали змінюватися. Вони запозичили прийоми та метафори з мобільних систем (наприклад, піктограма «три крапки» для позначення додаткових дій чи налаштувань та піктограма «три полоси» або «гамбургер» для позначення меню). Використання віджетів, що зародились ще у віконних інтерфейсах, теж отримало продовження у формі просторової оптично-прозорої AR — трансляції актуальної інформації на панелі та стіни (табл. А.8 (17, 23)). Поява

можливості керування дотиком, спонукала також переглянути принципи взаємодії, що були побудовані з урахуванням використання маніпулятора «миші» та клавіатури.

Варто зазначити, що кожний візуальний інтерфейс потребує розроблення для відповідного типу введення і контексту застосування. Наприклад, настільна операційна система, зокрема OS X, містить рядок меню та вікна з маленькими значками, якими можна легко переміщатися за допомогою миші. Мобільна ОС, зокрема iOS чи Android, має більші піктограми, розраховані на зону дотику пальцем, та підтримує сенсорні команди і жести. Автомобільні інтерфейси часто розроблені для керування за допомогою ручок і кнопок, а їхні екранні аналоги потребують ще більшої зони активації, ніж мобільні пристрої, бо розраховані на швидке керування в умовах обмеженого часу на прицілювання. Телевізійні інтерфейси мають потребу дистанційного керування, де кожна дія пов'язана з натисканням кнопки. Нарешті, тривимірні інтерфейси, в яких можна взаємодіяти рухами тіла, рук чи жестами, потребують найбільше місця. Відповідно, на наступному етапі еволюції GUI інтерфейсів фіксуємо дослідження віртуального 3D-простору, пошук нових методів взаємодії для сортування вікон, піктограм тощо, методи оптимізації виконання завдань, фокусування, підтримання уваги та способи прикрашання інтерфейсу.

Майже одразу поряд з розробкою віконних інтерфейсів почалися пошуки нових форм взаємодії та графічної репрезентації. Відповідно, існує поділ візуальних інтерфейсів умовно на дві групи: віконні (WIMP) та пост-віконні (пост-WIMP), тобто ті, що намагаються вийти за рамки парадигми вікон, піктограм, меню та вказівного пристрою. Термін пост-віконні інтерфейси запропонований у 1997 році Андрісом ван Дамом, професором комп'ютерних наук та віце-президентом відділу досліджень в університеті Брауна, США [142]. Одним з популярних концептів пост-віконного інтерфейсу є *масштабований інтерфейс користувача* (Zooming User Interface або Zoomable User Interface, ZUI). Сам термін ZUI придумали Франклін

Серван-Шрайбер і Том Грауман, коли разом працювали в дослідницьких лабораторіях компанії «Sony». ZUI-інтерфейси побудовані на використанні метафори «масштабування»: об'єкти, присутні всередині збільшеного простору, можуть бути збільшені для виявлення додаткових деталей. У таких інтерфейсах застосовують техніку «семантичного масштабування» [11], коли замість простого зменшення чи збільшення об'єкта, показано спрощену або навпаки деталізовану версію так, щоб вона відповідала поточному розміру екрана та зручному масштабу.

Згодом, із розвитком обчислювальних можливостей графічних відеокарт, масштабований інтерфейс еволюціонував у *тривимірний масштабований інтерфейс*. ZUI у 3D-просторі перетворюється на віртуальний світ, у якому об'єкти перебувають в певній точці простору. Найкращим втіленням масштабованого інтерфейсу є *Google Earth*, програма, у якій буквально можна подорожувати планетою, обираючи зручний масштаб та точку перегляду (особливо у VR). 3D-ZUI застосовують 3D-ігри, що містять переміщення у межах змодельованої сцени та оптимізований показ об'єктів. Хоча в момент своєї появи, у 90-ті роки, масштабований інтерфейс не став широко застосовуватись — він відродився. Спершу у концептах інтерфейсів майбутнього в кіно, потім в анімації дій у мобільних операційних системах (наприклад, їх видно під час запуску та закриття застосунків), а згодом в інтерфейсах AR-столів та тривимірних AR-інтерфейсах (табл. А.8 (19, 22)). Відродження пов'язане з початком використання в роботі жестів, з якими масштабування стало інтуїтивно зрозумілою та простою дією. Відмітимо, що найзручнішим для роботи є прийом поєднання масштабованого (2D чи 3D) інтерфейсу з віконним, який створює достатню гнучкість для роботи, подібно до простору та мапи до нього. Зупинимося докладніше на особливостях розміщення інформації та елементів управління, якими відрізняються графічні інтерфейси, що використовує AR.

Перший підхід — це розміщення інформації та елементів управління в спільному просторі на 2D-площині, як у WIMP. Другий підхід — накладання

певної інформації як окремого шару, під яким знаходиться основний контент (табл. А.36 (4, 5)). Цей підхід використовують інтерфейси ігор, що побудовані на метафорі візора та отримали назву *HUD-інтерфейси*. Більшість ігор не зображають візор буквально, і використовують це лише як спосіб розміщення потрібної гравцю інформації по краях екрану.

Інші, наприклад, Гра «Metroid Prime» (Gamecube), є прикладом другого підходу, тематичного HUD, де всі елементи наче відбито на внутрішній стороні шолома Самус Аран (головної героїні). Під час яскравих вибухів на його поверхні з'являється віддзеркалення її обличчя, що створює відчуття того, що шолом справді існує. Використання простору надає додаткові способи взаємодії, цілу палітру тривимірних інтерфейсів (3DUI), та нові способи розміщення елементів управління.

Відповідно, третій підхід — поєднання тривимірного простору та двовірних елементів управління (табл. А.36 (11, 13)). Відмінність цього підходу від попереднього у контекстуальній прив'язці двовірного шару до об'єктів у 3D. Накладені елементи все ще залишаються у двовірній площині, але вже вирівняні та розміщені відносно певного об'єкта. Четвертий підхід — розміщення двовірних елементів у тому ж 3D-просторі, що й основні об'єкти, з урахуванням їхнього положення та перспективних викривлень (табл. А.36 (1, 3, 8, 9, 10, 12)). П'ятий підхід — вбудовування у простір 3D-елементів (табл. А.36 (2, 6, 7, 14, 15)).

Із зібраного візуального матеріалу видно, що далеко не всі AR-проекти спираються виключно на 3D-простір та намагаються «розчинити» AR у середовищі. Багато віджетів та елементів, які використовуються у двовірному графічному інтерфейсі, застосовуються й у доповненій реальності та інших 3D-інтерфейсах у тій самій або трохи видозміненій формі, наприклад: вікна та елементи управління вікнами, палітри інструментів, статус-бари, слайдери, акордеони, стрічки, навігаційні меню, форми, іконки, кнопки. Однак в тривимірних інтерфейсах все ж намагаються використовувати версії елементів, вбудовані в просторовий контекст, оскільки

вони сприяють максимізації вмісту в інтерфейсі та зменшенні так званого «хромум». Ним часто називають видимі елементи графічного інтерфейсу програми. Це жаргонне слово, що означає візуально ефектні елементи, додані, щоб привабити користувачів, але які практично не впливають на можливості системи. Якоб Нільсен вважає хромом усі ті елементи візуального інтерфейсу, що надають користувачам інформацію про вміст екрана або команди для роботи з ним (на відміну від того, щоб бути частиною цього вмісту). Зазвичай ці елементи дизайну надаються базовою системою (операційна система, вебсайт або програма) й оточують дані користувача. Наприклад, панелі вікна веббраузера, які можуть займати до 30% екранного простору, залишаючи менше місця для самого контенту.

Перейдемо до розгляду матеріального компоненту в AR. Об'єкти, які застосовуються в AR, за своїми фізичними характеристиками розподіляють на: повністю реальні, візуально доповнені, відчутні на тактильному рівні та віртуальні (іл. А.3). Відповідно, можуть застосовуватися матеріальні інтерфейси (TUI), матеріальні AR-інтерфейси, тактильно-доповнені AR-інтерфейси та віртуальні AR-інтерфейси. *Відчутні або матеріальні інтерфейси (Tangible User Interfaces, TUI)* базовані на контакті з фізичними об'єктами. Це справжні об'єкти, що можна тримати в руках, ними можна природним чином маніпулювати, розглядати в будь-якому напрямку — усе це забезпечує сильне відчуття присутності та ергономічність [218]. Хоча пристрої, що моделюють тактильний зворотний зв'язок, теж дають змогу «торкатися» комп'ютерних об'єктів, вони не можуть конкурувати з відчуттями від справжнього фізичного об'єкта [162].

Однак і віртуальні об'єкти мають ключову перевагу — вони забезпечують той рівень гнучкості, якому фізичні предмети не можуть відповідати [180]. І. Гібсон вважає поєднання фізичних та віртуальних об'єктів, які можна одночасно використовувати, одним із завдань AR. Системи TUI використовують реальні фізичні об'єкти як для показу, так і для взаємодії зі згенерованою комп'ютером інформацією. Утім, хоча TUI створюють

фізичний зв'язок між реальними та генерованими комп'ютером об'єктами, не всі вони не створюють ілюзії того, що останні насправді перебувають у реальному середовищі — це мета доповненої реальності.

Слід підкреслити, що AR-системи можуть охоплювати фізичні об'єкти не тільки як поверхні для накладання, а і як об'єкти взаємодії. Віртуальна модель отримує еквівалентну фізичну модель, розміщену в тому самому просторовому місці [404]. Такі системи з *матеріальним AR-інтерфейсом* дають змогу динамічно змінювати візуальний вигляд об'єкта, який згенеровано комп'ютером тоді, як фізична модель забезпечує тактильний зворотний зв'язок для основної форми. *Відчутна AR* передбачає доповнення фізичних об'єктів, суміщення їх з віртуальними об'єктами або навіть заміну фізичного вигляду віртуальним. Проте тактильно користувач взаємодіє з фізичним унаочненням об'єкта. Підвид відчутної взаємодії — це *віртуальна тактильна взаємодія*, коли дотики до об'єктів лише імітуються завдяки дії сил спротиву, вібрацій тощо, але фізичні об'єкти не використовують. *Віртуальна взаємодія*, зі свого боку, не надає зворотного зв'язку щодо матеріалу, форми, і у кращому разі лише сигналізує про потрапляння в межі об'єкта, наприклад, вібрацією. Зважаючи на те, що доповнена реальність може застосовувати велику кількість різних інтерфейсів, багата палітра технік взаємодії зібрана в таблиці табл. А.35. Відзначимо, що використання реальних об'єктів у доповненій реальності особливо різноманітне та набуває досить різних форм (табл. А.37):

- поєднання поверхонь та елементів управління (іл. Б.2.1.1);
- використання об'єктів для орієнтації в просторі та способу введення;
- використання об'єктів-маркерів для введення об'єктів у сцену та надання інструкцій;
- використання об'єктів для програмування віртуального середовища.

Приклади використання реальних об'єктів як елементів керування та докладніший аналіз технік взаємодії подано в додатку Д.8.

3.2. Нестандартні інтерфейси доповненої реальності

Серед усіх проєктів AR виділяємо два концептуальних напрями інтерфейсів, що вирізняються та мають найбільшу виразність та цікаву форму подання: інтерфейси мистецтва та лудичні інтерфейси.

3.2.1. Форми AR-інтерфейсів мистецтва. Використання медійних технологій у незвичних галузях стало рушійною силою у відкритті нових напрямів та інноваційних експериментів. Два концептуальні напрями інтерфейсів доповненої реальності — інтерфейси мистецтва (авторський термін) та розважальні інтерфейси поєднують зіткнення та взаємодію між реальним та віртуальним з різних сторін. Перші допомагають привнести синтетичні елементи в реальність, другі роблять формальні інтерфейси ближчими до середовища та злиття з ним, пропонуючи нові способи взаємодії та репрезентації. Марія Чацікрістодулу (Chatzichristodoulou) та колеги [214] пропонують розглядати інтерфейс як граничний або спільний простір між двома зонами або системами, який дає змогу взаємодії між двома суб'єктами, що в іншому разі не змогли б спілкуватися один з одним. Автори зазначають, що інтерфейс перформансу пропонує іншу перспективу бачити, переживати та враховувати певний стан через взаємодію з «іншим», а сучасні перформанси, де наважуються взаємодіяти з іншими дисциплінами, демонструють велику кількість естетичних, експериментальних та міждисциплінарних можливостей через інтеграцію нових технологій у свою практику. Поміж цих інтеграцій посіли своє місце й перформанси та інсталяції з доповненою реальністю, які в різних формах пропонують нові способи спілкування в царині мистецтва [62]. Відповідно, пропонуємо подивитися на доповнену реальність як на інтерфейс [просторового] мистецтва, подібний до інтерфейса перформансу, але як такий, що охоплює більше різних форм.

Доповнені декорації. У двох виставах Центра взаємодії та розваг (NTU-IERC) у Сінгапурі, «Everyman: The Ultimate Commodity» 2006 року та

«The Builders Association's Elements of Oz» 2015 року доповнена реальність була використана в поєднанні з традиційною драматургією лялькового театру. «Everyman» — антиутопія сінгапурського автора Гопала Баратамана (Gopal Baratham) про винахід нешкідливої субстанції «Q», яка не має смаку чи запаху. Її використовують для виробництва універсальних донорів органів, але вона потрапляє в джерело води Сінгапуру, що призводить до того, що люди перестають відрізнятися один від одного, що й обігрують у виставі [239]. Для відтворення складності візуального сприйняття команда Вільяма Рассела Пенсіла (William Russel Pensyl) розробила нову систему, що давала змогу показувати «живу» драму на проєкційному екрані, а двовимірні маски розмовляли поруч із живими акторами. Це дало змогу передати складність історії Г. Баратамана, змушуючи і глядачів боротися з плутаниною подвійних просторів (іл. Б.3.2.1). Відмітимо, що команда органічно вписала необхідні для функціонування технічні компоненти, датчики відстеження, що мали носити актори, у загальний сценарій, визначивши мотиви та пояснення для їхнього існування на сцені.

Розглядаючи цей перформанс, Анчулі Феліція Кінг (Anchuli Felicia King) порушує питання щодо ролі цифрових маріонеток (об'єктів, які мають унікальний фокус у виставі, на протигагу театру із живими акторами [239, с. 5]). Авторка відмічає протиставлення погляду на роль маріонетки: західного — як об'єкта, що слухняно виконує наміри ляльководи, та східного — як ляльки, що має власне життя, закони й логіку, які вона нав'язує маніпулятору [239, с. 4]. Аналогічно вибрана заздалегідь цифрова форма AR може підпорядковуватися власним правилам, на які має реагувати дизайнер, часто підлаштувавши під форму власний задум. З лялькового театру також можна запозичити в колекцію драматургійних прийомів «цифровий відрив» [239, с. 5]. Ф. Кінг пояснює, що цифровий відрив — момент, під час якого морфологія або характеристики AR-сутності радикально трансмутуються, що спонукає глядача занурюватися в її лімінальний характер, підкреслюючи її власну цифровість. Свідоме закладання переломної точки може бути

корисним як особливий принцип перезалучення глядача через несподівану трансформацію форми, розкриття нових сторін цифрового артефакту.

У постановці від групи «Асоціація будівельників» під назвою «Елементи країни Оз» бачимо, як дизайнер підлаштовує візуальний ряд під наявні умови. Показ відбувся в Університеті штату Монтклер 2015 року та в Центрі мистецтв і технологій «3-Legged-Dog» у Нью-Йорку 2017 року було створено інтерактивний контент для мобільних пристроїв у контексті живого виступу-реконструкції фільму 1939 року «Чарівник країни Оз». Головний дизайнер Ларрі Ши (Larry Shea) та художній керівник Маріанна Вімс (Marianne Weems) з командою створили застосунок, який глядачі могли завантажити перед виступом. Під час ключових моментів вистави на великому екрані з'являлася величезна мішень із зображенням, на яку глядачі наводили свої смартфони із застосунком «The Elements» та взаємодіяли з доповненим контентом, який варіювався від цифрових маків до бульбашки Глінди та зграї мавп, які літали над авансценою [239, с. 10]. Технічні обмеження щодо реалізму цифрових об'єктів та потреби їхньої всебічної оптимізації спонукали до розроблення більш синтетичних та стилізованих тварин та об'єктів, ніж було в задумі. Принцип візуального подання, за рахунок якого обидві частини, реальні декорації та реквізит, були виконані в одній стилістиці, дав змогу закласти підвалини загального стилю та стати родзинкою шоу [239, с. 12].

Варто зазначити, що розробка AR має свої складнощі і процес проєктування пов'язаний не тільки з дизайном контенту, але й дизайном усього сценарію взаємодії глядачів із AR від початку їхнього розміщення в залі. Попри загальний успіх згаданої вище вистави, під час роботи над проєктом автори помітили й низку мінусів AR. По-перше, розділ драматичного фокусу аудиторії, який мав переключатися між сценою та застосунком. По-друге, потреба в епізодичному перегляді через фізичну втому. По-третє, не достатня «легенда», яка б пояснювала природу AR-контенту. По-четверте, недостатність «цифрового відриву», без якого інтерес до застосунку швидко згасав, а всі основні можливості та прийоми AR були

продемонстровані в перших сценах і вже не пропонували нічого концептуально нового.

Використання AR потребувало великої роботи з аудиторією, технічною підготовкою і супроводом усього процесу. Як зазначає Ф. Кінг, було виконано безліч тестів з аудиторією різного розміру, щоб знайти зручний спільний спосіб взаємодії, перевірити технічні можливості мережі, потенціальні збої та час комфортної взаємодії. Довелося розробити також цілий словник соціальних підказок і технічних зупинок, які навчали аудиторію, що робити, коли програма «виходить з ладу». Окремим завданням стало розроблення сценаріїв для глядачів без телефонів або з потребою в зарядному пристрої, а також сценарії дій для персоналу, акторського складу, супровідників, які взаємодіяли з аудиторією щодо AR [239, с. 16]. Усе це демонструє, що робота над створенням ефективної AR-системи потребує також розроблення соціальної взаємодії та прорахунку сценаріїв навколо неї. А також нагадує про принцип постійної складності: щоб глядачам було просто й легко працювати з AR, більше сил та витрат переноситься на плечі організаторів та розробників.

Доповнені перформанси. У серії експериментальних перформансів «Кімосфери» від DAP-Lab, творчої лабораторії Брюнельського університету в Лондоні у 2015–2016 років автори розробили сценографії з «розширеною віртуальністю», переробивши деякі модерністські абстрактні та поетичні прийоми використання кольору та форми в динаміці, винайдені художниками Баухауза такими, як Шлеммер та Мохоли-Надь. В DAP-Lab поєднали різні тканини, костюми та проєкції для імітацій реакцій та певного стану матеріалів чи об'єктів. «Кімосфери» — кінетичні атмосфери або переносні простори. Серед використаних прийомів виділяємо застосування абстрактної генеративної графіки, звукових ефектів та віброреакцій, налаштованих на відтворення за певними алгоритмами реагування. Завдяки цьому «кімосфери» поводяться так, ніби є активними живими архітектурними організмами, які мають слухову, зорову та тактильну сенсорні якості з тонко мінливими станами та прихильністю. Їх можна носити й дихати ними, відчувати

й уявляти, транспортувати і знімати. Елементи та предмети з навколишнього середовища можуть передаватися і ділитися, деякі з них видають інтимні звуки, інші побудовані як костюми чи одяг, які надихають на рух та нові форми пропріоцепції та кінестетичної обізнаності щодо навколишнього середовища та інших. На іл. Б.3.2.2, Б.3.2.3 зображена взаємодія з кімосферою, що одягається, у виконанні Ванесси Мікелон (Vanessa Michielon). У цьому проєкті аудіальний та тактильний складники навіть важливіші за візуальний, бо висловлюють широкий спектр повідомлень, але, зрештою, саме в комплексному поєднанні кожна кімосфера розкривається на повну. За рахунок розроблення дизайну взаємодії, автори проєкту створюють новий доповнений світ, що живе за своїми законами, де оточення стає інтерфейсом, реагує та підлаштовується, а деякі простори можна одягнути, зняти, додати одне до одного. Окремо відмітимо, що створений світ не слідує за певним сценарієм і дає змогу як спостерігати за акторами, так і залучати до участі глядачів [114, с. 22].

Доповнені перформанси та шоу дають змогу створити насичений, динамічний продукт, що тримає увагу глядачів. Нерідко вони надихаються естетикою сучасних комп'ютерних ігор і фільмів про супергероїв, фантастичних світів та футуристичних пейзажів, де комп'ютерна графіка вміло поєднується з індивідуальним дизайном сцени, костюмами, освітленням і візуальними ефектами (VFX). Прикладами таких шоу є роботи студії «Mindscape Studio» (іл. Б.3.2.4), «Alvernia Studios» (іл. Б.3.2.5), Павла Веремюка та Емілії Метцель (іл. Б.3.2.6), «JBM Production» (іл. Б.3.2.7) тощо. Кожен елемент шоу, від рухів танцюристів до мультимедійного контенту, ретельно витриманий за часом і хореографією, щоб забезпечити ідеальну синхронізацію. Відеопроєкції відбуваються позаду й перед акторами, повністю занурюючи їх у цифровий світ. Завдяки костюмам та насиченим фонам, актори органічно з ним співіснують.

Доповнені перформанси часто не потребують залучення акторів, а головним персонажем стає об'єкт, що чітко бачимо у промоперформансах,

де головна роль належить новому продукту. Особливість таких шоу — спрямована невидимим оповідачем розповідь, що охоплює кінетичні анімації і абстрактні метаморфози, стилістично підлаштовані під ідею того емоційного переживання, яке має виникнути в глядачів під час перегляду. Наприклад, типовими для автомобільних презентацій є стрімкі геометричні анімації, холодна металева гама, червоні лазери та космічні простори тощо, тобто все, що створює образ майбутнього, стрімких технологій, польоту та деякої загадковості. Відеоряд формує відчуття інноваційності та технологій, а наприкінці, після демонстрації глядачу бажаного образу, презентується саме авто. Відзначаємо, що рекламна спрямованість не заважає подібним проектам втілювати багато цікавих та видовищних рішень, головним чином за рахунок щедрих бюджетів на розроблення графіки. Варто також зауважити, що в багатьох розглянутих перформансах використовують чорне або темне тло. Затемнений простір дає змогу приховати межі обладнання, рамки екранів і більш вірогідно створити ефект злиття з реальністю. У темному середовищі більше простору для використання світлових ефектів та несподіваних переходів під час перемикання прожектором точки фокусу.

Як свідчить візуальний матеріал дослідження, у той час як масштабні ефектні шоу та перформанси повністю перетворюють простір, невеликий художній колектив «Skullmapping» з Бельгії розробляє більш камерні, предметно-орієнтовані перформанси з використанням проєкційного меппінгу та створює AR, що ненав'язливо та ввічливо вбудовано в контекст. У своїх проєктах автори спираються на розважальні, часто комічні сюжети. Наприклад, шоу «Rubens Cupid» (Купідон Рубенса) 2014 року, «Le Petit Chef» (Маленький кухар) 2015 року та «Die Invasion der Galerie» (Вторгнення в галерею) 2016 року (іл. Б.3.2.8) побудовані подібним чином і використовують спільні технологічні (ефект ліхтарика, переходи між сценами), візуальні (поєднання реального та «казкового» масштабу, залучення в анімацію реальних об'єктів, імітація простору) та драматургійні прийоми (ефект доміно, посилення конфлікту в оповіді). У *Маленькому кухарі*

найменший у світі кухар, зростом з палець, готує їжу для гостей ресторану, що сидять за столом. Під час процесу приготування з кухарем трапляються різні несподіванки, які не залишають гостей байдужими. На столі, де відбувається демонстрація, стоять справжні тарілки, бокали, столові прибори тощо, і для того, щоб усі глядачі за столом могли рівною мірою насолодитися шоу, тарілка кожного стає основою для меппінгу. У *Купідоні* та *Вторгненні* використовують один або кілька проєкторів, що демонструють спільну проєкцію для всіх глядачів у залі. Дії відбуваються в музеї та мистецькій галереї відповідно. У всіх трьох шоу присутній прийом «гри з масштабом». Маленький шеф-кухар використовує виделку та продукти реального розміру; у «Вторгненні» — мікрохудожник літає на мікролітаку, а мавпочка зберігає свій справжній розмір; у «Купідоні» — купідон з картини користується реальними дверима, але далі за сюжетом заходить у мініатюрний собор. У всіх трьох шоу, коли це можливо, відбувається взаємодія з реальними об'єктами. Коли купідону було необхідно взяти стріли, він використав справжні двері, щоб вийти й повернутися на основну сцену. Ефектно та реалістично виглядає втілення метафори «портативного ліхтарика». Потреба охопити проєкцією все приміщення та використання рухомого проєктора затребували у авторів продумати момент зникнення об'єктів із зони проєкції. Вони використали прийом розчинення накладеної графіки у просторі, зокрема деякі цифрові графіті на фоні розчинялися в повітрі або до, або під час переміщення точки фокусу анімаційної сцени.

Доповнені інсталяції. Окрім залучення акторів («The Elements») та провадження цифрових перформансів («Le Petit Chef»), діячами в доповненому просторі можуть ставати самі глядачі. Це можуть бути як захопливі вистави, де люди можуть взаємодіяти з навколишнім середовищем, так і середовища для дослідження, без сюжету. Платформа «ARTECHOUSE», яка працює з 2015 року, співпрацює з багатьма компаніями та сучасними митцями. Вона демонструє розмаїтий досвід, який можна відчутти від потрапляння в простори-інсталяції, що занурюють. Різноманітні тематичні

простори доступні для відвідування у 360-градусних проєкційних залах у кількох містах США. Деякі простори цілком фігуративні, як «Квітучі сади сакури» (іл. Б.3.2.9), інші — абстрактні, як «MAGENTAVERS» (іл. Б.3.2.10) або «Geometric Properties» (іл. Б.3.2.11). Усі вони спрямовані на занурення глядача в аудіовізуальний емоційний досвід. Перелічені простори виконані в насичених яскравих кольорах, мінливі та містять неквапливі анімації, що не сильно трансформують візуальну сцену, але достатні, щоб створювати враження живого середовища. Звук у таких просторах займає важливе місце, бо без супроводу наратора можна досягти протилежних ефектів з одним і тим самим візуальним рядом.

Варто зауважити, що перформанс та інсталяція — це два різні поняття у світі мистецтва. Перформанс належить до живої події, під час якої автор(и) представляють свою «роботу» перед аудиторією. Виступи можуть варіюватися від театральних вистав, концертів, танцювальних виступів до живих художніх інсталяцій. Основна увага перформансу здебільшого зосереджена на самих акторах та їхній інтерпретації твору. З іншого боку, інсталяція належить до витворів мистецтва, які призначені для отримання досвіду в певному просторі. Мистецтво інсталяції може приймати різні форми, разом зі скульптурою, відео, звуком або іншими інтерактивними елементами. Основна увага інсталяції переважно зосереджена на досвіді глядача та на тому, як він взаємодіє з конкретним середовищем, у якому вона розміщена. Основна відмінність між перформансом та інсталяцією полягає в тому, що перформанс — це подія в реальному часі, а інсталяція — це витвір мистецтва, створений для того, щоб його відчули в конкретному просторі. Окремо виділимо *AR-декорації*, які можуть використовувати як відеодисплеї, так і оптично прозорі дисплеї, прямі проєкції тощо. Дослідниця Джулі Дорсі (Julie O'B. Dorsey) з Корнельського університету разом з колегами визначає AR-декорації як інтегровані синтетичні зображення в реальних сценаріях [148]. Декорації, як різновид просторової AR, мають свої відмінності. Вони можуть бути як занурювальні, так і не занурювальні, як вбудовані в середовище, так

і відокремлені від нього. Їхня основна особливість — прив'язка до сценарію та синхронізація з діями акторів. Декорація відрізняється від повноцінного перформансу тим, що слугує фоном для розгортання певного сценарію, водночас перформанс і є демонстрацією самого сценарію. Наприклад, як декорації для театральної сцени у «Everyman» та перформанс-анімація «Вторгнення» в мистецькій галереї. Підсумовуючи аналіз інтерфейсів мистецтва, ми виділяємо в них три форми — доповнені декорації, доповнені перформанси та доповнені інсталяції, і відзначаємо, що їхнє подання відрізняється за рівнем інтерактивності, залученням глядачів, участю або відсутністю акторів, наявністю чіткого сценарію або експромту. Зазначимо також, що всі ці напрями створюють «доповнений простір» (або по-іншому «просторово доповнене середовище»).

3.2.2. Характеристики просторово доповнених середовищ.

Просторово доповнені середовища поєднують базову реальність та віртуальні дані, зазвичай методом оптичного змішування. Вони відрізняються за формами (перформанси, інсталяції, декорації) та підходами до подання (інтерактивність, рівень залучення глядачів, участь акторів, формат сценарію). Серед інсталяцій теж виділяємо широку палітру форм: виставки, розповіді, досвід, віртуальні подорожі, простори творчої взаємодії тощо. Однак, попри велике різноманіття, є властивості, за якими можна охарактеризувати всі доповнені простори та класифікувати такі AR-інтерфейси: імерсійність, інтерактивність, змінність, позиція користувача в просторі, напрям сприйняття та масштаб.

У 2018 році агентство «Resn» розробило інтерактивні інсталяції для компанії «Adidas». «Adidas Speedfactory» — це проєкт, що складається із серії інсталяцій для ознайомлення відвідувачів з ключовими підходами компанії «Adidas» і поєднує дані бігунів, дизайн Adidas та локалізовані автоматизовані виробничі лінії для створення персоналізованого взуття прямо на місці. Однією з інсталяцій було «Цифрове дзеркало», що візуалізувало фізичну

присутність глядачів та створювало графічні моделі їхнього тіла з різним рівнем деталей. Стіна з екранами та камерами, фіксуючи фізичні дані глядача, відображала згенерований каркас тіла та графічні сітки з різним рівнем деталей і стилем (іл. Б.3.2.12), від простих точок до 3D-сітки та полігонів. Інтерактивна інсталяція використовувала метафору магічного дзеркала та реагувала на рухи глядачів. Цей проєкт ілюструє першу характеристику доповненого простору — *позицію глядача щодо простору*, який може перебувати всередині або поза установкою. «Цифрове дзеркало» — приклад *інтерактивної інсталяції*, де глядачі залишаються поза віртуальним простором. Вони не впливають на візуальний вигляд навколишнього середовища або вмісту прямо чи опосередковано, але можуть взаємодіяти зі згенерованою цифровою моделлю за допомогою руху та спостерігати за результатом своїх дій на екрані.

Інший приклад від агентства «Resn» та «CP+B» — це інтерактивна візуалізація «Driven By Emotion» для «Pebble Beach Concours d'Elegance Infiniti Pavilion», розроблена 2016 року (іл. Б.3.2.13). Проєкт давав учасникам змогу відчувати водіння автомобіля «Infiniti» через відображення емоцій і реакцій користувача на екрані. Під час демонстрації учасникам пропонували сісти в салон авто, оглянути його та уявити, як вони ним керують, поклавши руки на руль. Датчики, розміщені в салоні, збирали дані про емоції та реакції користувача під час водіння та відображали їх як стильні хвилі, що мали різні форми та кольори, згенеровані відповідно до заданих алгоритмів.

Обидва ці приклади ілюструють отримання особистого досвіду взаємодії з доповненим простором. Вони дають змогу спостерігати за власними емоціями та реакціями, а також за впливом своїх дій на середовище. У проєкті користувач уже не лише спостерігає за результатом своїх дій зовні, а й безпосередньо контактує з об'єктами інсталяції. Цей приклад ілюструє також два можливі *напрями сприйняття* в доповненому просторі. Воно може бути спрямоване на спостереження за почуттями, які сформувалися в користувача у відповідь на оточення або на спостереження за зовнішнім

простором та його розвитком. У прикладі «Resn» поєднані обидва підходи. Поки користувач фізично сидить у справжньому автомобілі та «виражає» свої емоції, «їдучи» всередині інсталяції, він може бачити цифрову візуалізацію емоцій на екрані перед собою зовні.

Важливою характеристикою середовища є відчуття занурення чи присутності. Імерсійне шоу «Dreamed Japan. Images of the Floating World» (Омріяна Японія, образи мінливого світу) було створене студією «Danny Rose» та показане в галереї «Atelier des Lumières» у Парижі 2020 року. Воно пропонує відвідувачам подорож у світ японського мистецтва та майстрів японської графіки. У цьому доповненому просторі всі анімації та переходи точно поєднані в безперервну візуальну подорож (іл. Б.3.2.14-Б.3.2.17) з використанням образів японських гейш, самураїв і духів, натхнених японськими гравюрами, які почали поширюватися в Європі в другій половині XIX століття, коли відкрилася торгівля між Заходом і Японією. Сучасні анімовані графічні композиції, побудовані на класичних творах Хокусая, Кунійоші, Утамаро, Кунісади, неспішно перетікають одна в одну під кропітливо підібрану музику Рюїчі Сакамото, «Моря» Клода Дебюссі, натхненного Великою хвилею Хокусая, та швидкі ритми барабанів. Аспект взаємодії із цією інсталяцією неявний і полягає в подорожі через детально розроблену історію, де глядачі можуть зануритися у цифровий світ і відчути себе часткою показаного. Навіть без активної взаємодії глядачі відчувають свою присутність у розповіді, що створюється навколо них. Імерсійна інсталяція розміщує глядача в середині цифрової сцени, створюючи відчуття присутності в демонстрованому місці, а іноді навіть перетворюючи їх на акторів та залучаючи в історію. Занурення в середовище допомагає легше уявити себе на місці Іншого.

Імерсійний *інтерактивний* простір дає глядачу більше свободи для дій, але зазначимо, що в такому разі учасник менш зосереджений на розповіді, а більше на розвідці простору, наприклад, в інсталяції «Iron Civilization», створеній Ihsu Yoon, студіями «Creative Black» та «Gx lab» для центру

«Park1538» компанії «POSCO» 2021 року. У великому приміщенні виставкового залу глядач блукає в середовищі, створеному проєкцією. Воно наповнене різними кінетичними абстракціями, у яких частинки, з яких вони зроблені, реагують на рухи та змінюють своє положення, форму, колір і дають змогу експериментувати зі швидкістю та переміщеннями (іл. Б.3.2.18, іл. Б.3.2.19). Спостерігаючи за всім із середини, користувачі самостійно переміщуються простором, досліджуючи його реакції.

Відзначимо, неабияку розповсюдженість генеративної графіки серед AR-проєктів, обумовлену потребою інтерактивності та варіативності. Вбачаємо також, що завдяки можливості генерації втрачених фрагментів за допомогою штучного інтелекту (ШІ) [58], в недалекому майбутньому будуть широко розповсюджені і регенеровані ШІ доповнення. Розглянемо приклад генеративного AR. Для Фінської національної опери була створена варіативна імерсійна інсталяція «LAILA» (іл. Б.3.2.20), прем'єра якої відбулася в серпні 2020 року. Авторами проєкту були Еса-Пекка Салонен, Паула Весала, Туомас Норвіо та «Ekho Collective». У цьому проєкті немає глядачів, бо кожен з них стає актором, формуючи реальність. «LAILA» — це щоразу інший, унікальний досвід, і його музика та візуальність розвиваються та змінюються у взаємодії з аудиторією. На початку сеансу обмежена кількість учасників має поспілкуватися із системою та промовити в мікрофон відповіді та повідомлення, що стануть основою для генерації особливого середовища. Після цього учасники потрапляють у напівсферу, наповнену проєкціями та звуками, згенерованими із зібраних даних. Однак генерація не завершується після входу, а рухи людей, їхні дії, і далі формують та змінюють середовище, у якому вони перебувають. Ці два приклади інсталяцій демонструють вплив інтерактивних елементів та занурення в середовище на досвід глядача, роблячи їх активними учасниками та впливаючи на їхнє сприйняття навколишнього світу. Перший приклад має сталий набір сцен для взаємодії, водночас другий створює відмінне середовище для кожного сеансу. У цих прикладах сприйняття учасника спрямоване назовні,

на дослідження простору.

Інший тип взаємодії з простором пропонує «Dromos» — живий аудіовізуальний повнокупольний перформанс, побудований на практиці віджеїнгу (імпровізація з поєднанням звуку та візуальних ефектів), створений композитором Fraction і цифровим художником Маотіком для фестивалю «Mutek» 2013 року. Віртуальне кінетичне середовище було сформоване в сатосфері «Société des Arts Technologiques». Під час перформансу глядачі лежать на підлозі під куполом та спостерігають над собою абстрактну аудіовізуальну послідовність, спрямовану на те, щоб викликати в них якісь почуття та відчуття (іл. Б.3.2.21). «Dromos» використовує контрастнішу, часто монохромну, геометричну графіку, абстрактні форми та динамічні трансформації, часом навіть бентежні. На відміну від попередніх перформансів-середовищ, цей приклад більше відповідає *інсталяції занурювального досвіду*, який вимагає набагато менше руху чи дій від глядача, а більше сприйняття і навіть саморефлексії в просторі. Як бачимо, доповнені перформанси часто покладаються на генеративну графіку та анімацію, на кінетичні трансформації, перетворення. Усі розглянуті перформанси роблять переходи між графічними сценами, якщо не безшовними, то хоча б поступовими. Важливу роль відіграє музичний супровід. Маючи домінантну роль, він підпорядковує собі алгоритмічно згенеровану графіку відповідно до ритму та тону музики, а в додатковій ролі синхронізований за настроєм зображуваного та ритмами анімації. Ми узагальнили властивості просторів у проаналізованих проєктах у таблиці А.22 та підсумовуємо виклад спільних характеристик виділених у доповнених просторах.

Імерсивність — це характеристика простору, що визначає, наскільки глибоко глядач занурюється в інтерактивне середовище. Імерсійні простори створюють відчуття присутності та участі в доповненому світі, то неімерсивні дають змогу спостерігати ззовні без відчуття активної участі. Інколи ще виділяють напівімерсійні [113, с. 6; 112, с. 7], наприклад: доповнені столи, лави, стенди. Вони наче і створюють враження, що об'єкти, відображені у них,

розташовані в просторі поряд з глядачем, але водночас не оточують глядача на 180/360 градусів та є невеликі за масштабом до користувача.

Інтерактивність в цьому поділі означає можливість або неможливість взаємодіяти з SAR у режимі реального часу та впливати на неї. Рівень інтерактивності може змінюватися від спостереження без взаємодії до активної участі з можливістю впливати на події. Тісно пов'язана з інтерактивністю і роль користувача, яка може суттєво відрізнитися залежно від проєкту. Основні ролі це: глядач, діяч, редактор, творець. Вони прямо пов'язані з тим рівнем інтерактивності, який пропонує AR система. Одна з особливостей AR-технологій — це їхня здатність розширювати досвід та стирати межі не лише між віртуальним і реальним, а й між спогляданням та інтерактивним досвідом.

Змінність відповідає за те, чи є в доповненому просторі варіативність. Змінні простори можуть використовувати унікальні згенеровані варіації простору або попередньо визначені (створені) комбінації простору, що відрізняються від сеансу до сеансу. Протилежні їм, постійні простори, використовують заздалегідь визначений вигляд, що не змінюється від сеансу до сеансу. Не варто плутати постійний простір зі статичним, у якому не відбувається розвитку чи зміни сцен.

Позиція спостереження поділяється на позицію всередині простору та зовні. Напрямок сприйняття відповідає за те, на що спрямована увага глядача. Якщо сприйняття спрямоване на досвід, то це означає, що на перший план виступають особисті переживання, внутрішні відчуття та почуття або реакції на оточення. Якщо більше на навколишнє середовище, це означає, що глядач отримує нову інформацію із зовнішнього світу, через спостереження за простором або сприйняття історії.

Доповнена реальність дуже відрізняється за форматом дисплея та масштабом графіки в різних проявах. *Масштабність дисплея*, порівнюючи з розміром глядача, варіюється починаючи від мініатюрних екранів телефонів та закінчуючи купольними залами, велетенськими просторами чи проєкціями

на споруди або спеціальні конструкції. *Масштабність задіяних цифрових даних* у доповненому просторі варіюється від невеликого предмету, до системи залів або цілого доповненого світу. *Масштаб наповнення* може відповідати реальному масштабу (один до одного, який мають вигляд речі в реальному світі) чи може бути зміненим. Відчуття зменшеного чи збільшеного масштабу досягається завдяки тому, що є певна пам'ять щодо відчуття того, яким має бути масштаб об'єкта в реальному світі, тобто фантазійні та вигадані речі можуть сприйматися як масштабовані, коли матимуть реальний аналог для порівняння.

Окремо варто виділити наративи, за якими побудований кожний з проєктів. Роль наративу є важливою, оскільки він визначає сюжетність, структуру та спосіб взаємодії з доповненим середовищем. Наратив «Adidas Speedfactory» розкриває технологічний прогрес та перетворення у виробництві спортивного взуття. Він допомагає організовувати досвід користувача, надати інформації та подіям логічний порядок, проводячи його від контейнера до контейнера. «Driven By Emotion» спирається також на інновації, але покладається на чуттєву інтеракцію. Наратив покликаний допомогти зрозуміти, як технологія може реагувати на емоції та стимулювати взаємодію. Спонукаючи до фізичного контакту з авто, збільшується відчуття присутності користувача в доповненому світі, роблячи його частиною історії. У «Dreame Japan» подорож до світу японського мистецтва втілена в буквальній подорожі простором, спрямована безслівною розповіддю, що побудована на зміні аудіовізуальних образів, переплєтених та розподілених у структурованому середовищі, яким просуваються глядачі. Завдяки словесному супроводу, що розказує історію про сталь у «Iron Civilization», глядачам запропоновано підказки щодо інтерактивних можливостей, фіксуючи шляхи взаємодії з доповненим середовищем. «LAILA» побудована на ідеї відчуття співпраці, персональності та контролю над середовищем. Її наратив орієнтований на створення унікальних та динамічних досвідів. Разом із «Dromos» вони пропонують також зануритися в інший світ,

побудований за певними законами. Узагальнюючи, наратив у доповненій реальності визначає спосіб, яким користувачі взаємодіють з оточенням, розуміють його, а також відчують з ним емоційні та інтелектуальні зв'язки.

3.2.3. Принципи покладені в основу лудичних AR-інтерфейсів.

Лудичні або розважальні, ігрові інтерфейси стосуються інтерфейсів користувача, які за своєю природою створені для розваги або гри. Їх часто використовують в інтерактивних цифрових медіа, таких як відеоігри чи освітні програми, щоб залучити користувачів у веселу та розважальну форму, і одночасно передати важливу інформацію чи нові навички. Слово *лудичний* походить від *ludic* та означає грайливий, розважальний, яке, у свою чергу, походить від лат. *ludus*, що стосується цілого ряду веселих речей — сценічних шоу, ігор, спорту, навіть жартів [257]. Термін «Лудичний дизайн інтерфейсу» вперше використав 2002 року Вільям Гавер у статті «Проектування для Homo Ludens», де автор звертається до вислову Дж. Хейзінги «Homo Ludens» (люди, як грайливі істоти) в одноіменній книзі 1950 року [177]. Він протиставляє грайливі інтерфейси формальним та чітко утилітарним і просуває погляд на гру, як важливий спосіб залучення та пізнання світу та самих себе. Цей погляд перетворився на окремий напрям HCI-взаємодії, і наразі термін «лудичні інтерфейси» описує дисципліну, зосереджену на інтерфейсах користувача, які за своєю суттю є «ігровими» (але, що важливо, не обмежуються тільки іграми, а поширюють ігровий підхід на будь-які сфери діяльності).

Тоді як і до появи терміна «розважальний інтерфейс» розроблялися інтерфейси ігор та розважальних програм, але з виділенням окремого напрямку, ідея про те, що не тільки ігри, а й утилітарні інтерфейси можуть бути чимось більшим, ніж закладені в них функції, отримала увагу та розвиток. Розважальні інтерфейси приймають різні форми і взаємодія в них варіюється, від простих натискань кнопок до складних завдань з вирішенням головоломок, а для розроблення звертаються до підходів з дизайну відеоігор, інтерактивних медіа, культурної модифікації та соціальних мереж. Виділяємо декілька

основних принципів, які лудичні інтерфейси застосовують: гейміфікація, вбудованість елементів управління, мультимодальний зворотний зв'язок, ігрова імерсійність, простота використання та контроль.

Принципи гейміфікації передбачає введення в інтерактивну систему елементів ігрового дизайну, в неігровому контексті для мотивації та залучення користувачів. Серед підходів: виклики, винагороди за дії, відгуки, ігрові механіки, система балів та рівні прогресу. Наприклад, AR-полювання може бути розроблено так, щоб користувачі заробляли бали за пошук певних об'єктів. Такі ігри, як «Pikmin Bloom» (іл. Б.2.3.26) чи «Pokemon GO», буквально заохочують людей ходити вулицями та вишукувати аватарів, а «HotStepper» (іл. Б.2.3.25) робить слідування за навігатором веселішим. Звісно, не кожний досвід доповненої реальності однаковий, і перегляд того самого застосунку через телефон та окуляри буде справляти різне враження, однак, гейміфікація все ж робить досвід з AR привабливішим та веселим.

Виклики та відгуки. Під час Тижня моди 2019 року в Нью-Йорку компанія «New Balance» розробила проєкт «Exception Spotting», який став справжнім викликом для перехожих. Компанія поставила за мету відзначити людей, які виражають себе особливим чином та стильно чи цікаво вдягаються. Для цього завдання було створено ПЗ, яке виявляє найпоширеніші комбінації одягу та шукає унікально одягнених людей. Використовуючи відеовітрини та систему комп'ютерного зору, програма виявляла незвичні комбінації одягу та через 2 секунди висвітлювала їх на своєму екрані як відеофрагменти, відзначаючи стиль людини (іл. Б.3.2.22). Візуальне оформлення було мінімалістичне, з графікою та написами, контрастними до тла відео. Під час промокампанії система привернула до себе увагу багатьох перехожих та спонукала їх позмагатися за визнання. Принцип винагороди часто використовують, щоб зробити повсякденні завдання більш приємними та захопливими, як, наприклад, фітнес-трекер, який дає кольорові цифрові наліпки за досягнення щоденної цілі кроків.

Система рівнів. Підхід полягає в розробленні серії рівнів, складність

яких поступово зростає. Це спрямовує процес навчання або отримання певного досвіду. Кожен рівень дає змогу користувачеві адаптуватися до вимог і складності та поступово готує до важчих завдань, створюючи відчуття прогресу й виклику без надмірного навантаження. У застосунку для бігу «AR Runner» від «Semidome Inc» бігову активність перетворено на серію рівнів і завдань, які урізноманітнюють процес бігу (іл. Б.3.2.24) та роблять його ігровим (активація точок за визначений час, уникання ворогів, різні бігові треки й таблиця лідерів). Увесь інтерфейс максимально мінімалістичний і використовує простір для розміщення навігаційних підказок, точок старту, фінішу та чекпойнтів. Обрані кольори — яскраві та максимально контрастні (білий, червоний, блакитний) для того, щоб їх було добре видно на вулиці і зрозуміло, які з точок уже були активовані.

Ігрові механіки — це основні правила та системи, які керують роботою гри. Правила, які діють щодо руху, взаємодії та зворотного зв'язку. AR-гра, що має реалістичну фізику, дає змогу віртуальним об'єктам взаємодіяти з реальним світом більш переконливо, або навпаки імітує портал у фантазійний світ зі своїми законами та поведінкою. Розглянемо кілька прикладів, що ілюструють створення світів з власними правилами. Компанія «Google» у співпраці з актором та музикантом Чайлдіш Гамбіно (Childish Gambino) 2019 року випустила спеціальну творчу «лінзу» для своєї камери у смартфонах «Pixel» (іл. Б.3.2.25). Вона пропонувала подорожувати всесвітом митця під мелодію його останніх треків. Досвід починається з відкриття порталу, який приводить до різних місць, де можна знайти різні приховані об'єкти. Інший експериментальний проєкт від дизайнера «BlacknBear», пропонує зазирнути в космічний корабель (іл. Б.3.2.26) та дослідити його. Тема порталів цікава тим, що на тому кінці порталу може бути що завгодно як за стилем і жанром, так і за можливостями. А метафора порталу створює зрозуміле когнітивне обґрунтування такому «магічному» перенесенню.

Слід зазначити, що зміщення досвіду користувача за межі традиційних інтерфейсів пов'язане із застосуванням *принципу вбудованого розміщення*

елементів управління, за яким вони стають частиною основного робочого середовища. Проєкт «Space Age Tool for the DJ» («Postvinyl») [272] від Матіаса Фукса (Mathias Fuchs), Оллі Фарші (Olly Farshi) та Енді Одія (Andy Odia), який був представлений на «Resfest» 2005 року, відображає, наскільки експериментальними та новаторськими бувають лудичні інтерфейси. Цей проєкт спрямований на розроблення інструментів для діджеїв космічної ери (іл. Б.3.2.23). У представленій версії користувач отримує тривимірний світ, який містить програвачі, платівки, конверти та постери, які можна переглядати й активувати на розсуд віртуального діджея, а також виконувати скретч (спосіб ручної зміни швидкості відтворення вінілових дисків у зчитувальних головках на поворотному столі для вироблення спеціального звукового ефекту). Простір для роботи зі звуком побудований як 3D-середовище, у якому переміщується аватар діджея, озброєний звуковою рушницею — інструментом для випромінювання своїх звуків. У процесі роботи діджей забирається на тривимірні програвачі для управління платівкою, активує семпли-плакати та збирає ефекти, які є набоями для його звукової рушниці. Цей проєкт поєднує цифрову станцію діджея з елементами дослідницького 3D-шутера з тунелями й коридорами. Як зазначають самі автори, «гра знову канібалізує комерційні мейнстрімні ігри: концепція зброї підхоплюється та перетворюється на музичний інструмент» [272].

В ході дослідження було виявлено, що підходи щодо оформлення екранних елементів керування до AR перейшли з тривимірних ігор, та доповнилися використанням фізичних елементів. У 2021 році компанія «LEGO» випустила лінійку наборів «LEGO VIDIYO», яка спонукає на створення музичних відео з ігровими фігурками. У процесі гри використовується спеціальна сцена, індивідуальні фігурки «члени музичної групи» (BandMates), спеціальні квадратні блоки «ударні біти» (BeatBits) та колекція музики від «Universal Music». Кожна фігурка має якісь особливості та ефекти, відповідає за певний жанр і має унікальні танцювальні рухи. Ударні біти дають змогу залучати й контролювати обрані цифрові ефекти: стилі

музики, графічні та звукові ефекти, рухи персонажів. Кожний квадратний біт — це один цифровий ефект, що буде доступний під час знімання кліпу. Під час гри гравець сканує наявних персонажів (іл. Б.3.2.28) та зібрану музичну сцену, на яку прикріплені блоки ударних бітів (іл. Б.3.2.29), а інтерфейс підказує, як розмістити камеру. Після сканування (іл. Б.3.2.30) він може знімати кліп з обраними фігурками в просторі, а в екранному полі з'являться кнопки управління ефектами (іл. Б.3.2.31), відповідно до обраних блоків. У грі присутня система оцінювання кліпів та соціальна взаємодія з іншими гравцями. На відміну від повністю цифрових інтерфейсів у комп'ютерних та мобільних іграх, AR дає змогу винести частину елементів управління у фізичну площину та зробити їх ще більш інтуїтивними та простими.

Мультимодальний зворотній зв'язок. Використання візуального, слухового та тактильного зворотного зв'язку повідомляє гравцю, як його дії впливають на світ гри, а також, пов'язане з підвищенням відчуття ігрової імерсійності. Для доповненої реальності основною дією є рух, який, навіть без залучення жестів, дає змогу управляти інтерфейсом. У прикладі використання застосунку «Blippar» показано ознайомчий тур робочим офісом, який проводять для нового співробітника (іл. Б.3.2.27) маленьким віртуальним роботом, що літає поряд. Він привертає увагу різними звуками та анімаціями, а за наближення до різних зон (кафетерію, офісів, кімнати відпочинку, зали тихої роботи), коментує та виконує тематичні анімації. Рух офісом відбувається за розміщеною на підлозі трасою подорожі, а навколо розташовані різні «цікавинки», наприклад, таблиці рекордів, поточні «королі» офісу тощо. Це приклад того, як ненав'язливо ввести людину в курс справ у дружній та ігровій формі і залучити різні модальності для підвищення реалістичності доповнення.

Ігрове занурення, імерсійність. Інтерфейс має допомогти занурити гравців у світ гри та створити відчуття присутності та залучення. Це може охоплювати використання 3D-графіки, навколишніх звуків та інших сенсорних елементів, а також тематичної візуальної підтримки

з використанням цифрової графіки і реальних об'єктів. І тут йдеться не про імерсійні проєкти, які на 360 градусів фізично розміщують користувача у свій простір, а про деталі, що роблять досвід більш переконливим та правдоподібним. У мініпроєкті від «Pulse Studio LLC» та «ACME Design Inc», який було представлено на «ExhibitorLive» 2019 року, було продемонстровано поєднання стилізованого справжнього яйця та AR, у якому з нього виринає прибулець (іл. Б.3.2.37). Незважаючи на простоту ідеї, вона була підтримана продуманими деталями. Тематично оформлений чохол планшету, яким сканували яйце, був надрукований на 3D-принтері, розфарбований та текстурований. Дизайн «HUD»-інтерфейсу підтримував тему технологій, зображав неоновий космічний інтерфейс дослідницького пристрою. Такі деталі дали змогу користувачам легше зчитати наратив дизайнерського проєкту.

Принцип простоти використання вбачає, що інтерфейс має бути інтуїтивно зрозумілим, даючи змогу користувачеві зосередитися на своєму ігровому досвіді, а не на навігації інтерфейсом і здогадках щодо його роботи. Це зумовлює також створення чітких та лаконічних інструкцій і зрозумілих піктограм. У AR-застосунку «Vuforia Chalk» мінімум елементів управління, але це тільки допомагає сфокусуватися на основному (іл. Б.3.2.34). Він використовується для дзвінків і спілкування через камеру для віддалених консультацій та дає змогу показувати вид з камери й малювати помітки, враховуючи їхнє розташування у просторі. Крім основного виду, на екрані відбито кнопку завершення розмови, аватар співрозмовника, кнопку меню та скасування, для видалення внесених змін. Усі елементи максимально лаконічні та намагаються не перекривати основний вид.

У компанії «ІКЕА» виявили, що 14 відсотків [208] їхніх клієнтів купують меблі невідповідного розміру. Відповідно, у 2016 році дизайнери компанії розробили каталог з доповненою реальністю, який дав змогу зняти цю проблему. Для того, щоб побачити та приміряти обрані меблі в реальному масштабі, користувачі мають покласти каталог у просторі та відсканувати

його в застосунку (іл. Б.3.2.35, іл. Б.3.2.36). Завдяки тому, що каталог має фіксований відомий розмір, масштаб усіх меблів автоматично підлаштовується під нього, забезпечуючи коректний розмір моделей у просторі. Інтерфейс використовує ненав'язливі монохромні елементи, які підказують місце розташування обраного предмету, а вся взаємодія відбувається простим перетаскуванням предметів пальцями. Як бачимо, навантаження застосунку десятками різних функцій не завжди необхідне. У рішеннях, які добре виконують *одне головне завдання*, є чудовий потенціал, а фокус на основній функції дає їм змогу відточити деталі та зробити взаємодію простою та зручною.

Принцип контролю вказує на те, що інтерфейс мусить давати змогу користувачам контролювати гру та свій досвід, полегшувати процес вибору і прийняття рішення. У AR-грі «Angry Birds AR: Isle of Pigs» гравець може управляти рогаткою, щоб збивати віртуальні конструкції. Розробники максимально вбудували всі елементи гри в простір, використовуючи тривимірні індикатори, панелі та кнопки (іл. Б.3.2.32, іл. Б.3.2.33). На відміну від інших двомірних ігор серії, у цій версії гравець бачить усе від першої особи, тримаючи в руці віртуальну рогатку, управління якою інтуїтивно зрозуміле, та формує стратегію гри. Він має також змогу обійти навколо конструкцію, яку треба зруйнувати, та роздивитися сцену.

У застосунку «PaperBots» (іл. Б.4.1.8), створеному для навчання дітей програмуванню та створенню персоналізованих паперових роботів, органічно поєдналися всі проаналізовані принципи ігрових інтерфейсів. Образно-стилістичне підтримання інтерфейсу, подібного до паперових елементів управління, буквальні асоціації з креслярським столом завдяки текстурам та кольорам (принцип імерсійності). Використання простих та зрозумілих піктограм і кнопок, які дають змогу швидко розібратися з інструментами (принцип простоти). Можливість поступового ускладнення завдань у процесі навчання та компонент змагання з іншими папероботами в перегонах (принцип гейміфікації, використання рівнів складності). Як бачимо,

впроваджуючи перелічені принципи ігрового дизайну в доповнену реальність, дизайнери створюють привабливіші, інтерактивні та захопливі доповнені застосунки, які є водночас змістовними й веселими.

3.3. Дизайн контенту доповненої реальності

3.3.1. Об'ємно-просторовий дизайн контенту. Контент (вміст) у доповненій реальності має особливий стан. У доповненій реальності відсутній суворий поділ між візуальним вмістом та елементами управління, як це буває в багатьох інших цифрових продуктах, і інтерфейс може бути інтегрованим у тривимірні об'єкти та простір.

Варто зазначити, що образно-стилістичні характеристики графіки в AR надзвичайно різноманітні. На сьогоднішній день можна виявити чотири види використання базових комбінацій основи та накладеної графіки, серед яких:

- а) двовірна основа та двовірна графіка;
- б) двовірна основа та тривимірна графіка;
- в) тривимірна основа та двовірна графіка;
- г) тривимірна основа та тривимірна графіка.

Також використовуються їхні складніші комбінації, в яких одночасно використовуються обидва види. Ми переконані, що крім того, вибір виду графіки та стилю в дизайні AR продиктований, зокрема, такими умовами, як потреба відповідності чи відмінності стилю щодо основи (об'єкту накладання). Гармонійне поєднання основи та графіки дає змогу обережніше доповнити об'єкт, зменшити відчуття інеродності. Навпаки, використання прийомів контрасту щодо стилю, графічної або цифрової форми, відставляє основу на задній план, робить її фоном для віртуального контенту, а нерідко й зовсім витісняє із зони уваги. Обидва підходи знаходять своє застосування відповідно до завдань та задуму дизайнера.

В ході дослідження відмічаємо, що виникає потреба у вдумливому проєктуванні композиційної побудови тривимірної сцени в AR, адже

змінюються підхід до огляду сцени та видимості зон. Мізансценування — це процес вибору та організації образів, об'єктів та елементів у кадрі для створення візуально привабливого і ефективного зображення [5]. Воно охоплює такі аспекти, як композиція, кут зйомки, ракурс, розташування об'єктів, використання простору та інші візуальні елементи, що впливають на спосіб сприйняття та сприйняття глядачем кадру. Часто в AR не спостерігаємо фіксованих ракурсів і користувач може вільно переміщуватися для огляду (див. додаток Д.3). За рахунок цього зміцнюється роль сцени в просуванні історією. Вона перетворюється на інструмент для візуальної оповіді, але без прийомів монтажу в середині однієї сцени. Утім, дизайнеру доводиться балансувати між потребою створити цікавий для перегляду світ та виваженим підбором об'єктів, зважаючи на обчислювальні обмеження.

Розглянемо найбільш примітні композиційні засоби, що використовують в побудові AR-сцени: баланс, візуальна вага, контраст, нюанс, глибина, масштабність, — та освітлення. Усі об'єкти в сцені мають певне положення в просторі та утворюють просторові взаємозв'язки, за принципом підпорядкування. Добре збалансована сцена відчувається стабільною та гармонійною. Цього досягають за допомогою розподілу візуальної ваги, на яку впливають такі чинники, як розмір, колір і текстура. Гармонізувати візуальний ряд допомагає засіб контрасту. Він дає змогу створити в AR відчуття ієрархії, привернути увагу до конкретних елементів і спрямувати погляд, створити візуальний інтерес. Елементи контрастних кольорів стають більш помітні та привертають більше уваги. Контраст яскравості дає змогу керувати позицією, коли світліші елементи виглядають ближче, а темніші — далі. Контрастні текстури дають змогу розрізнити різні об'єкти в сцені. Текстура також може слугувати ознакою глибини, коли вдалині об'єкти виглядають більш згладженими та менш деталізованими.

Водночас як свідчить аналіз візуального матеріалу, нюанси кольору, форми, фактури, текстури, розміру тощо використовуються для того, щоб зробити сцену більш різноманітною та цікавою. Невеликі відмінності дають

змогу зменшити відчуття штучності та неприродності. Проте, відмітимо, що демонстрація «ідеального клонування» може бути візуальним прийомом оповіді, який посилює напругу задуму автора чи підкреслює монотонність. Пропорції об'єктів допомагають також створити відчуття гармонії та рівноваги або дисбалансу чи розриву між об'єктами. Вони визначають співвідношення розмірів між об'єктами в сцені, а також з реальними об'єктами. Прийом пропорційності виявлено в таких характеристиках: розмірах об'єктів порівняно один до одного; в пропорційному розподіл простору у сцені, де більшим об'єктам надається більше місця; у використанні перспективи для впливу на розмір і пропорції об'єктів у сцені. Крім того, для досягнення більшого ефекту глибини об'єкти можуть бути запропоновані як гіперболізовано зменшені або збільшені, ніж мають бути на певній відстані. Обмежена кольорова палітра, використання подібних або повторюваних форм, збереження пропорцій та розмірів об'єктів у межах сцени, узгоджене розміщення — усе це допомагає підтримувати цілісність, оскільки об'єкти виглядають як такі, що належать до однієї візуальної системи. Візуальна ієрархія дає змогу створити чіткий візуальний шлях або спрямувати увагу користувача на певні елементи. Об'єкти, які розташовані ближче до центру або вище у візуальному просторі, виглядають більш помітними у загальній запропонованій автором композиції.

Глибина є важливою характеристикою композиції AR-сцени. Її сприйняття передбачає врахування розміщення об'єктів відносно одне одного у трьох площинах, а також використання переднього, середнього та заднього планів для створення відчуття глибини та скеровування уваги глядача. Воно базується на особливостях сприйняття, сенсорних підказках та минулому досвіді (табл. А.34). Його посилює перекриття об'єктів один одним, а також розміщення віртуальних об'єктів попереду або позаду реальних. Ефект паралакса, коли положення віртуальних об'єктів змінюється залежно від точки огляду, надає відчуття різної відстані до глядача. Додавання тіней стає когнітивною підказкою щодо розміщення віртуального об'єкта

відносно поверхонь та інших об'єктів. Світло та тіні дають змогу зробити сцену об'ємнішою та приховати пустоту, виділити акценти, задати настрій, атмосферу. У найпростішому разі, світло взаємодіє з об'єктами, створюючи тіні та відблиски, які допомагають сформувати світло-тіньовий малюнок, щоб визначити форму. Використання реалістичного освітлення допомагає створити більш правдоподібний досвід AR, але має свою ціну та вимагає потужних обчислювальних можливостей. М'яке розсіяне освітлення потребує менше ресурсів і допомагає створити більш природну та вірогідну атмосферу. Хоча здебільшого освітлення намагається підлаштуватися під поточні умови, щоб краще змішатися з оточенням, у певних ситуаціях воно може бути інструментом оповідання, посилюючи драматизм фантазійної сцени. Підсвічуючи та затіняючи об'єкти через спрямоване освітлення, можна додати сцені глибини, а використовуючи в сцені очевидне джерело світла, легше обґрунтувати відмінні від реального освітлення відблиски та тіні.

Підсумовуючи, дизайн сцен для доповненої реальності будується на загальних правилах композиції (єдності й цілісності, домінанти, рівноваги, пропорційності, підпорядкування) та враховує глибину, об'єм і просторові співвідношення між об'єктами. Добре мізансценовані кадри мають сильніший вплив на глядача, підкреслюючи основний об'єкт або ідею, створюючи баланс або нерівновагу, передаючи настрій, створюючи глибину та рух, показуючи відношення між об'єктами тощо. Щоб досягти бажаного результату, враховують те, як об'єкти сприймаються в об'ємі та масі, як взаємодіють один з одним у просторі, які мають характеристики матеріалів, прозорості та освітлення.

Розроблення дизайну доповненої реальності невід'ємно пов'язане також з вибором сюжетних засобів анімації, визначенням ролі та формату її подання. У певних проєктах доповнення може обмежитися накладанням статичного контенту, як у конструкторських застосунках, віртуальних примірювальних тощо, але в переважній більшості проєктів контент побудований на використанні анімованих елементів, що оживляють зображення або

повноцінних анімованих сцен. Ми поділяємо контент доповненої реальності за роллю, яку він відіграє: *незалежною* чи *доповнювальною*. Концептуально незалежна роль передбачає використання середовища переважно як плацдарму для розміщення віртуального контенту. Доповнювальна ж роль базується на наявному об'єкті, вибудовуючи свою цінність навколо нього. Роль пов'язана власне з вибором сюжетного формату AR, який залежить від основної концепції і складається із циклічних, замкнених анімаційних сцен; з історій, що мають початок та кінець; або ж з комбінування обох форматів у складніших ситуаціях.

У циклічному сюжеті вбачаємо свої переваги — можливість початку перегляду з будь-якого моменту та короткий час перегляду. Історії (лінійний сюжет) зазвичай потребують перегляду від початку до кінця, містять поступовий розвиток персонажів і менш приривчені до перегляду з будь-якого місця. Рішення з повноцінними AR-історіями є, і вони відрізняються складним продуманим сюжетом, наприклад, як у проєкті «Wonderscope» (іл. Б.3.1.1) [216] з різними розважальними та повчальними оповідями для дітей. Такі історії будуються на засадах класичного сценарного розвитку, який містить зав'язку, дію, кульмінацію та розв'язку, а також закладений драматичний прийом, зокрема конфлікт або протиріччя. AR-історії — це не просто анімації в просторі чи «просторові мультфільми», а складніші мультимедійні проєкти, що пропонують користувачеві можливості взаємодії. Їхня сценарна структура теж містить сцени з нюансними, циклічними анімаціями. Такі рішення найчастіше використовуються вдома або у приватному просторі та передбачають довгий час взаємодії. AR займає в них незалежну позицію і використовує об'єкти-прив'язки лише для активації, а навколишній простір для розгортання віртуальної сцени, яка з ним може бути ніяк не пов'язана.

Водночас доповнювальна роль AR, яка виявляється в застосуванні контекстних, нюансних анімацій до наявних об'єктів, знайшла своє застосування в багатьох сферах. Вона часто стає вибором дизайнерів і митців.

Одна з причин такої популярності — порівняна легкість створення доповнень, на відміну від проектування повноцінної історії. У цьому тандемі дизайн та мистецтво стають частинами цілого — нового інтерактивного мультимедійного продукту. Прикладом такого тандему є проєкт «Автопортрет із яблуком. Самопрезентація міфу», куратором якого став Є. Котляр. Цей проєкт об'єднав творчість двадцяти чотирьох мисткинь, вихованок кафедри монументального живопису ХДАДМ та анімації, розроблені для перегляду в AR, студентів кафедри мультимедійного дизайну під керівництвом М. Опалєва, С. Кліманова та Г. Пегахіної.

На прикладі цього проєкту можна розглянути *ідею, концепцію та сценарій* — основні сюжетні складники, що застосовуються в процесі створення анімації [70], а також анімаційні прийоми. Ідея автора твору є непорушною, бо твір — це художнє узагальнення та втілення власного бачення себе і кожний автор закладає певну символіку та емоцію в нього (свідомо чи несвідомо). Однак дизайнер-аніматор розширює зміст роботи, вводячи акценти та використовуючи ті прийоми, які, на його думку, відповідні та прийнятні в контексті твору. Ідея анімації стає суб'єктивним прочитанням у часі, динаміці, звучанні, драматургії. Вона формулює, *що* має показати анімація, до чого привернути увагу глядача та виділяє основні й другорядні об'єкти. Рух привертає більше уваги, ніж статичне зображення, й залежно від того, що саме буде анімовано, може змістити на нього фокус сюжету. Відмічаємо, що анімація може підтримати основний задум твору, розкрити побічні сюжетні лінії чи змінити трактування частково або повністю.

Зазвичай, після формування ідеї, форму її вираження визначають в концепції, яка розкриває, якими художньо-проєктними, анімаційними засобами, технологіями буде показано ідею. На цьому етапі головна ідея дизайнерської розробки набуває матеріальної форми. Визначаються види анімації, що будуть задіяні для реалізації дизайнерського продукту. Сценарій — чіткий план втілення концепції. Він може містити як нюансні анімації у межах однієї сцени, так і повну зміну сцен та видових планів. Дизайнер-

аніматор нерідко домальовує елементи, яких бракує для створення анімацій. Покроково розробляється візуальне оповідання. Його основу становить художній твір, але саме через рух розкривається анімаційна історія. Обов'язковою вимогою є розрахунок часу і послідовності дій. У процесі розроблення сценарію, особливо для коротких анімацій, значна увага приділяється безшовному переходу між кінцем та початком дизайнерського продукту. Це дає змогу циклічно програвати анімацію та розглядати ті її фрагменти, які не були помітними під час першого перегляду.

Проаналізуємо для прикладу одну з робіт проєкту — «Знайдення» (іл. Б.3.3.2), авторка Погребняк Євгенія, анімація — Анна Маслова. Ідея твору з'явилася на світ разом з донькою художниці, Аліною. «До дива важко готуватися, але на нього треба чекати і вірити. І тоді воно неодмінно з'явиться», — коментує Є. Котляр. Анімаційна ідея — показати момент очікування та тепло, що супроводжує його. Концепція анімації — засобами 2D-анімації та ефекту часток посилити казкову атмосферу та ніжність зображеного моменту, а також привернути увагу до яблука на полотні. Згідно зі сценарієм, на пастельному фоні з обрисами рослин та гілок, який просвічується, бачимо оголену жінку з довгим волоссям, яке її вкриває. Вона дивиться вбік у роздумах, інколи поглядаючи до низу на руки. У її руках, які трохи коливаються, балансує невеличке яблуко, яке по черзі то сильніше світиться із середини, то затихає.

Усе це супроводжують білі хмаринки-пилінки, які розлітаються з картини навсібіч та виходять за межі площини. Для врівноваження анімаційної композиції задній план також анімований через деформації та викривлення, коливання зображення. Анімацію супроводжує об'ємна, прониклива фортепіанна мелодія з високими нотами. Використані прийоми: площина та простір, нюансна анімація в межах однієї сцени (вузлова: анімація, руки то наближуються одна до одної, то розходяться; ефекти: світіння за допомогою кольорового ореолу, підвищення насиченості та яскравості, метаморфози форми, статичний відеоряд, цифрові ефекти). Обраними

прийомами дизайнер-аніматор посилює заданий у роботі мотив, спрямовує увагу до рук, що коливаються й об'єкту, який вони тримають. Решта анімацій носять підтримувальний, другорядний характер.

Особливістю анімації, побудованої на основі прийому нюансних відносин між рухомими частинами є міцний зв'язок зі статичним зображенням (або об'єктом), що доповнюється. Він стає основою для сюжету. Завданням такої анімації стає розкриття рухів, що закладені в зображення. Дизайнер визначає можливі анімаційні прийоми, аналізуючи наявне зображення: напрями ліній, спрямованість композиції, форми об'єктів, асоціації, образи, символи, буквальні зображення — усе може дати натяк на розвиток руху. У роботі «Прикраси Єви» (іл. Б.3.3.3), авторка Анна Кругляк-Дрига, анімація — Діана Ляшенко, концепція твору — краса, як вона є. Її підтримує концепція анімації — засобами 2D-анімації та візуальних ефектів розкрити тему краси та привабливості, де золоті кольори візерунків та яскраві світлові ефекти підкреслюють та символізують життєву силу, красу, теплоту та велич. Розміщені на фоні візерунки та закручені узорі стають основою для анімації, підкреслюючи напрямки руху спіралей, вертикальних ліній. З нижнього краю сукні розгортається гілочковий візерунок, що прикрашає поділ, зап'ястя та комір. Візерунком підіймаються світлові частинки, що рухаються до яблука та зникають у ньому. Вертикальний рух доповнюють і золоті краплі подібні до ліній та крапок, що падають на фоні. Акомпанує анімації химерна, грайлива, інтонаційно-ритмічна музика, що вторить ритму рухів. У роботі «Дощ після довгої зими» (іл. Б.3.3.4), авторка Ірина Шматова, анімація — Катерина Богодюк, основою для анімаційної ідеї стають зображені пташки. Розміщення пташок, їх ракурс та напрямок погляду задають напрямок анімацій, рухи відповідають анатомічно відповідним. Їхні стрибки переривисті та гнучкі, а трепетання крильцями швидко та переривчасте. В анімації задіяні звукові ефекти подібні до щебету пташок, цокотіння капців та шелесту крилець.

Інше завдання, що вирішується завдяки анімації — це наповнення «життям». Такі прийоми бачимо в роботі «Зрілість» (іл. Б.3.3.5), авторка Юлія

Ландіна, анімація — Дар'я Пугачова. Ідея твору — «роздуми про час, життя та його сенс. Стиглий плід природно падає з гілки, але, щоб визріти, йому треба дозріти» — каже авторка. Дизайнер підхоплює цей настрій і під нескінченний дощ за вікном показує історію довгого очікування сонця і радості, що неодмінно прийде. Спершу сцена поступово наповнюється елементами, а коли з'являються стиглі яблука, усі додані об'єкти вилітають зі сцени як елементи декорацій у театрі. Між прийомів для наповнення «життям» можна побачити явища та звуки з навколишнього світу, наприклад, невеликі коливання трави, листя чи тканини від подиху вітру, а також, надання природності живим істотам, наприклад, людям, тваринам, комахам тощо. Особливо це стосується людських облич, завмерлість яких в анімації швидко зчитується. Щоб цьому завадити, додається анімація моргання, підмигування, усмішки, мімічні рухи тощо. Влучно це подано в роботі «Таємниця імені» (іл. Б.3.3.6), авторка Анастасія Молдаван, анімація — Ірина Безкровна. Для анімації очей часто обирають покадрову анімацію, яка не залучає інші частини обличчя, однак І. Безкровна обрала іншу стратегію. Обличчя, що дивиться кудись угору трохи моргає та рухає вилицями завдяки деформації всієї поверхні обличчя. Такий ефект виглядає більш природньо і реалістично. Навколо голови героїні, наче планети навколо сонця, обертаються яблука. Завдяки таким прийомам, як переливання та миготіння абстрактним мереживом, зміні швидкості та напрямку, сьайву, заповненню площини рухомими абстрактними коливаннями, проста анімаційна ідея сприймається ефектною та цікавою.

Варто зазначити, що нюансні анімації мають переважно не довгу тривалість і циклічний характер. Серед причин короткої тривалості можна виділити фізичну втому, що виникне після певного часу перегляду AR зі смартфона. Іншою є потреба утримувати увагу глядача. Класичним підходом утримання уваги було б впровадження сценарного розвитку та драматургії, але за короткий проміжок вона не завжди може бути розкрита. Завдяки циклічності та короткій тривалості, сцену можна передивлятися кілька разів, роздивляючись ті місця, що не були помічені під час першого перегляду.

Для зручності використання такого дизайнерського продукту пропонується новий прийом утримування уваги, коли замість сюжетного розвитку підтримувати зацікавленість користувачів можна «насиченим» анімованим контентом, перегляд якого проходить у кілька разів.

Крім того, за вдалої побудови, вхід та вихід з анімації відбуваються безшовно. Це дає також змогу переглядати її з будь-якої точки часу, і навіть тим глядачам, які приєдналися до перегляду після «початку». У цьому разі одна анімаційна сцена може складатися з різних за часовим масштабом анімацій, виконуючи основну та підтримувальну роль. Безліч маленьких анімацій надають сцені відчуття життя, водночас великі анімаційні ходи формують загальний сюжет. У роботі «Діалог» (іл. Б.3.3.7), авторка Євгенія Погребняк, анімація — Олександра Голубова, дизайнерка обрала анімації, що оперують наявними в сцені об'єктами, додають їм руху, але не прибирають зі сцени. Завдяки такому підходу, спостерігаємо ненав'язливі зміни фону та рухи основних об'єктів. Вона акуратно анімує повіки, якими почергово кліпають героїні, кисті та пальці. Скелетна анімація виконана так, що поєднує великі рухи коливання кистей і дрібніші рухи в складі загального перебирання пальцями, що надає їм натуральності.

Більш динамічний розвиток в дизайні анімації розкрито в яскравій роботі «Яблучне селфі» (іл. Б.3.3.8), авторки Дар'я Денисова, анімація — Ксенія Татаринцева. Ідея анімації — показати щасливу мить та її фотофіксацію. На порожньому текстурному фоні поступово виявляються об'єкти. Спершу знизу виринає дівчина, а за нею з'являються й інші об'єкти. Аніматорка дотримується логіки руху об'єктів у реальному світі: автобуси переміщуються горизонтально, дерева — ростуть вертикально тощо. Після появи всіх елементів, героїня підіймає руку, відбувається спалах та повернення до початкового порожнього фону. Використання даного прийому одночасно дає змогу зациклити анімацію, розкрити ідею фотофіксації та зробити акцент на фотоапараті з оригінальної картини.

Окрім особливостей анімації, маємо відмітити способи використання

простору в AR. Кожний візуальний твір, що розташований у предметному світі, має свої обмеження. По-перше, фізичні параметри: форму, матеріал та розміри. По-друге, потребу імітації глибини простору (перспективи) на пласкій поверхні. По-третє, передавання лише певного моменту в часі. Залежно від твору, другий і третій компоненти можуть бути неявними через статичність зображення та стилістику і виявляться лише під час анімації. Одна з особливостей дизайну AR — використання простору таким способом, який не досяжний для зображень на площині. Це є однією з переваг використання AR з творами мистецтва, зокрема живописом та графікою.

Візуальний матеріал дослідження вказує на те, що певні передумови варіантів використання простору в дизайні AR можемо знайти в роботах мультиплікаторів, зокрема в мультфільмах Волта Діснея, або інших фільмах, де автори фантазують на тему реальності. Наприклад, персонажі Діснея нерідко стрибають у картини, що висять на стінах, або вистрибують з них [16]; картини, які розмовляють або оживають, можна побачити у фільмах про Гаррі Поттера [23] та багатьох інших тощо. Ми виділяємо чотири види використання простору в дизайні AR [52].

У межах плаского твору (x, y). Дії та анімації відбуваються в межах формату та розмірів, а всі об'єкти, що виходять за межі площини твору — зникають. У проєкті з AR студентів ХДАДМ [32] (кафедра «Мультимедійний дизайн») «ожили» фігури на фризі будівлі СОАС (El Collegi d'Arquitectes de Catalunya, Placa Nova, Barcelona), яка прикрашена серією піщано-литих фризів П. Пікассо. Фігури «Фризів Гігантів» на фасаді Нової Площі отримали тривимірність. Вони виринають із площини бетонного фасаду, виконують певні рухи та занурюються в площину. «Дитячий фриз» на фасаді вулиці Carrer dels Arcs отримав стрімку анімацію, де процесія фігур, що танцюють, безкінечно переміщується з правого боку фризів до лівого.

Вихід за межі (x, y). Дія може виходити за межі твору та продовжуватися в координатній площині картини. Об'єкти, що перетинають межі, можуть залишатися видимими та продовжувати свої дії в межах резервного простору

навколо. У проєктній пропозиції дизайнерів кафедри «Мультимедійний дизайн» для виставки плакатів «4-го блоку» в серії графічних робіт були розроблені анімації, які задіюють простір навколо основної графіки. У роботі «Дерево» українського графіка Ільдана Яхіна з дерева облітають листки, тріпочуть крила комах, дивні тіні з'являються і зникають на стовбурі. Добре підібрана техніка анімації, її вид та прийоми органічно вплетені в ілюстрацію. Об'єкти вилітають з площини за її межі та кружляють навкруги на фоні паспарту (в координатних межах роботи) [31]. У роботі цього ж автора «Останній лист» — павутиння, яке накриває картину, а також крильця комах виходять за межі зображення, а світлові відблиски підсвічують певні частини.

Внутрішній простір ($x, y, -z$). У межах твору враховано характеристики його глибини і об'єкти, які його наповнюють — модифікуються та трансформуються, наприклад, завдяки прийому *впливу фокусної відстані* чи прийому *колірних змін*. Може бути розроблена повноцінна тривимірна сцена, яка дає змогу «зазирнути» в середину картини (метафора акваріума чи вікна у світ), може бути застосований ефект розбиття зображення на плани та імітація театральних куліс. Глибина у внутрішньому просторі уявна. Залежно від того, що зображено, імітована відстань варіюється від сантиметрів до десятків кілометрів.

Зовнішній, навколишній простір ($x, y, +z$). Можливість виходу за межі картини не лише в її координатній площині, а й з використанням перпендикулярної осі. Зображення/об'єкти можуть видаватися вперед, виходити в простір глядача. Вдалий баланс поєднання анімацій у межах площини та з виходом у навколишній простір створив дизайнер Крістоф Німан (Christoph Niemann), який розробив AR-обкладинку для журналу «New Yorker» (іл. Б.3.3.1). Уявлення про глибину у віртуальному просторі мають збігатися з реальними. Спроби показати у вільному просторі величезні відстані, які не відповідають реальності, без прив'язки до площини будуть відчуватися лише як масштабовані. Проте, об'єкти в цьому просторі можна роздивитися з різних сторін. Однак, для створення ефекту глибини та

величезної відстані треба знову занурити об'єкт у нову площину, яка буде імітувати новий фрагмент реальності — тобто знову перейти на рівень внутрішнього простору.

У процесі створення дизайну AR можуть комбінуватись всі чотири типи просторів. Відмітимо, що в багатьох роботах дизайнери не використовують вільний тривимірний простір навколо, втрачаючи можливість збагатити віртуальну сцену, й обмежуються площиною фізичного об'єкта, навіть у мобільній AR. Наприклад, для демонстрації риби, яка винирнула з площини картини та пірнула в реальну підлогу, необхідно додати уявну площину, у яку вона зануриться, і враховувати її в дизайні: обіграти пірнання, момент занурення в поверхню. Ми пропонуємо використання *принципу мультиплощин* (multiplanes): коли поряд з основним твором, у просторі, розміщуються інші віртуальні площини, які можуть використовуватись як розширення наявного простору, надання йому додаткових глибин, таких собі «порталів». Уявна риба в такий спосіб не просто зникає під час контакту з підлогою, а занурюється в неї, поступово віддаляючись від глядача. Такий ефект досягається імітацією глибини на поверхні площини. Інший прийом з використанням мультиплощин, коли поряд з основною площиною картини розміщуються інші площини, наприклад, віртуальні картини, які стають частиною доповненої анімації. Отже, доповнення можуть переходити з основної площини в додаткові, або в них може відбуватися щось незалежне. У таких площинах можуть бути розміщені варіації на один сюжет або цілком самостійні сценарії.

3.3.2. Рух як основа дослідження простору. Найвиразніші особливості, які виділяють AR поміж інших візуальних продуктів, це використання простору та руху. Рух — це основа, але користувачі підсвідомо намагаються скоротити можливі рухи до мінімуму. Відповідно, заохочення їх до руху та дій у просторі пов'язане із виконанням низки умов, яка здебільшого стосується «невидимої» частини проекту, етапу пошуку ідей та побудови наративу.

Відмічаємо, що ідея використання простору та доповненої реальності має бути доцільна та когнітивно обґрунтована, бо користувачі швидко відчують, коли щось зроблено тільки для видимості. Одним із підходів до формування внутрішнього відчуття правдивості є *звернення до метафори*, на кшталт розглянутих раніше, та формування навколо неї наративу, явного чи неявного пояснення причини використання саме AR. Іншим підходом є введення в проєкт *історії*. Вона дає змогу зануритися у сформований продуктом світ, влучно обіграти застосування AR та обраний формат. AR-книга, створена дизайнеркою Анною Бродхурст (Anna Broadhurst) 2017 року, розповідає про хлопчика, який застряг у ній головою (іл. Б.3.3.10). Весь сюжет можна споглядати через діру в книзі (метафора «Вікно у світ»), крізь яку видно різні локації та головного героя. Для подання історії обрана проста векторна графіка, майже колажне накладання деталей та гіпербалізовано стилізовані образи персонажів. Кольорова гама контрастна, але не кричуще яскрава. Кольори глибокі, але завжди виділяється яскравий червоний костюм хлопчика. Застосовуючи принцип доцільності, у цій історії добре обіграно, чому глядач спостерігає за історією через книгу, роблячи її частиною історії.

У проєкті «Modern Polaxis» (іл. Б.3.3.16) 2014 року від австралійського ілюстратора Sutu читачеві запропоновано використовувати застосунок-дешифратор, що допоможе прочитати приховані записи в щоденнику, які залишив поверх звичайних, параноїдальний мандрівник у часі. Графічні малюнки та написи, намальовані кульковою ручкою, доповнюються новим шаром деталей у тому ж самому стилі та анімованими ефектами. У розглянутих проєктах AR не просто елемент декору, а сила, яка рухає історію вперед, спонукає перегорнути сторінку на рівні із сюжетом і розкриває додаткові деталі. На відміну від цього, проєкт «Cautionary Tale» [132] просто дублює зображення, які й так можна побачити без AR, та підіймає питання доцільності її використання.

Побудова дизайнерського проєкту із фізичними переміщеннями потребує розроблення окремого етапу підготовки до цього користувача. Для

мобільної AR застосунок має визначити площини та показати скільки простору знадобиться для коректної роботи. Визначені площини виділяються за вибором дизайнера заливками, графічними узорами, контурами, кольором тощо. Охоплення більшої зони простору теж супроводжується візуальними підказками, які мають спрямувати користувача рухатися та сканувати оточення (анімовані стрілки, зони, що масштабуються, текстові інструкції). Простір для досвіду складається з фізичного простору та діапазону рухів, необхідних для взаємодії. Як показує аналіз, деякі застосунки використовують принцип адаптивності та вміють масштабувати свої потреби й елементи коли не вистачає місця. Наприклад, ARCORE (бібліотека для розроблення AR) дає змогу визначати, як цифрові об'єкти мають реагувати або масштабуватися на нестачу місця. Фіксуємо схожість цього підходу до адаптивного дизайну в мобільних застосунках та вебсайтах.

Наступною умовою ефективної AR є *створення простору, який спонукає до розвідки*. У мобільній AR користувач має обмежену зону огляду, а тому інтерфейс повинен підказати йому, коли щось є в частині простору, що розташована за межами зони видимості. Просторова AR має змогу охопити більший кут огляду, але оскільки користувач уже бачить більшість інформації навколо, у нього мають бути якісь причини рухатися. Під час вільної подорожі спонукати до руху може середовище, яке відгукується на дії, реагує на дотики, рухи, жести, звуки тощо. Під час керованої подорожі є потреба скерувати увагу користувача в певному напрямі, тому вводять персонажів-провідників, вказівники та інші візуальні сигнали. У 2021 році «Nexusstudios» розробила в партнерстві з «SKTelecom», Google та Адміністрацією культурної спадщини застосунок «Changdeok ARirang», який має збагатити досвід від туру історичним місцем — палацом Чагдок (Changdeok Palace) у Південній Кореї. Проект об'єднав навчальну інформацію, режими розвідки та ігор на території. Навігацію палацом допомагає виконувати лев-дракон Гаєчі, містичне створіння. Глядачі можуть самостійно обрати точку призначення на мапі, а Гаєчі прокладе маршрут та приведе до потрібного місця.

У цьому проєкті дизайнери застосовують продумані анімації, а персонажі мають певний життєвий цикл, що складається з таких етапів, як вхідна анімація, основні анімації базового та реакційного стану, вихідна анімація. Кожна з анімацій, зі свого боку, теж має певну структуру: початок, основну частину та кінець. На початку роботи із застосунком у просторі поступово виникає кам'яна статуя Гаєчі (іл. Б.3.3.11). У цей момент калібрується пристрій та відносне положення. Згодом, навколо статуї формуються потоки частинок, вона починає ворухитися та, у певний момент, відбувається проявлення кольорового тіла створіння, зістрибування з постаменту та рик, а частинки енергії остаточно поглинаються його тілом. Звір-провідник стає готовим до взаємодії з користувачем.

Анімації входу та виходу дають змогу органічно та плавно вписати об'єкти в поточний простір. Об'єкти, які з'являються в кадрі, не просто в якийсь момент відображаються на дисплеї, а обіграють момент своєї появи. Це дає час, щоб сформувані уявлення про об'єкт та його просторовий зв'язок із середовищем (а також приховати завантаження). Так само бачимо, що важливо визначити момент свого «зникнення» зі сцени. Наприклад, без вихідної анімації в користувача мобільної AR може скластися хибне враження, що об'єкт перемістився за межі екрана і його можна знайти. Персонаж Гаєчі має окремі анімації для різних станів, зокрема, стилі *ходіння*, *стояння*, *привертання уваги* до якоїсь точки в просторі, *реакції на дотики* глядача тощо. Анімації в стані спокою належать до базових, а відгуку на дії — до реакційних. Поміж ними відбуваються перехідні анімації між станами.

Прийом часткової видимості чи загадковості використовують, коли є потреба заохотити до взаємодії. Часткова видимість — це коли потенційно цікаві об'єкти спеціально перекриваються іншими, і, щоб їх побачити, потрібно змінити ракурс перегляду. Для схову застосовують такі ефекти, як: димка, туман, маскування кольором, прозорістю тощо. Реакції середовища зазвичай будують на основі відстані та спрямованості камери. Поміж них можуть бути: персонажі, які реагують на наближення та розпізнають, чи

направлена на них камера; демонстрації більшої кількості інформації про об'єкт, коли користувач підходить до нього, тощо.

Подорож чи виконання дій зазвичай містить *явну чи неявну винагороду*: кращий ракурс, можливість розгледіти предмет, неочікувані анімації (реакції середовища), знаходження прихованих предметів та бонусів, незвичний відгук від системи. Винагорода-сюрприз, це гарна стратегія, щоб заохотити до розвідки, але вимагає видового різноманіття заохочень. Для вистави Уельської національної опери «Хитра маленька лисиця» 2019 року, чеського композитора Леоса Яначека (Leoš Janáček), студія «Arcade» та митець Ксав'єр Сегерс (Xavier Segers) розробили доповнену інсталяцію, яскравий тунель з арок («тунельну книгу» [412]), яка просуває виставу та розважає відвідувачів (іл. Б.3.3.12) [80]. Крізь AR відвідувачі могли дослідити історію та зробити фото із персонажами. Використання графічних векторних стилізованих ілюстрацій, які застосовують яскраві кольори, поєднання градієнтів та лаконічні, але виразні форми, дали змогу безшовно об'єднати фізичні арки та цифрові елементи доповнення, виконані в тому ж самому стилі (іл. Б.3.3.13). Арки доволі цікаві самі собою, рельєфом та багат шаровими накладками, що створюють лісову масу (іл. Б.3.3.14, іл. Б.3.3.15). Наявність у просторі реальних конструкцій, які потребують доповнення, природно чином спонукає глядачів до переміщення та пошуку прихованих персонажів, які оживають за допомогою AR.

Зазначимо, що підтримка фізичних переміщень у просторі потребує стриманого застосування двомірних елементів управління, «закріплених» на екрані. Такі елементи та техніки «магічного вибору» далеких об'єктів спонукають до статичної роботи. Що необов'язково погано, але вони переключають увагу користувачів від тривимірного простору навколо до площини екрана і зменшують ефект занурення. Навпаки, інтерфейс користувача, закріплений у середовищі, або інші моделі взаємодії, які заохочують рух у всьому фізичному просторі, створюють глибший та багатший доповнений досвід.

Висновки до третього розділу

1. Виведено, що **інтерфейс** (ім.) — «спільна межа» (засіб або місце взаємодії) між окремими системами, через яку вони взаємодіють між собою; сукупність засобів і правил, що забезпечують взаємодію окремих систем (наприклад, людини та програмного забезпечення, програмного й апаратного забезпечення і т. ін.).

2. Визначено, що AR-системи поєднують багато різних інтерфейсів і самі являють собою інтерфейс між віртуальним та реальним. Інтерфейси, що використовують в AR-системах, спираються на візуальну, слухову, тактильну або жестову модальності та відповідний інтерфейс, зазвичай поєднуючи декілька одночасно. Особливості дизайну системи, обумовлені вибором домінантної модальності: невізуальної чи візуальної. Основна особливість невізуального інтерфейсу — низька «видимість» доступних команд та зменшена швидкість взаємодії. Однак, у поєднанні з візуальними, подібні інтерфейси підвищують комфорт використання. Візуальні AR-інтерфейси відзначаються тим, що запозичують напрацювання з WIMP, пост-WIMP та HUD-інтерфейсів, а також звертаються до тривимірних інтерфейсів взаємодії.

Розглянуто поєднання реального та віртуального в засобах взаємодії, що виявлені у використанні в доповненій реальності цілої низки інтерфейсів за ступенем фізичної присутності: матеріальних інтерфейсів, матеріальних AR-інтерфейсів, тактильно доповнених AR-інтерфейсів та віртуальних AR-інтерфейсів. Окреслено техніки взаємодії, притаманні AR. Вони відрізняються способом використання простору, підходом. Реальні об'єкти неабияк спрощують взаємодію в зоні досяжності, водночас різні віртуальні техніки дають змогу оперувати об'єктами на відстані та в умовах обмеженого простору. Взаємодія в AR передбачає пряме й непряме маніпулювання об'єктами, управління системою, а також техніки тривимірної навігації.

3. Аналіз доповненої реальності з концептуального погляду дозволив

поглянути на неї як на інтерфейс мистецтва (авторський термін), спілкування з яким проходить через взаємодію з віртуальним (цифровим). Приймаючи багато різних форм (наприклад, доповнені перформанси, інсталяції, доповнені простори, декорації), AR здатна підтримувати розповідь, ставати нею, надавати можливості спілкування з простором. Поміж характеристик, які допомагають класифікувати такі системи, виявлено: імерсивність, інтерактивність, змінність, розташування користувача, напрямок сприйняття та масштабність. Доказано, що фокус дизайну в сучасних доповнених просторах спрямований на емоції та відчуття користувача.

Досліджено звернення доповненої реальності до такого напрямку, як лудичні (розважальні) інтерфейси. Це зумовлює намагання відійти від двомірності та наблизити інтерфейс до середовища, об'єднатися з ним як концептуально, так і фізично, зокрема, пропонуючи на рівні з класичними матеріальні та тривимірні способи взаємодії. Дизайн розважальних інтерфейсів в доповненій реальності виявлено з урахуванням наступних аспектів: гейміфікація, ігрові механіки, увага до мультимодального зворотного зв'язку, залучення прийомів з тривимірних ігор, формування умов для ментального занурення в віртуальний світ.

4. Виявлено, що інтерфейс у доповненій реальності зливається з контентом набагато тісніше, ніж в інших системах. Елементи контенту виконують роль елементів інтерфейсу, а взаємодія з ними запускає виконання дій чи сценаріїв. Проаналізувавши наявні проєкти, ми дійшли до висновку, що стилістика графіки зумовлена, зокрема, відповідністю чи відмінністю стилю щодо основи. Побудова тривимірної сцени відбувається за загальними композиційними прийомами з акцентом на візуальну вагу, глибину, об'єм та просторові співвідношення між об'єктами. Поряд з іншими прийомами, потужним інструментом управління тривимірною сценою стає освітлення, як з композиційного боку, так і зі сценарного.

5. З'ясовано, що AR часто пропонує користувачам динамічний контент та звертається до анімації. Розроблені на базі певної ідеї, концепції та

відповідного сценарію анімаційні рішення фіксуємо як у самостійних доповнених творах мистецтва, так і в складі різноманітних застосунків. Ми виділяємо дві ролі віртуального доповнення — незалежну та доповнювальну, а також пов'язані з ними характеристики анімованого контенту: зв'язок із цільовим об'єктом, тривалість, прийоми сценарного розвитку, циклічність. Короткі циклічні анімації (нюансні) демонструють більшу поширеність та пристосованість до використання в AR через низку переваг, пов'язану з коротким часом перегляду та меншою втомою, легшим утриманням уваги та насиченим вмістом. Виділено чотири види використання простору. Він може бути задіяний як у геометричних межах твору, так і виходити за них. Для передавання відчуття глибини використовують внутрішній простір твору або зовнішній, розташований навколо твору в реальному середовищі.

6. Пропонуємо ввести до наукового обігу термін «мультиплощини», який називатиме ситуацію, коли дизайнери використовують не лише основну площину твору та повітря навколо, а і створюють навколо та розміщують у просторі додаткові площини для формування просторів різної глибини.

7. Виділено рух, як один із основних способів формування дизайну доповненої реальності та як особливу техніку взаємодії з доповненим простором. Дизайн, який спонукає до руху, потребує формування професійної концепції, виразного візуального ряду й проробленого сценарію переміщень. Крім того, заохочення до руху відбувається на основі наступних психологічних прийомів: зацікавлення, обіцянки винагороди тощо. Водночас, залишається актуальним і використання технік, що полегшують взаємодію з простором без переміщень, які можуть стати в нагоді в сценаріях з обмеженим простором.

Основні результати цього розділу дисертації апробовано в статті [71] та доповідях [52; 70; 64].

РОЗДІЛ IV

ПІДХОДИ ТА ПРИНЦИПИ ПРОЄКТУВАННЯ AR-СИСТЕМИ

4.1. Взаємодія, рівні інтерактивності та людський чинник у AR-системах

Взаємодія між користувачем та інтерфейсом лежить в основі усіх інтерактивних продуктів. Дизайн взаємодії вже давно визнано важливим складником проєктування продукту і виокремлено у окрему дизайн-дисципліну [325, с. 1]. Як дисципліна, він поєднав оригінальні методи та практики, техніки з традиційного дизайну, психології та технічних дисциплін. Це дало змогу краще розуміти користувачів та їхні потреби в інтерфейсі, показало важливість мультидисциплінарного підходу в проєктуванні. З іншого боку, у фаховій та науковій літературі, а в популярній і поготів, досі можна зустріти плутанину під час використання «взаємодії» та супутніх термінів, таких як: інтерактивність, інтеракція, інтерактивний дизайн, дизайн взаємодії, інтерактивна взаємодія, рівні взаємодії, рівні інтерактивності тощо. Інтерактивність стала синонімом чогось технологічно обізнаного та сучасного, але це зробило термін таким повсюдним, що його сенс став розмитим. Такі тенденції відзначають Лев Манович, Ніколас Ган, Девід Бір [176, с. 87; 266, с. 55].

Оскільки взаємодія одна зі складників дизайну систем доповненої реальності, це зумовило потребу уточнити значення поняття взаємодії та визначити ті напрями, у яких може відбуватися проєктування. Аналіз досліджень показав (див. Додаток Д.6), що *взаємодія* передбачає двосторонній вплив між сторонами процесу. Наголосити на цій властивості можна словом «інтеракція», а використання таких слів, як «спілкування» та «комунікація» як синонімів взаємодії із системою в спрощеному розумінні не є помилкою.

Варто зазначити, що напрями взаємодії вивчають з погляду різних галузей та дисциплін. Найвідоміші серед них: «Людина-Людина», «Людина-

Інформація», «Людина-Комп'ютер», «Людина-Артефакт», «Людина-Документ», «Людина-Робот», «Машина-Машина». Взаємодія «Людина-Комп'ютер» (англ. *Human-computer interaction, HCI*) — полідисциплінарний науковий напрям, що займається, зокрема, методологією і розвитком проєктування інтерфейсів та теорією взаємодії з інтерфейсами. Комп'ютер у цьому контексті уособлює будь-які обчислювальні пристрої (планшети, смартфони тощо). Взаємодія має багато характеристик для класифікації (табл. А.24), основною з яких є її мета: виконання завдання, доступ до інформації (знання, послуги, розваги) чи людини. Вона не може бути зведена лише до взаємодії між користувачем та комп'ютером [265; 295, с. 29; 296], але стає тим середовищем, яке об'єднує та забезпечує можливість функціонування інших видів взаємодії в цифрових продуктах, і, зокрема, у системах доповненої реальності.

Взаємодія може сильно відрізнятися за якістю та своїми характеристиками, а користувачі називають процес взаємодії (та продукт загалом) інтерактивним або неінтерактивним, не лише за об'єктивними властивостями, а й, зокрема, базуючись на своїх суб'єктивних відчуттях під час такої взаємодії. Один із підходів до проєктування інтерактивних дизайнерських проєктів, зокрема, і проєктів із доповненою реальністю — фокус на певний цільовий рівень інтерактивності, визначення якого дає орієнтири щодо того функціоналу, що має бути доступним для користувача системи [63; 73]. Це дає також змогу об'єктивно оцінити якість взаємодії та порівняти її в різних дизайн-продуктах.

Проблема в дослідженні й обговоренні інтерактивності полягає в тому, що терміни взаємодія (*interaction*) та інтерактивність (*interactivity*) часто використовують вільно та ототожнюють [346, с. 1]. Особливо це стосується іноземної літератури, що зумовлено спільним префіксом та коренем в англійській мові (*interact*), звідки походять обидва слова. Суфікс «-ity» в англійській використовують для утворення іменників, що позначають *якість* або *стан*, і він буквально визначає інтерактивність як «якість або стан

взаємодії» [251; 302; 346, с. 1]. Взаємодія стосується дії та реакції, що надається у відповідь, інтерактивність стосується відчуття, властивостей і якості взаємодії [251, с. 4; 254, с. 55; 345]. Інструмент чи процес може бути інтерактивним й одночасно не здатним ефективно підтримувати складні когнітивні дії, через погану якість взаємодії [302, с. 3].

У визначеннях інтерактивності її трактують як якість взаємодії між сторонами комунікації [346, с. 1], як ступінь, до якого можуть вносити зміни користувачі [366, с. 84], як ступінь відчуття двостороннього впливу [296], як ступінь схожості опосередкованого спілкування на безпосереднє [144; 176; 191, с. 458], як здатність «розмовляти із системою» [225], як можливість синхронізованого впливу на повідомлення [366, с. 84] та середовище [254, с. 54]. Отже, інтерактивність допомагає розкрити характер і рівень взаємодії між об'єктами чи суб'єктами.

Інтерактивність — якість взаємодії. Науковці з різних сфер формували різні класифікації, градації та шкали взаємодії й інтерактивності. Щоб мати змогу оцінити її якість. Джон Брукшир Томпсон (John Brookshire Thompson) [382; 381] розробив концептуальну основу для аналізу форм дії та взаємодії, створених медіа (табл. А.25). Межі між типами взаємодії розмиті завдяки технологіям, які дають змогу їх поєднувати та змішувати. Взаємодія, за Д. Б. Томпсоном, апелює до відповідності між типом взаємодії та рівнем мови й діапазоном символічних підказок у мультимедійному контенті.

Дослідники Д. М. Родз та Дж. В. Азбел [329, с. 32] запропонували свої рівні взаємодії з програмою (табл. А.26), які професор Р. Шульмайстер назвав формами проєктування інтерактивності [341, с. 198]. Вони отримали найбільшу популярність та визнання в науковому світі. На найнижчому рівні, *реактивному*, користувач може взаємодіяти або зі структурою, або з вмістом, впливати якимось чином на нього, але перелік можливих дій обмежений. Наприклад, можливість почати, призупинити, перемотати відео назад.

Поміж проєктів з AR можна виділити декілька прикладів подібного рівня. У постійній колекції Верхнього Бельведеру, музею у Відні в Австрії,

є вісім робіт Егона Шіле, для яких була створена AR [105; 156], що є прикладом реактивної взаємодії (іл. Б.4.1.3). Під час наведення смартфона на роботи, можна побачити рентгенівські, інфрачервоні та макрозображення, розроблені реставраційним відділом музею, синхронізовані з розташуванням щодо картини. Студенти Колумбійського університету спільно зі студентами Школи дизайну Парсона з Нью-Йорку 2013 року розробили вітрину [352] з доповненою реальністю для будинку-музею модного дому «Hermès» у межах класу «Стратегії вишуканого дизайну» (іл. Б.4.1.4). Рухомий планшет, прикріплений до вітрини, автоматично демонструє інформацію про продукт, на якому сфокусована в цей момент камера. Студент Рокко Альберто Курра (Rosco Alberto Currà) створив на базі Музею Давнього мистецтва в Турині, концепт музею з AR [89], у якому глядач, просуваючись середовищем музею, отримує інформацію про експонати (іл. Б.4.1.5). Взаємодія відбувається через графічні мітки, GPS та дії в інтерфейсі пристрою. У всіх наведених прикладах користувачі взаємодіють із заздалегідь підготовленими об'єктами та інформацією, обирають один із запропонованих варіантів вибору.

Якщо є розширена можливість змінювати структуру *або* вміст — це спільна інтерактивність, *коактивна*. Наприклад, можливість змінити порядок сцен у відео (зміна структури), або вибір вигляду анімованого персонажу з наданого набору (зміна вмісту), або зміна визначених заздалегідь параметрів анімації (зміна структури) тощо. Треба зауважити, що часом плутанини додає невірний переклад, коли Коактивний рівень перетворюється на Активний чи Проактивний. У проєкті «Quattro coaster» [87], виконаному студіями POL та «DVA Studio» зі Швеції у 2018 році на замовлення компанії Audi, користувач має змогу самотійно побудувати трек за допомогою смартфона в просторі свого приміщення, роздивитися тривимірні моделі авто, виконати пробний заїзд крізь усі пори року (іл. Б.4.1.6, іл. Б.4.1.7). Хоча цей приклад не такий інформаційно наповнений, як попередні, можливість самотійно вводити параметри, завантажувати свої дані або створювати траєкторію майбутнього треку, розширює свободу дій користувача.

Коли виникає контроль над вмістом *та* структурою, наприклад, можливість змінити і вміст відео, і відповідні його налаштування, і навіть привнести свої власні матеріали — це *проактивна* інтерактивність. Однак інтерактивність на *проактивному* рівні переважно можна зустріти в програмах-редакторах. У більшості програм користувач значно обмежений у своїх діях та можливостях вибору і впливу. Прикладом проактивного рівня інтерактивності є проєкт SPARK (іл. Б.4.1.9), що використовує AR як компонент модуля візуалізації. Платформа дає змогу прототипувати та обговорювати дизайн пакування. Дизайнер на льоту розміщує власноруч створенні елементи на поверхню реального об'єкта, контролює їхнє положення та налаштування зовнішнього вигляду й результат одразу бачать усі присутні, завдяки проєкційним технологіям.

Можливість спілкування з іншими учасниками в процесі роботи через інтерфейс виводить взаємодію на ще вищий рівень, де є «доступ до вебінформації та комунікаційних інструментів, що дають змогу отримати зворотний зв'язок» [329, с. 32]. Отже, якщо додати можливість ще й іншим учасникам активно брати участь у спільній роботі та вносити зміни в системі проактивного рівня, вийде — *транспроактивний* рівень.

Розподіл за можливістю модифікації та свободи дій у програмі знайшов своє відображення в різних класифікаціях. Р. Швір та Е. Місанчук (R. A. Schwier, E. Misanchuk) [343] поєднали рівні з переліком можливих сценаріїв, зокрема навігація, запит, оброблення тощо, що отримали різну форму вираження залежно від рівня. Схожу структуру поділу розробив Л. Манович, який теж пропонує докладніше розглядати комп'ютерну інтерактивність, розділивши її на компоненти: меню, масштабованість, моделювання, зображення-інтерфейс, зображення-інструмент [266, с. 56]. Дослідник формулює типи інтерактивних структур відкритої чи закритої форми [266, с. 38]. Закрита форма передбачає розгалужену систему виборів із заздалегідь визначених варіантів. Напівзакрита форма передбачає модифікацію структури та елементів. Відкрита форма — генерування

елементів та структури у відповідь на дії користувача. Професор Р. Шульмайстер [341] та А. Ель Саддік [157] розкладають взаємодію з програмою, залежно від можливостей користувача (табл. А.28). На останніх рівнях уже йдеться про інтелектуальну систему підказок на базі дій або навіть штучний інтелект, що спостерігає за маніпуляціями й щось рекомендує.

У геть іншій площині розглядає інтерактивність Майкл Мур (М. Moore). У різних джерелах часто згадують рівні інтерактивності, які беруть свій початок з педагогіки та позначають моделі навчання. Назвемо їх «Роль користувача»: пасивна, активна, інтерактивна. На першому рівні учень/користувач постає як «об'єкт» навчання. Він нічого не вирішує і не створює, а лише виконує вказівки. На другому рівні учень/користувач постає як «суб'єкт» навчання (самостійна робота, творчі завдання). З'являється більше свободи дій та творчості. На третьому рівні, який ми назвали інтерактивним, відбувається рівноцінна взаємодія та вступ у діалог учня/користувача з учителем — як рівних «суб'єктів».

В свою чергу, М. Мур окреслив три типи інтерактивного спілкування (табл. А.27), що стосуються третьої моделі (третього рівня) [285]. Інтерактивною М. Мур вбачає таку взаємодію, що двостороннє формує нове розуміння в учасників взаємодії. Типологія рівнів М. Мура схожа своїми назвами на типологію «Роль користувача», але насправді вони відрізняються за змістами. У М. Мура вона описує, за яких умов користувач когнітивно залучений у процес, і поділена на рівні, залежно від того, хто з ким взаємодіє; у «Ролі користувача» фокус більше спрямований на характер роботи. Через це, ці дві типології розглядаються в різних площинах одна до одної.

Погляди на те, що інтерактивна взаємодія з контентом потребує розумового залучення, можна знайти й у Маршала Маклуена [274, с. 24]. Дослідник вважає інтерактивними навіть «традиційні» ЗМІ, як книги та фільми, а міра їхньої інтерактивності виражена в кількості розумової роботи. Лев Манович підтримує також думку, що технології нових медіа часто не більш інтерактивні, ніж їхні нецифрові форми [266, с. 55], а розумова

інтерактивність у сприйнятті може бути присутня в таких традиційно «статичних» творах, як скульптури чи картини. Із цього погляду, інтерактивність може виявлятися, як діалогічний процес формування нового змісту на когнітивному рівні, що переводить її в іншу площину, відмінну від рівнів Дж. Томпсона чи Азбела.

Відмітимо ще один погляд на інтерактивність, що був запозичений з інформаційних дисциплін, у яких виділяють рівні взаємодії на базі повідомлень. Вони спрямовані на аналіз системи не загалом, а покроково:

- лінійна взаємодія (1:0), або відсутність інтерактивності, коли повідомлення, що надсилається, не пов'язане з попередніми повідомленнями;
- реактивна взаємодія (1:1), коли повідомлення пов'язане лише з одним негайно попереднім повідомленням;
- множинна або діалогова взаємодія (1:m), коли повідомлення пов'язане з безліччю попередніх повідомлень і відношеннями між ними.

Вважається, що якщо третє чи наступні повідомлення пов'язані з попередніми в ланцюжку, тоді відбувається діалогова взаємодія, тобто присутня інтерактивність. Реактивна взаємодія в цьому переліку не тотожна реактивній взаємодії, за Родзом та Азбелом (вплив на контент або його представлення), і передбачає багатоступінчасті зміни, які враховують попередні зміни. Поміж усіх розподілів, цей найменш зручний через низку невизначеностей, на кшталт того, що саме вважати повідомленнями та зв'язком у різних системах.

Аналіз взаємодії в інтерфейсі потребує визначення масштабу: елемент, блок, система. *Елемент* — найменша самостійна одиниця в інтерфейсі з якою можлива взаємодія (наведення, натискання, перетаскування тощо). Немає сенсу розглядати дію над окремим елементом з наміром визначити рівень його інтерактивності. Краще подивитися на ланцюжок дій у межах одного активного блоку. *Блок* — це поєднання кількох простих елементів у логічну одиницю, призначену для виконання певної функції, завдання. Якщо концепцію повідомлень замінити на дії, рівні набудуть більшого сенсу. Ось

приклад рівнів під час створення нового графічного об'єкта трьома незалежними способами: натисканням на кнопку (лінійна взаємодія, відсутність наступних дій, пов'язаних з натисканням), підтвердженням наміру створення у вікні, що впливає (реакція на попередню дію) або введенням кількох параметрів у форму створення (множинна взаємодія, яка враховує попередньо введені параметри). Отже, якщо трансформувати рівні на базі повідомлень у рівні на базі дій у межах блоку:

- лінійні дії (1:0), дії не пов'язані з попередніми діями;
- реактивні дії (1:1), коли дія пов'язана лише з однією негайно попередньою дією;
- множинні або діалогові дії (1:m), коли дія пов'язана з безліччю попередніх дій і відношеннями між ними.

Однак, цей розподіл усе ще не універсальний та не підходить для розгляду в масштабі системи. Детальніший поділ на рівні, побудований на вирішенні завдань користувача, сформували Камран Седік, Пол Парсонс та Алекс Бабанські [346]. У межах своєї діяльності користувач вирішує певне завдання (організація, класифікація тощо), що спонукає його до виконання низки взаємодій нижчого рівня (вибір, сортування тощо), які складаються з мікроподій (кліки, тапи тощо). Інтерактивність на мікрорівні стосується структурних елементів індивідуальних взаємодій, які впливають на когнітивні процеси. Інтерактивність на макрорівні пов'язана зі способами, за допомогою яких взаємодії комбінуються та зв'язуються разом для виконання та виконання завдань і дій вищого рівня [346, с. 8]. Вияв цих рівнів інтерактивності відбито в дизайні інтерфейсу через сукупність рішень у різних просторах: ментальному, репрезентації та взаємодії. У процесі проєктування процеси та пов'язані з ними частини інтерфейсу й контент розглянуто на різних за масштабом рівнях, у яких елементи, блоки та система зв'язані з вирішенням завдання користувача.

Розподіл інтерактивності за видами діяльності використовує Міністерство оборони США (The Department of Defense, DOD), що розробило

визначення для чотирьох основних рівнів інтерактивності з використанням мультимедіа [147, с. 45]. Кожний з рівнів відповідає певним процесам навчання (засвоєння фактів, правил, процедур, розрізнення та вирішення проблем). У таблиці А.30 зібрані оригінальні назви, їхні варіації та опис рівнів [147, с. 45]. Наостанок, Ксав'єр Комптезе, зі студії «ThinkStudio», розмірковує [137] про типи інтерактивності для користувачів з погляду роботи з контентом та середовищем (табл. А.31). Залучення користувачів до розроблення контенту поширена практика в ігровій індустрії, починаючи від одиночних та кооперативних комп'ютерних ігор, до ігор та програм у доповненій та віртуальній реальності.

Зіставивши всі згадані рівні між собою, бачимо, що в багатьох поділах є багато спільного попри відмінності в назвах. У таблиці А.32 зібрані всі розглянуті рівні, що співвідносяться між собою в одній площині, а рівні Томпсона, Мура та Седіка-Бабанські перебувають у різних площинах розгляду інтерактивності. На схемі А.33, як приклад, продемонстровано співвідношення рівнів Родза та Азбела з рівнями М. Мура та можливості опосередкованого мережевого спілкування під час роботи із системою. Це ілюструє багатовимірний простір взаємодії на прикладі лише трьох з багатьох вимірів, які формують різні площини розгляду.

Варто зазначити, що більшість типологій розглядають рівні інтерактивності щодо можливостей користувача під час взаємодії із системою, рідше щодо його ролі, чи сценаріїв роботи з контентом. Типологія «Рівні користувача» та типологія К. Комптезе приділяють більше уваги користувачеві, не уточнюючи, який функціонал буде йому доступний, типологія DOD, навпаки, зосереджена на формі подання змісту. Решта типологій не роблять акцент на чомусь одному й розглядають роль та доступний функціонал у парі. Усі типології з таблиці таблиці А.32 використовують ієрархічний підхід, у якому вищі рівні можуть охоплювати можливості і з нижніх рівнів. Також у всіх є виділення «по-справжньому» інтерактивного рівня, що надає найширші можливості користувачеві, зазначає

його творчий складник, акт творення або можливість управління структурою та змістом системи. Згадано такі процеси, як симуляція та створення віртуальної реальності. Можливості на цьому рівні відрізняються залежно від сміливості авторів.

Середній рівень, зі свого боку, має дуже широкий діапазон можливостей, особливо в тих типологіях, де не передбачено подальшої градації. Назви – активний, реактивний – зазначають активність користувача на цих рівнях. Більшість авторів поділяють середній рівень ще на дві градації. Перша передбачає більше розгалужень для структури, конструювання із запропонованих матеріалів та можливість налаштовувати оточення, друга дає змогу змінювати зміст і структуру, і навіть використовувати власні матеріали. Спостерігається повторювання назв, які можуть заплутати: «Проактивний» (найвищий рівень) у Д. М. Родза та Дж. В. Азбела відповідає передостанньому рівню «Взаємний» у Швіра з акцентом на кооперацію та інтелектуальний відгук від системи.

Рівень з мінімальними можливостями для користувача має назви «Пасивний», «Лінійний», «Низький». Родз і Азбел загалом не розглядають його, оскільки для них взаємодія цього рівня не вважається інтерактивною, бо не дає користувачеві можливості діяти на власний розсуд. У більшості випадків на цьому рівні доступна лише можливість навігації, тобто просування контентом. Професор Р. Шульмайстер [341, с. 194], зокрема, наголошує, що навігація системою не є інтеракцією, а використовується лише для керування процесом або зміни відображення. У цьому знову виявлено багатогранність трактування взаємодії: переміщення контентом або інтеракція з ним, як з об'єктом пізнання – кожна має своє призначення, кількість витрачених когнітивних зусиль і користь в очах користувача. Кожен різновид взаємодії в різних площинах розгляду зумовлює відповідний набір елементів і блоків для реалізації функцій.

Слід зазначити, що AR стає тим середовищем, у якому відбувається багатовимірне взаємодія і яке передбачає «інтеракцію» з людиною або

комунікативним агентом, з інтерфейсом, з інформацією. На нашу думку, інтерактивність — багатошаровий конструкт, який має розглядатися та пророблятися відповідно. Розподіл продуктів за рівнями інтерактивності — одна зі стратегій класифікації та виконання подальшого порівняльного аналізу, орієнтир для проєктування таких продуктів. Рівні Родса та Азбела — одна з оптимальних стратегій поділу, не надто обтяжлива та ускладнена надмірною деталізацією. Дизайнерські проєкти на кожному з рівнів досить різноманітні за своїми властивостями, тому визначення рівня — лише перший крок для детальнішого аналізу виокремленої групи під час проєктування доповненої реальності.

Зворотний зв'язок, який користувач отримує від системи, — важливий крок у циклі взаємодії та одна з характеристик інтерактивності. Він може використовувати дві стратегії: розподіл інформації окремо за модальностями й мультимодальний зворотний зв'язок, який використовує одразу кілька каналів. Обидві стратегії мають свої переваги та приклади вдалого застосування. Зокрема, Роланд Сіґріст з колегами [351] доходять висновку, що мультимодальний зворотний зв'язок може поліпшити моторне навчання, а позитивний ефект часто пояснюється зниженням робочого навантаження, що, як вважається, корисно під час навчання складним руховим завданням. Мультимодальні схеми зворотного зв'язку, які використовують переваги кожної модальності, дають змогу передавати інформацію в зрозумілій формі з можливістю інтерпретації [189]. Однак конкретна реалізація мультимодальності може відрізнятися за ефективністю та перевагами й потребує тестування та оцінювання, а користувач — чіткого зворотного зв'язку, щоб зрозуміти, який режим взаємодії активний [124, с. 609].

Варто зазначити, що через проблему перенасиченості каналів інформацією, існує потреба у розробці ефективного та екологічного зворотного зв'язку. Користувачі вже потерпають від великої кількості сигналів у навколишньому середовищі, які відволікають. У зв'язку із цим, більшість повідомлень від систем можуть і мають подаватись у спокійніших

формах. Концепція «ненав'язливих» (fluency) [256] або «спокійних» (calm) технологій пропонує більш виважену та стриману стратегію зворотного зв'язку й привертання уваги, особливо в дизайні доповнених середовищ, де система отримує доступ до простору користувача. Уперше представлена Марком Вейзером та Сили Брауном 1995 року [400], сьогодні, коли кількість технологій, що змагаються за людську увагу в просторі тільки зростає, не полишає своєї актуальності.

Основна мета цієї стратегії «спокійних технологій» — зменшення навантаження на свідоме сприйняття та увагу користувача, яку в ідеалі він має спрямовувати на виконання свого завдання, а не на інтерфейс чи сторонні, другорядні повідомлення. Варто погодитися з думкою дослідниці Амбер Кейз [130, с. 15], що насправді йдеться більше про способи презентації даних, ніж про якісь конкретні технології, що їх доставляють. Адже найкращі повсякденні технології, як і дизайн, непомітні. Примітна в цьому сенсі технологія письма — найперша інформаційна технологія [130, с. 15], за допомогою якої інформація готова до вживання з одного погляду. У межах цієї стратегії виділяють такі принципи подання інформації, як «мінімум технологій», «найменша можлива увага», «інформувати та заспокоювати», «використання периферії», «поєднання технологій та людяності», «комунікувати без розмови», «працювати, коли зламається», «поважати соціальні норми» та «пошук способів заспокоєння» (див. додаток Д.4).

AR-системи як інтерфейси для людино-комп'ютерної взаємодії прагнуть знизити бар'єр між людською когнітивною моделлю того, чого вона хоче досягти, і розумінням комп'ютером поставлених перед ним завдань. Як частина людино-машинного інтерфейсу (ЛМІ), вони пов'язані також з поняттями ергономіки та юзабіліті (usability, зручність) [27]. Розроблення ЛМІ охоплює створення місця взаємодії та проєктування взаємодії користувача з усіма органами управління: їхня доступність і кількість потрібних зусиль, ефективність і швидкість доступу, узгодженість керування (зокрема так званий «захист від дурня»), розташування дисплеїв і розміри

написів на них (усе це входить у сферу юзабіліті). У процесі проєктування ЛМІ допомагає такий напрям, як «людський чинник» — застосування психологічних і фізіологічних принципів до розроблення та проєктування продуктів, процесів і систем. Чотири основні цілі вивчення людського чинника [406] полягають у зменшенні людських помилок, підвищенні продуктивності та безпеки, доступності системи та комфорту з особливим акцентом на взаємодії між людиною та системою.

Слід зазначити, що людський чинник відповідає за те, щоб зробити процес взаємодії психологічно та фізично комфортним. Для цього AR-інтерфейси мають враховувати особливості когнітивних процесів сприйняття і перетворення інформації та ергономіку (докладніше розглянуті в додатку Д.7). Вони пов'язані з процесами підтримування уваги, зменшення когнітивних зусиль та забезпечення ефективності. У таблиці табл. А.34 зібрані підказки, які користувач може отримувати в різних сенсорних каналах для сприйняття та інтерпретації інформації про простір. Розуміння просторової структури тривимірної сцени допомагає йому взаємодіяти з віртуальним, а прийом *сенсорної заміни* дає змогу забезпечити перенесення відсутньої інформації на інший сенсорний канал.

На продуктивність роботи впливають багато чинників: метод зворотного зв'язку, метод взаємодії, координація між різними руховими діями, затримка пристрою введення та фактична послідовність, у якій виконуються завдання і побудова ментальної моделі. Зокрема, втома може значно погіршити відчуття комфорту та загальне задоволення від роботи. Відтак, варто забезпечити зручні умови та знизити можливість появи «синдрому рук горили», що виникає тоді, коли потрібно працювати в незручній позі рук без підтримки впродовж тривалого часу. Час витривалості можна подвоїти або потроїти, якщо опустити руки або наблизити їх до тіла на 10 сантиметрів [124, с. 129].

Підсумовуючи, зазначимо, що під час проєктування AR-інтерфейсу треба зважати не лише на репрезентаційний складник, а й на вплив людського чинника. Це допоможе охопити ті аспекти дизайну системи, що можуть не

братися до розрахунку під час людиноцентричного дизайну інтерфейсу, який зосереджений більше на розробленні зручного функціоналу чи емоційно-ефективного дизайну та репрезентації загалом.

4.2. Підходи до проєктування AR, виклики, стандарти та оцінювання

Створення AR-систем має свої виклики. Вони пов'язані з недосконалістю технологій, залучених у розроблення, з впливом зовнішніх чинників та потребою в складних розрахунках, з вибором компонентів. Обізнаність про вузькі місця різних типів доповненої реальності має допомогти дизайнеру підготуватися до можливих викликів. Послугуючись всебічним оглядом О. Бімбера та Р. Раскара [113], М. Білінгхарста [108], низки інших джерел (безпосередньо вказаних у таблиці) та власними спостереженнями, було складено узагальнювальну таблицю викликів AR (додаток Д.5. табл. К.1). Вона містить три стовпчики: характеристика — категорія, до якої входять означені особливості; виклики — перелік тих складнощів, проблем чи особливостей, які трапляються в розробленні; можливі рішення — рекомендації чи коментарі щодо можливих дій. Було виділено такі категорії: безпека, взаємодія, доступність, законодавство, зовнішні чинники, концепція, можливості розроблення, навчання користувачів, обмеження ПО/ПЗ, обчислення, переваги, сприйняття, стандартизація, ергономіка.

Наголосимо на важливості обережного освітлення творів мистецтва, оскільки використання світла для доповнення картин може їх пошкодити. Ультрафіолетове та ультрачервоне випромінювання можна і треба фільтрувати спеціальними фільтрами, встановленими перед проєкторами, а делікатні зони освітлювати не більше ніж 100lx–150lx. Пошкодження упродовж 1-ї години із силою 1000lx рівноцінне 1000 годин із силою 1lx та залежить від матеріалу й кольору картини та довжини світлової

хвилі [113, с. 81]. Відповідно, з метою збереження фарбованого шару від пошкоджень, доцільно зробити копію роботи чи спеціальний примірник для накладання. Щодо інших викликів загалом можна зробити висновок, що від дизайнера, окрім безпосереднього розроблення візуального та інтерактивного складників, очікують здібність обійти гострі кути технологій сьогодення, обіграти недосконалості та обмеження. Ось невелика вибірка завдань на основі таблиці табл. К.1, що додатково постає перед дизайнером у процесі розроблення AR:

- обіграти концептуально й візуально спрощену графіку, якщо система потребує оптимізації;
- пристосувати підказки та об'єкти до невеликого розміру екрана переносного пристрою;
- розрахувати сценарій використання за наявності часових обмежень, щоб зменшити м'язову втому чи переключення уваги;
- винайти спосіб полегшити взаємодію чи звільнити руки під час використання смартфона;
- розробити графіку з урахуванням можливостей динамічного діапазону проєктора, рівня чорного та світла від середовища [60];
- нейтралізувати ефекти фону чи викривлення поверхні;
- налаштувати освітлення сцени з урахуванням реального освітлення;
- розробити матеріали для об'єктів з урахуванням можливостей обчислення графіки;
- перевірити, що графіка не обрізається несподівано на краях екрана, так званий ефект «Віконне порушення» (window violation).

У зв'язку з обмеженою потужністю споживчих пристроїв для перегляду за використання мобільної AR, також постає потреба всебічної оптимізації. Наприклад, за інструкціями редактора «Meta Spark» [375] щодо зменшення кількості полігонів, використання простих форм, зменшення текстур, використання спеціальних шейдерів тощо. Сцени, які є надто складними та ресурсомісткими, можуть спричиняти зависання та погіршення загального

враження від використання. Це вимагає посиленого фокусу на розробленні ефективного дизайну, спрямованого на забезпечення оптимальної продуктивності та зручності використання AR-інтерфейсу.

Загалом усі основні розглянуті взаємозв'язки між складниками в AR-системах, відповідними інтерфейсами та характеристиками можна проілюструвати в узагальнювальних типологічних схемах табл. А.38 та табл. А.39. Категорії поділу виділені синьо-фіолетовим кольором, інтерфейси — блакитним, а найпоширеніші типи AR, основані на відповідних компонентах та характеристиках, — зеленим.

Розглянувши низку проєктів, ми дійшли висновку, що процес проєктування AR-систем загалом, у своєму підході, не дуже відрізняється від розроблення інших цифрових дизайн-продуктів. Основна відмінність — більший фокус на вибір технічних засобів, які матимуть чималий вплив на подальші можливості системи. Є різні підходи та методології щодо процесу проєктування кінцевого продукту. Ранні методики трактували когнітивні процеси користувачів як передбачувані і зосереджувалися на результатах когнітивних досліджень у таких сферах, як пам'ять і увага. Сучасні моделі мають тенденцію акцентувати увагу на постійному зворотному зв'язку й діалозі між користувачами, дизайнерами, розробниками, інженерами, і докладають зусиль до того, щоб технічні системи крутилися навколо бажань користувачів, а не навпаки.

Найпоширенішими методологіями є HCD, UCD, ACD, PCD. Дизайн, орієнтований на людину (Human-Centered Design, HCD), у його центрі користувачі та їхні потреби. У його фокусі навіть ті люди, які не користуються продуктом, зокрема, розробники. У дизайні, орієнтованому на користувача (User-Centered Design, UCD), фокус звернений на зручність, характеристики користувача, оточення, завдання та шляхи роботи на кожному етапі. Увагу приділено лише користувачеві продукту. Дизайн, орієнтований на діяльність (Action-Centered Design, ACD), ставить у центр дії користувачів. Процесно-орієнтований дизайн (Process-Centered Design, PCD) ставить у центр побудову

бізнес-процесів, які беруть участь у обслуговуванні продукту, та дає змогу досягти узгодженості інтересів бізнесу й ІТ, щодо інтерфейсу користувача. Підходить для продуктів з доповненою реальністю, спрямованих на співпрацю, групове спілкування та дії. Усі методології дизайну, орієнтованого на користувача, використовуються, щоб гарантувати, що візуальна мова, введена в дизайн, добре адаптована до завдань. Вони часто послуговуються дослідженнями етнографічного середовища, у якому користувачі будуть працювати із системою.

Відзначимо, що у проєктуванні інтерфейсів для класичних 2D-систем є низка затверджених стандартів. Наприклад, міжнародний стандарт 13407 [219] є основою для багатьох методологій дизайну, орієнтованого на користувача. Стандарт оновлюється кожні 5 років та востаннє був оновлений 2019 року (ISO 9241-210:2019) [220]. У 2016 року було опубліковано кілька нових та переглянутих стандартів ISO, які визначають основні терміни та поняття зручності використання (ISO 9241-11), дають вказівки щодо процесів та результатів проєктування, орієнтованого на людину (ISO 9241-220), наводять приклади заходів, які можуть бути застосовані під час оцінювання зручності (ISO / IEC 25022 та 25023), та визначають, що треба включити до тестів, інспекцій та опитувань щодо зручності та звітів про її оцінювання (ISO / IEC 25066).

Стандартних AR-інтерфейсів на сьогодні немає, тобто немає ще зафіксованих стандартів, як наприклад, загально прийняті метафори («робочий стіл», «папка»), та розроблених документів. Однак поява та поширення тривимірних інтерфейсів спровокували роботу над супутніми стандартами в окремих сферах [124, с. 64], і робота в цій галузі триває. Як приклад, консорціум «World Wide Web» (W3C), який визначає міжнародні стандарти для багатьох аспектів інтернету, розробив специфікацію для використання інтерактивної 3D-графіки VRML та X3D [403], які описують інтерактивне 3D-середовище, його особливості та функційні можливості, які мають реалізовувати 3D-браузери [124, с. 64]. Для двовимірних інтерфейсів

було створено методи незалежного опису, спеціальної мови розмітки HTML, нотацію дій користувача — UAN — Х. Хартсона та Ф. Грея [198]. Подібні наміри щодо стандартизації опису спостерігаються також для 3D-інтерфейсів: 3Dml та InTml Пабло Фігероа та співавторів [168].

AR-інтерфейси потребують оцінювання ефективності та аналізу для об'єктивного визначення вдалих рішень. Є різні методи оцінювання 3D-інтерфейсів, які допомагають аналізувати користувацький досвід та визначати важливі характеристики для їхнього покращення. Оцінювання складається з оцінки, аналізу та тестування інтерфейсу, яке має проводитися протягом усього процесу розроблення, а не лише після його завершення [124, с. 667]. Об'єктом оцінювання може бути весь інтерфейс користувача або його окремі частини, пристрої введення або методи взаємодії. Основною метою оцінки є виявлення проблем, які можуть спричинити зміни в дизайні. Процес проєктування має бути ітеративним, постійно вдосконалюючи інтерфейс. Ітерація завершується, коли інтерфейс стає досить ефективним, з огляду на встановлені показники або обмеження бюджету та часу [124, с. 668].

Найважливіший чинник у процесі покращення інтерфейсу — зручність використання, *юзабіліті* (usability). Оцінювання юзабіліті дає змогу виміряти деякі аспекти зручності використання інтерфейсу, а саме: продуктивність системи, продуктивність виконання завдань, суб'єктивні враження. Методи оцінювання (evaluation methods) — це окремі кроки, що можна використовувати в оцінюванні. Оцінювальний підхід (Evaluative approach) — це комбінація методів, які використовують у певній послідовності для формування повної оцінки зручності використання. Один з підходів для оцінювання — когнітивне покрокове проходження звичайних завдань, які виконує користувач за методом П. Полсона [314], та оцінювання здатності інтерфейсу підтримувати кожен крок виконання. Інший підхід — списки порад, наприклад, евристичне оцінювання Я. Нільсена та Р. Моліча [292], коли дизайн оцінюється, застосовуючи набір принципів та вказівок, щоб визначити потенційні проблеми та способи покращення.

Більшість методів оцінювання належать до *методів формувального оцінювання*, що застосовують в ітеративному дизайні. Наприклад, метод Д. Хікса та колег [197], оснований на спостереженні, передбачає постійні тестування за участі користувача впродовж усього розроблення дизайну та в різних сценаріях виконання завдань, щоб виявити проблеми та здатність дизайну підтримувати дослідження та виконання завдань. Зібрані дані допомагають визначити компоненти інтерфейсу, які одночасно підтримують і знижують продуктивність завдань та задоволення користувачів. Після завершення розроблення застосовують методи підсумкового оцінювання, наприклад, Д. Хікса та Х. Хартсона [202], які порівнюють отримані результати із цільовими значеннями або порівнюють різні конфігурації інтерфейсу [344]. Підсумкове оцінювання дає змогу виміряти та порівняти продуктивність і економічні переваги різних дизайнів інтерфейсу.

Дослідницькі запитання мають переважно форму: «Який вплив X і Y на Z ?», де X і Y називаються незалежними змінними, а Z — залежною змінною [124]. Незалежні змінні явно замінюються для порівняння. Кожна комбінація незалежних змінних стає умовою, наприклад: два варіанти X та два Y створять чотири умови впливу на Z . Метою таких досліджень [123; 128] є перевірка впливу незалежних змінних на залежні змінні. Щоб мати змогу визначити, коли незалежна змінна має прямий вплив на залежну змінну, важливо, щоб усі інші чинники, окрім незалежних змінних, залишалися постійними та не змінювалися впродовж експериментів. Для оцінювання інтерфейсів щодо суб'єктивних явищ часто використовують *анкетування* та *інтерв'ю*. Так можна дізнатися про суб'єктивні відчуття користувачів, наприклад про відчуття зануреності, присутності, кіберхвороби. Анкети також корисні для збору демографічної інформації (а саме: вік, стать, досвід роботи з комп'ютером) і суб'єктивних даних (думки, коментарі, уподобання, рейтинги). Ще однією ефективною технікою отримання якісних даних є протокол *«роздумів вголос»* [202], коли учасники говорять про свої дії, цілі та думки щодо інтерфейсу під час виконання конкретних завдань.

Усі критерії оцінювання пов'язані здебільшого зі сприйняттям дизайнерського продукту користувачем. Серед них слід назвати: зручність використання інтерфейсу, легкість та простоту виконання завдання, відсутність дискомфорту. Дане завдання потребує виконання робочих тестів для оцінки продуктивності, що найчастіше передбачає вимірювання швидкості та точності виконання. Для кожного завдання є деякий компроміс цих показників і який можна визначити. Тестове завдання виконують три рази: якомога швидше одного разу, якомога точніше другого разу та збалансовано третього разу. Такий підхід дає інформацію про криву компромісу для конкретного завдання.

У AR-інтерфейсах можна оцінювати такі показники, як *присутність* і *комфорт*. Оцінювання *відчуття присутності*, наприклад оцінювання М. Слейтер (M. Slater) [357], виконується через психофізичні показники, опитування, фізіологічні заміри, емоційні реакції, тести на запам'ятовування, специфічні завдання, що потребують присутності і продуктивності їх виконання. *Комфорт* може охоплювати різні показники, зокрема кіберхворобу, фізичні дії, ергономічність пристроїв. Його вимірюють суб'єктивно, використовуючи шкали оцінок або анкети, наприклад опитувальник симулятора хвороби (SSQ) Кеннеді та ін. [236], або об'єктивні вимірювання, наприклад вимірювання точності виконання завдання маніпуляції в реальному світі після контакту з віртуальним світом Дж. Ванна та М. Мон-Вільямса (J. Wann, M. Mon-Williams) [395]. Необхідно подбати про облаштування середовища, у якому відбувається використання інтерфейсу, та безпеку під час оцінювання. Переміщення в просторі, особливо в шоломі чи окулярах, які можуть обмежувати кут огляду, потребують перевірки того, щоб користувач не наштовхнувся на стіни, інші фізичні об'єкти, кабелі тощо.

З урахуванням складності та новизни тривимірних інтерфейсів, Д. Бовман [124] вбачає автоматизований збір даних про продуктивність системи та виконаних завдань майже необхідністю. Це зменшує потребу в спостерігачах, фіксує час та заздалегідь визначені помилки, але потребує

додаткового часу на налаштування і наявність відповідного програмного забезпечення. Запис сесій взаємодії на відео допомагає в одиночних тестах та об'єднувальних сесіях спільного користування. Автоматизовані системи оцінювання стануть у нагоді й у разі розроблення мультимодального введення, яке поєднує окремі події, жести, голос та/або рухи всього тіла. Оцінювачеві буде важко самотійно спостерігати за кількома потоками введення одночасно та записувати точний журнал дій.

Оцінювання, засноване лише на евристичних методах, є складним завданням, і, незважаючи на всі рекомендації [122; 138; 232; 275; 282; 374], зручність використання конкретного AR-інтерфейсу важко передбачити без вивчення досвіду реальних користувачів, які намагаються виконувати типові завдання в інтерфейсі. Через чималий вплив багатьох чинників (спосіб навігації, методи взаємодії з об'єктами, графічний двигун тощо) оцінювання має відбуватися з урахуванням конкретних умов використання, разом з апаратними характеристиками, які задіяні для відображення 3D-сцени, та вимогами до функціональності та продуктивності реального продукту. Важливо оминати бажання надто узагальнити результати оцінювання та фіксувати всі компоненти, що брали участь, зокрема тип дисплея, пристрої введення, потужність оброблення графіки, точність відстеження тощо. Д. Бовман [124] рекомендує також провести оцінку з різними налаштуваннями (наприклад, з використанням різних пристроїв чи компонентів).

Розглянемо основні підходи до оцінювання AR-інтерфейсу, які поєднують різні методи та спрямовані на покращення взаємодії з користувачем: «Послідовне оцінювання» (Sequential Evaluation Approach) [175], «Оцінювання тестового стенда» (Testbed Evaluation Approach) [125] та «Оцінювання компонентів» (Component Evaluation Approach) [276]. *Послідовне оцінювання* враховує завдання користувача, щоб підібрати найкращий дизайн інтерфейсу. Його треба використовувати на ранній стадії й упродовж усього циклу проєктування інтерфейсу. *Оцінювання тестового стенда* має на меті знайти загальні характеристики ефективності методів

взаємодії високого рівня. Вона виходить за межі циклу проєктування конкретної системи. *Оцінювання компонентів* визначає основні ефекти системних компонентів та їхню взаємодію для конкретного контексту програми. Тестовий стенд та оцінювання компонентів можуть бути використані ще до того, як з'явиться конкретна концепція системи, а зібрані в тестах знання про загальні ефекти компонентів можуть бути використані, щоб прийняти рішення щодо нечітких варіантів дизайну. Отже, для розроблення тривимірного AR-інтерфейсу необхідне оцінювання досвіду та зручності його використання. Незважаючи на те, які методології, принципи та прийоми були використані під час дизайну, має відбутися перевірка, і неодноразова, практикою та реальними випробуваннями.

Висновки до четвертого розділу

1. Опрацьовано найкращі дизайнерські проєкти та виділено, що принцип взаємодії лежить в основі AR-системи. Проаналізовано поняття взаємодії та визначено, що всі трактування взаємодії роблять наголос на її двосторонньому впливі на об'єкти, що приймають в ній участь. Для додаткового акценту на процесі обміну між учасниками вживають такі терміни, як комунікація, спілкування та інтеракція. Останній робить наголос на двосторонній процес обміну змістами.

2. З'ясовано, що взаємодія з інтерфейсом розглядається як у контексті людино-комп'ютерної взаємодії, і як засіб опосередкованого спілкування. Оскільки взаємодія — це багат шаровий процес, вона має проєктуватися з урахуванням різних шарів. Відзначимо також, що взаємодія з інтерфейсом є інструментом досягнення більш глибокої мети — виконання завдання, доступу до інформації або до іншої людини. Доведено, що *інтерактивність* та *інтеракція* не тотожні поняття. Інтеракція — процес обміну діями або комунікація, що відбувається між декількома учасниками, і відрізняється взаємним впливом. Інтерактивність — сукупність властивостей дво- або

більше стороннього спілкування, які визначають ступінь доступного контролю та свободи дій в учасників взаємодії над формою та змістом об'єкта комунікації. Відзначимо, що концепція інтерактивності постійно змінюється та трансформується.

3. Проаналізовано та систематизовано наявні в науковій літературі рівні інтерактивності. Вони дають змогу розподіляти AR-проекти за функційними можливостями, виконувати аналізування та оцінювання продуктів у справедливіших умовах, зосередити увагу на принципах, притаманних конкретному рівню, та змінити площину розгляду. Рівні відрізняються за характеристиками, що взяті за основу для поділу, та акцентами на різних об'єктах чи суб'єктах процесу взаємодії. Зважаючи на багатство типологій рівнів і використання схожих назв, необхідно завжди уточнювати, за якою класифікацією проводиться аналіз дизайн-продуктів. Зазначено, що зворотний зв'язок — одна з характеристик інтерактивності, а його використання пов'язане з правильним і відповідальним розподілом реакцій та їхніх форм, у чому допомагають принципи «спокійних технологій».

4. Визначено, що особливості уваги, сприйняття та ергономіки впливають на розроблення дизайну системи. Відповідно, необхідним є врахування психологічних і фізіологічних принципів. Відповідальний дизайн передбачає полегшення зосередження уваги на важливих для користувача завданнях у віртуальному середовищі та покращення продуктивності. Сприйняття інформації про віртуальне середовище покращується завдяки несуперечливим підказкам, які надходять з різних сенсорних каналів та формують розуміння просторової структури тривимірної сцени. Найперше, це візуальні підказки, але свій внесок робить також інформація з інших каналів. Завдяки пластичності мозку та можливості сенсорної заміни є змога компенсувати обмеження доступу до певного каналу.

5. Узагальнено особливості проектування доповненої реальності, зумовлені як зовнішніми чинниками, так і технічними обмеженнями. Розглянуто наявні стандарти й напрями оцінювання ефективності та зручності

в AR-системах. Визначено, що тестування й оцінювання є неодмінною вимогою для створення інтерфейсу.

Основні результати цього розділу дисертації апробовано в статті [73] та доповідях [63].

ВИСНОВКИ ЗАГАЛЬНІ

У результаті виконаного дослідження було проведено комплексний аналіз дизайну систем доповненої реальності та її складників. Це дало змогу покласти початок формуванню теоретичної бази AR-дизайну, оскільки було виявлено та окреслено специфіку предмета дослідження. Здійснено систематизацію матеріалу, що оприявлює вивчення теоретичних засад дизайну доповненої реальності, і виявлено, що ця тема майже не освітлена в сучасних дослідженнях і загалом лише починає обговорюватися у світі. За результатами виконаної роботи можна зробити наступні висновки:

1. Виявлено, що ступінь наукового осмислення дизайну AR-систем представлений здебільшого практичними експериментами, ніж теоретичним опрацюванням. Історично дослідження доповненої реальності більше фокусувалися на технічному втіленні, а питання саме дизайну почало підніматися здебільшого в останні десятиліття, фрагментовано, найчастіше з позицій реалістичності, оцінювання та зручності (М. Білінгхарст, О. Бімбер, Д. Бовман, Х. Като, І. Попирев, Дж. Ролланд, М. Слейтер, О. Хьюг). В українському науковому дискурсі недостатньо представлені навіть суміжні напрями, що покладено в основу вивчення AR (людино-комп'ютерна взаємодія, інтерфейси загалом, когнітивні процеси), що потребує звернення переважно до іноземних джерел (Е. Гудман, Л. В. Столтерман, Я. Нільсен, Р. Моліч, Д. Хікс, S. Bødker тощо).

2. Розглянуто генезис AR-систем AR та визначено їхній тісний зв'язок з аудіовізуальним і видовищним мистецтвом. Зокрема, мистецьку сторону та потенціал доповненої реальності вивчали українські дослідники, здебільшого оминаючи питання проєктування (О. Волинець, Т. Габрель, О. Губернатор, С. Кривуц, О. Кундеревич, І. Малиніна, Т. Міронова, М. Опалєв, Т. Совгира, О. Чепелик тощо). Дизайн AR-інтерфейсу — окрема наукова проблема, яка потребує мультидисциплінарного підходу та перегляду відомих концепцій і прийомів з різних дисциплін крізь призму створення AR. У зв'язку із цим була

обґрунтована актуальність дослідження типології інтерфейсів в основі систем доповненої реальності та визначення принципів проєктування.

3. Узгоджено термінологію в сфері дизайну доповненої реальності і встановлено відмінності між доповненою, віртуальною та змішаною реальністю. Як наслідок, сформульовано визначення *доповненої реальності (AR), як різновиду реальності, що утворюється на основі базової реальності, через введення в зорове поле або поле сприйняття будь-яких актуальних сенсорних віртуальних даних, які мають просторову прив'язку та формують із контекстом наратив*. У цьому разі що більш чіткішим та яснішим є наратив з контекстом, то сильнішим є доповнення реальності. Це досягається через застосування актуальних даних, інтерактивності або сильної прив'язки до поточного моменту й простору. Відповідно, уперше складено формулу створення AR як явища, зумовленого існуванням наративу між контекстом (середовищем чи ключовим об'єктом) та віртуальними даними. По-перше, формула робить внесок у теоретичну базу й дає змогу чітко класифікувати проєкти як AR. По-друге, наголошує на важливій ролі розроблення ідейної та концептуальної основи дизайну. Ми переконані, що AR має потужний потенціал, але для його виявлення вона має використовуватися лише в тих ситуаціях, коли це логічно та ідейно обґрунтовано.

4. Відзначено, що фізичні продукти можуть містити доповнену реальність як додатковий контент, і є системи, завданням яких є суто створення доповненої реальності, а також AR сама може ставати середовищем проєктування дизайну продуктів. Запропоновано визначення *інтерфейсу, як спільної межі (засобу або місця взаємодії) між відокремленими системами, через яку вони взаємодіють між собою*. Продемонстровано також, що AR-системи поєднують багато різних інтерфейсів і самі є інтерфейсом між віртуальними даними та базовою реальністю. Це дає змогу розглядати AR як інтерфейс загалом, концептуально, а також зумовлює багатосаровість подальших досліджень, зосереджених на вкладених рівнях інтерфейсів.

5. Визначено основні складники AR-системи, виділено зону інтерфейсу

користувача в межах системи та сформовано схему взаємозв'язку основних компонентів та процесів між ними. Розроблено типологію інтерфейсів, яка базується на таких складниках, як фізичні компоненти, особливості взаємодії та віртуальні дані (контент). А також виділено ті компоненти, властивості та особливості, що вносять додаткове різноманіття в більші категорії. По-перше, на відміну від інших цифрових продуктів, технічний складник здатний кардинально вплинути на кінцеву форму доповненої реальності, а вибір компонентів стає частиною процесу дизайну AR-системи. Сформовано класифікацію дисплеїв за типом змішування та виділено три категорії AR: оптично-прозора, відеопрозора та прямого доповнення простору. За фізичним форматом засобів відображення виділяють приєднану до користувача (портативну) та просторову AR. Цей поділ є дуже узагальненим, бо через велике різноманіття можливих дисплеїв (поверхні та об'єкти, як пласкі, так і об'ємні, тверді, рідкі, сипучі тощо) досягається висока варіативність форм AR у межах цих категорій. За способами реєстрації зображень виділяють маркерну, безмаркерну та суперімпозиційну AR.

По-друге, інтерфейси, що використовують в AR-системах, спираються на різні модальності, найчастіше візуальну, слухову, тактильну або жестову, та їхнє поєднання для забезпечення взаємодії й надання зворотного зв'язку. Особливості дизайну зумовлені вибором домінантної модальності. У невізуальних інтерфейсах зважають на низьку «видимість» доступних команд та зменшену швидкість взаємодії. Однак у поєднанні з візуальним інтерфейсом вони сприяють підвищенню загального комфорту від використання. У проєктуванні візуальних AR-інтерфейсів запозичують напрацювання з WIMP, пост-WIMP та HUD-інтерфейсів, а також звертаються до 3D-інтерфейсів. Доповнена реальність власне може використовувати всі можливі форми сучасних інтерфейсів взаємодії, відповідно до своїх завдань і концепцій. Встановлено, що особливістю взаємодії з AR є те, що крім спеціалізованих приладів для взаємодії, можуть використовуватися матеріальні об'єкти, які входять до складу основного контенту. За

матеріальністю взаємодії AR-інтерфейси поділяють на матеріальні, матеріально-доповнені, тактильно-доповнені та віртуальні. Завдяки такій кількості різноманітних інтерфейсів взаємодії утворюється також широкий діапазон технік взаємодії, а потреба взаємодії з об'ємним простором та в реальному середовищі породжує запит на пошук та розроблення спеціальних технік 3D-взаємодії.

По-третє, виділено та складено перелік концептуальних метафор контенту, які окреслюють основні властивості AR-інтерфейсу та допомагають дизайнеру визначити межі функціонально-образного рішення. Метафори відрізняються за мірою образності: «рентген», «вікно», «ліхтарик» «акваріум», «візор» мають більш визначену заздалегідь форму, водночас «чарівне дзеркало», «активний друк», «геошар» та «печера» майже не обмежують образний складник контенту. Вони, тісно пов'язані з фізичними компонентами, зокрема засобами відображення, і є результатом поєднання контенту з формою його подання. З огляду на свій тісний зв'язок між візуальною формою та функцією, доповнена реальність, використовуючи метафору, вирішує як функціональне, так і образне завдання. Загалом типологія AR інтерфейсів, що базується на основі компонентів, дає змогу формувати інтерфейси вищого порядку та орієнтуватися в наявному різноманітті під час проєктування.

6. Доказано, що концептуально дизайн доповненої реальності розвивається у двох основних напрямках: розважальні інтерфейси (лудичні, термін В. Гавера) та інтерфейси мистецтва (авторський термін). До першого напрямку переважно тяжіє портативна AR (приєднана до користувача), а до другого — просторова AR. Ми пропонуємо розглядати доповнену реальність як різновид *інтерфейсу мистецтва* за рахунок того, що: багато AR-проєктів самі є витворами мистецтва, які пропонують різні рівні інтерактивності; вони залучають до активності користувачів, змінюючи їхню роль з глядача на діяча, співавтора чи творця; такі інтерфейси часто відрізняються відсутністю видимих елементів керування, що непритаманне іншим видам візуальних

інтерфейсів. У цьому амплуа найкраще виявлено просторову доповнену реальність, найяскравіші приклади якої бачимо в мистецтві та сфері реклами, а зокрема — доповнені простори. Такі AR-інтерфейси часто не мають видимих елементів управління та роблять наголос на особистий досвід і співучасть. Серед принципів управління увагою в AR-просторі відмічаємо *перезалучення глядача через трансформацію форми*.

Доповнені простори можна охарактеризувати за такими властивостями: імерсійність, інтерактивність, змінність, позиція користувача, напрям сприйняття та масштабність. Визначення цих характеристик пропонує критерії для порівняння та змогу свідомого розроблення AR-просторів. Портативна AR не має такої варіативності цих властивостей, як просторова: не може створити ефект занурення, користувач може бути лише зовні системи, а напрям сприйняття завжди спрямований назовні. Вона більше спирається на розважальні інтерфейси, побудовані на таких принципах, як: *гейміфікація, вбудованість елементів управління, мультимодальний зворотний зв'язок, ігрова імерсійність, простота використання та контроль*. Серед підходів до гейміфікації: виклики, винагороди за дії, відгуки, ігрові механіки, система балів та рівні прогресу. AR запозичує ці принципи та підходи, втілює та продовжує розвивати в нових формах. Такий концептуальний поділ дає змогу окреслити зони теоретичних розроблень та сфокусуватись на принципах, притаманних кожному з напрямів.

7. Виявлено, що інтерфейс доповненої реальності і контент тісно пов'язані й часто нероздільні, а елементи контенту виконують роль елементів інтерфейсу. Відповідно, складено класифікацію властивостей контенту на основі того, яка модальність використовується, які відносини із середовищем (координатна система, інтер'єрний чи екстер'єрний формат, масштаб охоплення, носій доповнення) і яка темпоральність контенту. Ми дійшли висновку, що візуально та стилістично дизайн доповненої реальності не обмежений і підпорядковується загальним правилам дизайну та технічним можливостям, але водночас має й певні особливості, наведені далі. Визначено

основні принципи, за якими розробляється дизайн AR-системи, серед яких: *доцільність, узгодженість, єдність й цілісність, домінанта, рівновага, пропорційність, підпорядкування, групування та адаптивність*. Їхнє виділення дає змогу говорити про потребу спрямування розроблення з урахуванням специфічних рис. Що, своєю чергою, свідчить про зрілість виділення цього напрямку дизайну в окрему галузь.

По-перше, досягнення ефекту доповнення, відбувається через просторове узгодження з тими поверхнями, на які воно накладається. По-друге, чимала увага приділяється композиційному дизайну 3D-сцени, врахуванню глибини, об'єму і просторових співвідношень між об'єктами. Це забезпечує не лише естетичні якості, а й сприяє управлінню увагою користувача, направляє за сценарієм. По-третє, неабияка відповідальність у дизайні покладена на анімацію, що покликана оживляти простір, розставляти акценти та підтримувати розповідь. З одного боку, це використання незалежних, класичних лінійних анімацій, притаманних переважно повноцінним доповненням історій. З іншого, використання контекстних, циклічних, нюансних анімацій, що більше пристосовані під AR-формат та володіють такими властивостями, як зв'язок з об'єктом основою, ергономічно обґрунтована коротка тривалість, розкриття руху зашифрованого в об'єкті. Відмічено, що в багатьох роботах дизайнери не використовують вільний 3D-простір навколо, втрачаючи можливість збагатити віртуальну сцену, й обмежуються площиною фізичного об'єкта, навіть у мобільній AR. У зв'язку із цим, пропонуємо ввести до наукового обігу термін «мультиплощини», який називатиме прийом створення навколо цільового об'єкта додаткового простору з площин для анімації.

По-четверте, простір і рух вважаємо основними стовпами у дизайні AR. Для забезпечення відчуття глибини залучають як внутрішній простір на поверхні об'єкта доповнення, так і зовнішній простір навколо нього. Дизайн простору потребує також розміщення в ньому сенсорних підказок, які полегшують його сприйняття, орієнтацію та навігацію в ньому. Побудова

простору в фізично обмеженому середовищі відбувається за принципом *адаптивності*, подібно до вебінтерфейсів. Рух є однією з відмінних рис віртуального середовища. Виділено такі принципи дизайну, що спонукає до переміщень у просторі, як: *створення сильної концепції, цікавого візуального ряду, проробленого сценарію переміщень, заохочення до руху через зацікавлення та винагороди*. Визначення особливостей AR-контенту відкриває шлях до дослідження й розроблення специфічних, притаманних саме AR прийомів та практичних рекомендацій.

8. Визначено важливі принципи, за якими розробляються AR-системи: *забезпечення інтерактивності, врахування впливу людського чинника, впровадження мультимодального зв'язку, управління увагою та створення репрезентацій за принципами «спокійних технологій», постійне тестування зручності використання*. Узагальнення базових принципів розроблення взаємодії дало змогу окреслити основні етапи проєктування та виділити ті, що значною мірою впливають на фінальний продукт. У цьому разі з'ясовано, що інтерактивність системи та контенту може виявлятися в різних площинах і рівнях, про що було складено окрему класифікацію. По-друге, проєктування циклу взаємодії в AR-системі пов'язане, зокрема з урахуванням когнітивних особливостей людського сприйняття та комплексом принципів етичного проєктування (та зменшення візуального навантаження), а також з компенсацією чи доповненням інформації за рахунок різних сенсорних каналів, зокрема доповнення візуального зображення відповідними звуковими ефектами. Не останню роль у процесі проєктування відіграє і врахування ергономіки, адже відчуття втоми та дискомфорту впливає на загальне враження від досвіду використання системи. Наголошено на важливості етапів тестування й оцінювання: вдалості та зрозумілості візуального рішення та супутніх анімацій, ефективності виконання завдань та зручності використання в AR-системах, — без яких не може відбуватися якісне розроблення.

9. На основі проведеного дослідження стверджуємо, що дизайн AR є перспективним напрямом досліджень. Завдяки широкому спектру форм та

галузей застосування, AR проникає в повсякденне життя, стає частиною не лише експериментальних, але й комерційних проєктів. Вона продовжує розвиватися й потребує сучасного осмислення та кваліфікованих дизайнерів. Розроблена типологія інтерфейсів дала змогу систематизувати різноманітність інтерфейсів та їхніх властивостей та спрямована на формування теоретично-практичної бази дизайну AR. *Подальші розвідки в дизайні систем доповненої реальності:*

- доповнення типології AR-систем та детальне дослідження окремих категорій типології, наприклад, сфер застосування, функційного спрямування та мистецьких форм;
- розробка нових концепцій AR-інтерфейсів, зокрема просторових та 3D, з комбінуванням різних типів інтерфейсів;
- дослідження принципів побудови наративу, сторітеллінгу та сценаріїв взаємодії із застосунком чи простором;
- практичні рекомендації щодо створення сценаріїв знайомства, супроводу роботи з AR, шляхів оптимізації щодо створення дизайну тривимірних AR сцен;
- розробка стандартів етичного дизайну віртуального простору;
- розширення методів тестування та оцінювання AR-системи.

Матеріали дослідження були апробовані на лекційних заняттях з навчальної дисципліни «Історія мультимедійного дизайну» для студентів 4 курсу спеціалізації «Мультимедійний дизайн». Прочитаний курс лекцій і матеріал дослідження були впроваджені в навчальну програму дисципліни «Інтерактивне проєктування» для кафедри «Мультимедійного дизайну» (ХДАДМ). Отримані результати можуть бути використані в подальших дослідженнях у галузі AR, а також у процесі розроблення нових продуктів з використанням AR та у навчальній і практичній діяльності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алфьорова З. І. Дисипативні засади перетворень сфери візуального та аудіовізуального: морфологічний аспект. *Актуальні питання мистецтвознавства: виклики XXI століття*. Харків, 2016. С. 5–6.
2. Алфьорова З. І. Дисипативність як принцип морфологічних трансформацій аудіовізуального мистецтва. *Культура України*. 2019. Вип. 65. DOI: 10.31516/2410-5325.065.19.
3. Алфьорова З. І. Комп'ютерний тип мислення в сучасній аудіовізуальній освіті. *Культура. Мистецтво. Освіта. Актуальний полілог*. Київ, 2020. С. 10–12.
4. Алфьорова З. І. Трансформація професійно-освітньої моделі українського аудіовізуального мистецтва та виробництва під впливом системної невизначеності. *Innovative Solutions in Research and Education : conference proceedings of the 1st International Conference*. 2021. С. 78–91.
5. Алфьорова З. І. Фільмічні структури в мультимедійному дизайні. *Традиції та новації у вищій архітектурно-художній освіті*. 2019. Вип. 6. С. 7–10. DOI: 10.33625/2409-2347-2019-6-7-10.
6. Барбанель С. Р., Барбанель С. Р., Качурин І. К., Королёв Н. М., Соломоник А. В., Цивкин М. В. Кинопроекционная техника / ред. С. М. Проворнов. М: Искусство, 1966. 636 с.
7. Бессараб А. О. Технології доповненої реальності як новий тренд у формуванні культури читання. *Держава та регіони. Серія: Соц. комунікації*. 2016. Вип. 4. С. 4–8.
8. Бінь Л., Кривуц С. В. Аналіз стану наукового дослідження проблем формування дизайну арт-інсталяцій в системі міського середовища КНР. *Актуальні питання гуманітарних наук*. 2022. Т. 2. Вип. 49. С. 4–9. DOI: 10.24919/2308-4863/49-2-1.
9. Блэк М. Метафора. *Теория метафоры*. М: Прогресс, 1990. С. 153–173.

10. Бойчук О. В., Петряник В. Дизайн інтерактивної реклами в міському середовищі. *Традиції та новації у вищій архітектурно-художній освіті*. ХДАДМ, 2018. Вип. 2. С. 7–13.

11. Брайт П. Практичний досвід роботи з Windows 8: операційна система ПК для епохи планшетів. *Ars Technica*. URL: <https://arstechnica.com/microsoft/news/2011/09/hands-on-with-windows-8-a-pc-operating-system-for-the-tablet-age.ars> (дата звернення: 03.03.2023).

12. Брижаченко Н. С. Підходи формування дизайну громадських інтер'єрів на основі включення інтерактивних мультимедійних об'єктів. *Вісник ХДАДМ. Теорія Мистецтва*. ХДАДМ, 2015. Вип. 6. С. 13–18.

13. Брижаченко Н. С. Поняття «інтерактивність» та визначення терміну «інтерактивний інтер'єр». *Всеукраїнська наукова конференція професорсько-викладацького складу ХДАДМ за підсумками роботи 2015/2016 навчального року*. Харків, 2016. С. 12–14.

14. В Instagram видалять фільтри з масками краси. URL: <https://konkurent.ua/publication/47813/v-instagram-vidalyat-filtri-z-maskami-krasi/> (дата звернення: 15.03.2023).

15. Величко Н. Тенденції розвитку засобів візуальної комунікації в контексті дизайну книги. *Вісник Харківської державної академії дизайну і мистецтв*. 2020. Вип. 3. С. 5–13. DOI: 10.33625/visnik2020.03.005.

16. Веселі мелодії. Золота колекція (1-6 сезон) : мультфільми. реж. Чак Джонс, Фриц Фрилинг, Роберт МакКимсон. Warner Bros. Cartoons, 2012. 3 електрон. опт. диски (DVD-ROM).

17. Водный интерфейс: Веб-сайт. URL: <http://www.modding.ru/view/3217.html> (дата звернення: 20.09.2021).

18. Воробчук М. С., Пашкевич К. Л., Шинкар А. Ю. Імерсивні технології як інноваційний інструмент для проєктування в дизайні. *Art and Design*. 2023. Вип. 2. С. 96–104. DOI: 10.30857/2617-0272.2023.2.9.

19. Высоцкий М. З. Системы кино и стереозвук / ред. Л. О. Эйсмонт. М: Искусство, 1972. 336 с.

20. Габрель Т. М. Історія становлення віджеїнгу як жанру сучасного медіа-мистецтва. *Art and Design*. 2022. Вип. 1. С. 57–66. DOI: 10.30857/2617-0272.2022.1.5.
21. Габрель Т. М. Порівняльний огляд світових фестивалів відеомепінгу та відеопроєкційного мистецтва. *Art and Design*. 2022. С. 57–66. DOI: 10.30857/2617-0272.2022.1.5.
22. Ганоцька О. Інтерактивна упаковка: нові можливості у дизайні. *Вісник ХДАДМ*. Харків: ХДАДМ, 2017. Вип. 3. С. 13–52.
23. Гаррі Поттер і філософський камінь : фільм. реж. Кріс Коламбус. Warner Bros, 2001. 1 електрон. опт. диск (DVD-ROM).
24. Гейхман Л. К. Обучение общению во взаимодействии: интерактивный подход. *Образование и наука*. 2002. Т. 18. Вип. 6. С. 135–146.
25. Губернатор О. І. Імерсивні культурні практики ххі століття: Особливості та прийоми. *Культурологічний альманах*. 2022. Вип. 3. С. 283–289. DOI: 10.31392/cult.alm.2022.3.36.
26. Гудвинз Р. «Windows 7? У ньому немає руки». URL: <https://zdnet.com/windows-7-no-arm-in-it-4010008314> (дата звернення: 26.07.2021).
27. Даниленко В. Я. Основи дизайну. Київ: ІЗМН, 1996. 92 с.
28. Додаватися. *slovnyk.ua*. URL: <https://slovnyk.ua/index.php?swrd=додавлятися> (дата звернення: 10.04.2022).
29. Додавати. *slovnyk.ua*. URL: <https://slovnyk.ua/index.php?swrd=доповнювати> (дата звернення: 10.04.2022).
30. Додаткові. *slovnyk.ua*. URL: <https://slovnyk.ua/index.php?swrd=додаткові> (дата звернення: 10.04.2022).
31. Доповнена реальність до графічних робіт із колекції музею «4-й Блок». кер. Опалєв М. Л. URL: https://youtu.be/7CQzCHsg_SM (дата звернення: 20.11.2020).
32. Експеримент із доповненої реальності в центрі Барселони. Кер. Опалєв М. Л. 2020. URL: <https://youtu.be/x7NmQv6s20Y> (дата звернення: 20.09.2021).

33. Зражевська Н. І. Нові медіа і нові форми комунікації в медіакulturі. *Current Issues of Mass Communication*. 2013. Вип. 14. С. 70–75.
34. Иванов В. Ф. Массовая коммуникация: Монография. Киев: Академия Украинской Прессы, Центр Свободной Прессы, 2013. 902 с.
35. Інтерфейс. *Великий тлумачний словник сучасної мови*. URL: <https://slovnyk.me/dict/vts/інтерфейс> (дата звернення: 02.10.2020).
36. Інтерфейс. *Словник української мови у 20 томах*. URL: <https://slovnyk.me/dict/newsum/інтерфейс> (дата звернення: 20.01.2022).
37. Кириченко А. О. Використання технологій віртуальної реальності в сучасних концертних шоу. *Питання Культурології*. 2020. Вип. 36. С. 206–218. DOI: 10.31866/2410-1311.36.2020.221068.
38. Кликс Р. Художественное проектирование экспозиций. М: Высшая школа, 1978. 368 с.
39. Коржик Н. А. Інтерактивна книга як сучасний видавничий продукт. *Вісник Харківської державної академії культури*. 2018. Вип. 53. С. 49–58. DOI: 10.31516/2410-5333.053.05.
40. Кундереви́ч О. В., Кириленко К. М., Бенюк О. Б. Імерсивність як мистецька стратегія початку ххі століття (аналіз театрального досвіду та його філософських підвалин). *Вісник КНУКіМ. Серія: Мистецтвознавство*. 2021. Вип. 45. С. 174–182. DOI: 10.31866/2410-1176.45.2021.247390.
41. Лакофф Дж., Джонсон М. Метафори, котрими ми живемо. *Теория метафоры*. М: Прогресс, 1990. С. 387–416.
42. Мавка Сильпо — AR книга-игра и руны с предсказаниями — YouTube. URL: <https://youtu.be/6H8eD5hyo24> (дата звернення: 15.03.2023).
43. Мавка. Лісова пісня. Основний трейлер. URL: <https://youtu.be/VecgIOX8suc> (дата звернення: 15.03.2023).
44. Малиніна І. О. Використання доповненої реальності в сучасному мистецтві. *Вісник Харківської державної академії дизайну і мистецтв*. 2021. Вип. 1. С. 20–29. DOI: 10.33625/visnik2021.01.020.
45. Мартинова Н., Самохвалов Д., Семашко В. Ефективні рішення

організації процесу навчання: поєднання друкованих навчальних матеріалів з мобільними системами доповненої реальності. *Техн. науки та технології*. 2017. Вип. 3. С. 107–114.

46. Міронова Т. В. Віртуальна і доповнена реальності в творчості українських мистців. *Art and Design*. 2021. Вип. 2 (14). С. 141–151. DOI: 10.30857/2617-0272.2021.2.13.

47. Міронова Т. В. Інноваційна діяльність у сучасній образотворчості: новітні технології. *Збірник наукових праць СУЧАСНЕ МИСТЕЦТВО*. 2019. Вип. 15. С. 149–158. DOI: 10.31500/2309-8813.15.2019.185933.

48. Модло Є. О., Єчкало Ю. В., Семеріков С. О., Ткачук В. В. Використання технології доповненої реальності у мобільно орієнтованому середовищі навчання ВНЗ. *НАУКОВІ ЗАПИСКИ Серія: Проблеми методики фізико-математичної і технологічної освіти*. 2017.

49. Муха О. Я. Інтерактивність vs інтерпасивність: інтерпретаційний вибір у постмодерних практиках. *Гілея: науковий вісник*. 2018. Вип. 128. С. 235–240.

50. Новіков М. Сфери практичного використання технології AR в образотворчому мистецтві. *Актуальні питання гуманітарних наук*. 2021. Т. 3. Вип. 38. С. 28–33. DOI: 10.24919/2308-4863/38-3-5.

51. Опалєв М. Л. Структура й особливості дизайну аудіовізуального контенту архітектурного 3D-мепінгу. *Вісник Харківської державної академії дизайну і мистецтв*. 2021. Т. 2021. Вип. 1. С. 30–42. DOI: 10.33625/visnik2021.01.030.

52. Опалєв М. Л., Фоміна К. О. Використання простору в дизайні доповненої реальності для творів живопису і графіки. *International scientific and practical conference «Cultural studies and art criticism: things in common and development prospects»*. Venice: Izdevniecība «Baltija Publishing», 2020. С. 163–167. DOI: 10.30525/978-9934-26-004-9-111.

53. Погружение в прошлое. URL: <https://www.modlabs.net/page/pogruzhenie-v-virtualnoe-proshloe-podrobnyj-obzor-vr-shlema-forte-vfx1#YF4irN>

xwl3g (дата звернення: 20.01.2022).

54. Роботницька Т. П. Використання доповненої реальності для навчального процесу: msthesis. Національний Авіаційний Університет, 2020. 145 с.

55. Сбітнєва Н. Ф. Історія графічного дизайну. Харків: ХДАДМ, 2014. 224 с.

56. Скляренко Н. В. Інтерактивність як принцип організації дизайн-системи (на прикладі об'єктів зовнішньої реклами). *Вісник Харківської державної академії дизайну і мистецтв*. ХДАДМ, 2014. Вип. 2. С. 33–37.

57. Совгира Т. Особливості використання тривимірного зображення в сценічному мистецтві. *Вісник КНУКіМ. Серія «Мистецтвознавство»*. 2019. Вип. 40. С. 75–81. DOI: 10.31866/2410-1176.40.2019.172679.

58. Совгира Т. Цифрові технології в сучасному візуальному мистецтві. *Вісник КНУКіМ. Серія «Мистецтвознавство»*. 2020. Вип. 42. С. 65–71. DOI: 10.31866/2410-1176.42.2020.207634.

59. Технологія. URL: <https://www.jnsm.com.ua/cgi-bin/u/book/sis.pl?Qry=Технологія> (дата звернення: 10.04.2022).

60. Фоміна К. О. Challenges in the design of augmented reality systems. *Десяті Платонівські читання: тези доповідей Міжнародної наукової конференції*, Київ, 20 листопада 2022 р. Львів-Торунь: Liha-Pres, 2022. С. 239–240. DOI: 10.36059/978-966-397-301-2-111.

61. Фоміна К. О. Conceptual metaphors in augmented reality projects. *Art and Design*. 2023. Вип. 1 (21). С. 34–44. DOI: 10.30857/2617-0272.2023.1.3.

62. Фоміна К. О. The experience of using augmented reality in spatial art. *ПЕРШІ ТАРАНУШЕНКІВСЬКІ ЧИТАННЯ: збірник матеріалів Всеукраїнської наукової конференції*, 14-15 квітня 2023 р. Харків: ХДАДМ, 2023. С. 118–120.

63. Фоміна К. О. Using levels of interactivity for analysis of augmented reality projects. *Збірник матеріалів V Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми сучасного дизайну», м. Київ, 27 квітня 2023 року: у 2 томах*. Київ: КНУТД, 2023. Т. 1. С. 25–27.

64. Фоміна К. О. Аналіз дизайну та досвіду взаємодії AR гри-розповіді «На схід від скелястих гір». *«Україна та Європа. Культура в глобальних викликах сьогодення»*: матеріали Міжнародної наукової конференції, Київ, 20-21 вересня 2023 року. Київ, 2023.

65. Фоміна К. О. Водяні екрани, інтерфейси та доповнена реальність. *Перспективи розвитку сучасної науки та освіти*: матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції м. Львів, 25-26 вересня 2021 року. Львів: Львівський науковий форум, 2021. С. 15–17.

66. Фоміна К. О. Доповнена реальність, як дидактичний матеріал у вивченні геометрії. *XXII Міжнародна науково-практична конференція, 2-5 червня 2020 р.*: збірник тез. Мелітополь: Мелітопольський державний педагогічний університет ім. Б. Хмельницького, 2020. С. 33.

67. Фоміна К. О. Застосування технології доповненої реальності у вивченні геометрії. *Сучасні проблеми геометричного моделювання*. 2020. Вип. 19. С. 163–178. DOI: 10.33842/22195203/2020/19/163/178.

68. Фоміна К. О. Ключові характеристики доповненої реальності. *Art and Design*. 2021. Вип. 3. С. 82–95. DOI: 10.30857/2617-0272.2021.3.8.

69. Фоміна К. О. Потенціал використання віртуальної та доповненої реальності у роботі дизайнерів. *Всеукраїнська наукова конференція професорсько-викладацького складу і студентів ХДАДМ за підсумками роботи 2019/2020 навчального року*: збірник статей. Харків: ХДАДМ, 2020. Т. 15. С. 48–50.

70. Фоміна К. О. Сюжетні засоби анімації в проєктах із доповненою реальністю (на прикладі «Знайдення» з проєкту «Автопортрет з яблуком»). *Міжнародна науково-практична конференція «Синтез візуальних мистецтв крізь сторіччя: діалоги про вищу художню освіту Харкова», присвячена 100-річчю заснування вищої художньої школи Харкова, 6 жовтня 2021р.*: збірник статей. Харків: ХДАДМ, 2021. С. 15–17.

71. Фоміна К. О. Характеристики доповненого простору як інтерфейсу взаємодії з доповненою реальністю. *Актуальні питання гуманітарних наук*:

міжвузівський збірник наукових праць молодих вчених Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка. 2023. Т. 3. Вип. 65. С. 59–66. DOI: 10.24919/2308-4863/65-3-9.

72. Фоміна К. О. Щодо термінів доповнена реальність та дизайн доповненої реальності. *Практичні та теоретичні питання розвитку науки та освіти*: матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції, м. Львів, 29-30 квітня 2022 року. Львів: Львівський науковий форум, 2022. С. 27–30.

73. Фоміна К. О., Іваненко Т. О. Аналіз рівнів інтерактивності та взаємодії для проєктування інтерфейсів дизайн-продуктів. *ХУДПРОМ*. 2023. Вип. 2. С. 17–30. DOI: 10.33625/hudprom2023.02.017

74. Чембержі Д., Пашукова С., Єрмак І. Цифрове мистецтво у соціальнокультурному просторі: вплив, взаємодія та перспективи. *Актуальні питання гуманітарних наук*. 2023. Т. 2. Вип. 64. С. 144–159. DOI: 10.24919/2308-4863/64-2-23.

75. Чепелик О. Імерсивні середовища, VR, AR в українському сучасному мистецтві останніх років. *Збірник наукових праць СУЧАСНЕ МИСТЕЦТВО*. 2021. Вип. 17. С. 23–40. DOI: 10.31500/2309-8813.17.2021.248423.

76. 2022 Augmented Reality App for Construction - Argyle — YouTube. URL: <https://youtu.be/C-t0df0Exb8> (дата звернення: 15.03.2023).

77. 25 Anos – CCG e Expo'98. URL: <http://www.ccg.pt/25-anos-ccg-expo-98/> (дата звернення: 28.07.2019).

78. 3D4Medical's Revolutionary Cloud-Based Education Platform Allows Users to Investigate the Minute Detail of the Human Anatomy in Incredible 3D. URL: <https://3d4medical.com/press-category/complete-anatomy> (дата звернення: 30.07.2019).

79. 9 the Most Stunning 3D LED Billboard Examples! — YouTube. URL: <https://youtu.be/95gHLABPemk> (дата звернення: 01.04.2023).

80. A Vixen's Tale on Vimeo. URL: <https://vimeo.com/365142418> (дата звернення: 05.05.2022).

81. Ajanki A., Billinghamurst M., Gamper H., Järvenpää T., Kandemir M.,

Kaski S., Koskela M., Kurimo M., Laaksonen J., Puolamäki K., Ruokolainen T., Tossavainen T. An Augmented Reality Interface to Contextual Information. *Virtual Reality*. 2011. DOI: 10.1007/s10055-010-0183-5.

82. Alanne K. An Overview of Game-Based Learning in Building Services Engineering Education. *European Journal of Engineering Education*. 2016. DOI: 10.1080/03043797.2015.1056097.

83. Alhalabi W. S. Virtual Reality Systems Enhance Students' Achievements in Engineering Education. *Behaviour and Information Technology*. 2016. DOI: 10.1080/0144929X.2016.1212931.

84. Alves Júnior F. C. C., Rodrigues A., Diniz M. M., Monteiro D. C. Teaching Platonic Polyhedrons through Augmented Reality and Virtual Reality. *ACM International Conference Proceeding Series*. 2018. DOI: 10.1145/3274192.3274243.

85. Andersen R. S., Madsen O., Moeslund T. B., Amor H. B. Projecting Robot Intentions into Human Environments. *25th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, RO-MAN 2016*. 2016. DOI: 10.1109/ROMAN.2016.7745145.

86. AR Sand Table. VR Arcade & Motion Theater Manufacturer | Movie Power. URL: <http://www.movie-power.com/etxl/arsp.html> (дата звернення: 20.09.2021).

87. Audi Quattro Coaster AR — YouTube. URL: <https://youtu.be/OIFCQMeY3j4> (дата звернення: 20.09.2022).

88. Augment [Доповнювати]. URL: <https://dictionary.cambridge.org/ru/словарь/английский/augment> (дата звернення: 10.04.2022).

89. Augmented Museum — Museo Aumentato — YouTube. URL: <https://youtu.be/sCX-M7-olD8> (дата звернення: 20.09.2022).

90. Augmented Reality - Apple. URL: <https://apple.com/augmented-reality> (дата звернення: 26.07.2022).

91. Augmented Reality – The Past, The Present and The Future. URL: <https://interaction-design.org/literature/article/augmented-reality-the-past->

the-present-and-the-future (дата звернення: 30.07.2019).

92. Augmented Reality Citylight. URL: <https://www.artrebel9.com/digital-experiences/ar-citylight> (дата звернення: 15.03.2023).

93. Augmented Reality Headset Enables Users to See Hidden Objects. URL: <https://news.mit.edu/2023/augmented-reality-headset-enables-users-see-hidden-objects-0227> (дата звернення: 15.03.2023).

94. Augmented Reality Meets Fine Art | Frog, Part of Capgemini Invent. URL: <https://frog.co/work/augmented-reality-meets-fine-art> (дата звернення: 15.03.2023).

95. Augmented Reality with X-Ray Vision — YouTube. URL: <https://youtu.be/bdUN21ft7G0> (дата звернення: 15.03.2023).

96. Azuma R. T. A Survey of Augmented Reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. 1997. Vol. 6. No. 4. P. 355–385. DOI: 10.1162/pres.1997.6.4.355.

97. Azuma R. T., Baillot Y., Behringer R., Feiner S., Julier S., MacIntyre B. Recent Advances in Augmented Reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*. 2001. Vol. 21. No. 6. P. 34–47. DOI: 10.1109/38.963459.

98. Barker L. Measuring and Modeling the Effects of Fatigue on Performance: Specific Application to the Nursing Profession: phdthesis. Department of Industrial; Systems Engineering, Virginia Tech, 2009.

99. Barnard P., Ellis J., MacLean A. Relating Ideal and Non-Ideal Verbalised Knowledge to Performance. *People and Computers V*. Cambridge University Press, 1989. P. 461–473.

100. Barricelli B. R., Gadia D., Rizzi A., Marini D. L. R. Semiotics of Virtual Reality as a Communication Process. *Behaviour and Information Technology*. 2016. DOI: 10.1080/0144929X.2016.1212092.

101. Basballe D. A., Breinbjerg M., Fritsch J. Ekkomaten - An Auditory Interface to the 18th Century City of Aarhus. *NordiCHI 2012: Making Sense Through Design - Proceedings of the 7th Nordic Conference on Human-Computer Interaction*. 2012. DOI: 10.1145/2399016.2399130.

102. Baumeister J., Ssin S. Y., Elsayed N. A. M., Dorrian J., Webb D. P., Walsh J. A., Simon T. M., Irlitti A., Smith R. T., Kohler M., Thomas B. H. Cognitive Cost of Using Augmented Reality Displays. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 2017. DOI: 10.1109/TVCG.2017.2735098.
103. Beaudouin-Lafon M. Instrumental Interaction: An Interaction Model for Designing Post-WIMP User Interfaces. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2000. P. 446–453. DOI: 10.1145/332040.332473.
104. Behal T. Role of Digital Technologies in Formation of a Contemporary Exposition Space. *Science and Education a New Dimension*. 2020. Vol. VIII(243). No. 43. P. 7–10. DOI: 10.31174/SEND-HS2020-243VIII43-01.
105. Belvedere Museum Wien | Das Belvedere Digital Erleben. URL: <https://www.belvedere.at/en/augmented-reality> (дата звернення: 20.09.2022).
106. Beniger J. R. The Control Revolution. Technological and Economic Origins of the Information Society. USA: Harvard University Press, 1989. 508 p.
107. Bharathi A. K. B. G., Tucker C. S. Investigating the Impact of Interactive Immersive Virtual Reality Environments in Enhancing Task Performance in Online Engineering Design Activities. *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference*. 2015. DOI: 10.1115/DETC2015-47388.
108. Billinghamurst M., Clark A., Lee G. A Survey of Augmented Reality Foundations and Trends R in Human-Computer Interaction. *Human-Computer Interaction*. 2014. Vol. 8. No. 3. P. 73–272. DOI: 10.1561/11000000049.
109. Billinghamurst M., Kato H., Poupyrev I. MagicBook: Transitioning between Reality and Virtuality. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2001. P. 25–26. DOI: 10.1145/634067.634087.
110. Billinghamurst M., Kato H., Poupyrev I. The MagicBook: A Transitional AR Interface. *Computers and Graphics (Pergamon)*. 2001. DOI: 10.1016/S0097-8493(01)00117-0.

111. Bimber O., Fröhlich B., Schmalstieg D., Schmalstieg L. M. The Virtual Showcase. *IEEE Computer Graphics & Applications*. 2001. Vol. 21. No. 6. P. 48–55. DOI: 10.1109/38.963460.
112. Bimber O., Raskar R. Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds. *Spatial Augmented Reality: Merging Real and Virtual Worlds*. Wellesley, Massachusetts: A. K. Peters, Ltd., 2005. DOI: 10.1201/b10624.
113. Bimber O., Raskar R., Inami M. Modern Approaches to Augmented Reality. *ACM SIGGRAPH 2007 Papers – International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*. 2007. P. 1–111. DOI: 10.1145/1281500.1281628.
114. Birringer J. Metakimospheres : Essey. 2015. URL: https://dap-lab.brunel.ac.uk/METAKIMOSPHERES%20essay_Birringer.pdf0-tmmv-XInwZcNECeY&opi=89978449 (дата звернення: 06.05.2023).
115. Blevins E., Koskinen I. K., Lee K. P., Bødker S., Chen L. L., Lim Y. K., Wei H., Wakkary R. Transdisciplinary Interaction Design in Design Education. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*. 2015. DOI: 10.1145/2702613.2724726.
116. BMW Rolls Big With Jaw-Dropping 3D Billboards in Times Square. URL: <https://musebycl.io/advertising/bmw-rolls-big-jaw-dropping-3d-billboards-times-square> (дата звернення: 15.03.2023).
117. Bødker S. Third-Wave HCI, 10 Years Later - Participation and Sharing. *Interactions*. 2015. Vol. 22. No. 5. P. 24–31. DOI: 10.1145/2804405.
118. Bødker S., Klokmoose C. N., Korn M., Polli A. M. Participatory IT in Semi-Public Spaces. *Proceedings of the NordiCHI 2014: The 8th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Fun, Fast, Foundational*. 2014. DOI: 10.1145/2639189.2639212.
119. Boivin S., Gagelowicz A. Image-Based Rendering of Diffuse, Specular and Glossy Surfaces from a Single Image. *ACM Siggraph*. 2001. P. 107–116.
120. Bork F., Barmaki R., Eck U., Fallavolita P., Fuerst B., Navab N. Exploring Non-Reversing Magic Mirrors for Screen-Based Augmented Reality

Systems. *2017 IEEE Virtual Reality (VR)*. 2017. P. 373–374. DOI: 10.1109/VR.2017.7892332.

121. Bose Automotive — YouTube. URL: <https://youtu.be/XuJV2wX6OYs> (дата звернення: 15.03.2023).

122. Bowman D. A., Coquillart S., Froehlich B., Hirose M., Kitamura Y., Kiyokawa K., Stuerzlinger W. 3D User Interfaces: New Directions and Perspectives. *IEEE Computer Graphics and Applications*. 2008. No. 28 (6). P. 20–36. DOI: 10.1109/MCG.2008.109.

123. Bowman D. A., Hodges L. Formalizing the Design, Evaluation, and Application of Interaction Techniques for Immersive Virtual Environments. *The Journal of Visual Languages and Computing*. 1999. No. 10 (1). P. 37–53. DOI: 10.1006/jvlc.1998.0111.

124. Bowman D. A., Kruijff E., LaViola J. J., Poupyrev I. 3D User Interfaces: Theory and Practice. 2- вид., допов. і перероб. USA: Addison Wesley Longman Publishing Co., Inc., 2017. DOI: 10.5555/993837.

125. Bowman D., Johnson D., Hodges L. Testbed Evaluation of VE Interaction Techniques. *The 1999 ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST '99)*. 1999. P. 26–33.

126. Braz J. M., Pereira J. M. Tarcast: Taxonomy for Augmented Reality Casting with Web Support. *The International Journal of Virtual Reality*. 2008. Vol. 7. No. 4. P. 47–56.

127. Bullinger R. H., Kern P., Braun M. Controls. *Handbook of Human Factors and Ergonomics* / ред. G. Salvendy. New York: John Wiley & Sons, 1997. P. 697–728.

128. Cairns P., Cox A. L. Research Methods for Human-Computer Interaction. New York: Cambridge University Press, 2008. 260 p.

129. Camera Obscura. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Camera_obscura (дата звернення: 10.11.2019).

130. Case A. Calm Technology: Principles and Patterns for Non-Intrusive Design. 1st- вид., допов. і перероб. USA: O'Reilly Media, Inc., 2015. 148 p.

131. Caudell T. P., Mizell D. W. Augmented Reality: An Application of Heads-up Display Technology to Manual Manufacturing Processes. *Proceedings of the Twenty-Fifth Hawaii International Conference on System Sciences*. Kauai, HI, USA, 1992. Vol. 2. P. 659–669. DOI: 10.1109/HICSS.1992.183317.

132. Cautionary Tales For Children, A Parents Guide — YouTube. URL: <https://youtu.be/WXSkxWoX7Iw> (дата звернення: 05.05.2022).

133. Chadalavada R. T., Andreasson H., Krug R., Lilienthal A. J. That's on My Mind! Robot to Human Intention Communication through on-Board Projection on Shared Floor Space. 2016. DOI: 10.1109/ecmr.2015.7403771.

134. Chakraborti T., Sreedharan S., Kulkarni A., Kambhampati S. Projection-Aware Task Planning and Execution for Human-in-the-Loop Operation of Robots in a Mixed-Reality Workspace. *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*. 2018. DOI: 10.1109/IROS.2018.8593830.

135. Chemical Interface - Definition of Chemical Interface by The Free Dictionary. URL: <https://www.thefreedictionary.com/chemical+interface> (дата звернення: 20.01.2022).

136. Coleman B. Using Sensor Inputs to Affect Virtual and Real Environments. *IEEE Pervasive Computing*. 2009. Vol. 8. No. 3. P. 16–23. DOI: 10.1109/MPRV.2009.60.

137. Comtesse X. L. Direct Economy. An Essay for a Better Understanding of the Future: Essay. ThinkStudio, 2008. P. 1–14. URL: https://web.archive.org/web/20081204161713/http://www.thinkstudio.com/text/directeconomy_en2.pdf (дата звернення: 03.08.2022).

138. Conkar T., Noyes J., Kimble C. CLIMATE: A Framework for Developing Holistic Requirements Analysis in Virtual Environments. *Interacting with Computers*. 1999. No. 11 (4). P. 387–403. DOI: 10.1016/S0953-5438(98) 00058-7.

139. Corbett E., Weber A. What Can I Say? Addressing User Experience Challenges of a Mobile Voice User Interface for Accessibility. *Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery,

2016. P. 72–82. DOI: 10.1145/2935334.2935386.

140. Cortes G., Marchand E., Brincin G., Lécuyer A. MoSART: Mobile Spatial Augmented Reality for 3D Interaction with Tangible Objects. *Frontiers in Robotics and AI*. 2018. Vol. 5. DOI: 10.3389/frobt.2018.00093.

141. Creativity Powered by AR. 2023. URL: <https://ar.snap.com> (дата звернення: 29.01.2023).

142. van Dam A. Post-WIMP User Interfaces. *Communications of The Acm*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 1997. Vol. 40. No. 2. P. 63–67. DOI: 10.1145/253671.253708.

143. Definition of Touchless User Interface | PCMag. URL: <https://pcmag.com/encyclopedia/term/touchless-user-interface> (дата звернення: 17.11.2019).

144. Deighton J. A. The Future of Interactive Marketing. *Harvard Business Review*. 1996. Vol. 74. No. 6. P. 151–162.

145. Diaz C., Walker M., Szafir D. A., Szafir D. Designing for Depth Perceptions in Augmented Reality. *Proceedings of the 2017 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR 2017*. 2017. DOI: 10.1109/ISMAR.2017.28.

146. Dobrodošli v Svetu Izjemnega! — YouTube. URL: <https://youtu.be/V2Exdue2tcE> (дата звернення: 15.03.2023).

147. DoD. Department of Defense Handbook. Development of Interactive Multimedia Instruction (Imi) (Part 3 of 5 Parts). Fort Belvoir, Virginia, USA: DLSC-LM, 2001. 119 p.

148. Dorsey J. O. B., Sillion F. X., Greenberg D. P. Design and Simulation of Opera Lighting and Projection Effects. *Proceedings of the 18th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques - SIGGRAPH '91*. New York, New York, USA: ACM Press, 1991. P. 41–50. DOI: 10.1145/122718.122723.

149. Driver J., Spence C. Cross-Modal Links in Spatial Attention. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 1998. No. 353 (1373). P. 1319–1331. DOI: 10.1098/rstb.1998.0286.

150. "Drop": An Interactive Art Installation with Water Drop Projection Mapping. URL: <https://youtu.be/BRLx4lMetu4> (дата звернення: 20.09.2021).
151. Dubois E., Gray P., Nigay L. ASUR++: Supporting the Design of Mobile Mixed Systems. *Interacting with Computers*. 2003. Vol. 15. No. 4. P. 497–520. DOI: 10.1016/S0953-5438(03)00037-7.
152. Dubois E., Nigay L., Troccaz J., Chavanon O., Carrat L. Classification Space for Augmented Surgery, an Augmented Reality Case Study. *Proceedings of Interact'99, IOS Press* / ред. A. Sasse, C. Johnson. Edinburgh, UK, 1999. P. 353–359.
153. Dyadic Projected Spatial Augmented Reality. Microsoft Research, URL: <https://youtu.be/Df7fZAYVAIE> (дата звернення: 20.09.2021).
154. East of the Rockies (Trailer 90sec.) on Vimeo. URL: <https://vimeo.com/299943712> (дата звернення: 05.05.2022).
155. Education in the Future: VR and AR — YouTube. URL: <https://youtu.be/etn2zCa7n40> (дата звернення: 15.03.2023).
156. Egon Schiele — Augmented Reality (EN) — YouTube. URL: <https://youtu.be/O4LWGmRA6BI> (дата звернення: 20.09.2022).
157. El Saddik A. Interactive Multimedia Learning. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2001. DOI: 10.1007/978-3-642-56790-2.
158. Endsley M. Handbook of Human Factors and Ergonomics / ред. G. Salvendy. NJ, USA: John Wiley & Sons, 2012.
159. Engelbart D. C. Toward Augmenting the Human Intellect and Boosting Our Collective IQ. *Communications of the ACM*. 1995. DOI: 10.1145/208344.208352.
160. Environmental Elements in Pavilions and Entertainment at Expo 98. URL: <https://bie-paris.org/site/fr/grand-angle/entry/innovations-in-the-sustainability-of-the-built-environment-at-expo-1998-lisbon-part-ii-environmental-elements-in-pavilions-and-entertainment-at-expo-98> (дата звернення: 30.07.2019).
161. Ernst M., Banks M. Humans Integrate Visual and Haptic Information in a Statistically Optimal Fashion. *Nature*. 2002. No. 415 (6870). P. 429–433.

DOI: 10.1038/415429a.

162. Evans M., Wallace D., Cheshire D., Sener B. An Evaluation of Haptic Feedback Modelling during Industrial Design Practice. *Design Studies*. 2005. Vol. 26. No. 5. P. 487–508. DOI: 10.1016/j.destud.2004.10.002.

163. EXPO 2010. URL: <https://ru-travel.livejournal.com/15915934.html> (дата звернення: 30.07.2019).

164. Face. URL: <https://en.wiktionary.org/wiki/face> (дата звернення: 20.01.2022).

165. Fallout VR. URL: <https://fallout.bethesda.net/ru/games/fallout-vr> (дата звернення: 21.09.2022).

166. Feiner S. Redefining the User Interface: Augmented Reality. *Course Notes, 2: ACM SIGGRAPH*. 1994. P. 18:1–18:7.

167. Feiner S. K. Augmented Reality: A New Way of Seeing. *Scientific American*. 2002. No. April. P. 52–62. DOI: 10.1038/scientificamerican0402-48.

168. Figueroa P., Green M., Hoover H. 3DML: A Language for 3D Interaction Techniques Specification. *Proceedings of Eurographics*. Manchester, UK, 2001.

169. Fishkin K. P., Moran T. P., Harrison B. L. Embodied User Interfaces: Towards Invisible User Interfaces. 1999. P. 1–18. DOI: 10.1007/978-0-387-35349-4_1.

170. Fitts P. The Information Capacity of the Human Motor System in Controlling the Amplitude of Movement. *Journal of Experimental Psychology*. 1954. No. 47. P. 381–391. DOI: 10.1037/h0055392.

171. Fitts P., Seeger C. S-R Compatibility: Correspondence among Paired Elements within Stimulus and Response Codes. *Journal of Experimental Psychology*. 1953. No. 48. P. 483–492.

172. Fitzmaurice G. W. Situated Information Spaces and Spatially Aware Palmtop Computers. *Communications of the ACM*. 1993. DOI: 10.1145/159544.159566.

173. Frees S., Kessler G. Precise and Rapid Interaction through Scaled Manipulation in Immersive Virtual Environments. *Proceedings of the 2005 IEEE*

Virtual Reality Conference (VR '05). 2005. P. 99–106.

174. Gabbard J., Hix D., Swan J. User-Centered Design and Evaluation of Virtual Environments. *IEEE Computer Graphics and Applications*. 1999. No. 19 (6). P. 51–59. DOI: 10.1109/38.799740.

175. Gabbard J. L., Swan I. J., Kim S., Fitch G. Active Text Drawing Styles for Outdoor Augmented Reality: A User-Based Study and Design Implications. *IEEE Virtual Reality Conference*. 2007. P. 35–42.

176. Gane N., Beer D. New Media. New York: Oxford, 2021. 160 p.

177. Gaver W. W. Designing for Homo Ludens, Still. *(Re)Searching the Digital Bauhaus* / ред. J. Löwgren, L. Malmborg. Springer, 2009. P. 163–178.

178. Gentner D., Nielsen J. The Anti-Mac Interface. *Communications of The Acm*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 1996. Vol. 39. No. 8. P. 70–82. DOI: 10.1145/232014.232032.

179. Getting Started with Vuforia Engine in Unity. 2023. URL: <https://library.vuforia.com/getting-started/getting-started-vuforia-engine-unity> (дата звернення: 29.01.2023).

180. Gibson I., Gao Z., Campbell I. A Comparative Study of Virtual Prototyping and Physical Prototyping. *International Journal of Manufacturing Technology and Management*. 2004. Vol. 6. DOI: 10.1504/IJMTM.2004.005931.

181. Gibson J. Observations on Active Touch. *Psychological Review*. 1962. No. 69 (6). P. 477–491. DOI: 10.1037/h0046962.

182. Gibson S., Murta A. Interactive Rendering with Real-World Illumination. *11th Eurographics Workshop on Rendering*. 2000. P. 365–376.

183. Goodman E., Stolterman E., Wakkary R. Understanding Interaction Design Practices. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*. 2011. P. 1061–1070. DOI: 10.1145/1978942.1979100.

184. Google AR & VR. URL: <https://arvr.google.com/ar> (дата звернення: 26.07.2022).

185. Gorilla Arm. URL: <http://www.catb.org/jargon/html/G/gorilla-arm.html> (дата звернення: 26.07.2021).

186. Grodotzki J., Ortelt T. R., Tekkaya A. E. Remote and Virtual Labs for Engineering Education 4.0: Achievements of the ELLI Project at the TU Dortmund University. *Procedia Manufacturing*. 2018. DOI: 10.1016/j.promfg.2018.07.126.

187. Grönvall E., Kinch S., Petersen M. G., Rasmussen M. K. Causing Commotion with a Shape-Changing Bench- Experiencing Shape-Changing Interfaces in Use. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings*. 2014. DOI: 10.1145/2556288.2557360.

188. Grossman T., Balakrishnan R. The Bubble Cursor: Enhancing Target Acquisition by Dynamic Resizing of the Cursor's Activation Area. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2005. P. 281–290. DOI: 10.1145/1054972.1055012.

189. Guadagnoli M. A., Lee T. D. Challenge Point: A Framework for Conceptualizing the Effects of Various Practice Conditions in Motor Learning. *Journal of Motor Behavior*. 2004. DOI: 10.3200/JMBR.36.2.212-224.

190. Guler S. D., Gannon M., Sicchio K. Crafting Wearables: Blending Technology with Fashion. *Crafting Wearables*. New York, USA: Apress, 2016. DOI: 10.1007/978-1-4842-1808-2.

191. Ha L., Lincoln J. E. Interactivity Reexamined: A Baseline Analysis of Early Business Web Sites. *Journal of Broadcasting & Electronic Media*. 1998. Vol. 42. No. 4. P. 457–474. DOI: 10.1080/08838159809364462.

192. Hall T., Bannon L. Designing Ubiquitous Computing to Enhance Children's Learning in Museums. *Journal of Computer Assisted Learning*. 2006. DOI: 10.1111/j.1365-2729.2006.00177.x.

193. Hancock P. A., Jagacinski R. J., Parasuraman R., Wickens C. D., Wilson G. F., Kaber D. B. Human-Automation Interaction Research: Past, Present, and Future. *Ergonomics in Design*. 2013. DOI: 10.1177/1064804613477099.

194. Handbook of Virtual Environments / ред. Kelly S Hale, Kay M Stanney, J Cfi, S Hale. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, 2014. DOI: 10.1201/b17360.

195. Harrison S., Tatar D., Sengers P. The Three Paradigms of HCI. *Alt. Chi*.

Session at the SIGCHI 2007. DOI: 10.1234/12345678.

196. Harston R., Hix D. Human-Computer Interface Development: Concepts and Systems for Its Management. *ACM Computing Surveys*. 1989. No. 21 (1). P. 5–92.

197. Hartson H., Gray P. Temporal Aspect of Tasks in the User Action Notation. *Human Computer Interaction*. 1992. No. 7 (1). P. 1–45. DOI: 10.1207/s15327051hci0701_1.

198. Hartson H. R., Hix D. Human-Computer Interface Development: Concepts and Systems for Its Management. *Acm Computing Surveys*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 1989. Vol. 21. No. 1. P. 5–92. DOI: 10.1145/62029.62031.

199. Heilig M. The Cinema of the Future. 1955. P. 239–251.

200. Heilig M. L. Sensorama Simulator. No.US3050870A.

201. Hincapi'e-Ramos J. D., Guo X., Moghadasian P., Pourang I. Consumed Endurance: A Metric to Quantify Arm Fatigue of Mid-Air Interactions. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. Toronto, Ontario, Canada: Association for Computing Machinery, 2014. P. 1063–1072. DOI: 10.1145/2556288.2557130.

202. Hix D., Hartson H. R. Developing User Interfaces: Ensuring Usability Through Product & Process. New York: John Wiley & Sons, 1993. 381 p.

203. HotStepper — Nexus Studios. URL: <https://nexusstudios.com/work/hotstepper> (дата звернення: 15.03.2023).

204. Hua H. Stereoscopic Displays. *Yearbook of Science and Technology*. 2005. P. 1–8.

205. Hua H., Gao C., Brown L., Ahuja N., Rolland J. P. Using a Head-Mounted Projective Display in Interactive Augmented Environments. *IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality 2001*. 2001. P. 217–223.

206. Hugues O., Fuchs P., Nannipieri O. New Augmented Reality Taxonomy: Technologies and Features of Augmented Environment. *Handbook of Augmented Reality*. Springer, 2011. P. 47–63. DOI: 10.1007/978-1-4614-0064-6_2.

207. IEC 60050 - International Electrotechnical Vocabulary - Welcome. URL: <http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/welcome> (дата звернення: 15.11.2019).
208. IKEA Catalog Uses Augmented Reality to Give a Virtual Preview of Furniture in a Room. URL: <https://newatlas.com/ikea-augmented-reality-catalog-app/28703/> (дата звернення: 10.10.2020).
209. Interaction. *merriam-webster.com*. URL: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/interaction> (дата звернення: 30.08.2022).
210. Interface - Wiktionary. URL: <https://en.wiktionary.org/wiki/interface> (дата звернення: 20.01.2022).
211. INTERFACE | Definition in the Cambridge English Dictionary. URL: <https://dictionary.cambridge.org/us/dictionary/english/interface> (дата звернення: 20.01.2022).
212. Interface Definition & Meaning - Merriam-Webster. URL: <https://merriam-webster.com/dictionary/interface> (дата звернення: 20.01.2022).
213. Interface. From the Oxford Dictionary, the Second Edition (1989). URL: <https://oed.com/oed2/00119025> (дата звернення: 20.01.2022).
214. Interfaces of Performance / ред. Maria Chatzichristodoulou, Janis Jefferies, Rachel Zerihan. Farnham, England; Burlington, VT: Ashgate, 2009. 216 p.
215. Interrante V., Ries B., Anderson L. Seven League Boots: A New Metaphor for Augmented Locomotion through Moderately Large Scale Immersive Virtual Environments. *Proceedings of the 2007 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI '07)*. 2007. P. 167–170.
216. Introducing Wonderscope: An Augmented Reality iOS App for Kids — YouTube. URL: <https://youtu.be/vqN3Rjv6nlk> (дата звернення: 10.12.2019).
217. Isa W. A. R. W. M., Suhaimi A. I. H., Noordin N., Othman N. A. 3D Virtual Learning Environment. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 2019. DOI: 10.35940/ijeat.F1015.0986S319.
218. Ishii H., Ullmer B. Tangible Bits. 1997. P. 234–241. DOI: 10.1145/

258549.258715.

219. ISO - ISO 9241-210:2010 - Ergonomics of Human-System Interaction — Part 210: Human-Centred Design for Interactive Systems. URL: <https://www.iso.org/standard/52075.html> (дата звернення: 12.10.2019).

220. ISO - ISO 9241-210:2019 - Ergonomics of Human-System Interaction — Part 210: Human-Centred Design for Interactive Systems. URL: <https://www.iso.org/standard/77520.html> (дата звернення: 12.10.2019).

221. Jacob R. J. K., Girouard A., Hirshfield L. M., Horn M. S., Shaer O., Solovey E. T., Zigelbaum J. Reality-Based Interaction: A Framework for Post-WIMP Interfaces. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2008. P. 201–210. DOI: 10.1145/1357054.1357089.

222. Japan's Giant 3D 'Shinjuku Cat' Has Taken over One of Tokyo's Biggest Billboards. URL: <https://edition.cnn.com/style/article/3d-cat-billboard-tokyo/index.html> (дата звернення: 15.03.2023).

223. Javornik A., Kostopoulou E., Rogers Y., Fatah gen Schieck A., Koutsolampros P., Maria Moutinho A., Julier S. An Experimental Study on the Role of Augmented Reality Content Type in an Outdoor Site Exploration. *Behaviour and Information Technology*. 2019. DOI: 10.1080/0144929X.2018.1505950.

224. Jena R. K. Investigating the Interrelation between Attitudes, Learning Readiness, and Learning Styles under Virtual Learning Environment: A Study among Indian Students. *Behaviour and Information Technology*. 2016. DOI: 10.1080/0144929X.2016.1212930.

225. Jensen J. F. Fargo: The Violent Production of the Masochistic Contract as a Cinematic Concept. *Nordicom Review*. N O R D I C O M A/S, 1998. Vol. 12. No. 1.

226. Jimeno-Morenilla A., Sánchez-Romero J. L., Mora-Mora H., Coll-Miralles R. Using Virtual Reality for Industrial Design Learning: A Methodological Proposal. *Behaviour and Information Technology*. 2016. DOI: 10.1080/0144929X.2016.1215525.

227. Kandell E., Kupfermann I., Iversen S. Learning and Memory. *Principles of Neuroscience*. 4th- вид., допов. і перероб. McGraw-Hill, 2000. P. 1127–1246.
228. Kandell E., Kupfermann I., Iversen S. Learning and Memory. *Principles of Neuroscience*. McGraw-Hill, 2000. P. 1127–1246.
229. Karatzas D., D’Andecy V. P., Rusinol M., Chica A., Vazquez P. -P. Human-Document Interaction Systems – A New Frontier for Document Image Analysis. *2016 12th IAPR Workshop on Document Analysis Systems (DAS)*. IEEE, 2016. P. 369–374. DOI: 10.1109/DAS.2016.65.
230. Kato H., Billinghamurst M. Marker Tracking and HMD Calibration for a Video-Based Augmented Reality Conferencing System. *Proceedings - 2nd IEEE and ACM International Workshop on Augmented Reality, IWAR 1999*. 1999. DOI: 10.1109/IWAR.1999.803809.
231. Kaur K., Maiden N., Sutcliffe A. Interacting with Virtual Environments: An Evaluation of a Model of Interaction. *Interacting with Computers*. 1999. No. 11 (4). P. 403–426. DOI: 10.1016/S0953-5438(98)00059-9.
232. Kawai J., Mitsuhara H., Shishibori M. Game-Based Evacuation Drill Using Augmented Reality and Head-Mounted Display. *Interactive Technology and Smart Education*. 2016. DOI: 10.1108/ITSE-01-2016-0001.
233. Ke F., Lee S., Xu X. Teaching Training in a Mixed-Reality Integrated Learning Environment. *Computers in Human Behavior*. 2016. DOI: 10.1016/j.chb.2016.03.094.
234. Keiichi Matsuda — Consequences of Augmented Reality for Architecture and Urbanism. URL: <https://youtu.be/OZ5zcaeuIwE> (дата звернення: 10.04.2020).
235. Kennedy R., Lane N., Berbaum K., Lilienthal M. A Simulator Sickness Questionnaire (SSQ): A New Method for Quantifying Simulator Sickness. *International Journal of Aviation Psychology*. 1993. No. 3 (3). P. 203–220. DOI: 10.1207/s15327108ijap0303_3.
236. Kevin Mack Art Blortasia — Kevin Mack Art. URL: <http://www.kevinmackart.com/blortasia.html> (дата звернення: 22.09.2022).
237. Kijima R., Ojika T. Transition between Virtual Environment and

Workstation Environment with Projective Head-Mounted Display. *IEEE Virtual Reality Annual International Symposium*. 1997. P. 130–137.

238. Kimble G. 50 Years On. *Cinema Technology*. 2002. No. 12.

239. King A. F. Moving Masks and Mobile Monkeys: The Technodramaturgy of Augmented Reality Puppets. *Theatre and Performance Design*. 2018. DOI: 10.1080/23322551.2018.1558539.

240. Kiyokawa K., Kurata Y., Ohno H. An Optical See-through Display for Mutual Occlusion of Real and Virtual Environments. *IEEE & ACM ISAR 2000*. 2000. P. 60–67.

241. Klich R. Visceral Dramaturgies: Curating Sensation in Immersive Art. *Body, Space and Technology*. 2019. Vol. 18. No. 1. P. 175–197. DOI: 10.16995/bst.319.

242. Kontrarinis D., Howe R. Tactile Display of Vibrotactile Information in Teleoperation and Virtual Environments. *Presence Teleoperators and Virtual Environments*. 1995. No. 4 (4). P. 387–402. DOI: 10.1162/pres.1995.4.4.387.

243. Kryvuts S. V., Gonchar O. V., Radomskyi M. T., Skorokhodova A. V. The Phenomenon of Digital Art as a Means of Preservation of Cultural Heritage Works. *Muzeológia a kultúrne dedičstvo (Museology and Cultural Heritage)*. 2021. Vol. 1. No. 9. P. 145–156. DOI: 10.46284/mkd.2021.9.1.9.

244. Laden Sie Das Pikmin Bloom-Spiel Für iPhone Und Android Herunter. URL: <https://www.digitalphablet.com/de/spielen/download-pikmin-bloom-for-iphone-and-android> (дата звернення: 15.03.2023).

245. Lanman D., Hirsch M., Kim Y., Raskar R. Content-Adaptive Parallax Barriers: Optimizing Dual-Layer 3D Displays Using Low-Rank Light Field Factorization. *ACM Trans. Graph.* New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2010. Vol. 29. No. 6. DOI: 10.1145/1882261.1866164.

246. Lantz E., Bryson S., Zeltzer D., Bolas M. T., de La Chapelle B., Bennett D. Future of Virtual Reality: Head Mounted Displays versus Spatially Immersive Displays. *Proceedings of the ACM SIGGRAPH Conference on Computer Graphics*. 1996. DOI: 10.1145/237170.237289.

247. LCI Latitude Festival 2017 Water Projection Highlights. 2017. URL: <https://youtu.be/RkMCJZaRnKI> (дата звернення: 20.09.2021).
248. Lederman S., Thorne G., Jones B. Perception of Texture by Vision and Touch: Multidimensionality and Intersensory Integration. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*. 1986. No. 12 (2). P. 169–180. DOI: 10.1037/0096-1523.12.2.169.
249. Lee C., DiVerdi S., Hollerer T. Depth-Fused 3D Imagery on an Immaterial Display. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 2009. Vol. 15. No. 1. P. 20–33. DOI: 10.1109/TVCG.2008.83.
250. Lenay C., Gapenne O., Hanneton S., Genouëlle C., Marque C. Sensory Substitution: Limits and Perspectives. *Touching for Knowing* / ред. Y. Hatwell, A. Streri, E. Gentaz. 2003. P. 275–292.
251. Liang H. N., Parsons P. C., Wu H. C., Sedig K. An Exploratory Study of Interactivity in Visualization Tools: 'Flow' of Interaction. *Journal of Interactive Learning Research*. 2010. Vol. 21. No. 2. P. 137–177.
252. Liang J., Green M. JDCAD: A Highly Interactive 3D Modeling System. *Computers and Graphics*. 1994. No. 18 (4). P. 499–506. DOI: 10.1016/0097-8493(94)90062-0.
253. Lindeman R. W., Noma H. A Classification Scheme for Multi-Sensory Augmented Reality. *Proceedings of the 2007 ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology - VRST '07*. New York, New York, USA: ACM Press, 2007. P. 175. DOI: 10.1145/1315184.1315216.
254. Liu Y., Shrum L. J. What Is Interactivity and Is It Always Such a Good Thing? Implication of Definition, Person, and Situation for the Influence of Interactivity on Advertising Effectiveness. *Journal of Advertising*. 2002. Vol. 31. No. 4. P. 53–64. DOI: 10.1080/00913367.2002.10673685.
255. Loscos C., Drettakis G., Robert L. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 2000. Vol. 6. No. 3. P. 289–305. DOI: 10.1109/2945.895874.
256. Löwgren J. Fluency as an Experiential Quality in Augmented Spaces.

International Journal of Design. 2007. Vol. 1. No. 3. P. 1–10.

257. Ludic Definition & Meaning. *Merriam-Webster*. URL: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/ludic> (дата звернення: 10.10.2021).

258. Lueder E. 3D Displays / ред. Anthony C. Lowe. NJ, USA: John Wiley & Sons, 2011. DOI: 10.1002/9781119962762.

259. Mackay W. E. Augmented Reality: Linking Real and Virtual Worlds. A New Paradigm for Interacting with Computers. *Proceedings of AVI'98, ACM Conference on Advanced Visual Interfaces*. New York, New York, USA: ACM Press, 1998. P. 13. DOI: 10.1145/948496.948498.

260. Maeda Y., Miyazaki D., Maekawa S. Volumetric Aerial Three-Dimensional Display Based on Heterogeneous Imaging and Image Plane Scanning. *Appl. Opt.* Optica Publishing Group, 2015. Vol. 54. No. 13. P. 4109–4115. DOI: 10.1364/AO.54.004109.

261. Mann S. Mediated Reality with Implementations for Everyday Life. *PRESENCE: Teleoperators and Virtual Environments*. сер. 2002. URL: http://wearcam.org/presence_connect/

262. Mann S. Mediated Reality. Canada: University of Toronto, 1994. 44 p.

263. Mann S. Mediated Reality. *Journal of Toxicology & Environmental Health: Part A*. 2001. Vol. 64. No. 1/2. P. 11–22.

264. Mann S., Furness T., Yuan Y., Iorio J., Wang Z., Havens J. C., Iorio J., Yuan Y., Furness T. All Reality: Values, Taxonomy, and Continuum, for Virtual, Augmented, eXtended/MiXed (X), Mediated (X,Y), and Multimediated Reality/Intelligence. *arXiv*. Santa Clara, California, USA: AWE 2018, 2018. P. 10. URL: <https://arxiv.org/abs/1804.08386> (дата звернення: 12.10.2022).

265. Manninen T. Virtual Team Interactions in Networked Multimedia Games – Case "Counterstrike" – Multi-Player 3D Action Game. *PRESENCE2001 Conference*. Philadelphia, USA: Temple University, 2001. P. 1–9.

266. Manovich L. The Language of New Media. Cambridge, MA: MIT Press, 2001. 202 p.

267. Mapes D., Moshell J. A Two-Handed Interface for Object Manipulation in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. 1995. No. 4 (4). P. 403–416. DOI: 10.1162/pres.1995.4.4.403.

268. Marker – Augmented Reality. URL: <https://anymotion.com/en/wissensgrundlagen/augmented-reality-marker> (дата звернення: 11.05.2021).

269. Martín-Gutiérrez J., Mora C. E., Añorbe-Díaz B., González-Marrero A. Virtual Technologies Trends in Education. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*. 2017. DOI: 10.12973/eurasia.2017.00626a.

270. Massie T. H. Design of a Three Degree of Freedom Force Reflecting Haptic Interface. Cambridge, MA: MIT Press, 1993.

271. Massimino M., Sheridan T. Sensory Substitution for Force Feedback in Teleoperation. *Presence Teleoperators and Virtual Environments*. 1993. No. 2 (4). P. 344–352. DOI: 10.1162/pres.1993.2.4.344.

272. Mathias Fuchs: Postvinyl. URL: <https://www.creativegames.org.uk/art/postvinyl/postvinyl.htm> (дата звернення: 10.10.2021).

273. Matuk C. The Learning Affordances of Augmented Reality for Museum Exhibits on Human Health. *Museums and Social Issues*. 2016. Vol. 11. No. 1. P. 73–87. DOI: 10.1080/15596893.2016.1142815.

274. McLuhan M. Understanding Media. London: Routledge, 1964. 324 p.

275. McMahan R., Kopper R., Bowman D. Principles for Designing Effective 3D Interaction Techniques. *Handbook of Virtual Environments: Design, Implementation and Applications*. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press, 2014. P. 285–311.

276. McMahan R., Ragan E., Bowman D., Tang F., Lai C. FIFA: The Framework for Interaction Fidelity Analysis: Technical Report UTDCS-06-15, Dept. of Computer Science. The University of Texas at Dallas, 2015.

277. Menin A., Torchelsen R., Nedel L. An Analysis of VR Technology Used in Immersive Simulations with a Serious Game Perspective. *IEEE Computer Graphics and Applications*. 2018. DOI: 10.1109/MCG.2018.021951633.

278. Merten K. Kommunikation. Wiesbaden: VS Verlag für

Sozialwissenschaften, 1977. DOI: 10.1007/978-3-663-01705-9.

279. Microsoft HoloLens | Mixed Reality Technology for Business. URL: <https://www.microsoft.com/en-us/hololens> (дата звернення: 15.08.2021).

280. Milgram P., Takemura H., Utsumi A., Kishino F., Fumio K. A Class of Displays on the Reality-Virtuality Continuum. *SPIE Proceedings Volume 2351: Telemanipulator and Telepresence Technologies*. Boston, MA, United States, 1995. P. 282–293. DOI: 10.1117/12.197321.

281. Milgram P., Zhai S., Drascic D., Grodski J. Applications of Augmented Reality for Human-Robot Communication. *1993 International Conference on Intelligent Robots and Systems*. 1993. DOI: 10.1109/iros.1993.583833.

282. Mills S., Noyes J. Virtual Reality: An Overview of UserRelated Design Issues. *Interacting with Computers*. 1999. No. 11 (4). P. 375–386. DOI: 10.1016/S0953-5438(98)00057-5.

283. Mine M. ISAAC: A Meta-CAD System for Virtual Environments. *Computer-Aided Design*. 1997. No. 29 (8). P. 547–553. DOI: 10.1016/S0010-4485(96)00095-4.

284. Mirages & Miracles. URL: <https://vimeo.com/246619389> (дата звернення: 10.11.2019).

285. Moore M. G. Editorial: Three Types of Interaction. *American Journal of Distance Education*. 1989. Vol. 3. No. 2. P. 1–7. DOI: 10.1080/08923648909526659.

286. Morosi F., Carli I., Caruso G., Cascini G., Dhokia V., Ben Guefrache F. Analysis of Co-Design Scenarios and Activities for the Development of a Spatial-Augmented Reality Design Platform. *Proceedings of International Design Conference, DESIGN*. 2018. Vol. 1. P. 381–392. DOI: 10.21278/idc.2018.0504.

287. Naemura T., Nitta T., Mimura A., Harashima H. Virtual Shadows – Enhanced Interaction in Mixed Reality Environments. *IEEE Virtual Reality (IEEE VR'02)*. 2002. P. 293–294.

288. Naimark M. Displacements 1980-84 / 2005. An Exhibit at San Francisco Museum of Modern Art. URL: <http://www.naimark.net/projects/displacements.html>

(дата звернення: 30.08.2019).

289. Naimark M. Two Unusual Projection Spaces. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. 2005. Vol. 14. No. 5. DOI: 10.1162/pres.2005.14.5.597.

290. NFB Pause | East of the Rockies by Annie St-Pierre — NFB. 2018. URL: <https://www.nfb.ca/film/nfb-pause-ep12-east-of-the-rockies> (дата звернення: 05.05.2022).

291. Nielsen J. Noncommand User Interfaces. *Communications of The Acm*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 1993. Vol. 36. No. 4. P. 83–99. DOI: 10.1145/255950.153582.

292. Nielsen J., Molich R. Heuristic Evaluation of User Interfaces. *International Conference on Human Factors in Computing Systems*. 1990. DOI: 10.1145/97243.97281.

293. Noda S., Ban Y., Sato K., Chihara K. An Optical See-Through Mixed Reality Display with Realtime Rangefinder and an Active Pattern Light Source. *Transactions of the Virtual Reality Society of Japan*. 1999. Vol. 4. No. 4. P. 665–670.

294. Normand J. -M., Servièrès M., Moreau G. A New Typology of Augmented Reality Applications. *AH '12 Proceedings of the 3rd Augmented Human International Conference*. Megève, France: ACM Press, 2012. P. 1–8. DOI: 10.1145/2160125.2160143.

295. Nova N. The Impacts of Awareness Tools on Mutual Modelling in a Collaborative Game: phdthesis. University of Geneva, 2002. 97 p.

296. Nunamaker J. F. Future Research in Group Support Systems: Needs, Some Questions and Possible Directions. *International Journal of Human Computer Studies*. 1997. Vol. 47. No. 3. P. 357–385. DOI: 10.1006/ijhc.1997.0142.

297. Ohnishi T., Katzakis N., Kiyokawa K., Takemura H. Virtual Interaction Surface: Decoupling of Interaction and View Dimensions for Flexible Indirect 3D Interaction. *IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI'12)*. 2012. P. 113–116.

298. Ortega M. Hook: Heuristics for Selecting 3D Moving Objects in Dense Target Environments. *Proceedings of the 2013 IEEE Symposium on 3D User*

Interfaces (3DUI). 2013. P. 119–122. DOI: 10.1109/3DUI.2013.6550208.

299. Papanastasiou G., Drigas A., Skianis C., Lytras M., Papanastasiou E. Virtual and Augmented Reality Effects on K-12, Higher and Tertiary Education Students' Twenty-First Century Skills. *Virtual Reality*. 2019. DOI: 10.1007/s10055-018-0363-2.

300. Paradiso J. A., Landay J. A. Guest Editors' Introduction: Cross Reality Environments. *IEEE Pervasive Computing*. 2009. Vol. 8. No. 3. P. 14–15. DOI: 10.1109/MPRV.2009.47.

301. Parks T. E. Post Retinal Visual Storage. *American Journal of Psychology*. 1965. Vol. 78. P. 145–147. DOI: 10.2307/1421101.

302. Parsons P., Sedig K. Adjustable Properties of Visual Representations: Improving the Quality of Human-Information Interaction. *Journal of the Association for Information Science and Technology*. 2014. Vol. 65. No. 3. P. 455–482. DOI: 10.1002/asi.23002.

303. Payatagool C. Theory and Research in HCI: Morton Heilig, Pioneer in Virtual Reality Research — Telepresence Options. URL: http://telepresenceoptions.com/2008/09/theory_and_research_in_hci_mor (дата звернення: 30.07.2019).

304. Pepper J. H. The True History of the Pepper's Ghost: And All about Metempsychosis. London, Paris, New York, & Melbourne: Cassell & Company, 1890. 76 p.

305. Pepsi MAX | Unbelievable Bus Shelter — YouTube. URL: <https://youtu.be/NLni05wVkc0> (дата звернення: 15.03.2023).

306. Pepsi Max AR Bus Stop. URL: <https://blog.littledotstudios.com/en-gb/news-views/pepsi-max-ar-bus-stop> (дата звернення: 15.03.2023).

307. Pepsi Max's Bus Shelter Commercial Explained — YouTube. URL: <https://youtu.be/V5bC4hnrPkg> (дата звернення: 11.10.2019).

308. Periverzov F., Ilieș H. IDS: The Intent Driven Selection Method for Natural User Interfaces. *Proceedings of the 2015 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI '15)*. 2015. P. 121–128. DOI: 10.1109/3DUI.2015.7131736.

309. Phungsuk R., Viriyavejakul C., Ratanaolarn T. Development of a Problem-Based Learning Model via a Virtual Learning Environment. *Kasetsart Journal of Social Sciences*. 2017. DOI: 10.1016/j.kjss.2017.01.001.

310. Piekarski W., Thomas B. H. Augmented Reality User Interfaces and Techniques for Outdoor Modelling. *I3D 2003, ACM SIGGRAPH Symposium on Interactive 3D Graphics*. Monterey, CA, USA, KBIT. 2003.

311. Pierce J., Stearns B., Pausch R. Voodoo Dolls: Seamless Interaction at the Multiple Scales in Virtual Environments. *ACM Symposium on Interactive 3D Graphics (I3D '99)*. 1999. P. 141–145.

312. Pipek V., Wulf V. Infrastructuring: Toward an Integrated Perspective on the Design and Use of Information Technology. *Journal of the Association for Information Systems*. 2009. DOI: 10.17705/1jais.00195.

313. Pirandello S. A Journey into Artworks: Storytelling in Augmented Reality and Mixed Reality. *Cinergie – Il Cinema e le altre Arti*. 2021. Vol. 10. No. 19 SE - Special. P. 135–145. DOI: 10.6092/issn.2280-9481/12219.

314. Polson P., Lewis C., Rieman J., Wharton C. Cognitive Walkthroughs: A Method for Theory-Based Evaluation of User Interfaces. *International Journal of Man-Machine Studies*. 1992. No. 36. P. 741–773. DOI: 10.1016/0020-7373(92)90039-N.

315. Posner M., Boies S. Components of Attention. *Psychological Review*. 1971. No. 78 (5). P. 391–408. DOI: 10.1037/h0031333.

316. Posner M., Cohen Y. Components of Visual Orienting. *Attention and Performance*. 1984. Vol. X. No. 32. P. 531–556.

317. Poupyrev I., Weghorst S., Billingham M., Ichikawa T. A Framework and Testbed for Studying Manipulation Techniques for Immersive VR. *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 1997. P. 21–28. DOI: 10.1145/261135.261141.

318. Punpongsanon P., Iwai D., Sato K. SoftAR: Visually Manipulating Haptic Softness Perception in Spatial Augmented Reality. *IEEE transactions on*

visualization and computer graphics. United States, 2015. Vol. 21. No. 11. P. 1279–1288. DOI: 10.1109/TVCG.2015.2459792.

319. Rada R. Interactive Media. *Interactive Media*. New York, NY: Springer New York, 1995. DOI: 10.1007/978-1-4612-4226-0.

320. Raskar R., van Baar J., Beardsley P., Willwacher T., Rao S., Forlines C. ILamps: Geometrically Aware and Self-Configuring Projectors. *ACM Trans. Graph.* New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2003. Vol. 22. No. 3. P. 809–818. DOI: 10.1145/882262.882349.

321. Raskar R., Welch G., Cutts M., Lake A., Stesin L., Fuchs H. The Office of the Future: A Unified Approach to Image-Based Modeling and Spatially Immersive Displays. *Proceedings of the 25th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, SIGGRAPH 1998*. 1998. DOI: 10.1145/280814.280861.

322. Raskar R., Welch G., Fuchs H. Spatially Augmented Reality. *IEEE*. 1998. DOI: 10.1109/TVCG.2009.209.

323. Raskin J. The Humane Interface: New Directions for Designing Interactive Systems. *ACM Press*. 2000. P. 272.

324. Rauterberg M. History of HCI. Key Systems, People and Ideas. Technical University Eindhoven (TU/e). The Netherlands. 2022. URL: <https://rauterberg.employee.id.tue.nl/presentations/HCI-history/sld001.htm> (дата звернення: 04.10.2022).

325. Reimann R. So You Want to Be an Interaction Designer. *Cooper Journal*. 2001. P. 5.

326. Rekimoto J., Nagao K. World through the Computer: Computer Augmented Interaction with Real World Environments. *UIST (User Interface Software and Technology): Proceedings of the ACM Symposium*. 1995. DOI: 10.1145/215585.215639.

327. Resident Evils 3D Billboard — YouTube. URL: <https://youtu.be/хNHeHXuyNJY> (дата звернення: 15.03.2023).

328. Restivo M. T., Chouzal F., Rodrigues J., Menezes P., Patrão B.,

Lopes J. B. Augmented Reality in Electrical Fundamentals. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*. 2014. DOI: 10.3991/ijoe.v10i6.4030.

329. Rhodes D. M., Azbell J. W. Designing Interactive Video Instruction Professionally. *Training and development journal*. 1985. No. 39 (12). P. 31–33.

330. Rizov T., Rizova E. Augmented Reality as a Teaching Tool in Higher Education. *International Journal of Cognitive Research in Science, Engineering and Education*. 2015. DOI: 10.23947/2334-8496-2015-3-1-7-15.

331. Rolland J. P., Baillot Y., Goon A. A. A Survey of Tracking Technologies for Virtual Environments. *Fundamentals of Wearable Computers and Augmented Reality*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Assoc. Inc., 2001. P. 67–112. DOI: 10.1201/9780585383590-9.

332. Rolland J. P., Cakmakci O. Head-Worn Displays: The Future Through New Eyes. *Optics and Photonics News*. 2009. DOI: 10.1364/opn.20.4.000020.

333. Rose E., Breen D., Ahlers K. H., Crampton C., Tuceryan M., Whitaker R. T., Greer D. Annotating Real-World Objects Using Augmented Reality. *Computer Graphics*. 1995. DOI: 10.1016/b978-0-12-227741-2.50029-3.

334. Salah B., Abidi M. H., Mian S. H., Krid M., Alkhalefah H., Abdo A. Virtual Reality-Based Engineering Education to Enhance Manufacturing Sustainability in Industry 4.0. *Sustainability (Switzerland)*. 2019. DOI: 10.3390/su11051477.

335. Salvendy G. Basic Biomechanics and Workstation Design. *Handbook of Human Factors and Ergonomics* / ред. G. Salvendy, W. Marras. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2012. P. 347–382.

336. Samsung Lights Up the Dark — YouTube. URL: https://youtu.be/jrPE2U_x_QI (дата звернення: 15.03.2023).

337. Sanders A. Elements of Human Performance. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 1998.

338. Scholz J., Smith A. N. Augmented Reality: Designing Immersive Experiences That Maximize Consumer Engagement. *Business Horizons*. 2016. No. 59. P. 149–161. DOI: 10.1016/j.bushor.2015.10.003.

339. Schulmeister R. Hypermedia Learning Systems. Hamburg: Oldenburg, 1995. 480 p.

340. Schulmeister R. Taxonomy of Multimedia Component A Contribution to the Current Metadata Debate Interactivity. *Learning*. 2001. P. 1–17. DOI: 10.5169/SEALS-823704.

341. Schulmeister R. Taxonomie Der Interaktivität von Multimedia - Ein Beitrag Zur Aktuellen Metadaten-Diskussion (Taxonomy of Interactivity in Multimedia – A Contribution to the Actual Metadata Discussion). *it - Information Technology*. 2002. Vol. 44. No. 4. P. 193–199. DOI: 10.1524/itit.2002.44.4.193.

342. Schwald B., Seibert H., Weller T. A. Flexible Tracking Concept Applied to Medical Scenarios Using an AR Window. *International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR'02)*. 2002. P. 261–262. DOI: 10.1109/ISMAR.2002.1115102.

343. Schwier R. A., Misanchuk E. Interactive Multimedia Instruction. Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications, 1993. 154 p.

344. Scriven M. The Methodology of Evaluation. *Perspectives of Curriculum Evaluation* / ред. R. Stake. Washington: American Educational Research Association, 1967. P. 39–83.

345. Sedig K., Liang H. N. Interactivity of Visual Mathematical Representations: Factors Affecting Learning and Cognitive Processes. *Journal of Interactive Learning Research*. 2006. Vol. 17. No. 2. P. 179–212.

346. Sedig K., Parsons P., Babanski A. Towards a Characterization of Interactivity in Visual Analytics. *Journal of Multimedia Processing Technologies*. 2012. Vol. 3. No. 1. P. 12–28. DOI: 10.17605/OSF.IO/TDSGE.

347. Shaw C., M. G. Two-Handed Polygonal Surface Design. *Two-Handed Polygonal Surface Design.*” *Proceedings of the 1994 ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '94)*. 1994. P. 205–212.

348. Shibuya Has 3D Billboard With Giant Pup, Looks Like Hachiko Playing Frisbee. URL: <https://mustsharenews.com/3d-billboard-giant-pup> (дата звернення: 15.03.2023).

349. Shimojo S., Shams L. Sensory Modalities Are Not Separate Modalities: Plasticity and Interactions. *Current Opinion in Neurobiology*. 2001. No. 11 (4). P. 505–509. DOI: 10.1016/S0959-4388(00)00241-5.
350. Shirazi A., Behzadan A. H. Design and Assessment of a Mobile Augmented Reality-Based Information Delivery Tool for Construction and Civil Engineering Curriculum. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*. 2015. DOI: 10.1061/(ASCE)EI.1943-5541.0000229.
351. Sigrist R., Rauter G., Riener R., Wolf P. Augmented Visual, Auditory, Haptic, and Multimodal Feedback in Motor Learning: A Review. *Psychonomic Bulletin and Review*. 2013. Vol. 20. No. 1. P. 21–53. DOI: 10.3758/s13423-012-0333-8.
352. Silk Bar: Augmented Reality with Hermès — Vimeo. URL: <https://vimeo.com/66037698> (дата звернення: 20.09.2022).
353. Siltanen S. Theory and Applications of Marker-Based Augmented Reality. *Espoo 2012. VTT Science Series 3: Licentiate Thesis*. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland, 2012.
354. Siltanen S., Woodward C. Augmented Interiors with Digital Camera Images. *AUIC'06: Proceedings of the 7th Australasian User Interface Conference*. Australian Computer Society Inc., 2006. P. 33–36.
355. Simons D., Rensink R. Change Blindness: Past, Present, and Future. *Trends in Cognitive Sciences*. 2005. No. 9. P. 16–20. DOI: 10.1016/j.tics.2004.11.006.
356. Skliarenko N., Didukh A., Kolosnichenko O., Pashkevych K. Multifunctional Space of Art-Relaxation in an Educational Institution: Design Concept Revision. *The International Journal of Designed Objects*. 2023. P. 45–65. DOI: 10.18848/2325-1379/CGP/v17i01/45-65.
357. Slater M., Lotto B., Arnold M. M., Sanchez-Vives M. V. How We Experience Immersive Virtual Environments: The Concept of Presence and Its Measurement. *Anuario de psicología/The UB Journal of Psychology*. 2009. No. 40 (2). P. 193–210.

358. Slater M., Usoh M., Steed A. Depth of Presence in Virtual Environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*. 1994. No. 3 (2). P. 130–144. DOI: 10.1162/pres.1994.3.2.130.

359. Smart J. M., Cascio J., Paffendorf J. Metaverse Roadmap Overview, 2007. 2007. URL: <http://metaverseroadmap.org/overview/> (дата звернення: 15.10.2020).

360. Smith E., Kosslyn S. Cognitive Psychology. NJ, USA: Pearson Education, 2013. 610 p.

361. Snapchat Adds Lava and Water AR Lenses Using Ground Segmentation and ML. URL: <https://venturebeat.com/2020/02/20/snapchat-adds-lava-and-water-ar-lenses-using-ground-segmentation-and-ml> (дата звернення: 15.04.2021).

362. Space Invaders on Beer Can — Augmented Reality Game Prototype Demonstration on Vimeo. URL: <https://vimeo.com/619441596> (дата звернення: 15.03.2023).

363. Speculated Gestural Interaction in AR on Vimeo. URL: <https://vimeo.com/336992067> (дата звернення: 12.03.2020).

364. Steinicke F., Bruder G., Jerald J., Frenz H., Lappe M. Estimation of Detection Thresholds for Redirected Walkin Techniques. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. 2010. P. 17–27. DOI: 10.1109/TVCG.2009.62.

365. Stetten G., Chib V., Hildebrand D., Burse J. Real Time Tomographic Reflection: Phantoms for Calibration and Biopsy. *IEEE/ACM International Symposium on Augmented Reality (ISMAR'01)*. 2001. P. 11–19. DOI: 10.1109/ISAR.2001.970511.

366. Steuer J. Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence. *Journal of Communication*. 1992. Vol. 42. No. 4. P. 73–93. DOI: 10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x.

367. Stoakley R., Conway M., Pausch R. Virtual Reality on a WIM: Interactive Worlds in Miniature. *ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '95)*. 1995. P. 265–272.

368. Stricker D., Weibel D., Wissmath B. Efficient Learning Using a Virtual Learning Environment in a University Class. *Computers and Education*. 2011. DOI: 10.1016/j.compedu.2010.09.012.

369. Sullivan A. 3-Deep: New Displays Render Images You Can Almost Reach out and Touch. *IEEE Spectrum*. 2005. Vol. 42. P. 30–35. DOI: 10.1109/MSPEC.2005.1413728.

370. Suomela R., Lehtikainen J. Taxonomy for Visualizing Location-Based Information. *Virtual Reality*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2004. Vol. 8. No. 2. P. 71–82. DOI: 10.1007/s10055-004-0139-8.

371. Sutherland I. E. A Head-Mounted Three Dimensional Display. *Proceedings of the AFIPS Fall Joint Computer Conference*. Washington: Thompson Books, 1968. P. 757–764. DOI: 10.1145/1476589.1476686.

372. Sutherland I. E. The Ultimate Display. *Proceedings of IFIP'65*. 1965. P. 506–508.

373. Takala T., Matveinen M. Full Body Interaction in Virtual Reality with Affordable Hardware. *Proceedings of the 2014 IEEE Virtual Reality (VR) Conference*. 2014. P. 157. DOI: 10.1109/VR.2014.6802099.

374. Teather R., Stuerzlinger W. Assessing the Effects of Orientation and Device on (Constrained) 3D Movement Techniques. *IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI 2008)*. 2008. P. 43–50.

375. Technical Guidelines and Optimizations for Meta Spark Studio. (дата звернення: 20.02.2023).

376. The Father of Virtual Reality. URL: <http://www.mortonheilig.com/> (дата звернення: 30.07.2019).

377. The Illustrated History of Projection Mapping. URL: <http://projection-mapping.org/the-history-of-projection-mapping> (дата звернення: 30.07.2019).

378. The Master Key: An Electrical Fairy Tale. URL: <https://americanliterature.com/author/l-frank-baum/book/the-master-key-an-electrical-fairy-tale/summary> (дата звернення: 20.09.2022).

379. The Rightclick Innovations. JCB Interactive Projection Wall. 2018.

URL: <https://youtu.be/IucCJFwygIg> (дата звернення: 20.09.2021).

380. THÉORIZ Is a Creative Studio Designing Beautiful and Unconventional Experiences with Cutting-Edge Technologies. URL: <https://vimeo.com/theoriz> (дата звернення: 15.03.2023).

381. Thompson J. B. Mediated Interaction in the Digital Age. *Theory, Culture and Society*. 2020. Vol. 37. No. 1. P. 3–28. DOI: 10.1177/0263276418808592.

382. Thompson J. B. The Media and Modernity: A Social Theory of the Media. California: Stanford University Press, 1995. 314 p.

383. Three-Quarters of UK Adults Can't Read a Map – Here's How to Get Better. URL: <https://www.theguardian.com/travel/2022/jul/13/three-quarters-of-uk-adults-cant-read-a-map-heres-how-to-get-better-ordnance-survey-study> (дата звернення: 15.03.2023).

384. Tönnis M., Plecher D. A. Presentation Principles in Augmented Reality - Classification and Categorization Guidelines. Technische Universität München, 2011. P. 19.

385. Ulinski A., Wartell Z., Goolkasian P., Suma E., Hodges L. Selection Performance Based on Classes of Bimanual Actions. *Proceedings of the 2009 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI '09)*. 2009. P. 51–58. DOI: 10.1109/3DUI.2009.4811205.

386. Ulriksen V. D. Mirror, Mirror on the Wall : A Study of AR-Powered Magic Mirror Technology and Its Influence on Consumer Experiences and Attitudes: mathesis. 2019. 88 p.

387. Unbelievable Bus Shelter Pepsi Max Unbelievable — YouTube. URL: https://youtu.be/B9G0P_hS3qk (дата звернення: 10.11.2019).

388. Urbanscreen, Bianca. Urbanscreen Casts Moving Art on O.M. Ungers' Galerie Der Gegenwart. URL: <https://www.trendhunter.com/trends/3d-wall-projections-urbanscreen> (дата звернення: 20.09.2021).

389. Veas E., Kruijff E. Vesp'R—Design and Evaluation of a Handheld AR Device. *IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*. 2008. P. 4352.

390. Veltman K. H. Understanding New Media. Calgary, Canada: University of Calgary Press, 2005.

391. Verve — BrandOpus Chrysalis | The Dots. URL: <https://the-dots.com/projects/verve-brandopus-chrysalis-171960> (дата звернення: 16.02.2023).

392. Wagner D., Schmalstieg D. First Steps towards Handheld Augmented Reality. *Proceedings. Seventh IEEE International Symposium on Wearable Computers*. White Plains, NY, USA, 2003. P. 127–136. DOI: 10.1109/iswc.2003.1241402.

393. Walter E. Interaction. *Cambridge advanced learner's dictionary*. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. P. 1798. URL: <https://dictionary.cambridge.org/ru/словарь/английский/interaction> (дата звернення: 30.08.2022).

394. Wang C., Li H., Kho S. Y. VR-Embedded BIM Immersive System for QS Engineering Education. *Computer Applications in Engineering Education*. 2018. DOI: 10.1002/cae.21915.

395. Wann J., Mon-Williams M. Measurement of Visual Aftereffects Following Virtual Environment Exposure. *Handbook of Virtual Environments: Design Implementation, and Applications* / ред. K. Stanney. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2002. P. 731–750.

396. Watanabe A., Ikeda T., Morales Y., Shinozawa K., Miyashita T., Hagita N. Communicating Robotic Navigational Intentions. *IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems*. 2015. DOI: 10.1109/IROS.2015.7354195.

397. Water Screen Projection – How We Created the World's Largest Water Screen. URL: <https://www.laservision.com.au/water-screen-projection-world-record> (дата звернення: 20.09.2021).

398. Water Surface Projection. DIGILIGHT www.dxbproductions.com, 2009. URL: <https://vimeo.com/8277829> (дата звернення: 20.09.2021).

399. Wautelet Y., Heng S., Kolp M., Penserini L., Poelmans S. Designing an MOOC as an Agent-Platform Aggregating Heterogeneous Virtual Learning

Environments. *Behaviour and Information Technology*. 2016. DOI: 10.1080/0144929X.2016.1212095.

400. Weiser M., Brown S. Designing Calm Technology. *Xerox PARC*. 1995.

401. Welcome to the Aero User Guide. *Adobe.com*. URL: <https://helpx.adobe.com/ua/aero/user-guide.html> (дата звернення: 15.11.2019).

402. Weng C. Y., Curless B., Kemelmacher-Shlizerman I. Photo Wake-up: 3D Character Animation from a Single Photo. *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2019. Vol. 2019–June. P. 5901–5910. DOI: 10.1109/CVPR.2019.00606.

403. What Is X3D? | Web3D Consortium. URL: <https://www.web3d.org/x3d/what-x3d> (дата звернення: 10.10.2020).

404. Whitton M. C., Lok B., Insko B., Brooks F. Integrating Real and Virtual Objects in Virtual Environments – Invited Paper. *Proceedings of HCI International Conference*. 2005.

405. Wickens C. D. Multiple Resources and Mental Workload. *Human Factors*. 2008. No. 50 (3). P. 449–455. DOI: 10.1518/001872008X288394.

406. Wickens C. D., Gordon S. E., Liu Y. An Introduction to Human Factors Engineering. USA: Addison Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1997. 642 p.

407. Williams T., Szafir D., Chakraborti T., Ben Amor H. Virtual, Augmented, and Mixed Reality for Human-Robot Interaction. *Companion of the 2018 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction - HRI '18*. New York, New York, USA: ACM Press, 2018. P. 403–404. DOI: 10.1145/3173386.3173561.

408. Wisneski C., Ishii H., Dahley A., Gorbet M., Brave S., Ullmer B., Yarin P. Ambient Displays: Turning Architectural Space into an Interface between People and Digital Information. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. 1998. DOI: 10.1007/3-540-69706-3_4.

409. World's First 3D Water Printer. URL: <https://youtu.be/Us7JsVBc1qo> (дата звернення: 20.09.2021).

410. WWF. WWF - Coca-Cola Arctic Home Campaign - Augmented Reality | WWF. URL: <https://youtu.be/h2Jg8ryVk1k> (дата звернення: 20.09.2021).
411. Wyckoff C. W. An Experimental Extended Response Film. *SPIE Newslett* (1962). 1962. P. 16–20.
412. Xavier Segers — A Vixen's Tale. URL: <https://xaviersegers.com/a-vixens-tale> (дата звернення: 05.05.2022).
413. Yoon S. A., Anderson E., Park M., Elinich K., Lin J. How Augmented Reality, Textual, and Collaborative Scaffolds Work Synergistically to Improve Learning in a Science Museum. *Research in Science and Technological Education*. 2018. DOI: 10.1080/02635143.2017.1386645.
414. Yu Y., Debevec P., Malik J., Hawkins T. Inverse Global Illumination: Recovering Reflectance Models of Real Scenes from Photographs. *ACM Siggraph'99*. 1999. P. 215–224. DOI: 10.1145/311535.311559.

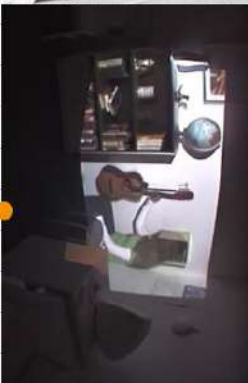
ДОДАТКИ

Додаток А

Аналітичні схеми та таблиці

Таблиця А.1.

Хронологія основних етапів розвитку AR в контексті загального розвитку технологій, графіки та мультимедіа

Ранній період	1545	Перше задокументоване зображення камери Обскура	
	1832	Перший стереоскоп, за авторством Чарльза Вітстона	
	1860	Ілюзія привида Джона Генрі Пеппера	
	1917	Фото «Феї з Коттінглі»	
	1945	Теоретик Ванневар Буш (Vannevar Bush) уявив пристрій «Memex»	
	1952	«Сінерама», Фред Уоллер, Газард Ріс	
1960-і	1958	«Футурама», «Сінерама», «Латерна магіка», «Поліекран», «Філіпс», ЕКСПО'58	
	1960	Дуглас Енгельбарт з командою проєктують GUI, III Стенфорда	
	1962	«Сенсорама» Мортон Хейліг	
	1963	Sketchpad, світлове перо, перша техніка 3D-взаємодії, Айван Сазерленд	
	1965	Концепція «Найкращого дисплею», Айван Сазерленд	
	1965	Перший сенсорний екран, Ерік Джонсон	
	1967	Перший функціонуючий наголовний дисплей, Айван Сазерленд	
	1967	Прототип AR-окулярів, Хуберт Аптон	
	1968	Вказівний пристрій «Миша», Дуглас Енгельбарт	
	1969	Атракціон «Примарний масток», Діснейленд (проскційний меппінг)	
1970-і	1970	Spatial Dataland, інтерфейс від Architecture Machine Group у 1970-х роках в MIT	
	1973	Інтерфейс WIMP, Xerox PARC	
	1977	Наголовна камера для людей з вадами зору, К. С. Коллін	
1980-і	1980	Wireframe-каркаси та векторні контури в комп'ютерній графіці	
	1980	Майкл Наймарк, експерименти з просторовим меппінгом	
	1981	Носимий комп'ютер, С. Манн	
	1983	Зафарбовані полігони та плоска модель тіней в комп'ютерній графіці	
	1983	GUI Apple Lisa	
	1985	GUI Windows 1.0	
	1989	Покращення користувацького досвіду Хікса та Хартстона (стаття)	
	1990	Загальні принципи дизайну інтерфейсів Нільсена та Моліч (стаття)	
1990-і	1994	Шолом віртуальної реальності VFX1, «Forte Technologies»	
	1996	Арт-технологія «Raypainting» від творчого колективу «Dorkandkozma»	
	1997	«Displaced Emperors», Рафасль Лозано-Хіммер, інтерфейс «архітекта»	
	1998	«Офіс майбутнього», університет Північної Кароліни	
	1998	Віртуальний океанаріум, ЕКСПО'98, «Centro de Computação Gráfica»	
	1998	Епоха шейдерів (міні-програми, що визначають характеристики поверхонь)	
	2000	Пост-ефекти з кіно, «рендер по шарах/каналах» з інформацією про глибину, рух	
2000-і	2006	Перші смартфони з сенсорним екраном	
	2006	Рейтрейсінг (метод прорахування справжньої поведінки світла та віддзеркалень)	
Сучасний період AR	2010	Сучасний етап розробок з AR	
	2013	Вихід у комерційний продаж Google Glass	
	2015	Компанія Snapchat додає живі візуальні ефекти на зображення з камери	
	2020	Прогу-геометрія, апаратне прискорення та новий крок у розрахунку графіки	
	2023	Вихід у комерційний продаж Apple Glass	

Таблиця А.2.

Типології доповненої реальності за функціями

Венді Маккей (W. Maskay), 1998					
Мета доповнення	Користувач. Носить або використовує пристрій для отримання інформації про фізичні об'єкти.	Об'єкт чи середовище. Доповнення об'єктів відбувається за рахунок вбудовування пристроїв введення, виведення або обчислювальних пристроїв на або всередині об'єкту і доповнення середовища, що оточує користувача та об'єкт.		Інформаційний простір на базі зібраної датчиками інформації. Незалежні пристрої надають і збирають інформацію з навколишнього середовища, відображаючи інформацію на об'єктах і фіксуючи інформацію про взаємодію користувача з ними.	

Роберт Ліндеман та Харуо Номе (Robert Lindeman, Haruo Noma), 2007			
Місце змішування	Середовище	Сенсорна підсистема	Комп'ютер

Р. Суомела та Дж. Лехікойнен (R. Suomela, J. Lehtikoinen), 2004		
	Позиція від першої особи	Позиція від третьої особи
1D	1D-модель навколишнього середовища, перегляд від першої особи перспектива MV(1, 1)	1D-модель середовища, вид від третьої особи перспектива MV(1, 3)
2D	2D-модель середовища, перегляд від першої особи, перспектива MV(2, 1)	2D-модель середовища, вид від третьої особи перспектива MV(2, 3)
3D	3D-модель середовища, перегляд від першої особи, перспектива MV(3, 1)	3D-модель середовища, перегляд від третьої особи, перспектива MV(3, 3)
0D	Немає моделі середовища, немає точки зору MV(0, 0)	

Маркус Тонніс і Девід Плечер (M. Tönnis, D. A. Plecher), 2011					
Тимчасовість (видимості вірт. об'єктів)	Безперервний показ			Дискретний показ	
Розмірність простору	2D			3D	
Реєстрація	Незареєстрований (не вирівняний відносно простору)		Зареєстрований (враховує перспективні викривлення)		Контактно-аналоговий (розміщений з урахуванням глибини)
Система відліку	Егоцентрична	Ego-impression	Egomotion	Ego-Relative-Exo	Екзоцентрична
Посилання (накладання)	Пряме (видимий об'єкт інтересу)		Непряме (об'єкт інтересу невидимий, але у полі зору)		Об'єкт посилання (вказівка на об'єкт за межами видимості)
Розміщення	Позиція, де віртуальний об'єкт або інформація відображається в константному просторі (невизначено варіативна)				

Жан-Марі Норманд із співавторами (J.-M. Normand, M. Servières, G. Moreau), 2012				
Кількість вимірів, необхідних для відстеження	0D	2D	2D+0	6D
Тип доповнення	Прямий		Опосередкований	
Часова прив'язка вмісту	Минулий стан		Актуальний	Майбутній стан
Модальності (додатковий критерій)	Візуальні		Невізуальні	

Таблиця А.3.

Типології доповненої реальності за компонентами

Хосе Браз та Хуан Перейра, 2008. TARCAST					
Збір зображень (Image Acquisition)	Генератор віртуальних моделей (Virtual Model Generator)	Підсистема змішування реальностей (Mixing Realities Subsystem)	Дисплей (Display)	Маніпулятор реальністю (Real Manipulator)	Підсистема відстеження (Tracking Subsystem)

Е. Дюбуа та колеги (E. Dubois), 1999. OPAC				
Система	Об'єкт доповнення, особа (користувач)	Адаптери (пристрої введення або виведення)	Завдання користувача	
			В реальному світі (тобто в AR)	У віртуальному світі (тобто в AV)

Е. Дюбуа та колеги (E. Dubois), 2003. ASUR			
Система	Об'єкт доповнення	Адаптери (пристрої введення або виведення)	Користувач

О. Бімбер та Р. Раскар (O. Bimber, R. Raskar), 2005					
Користувач					
Застосунок					
— Інтерфейс					
Техніки та пристрої взаємодії	Презентація	Інструменти створення	— Надбудови		
Технології рендерингу	Технології відображення	Пристрої стеження	— Фундамент		

Таблиця А.4.

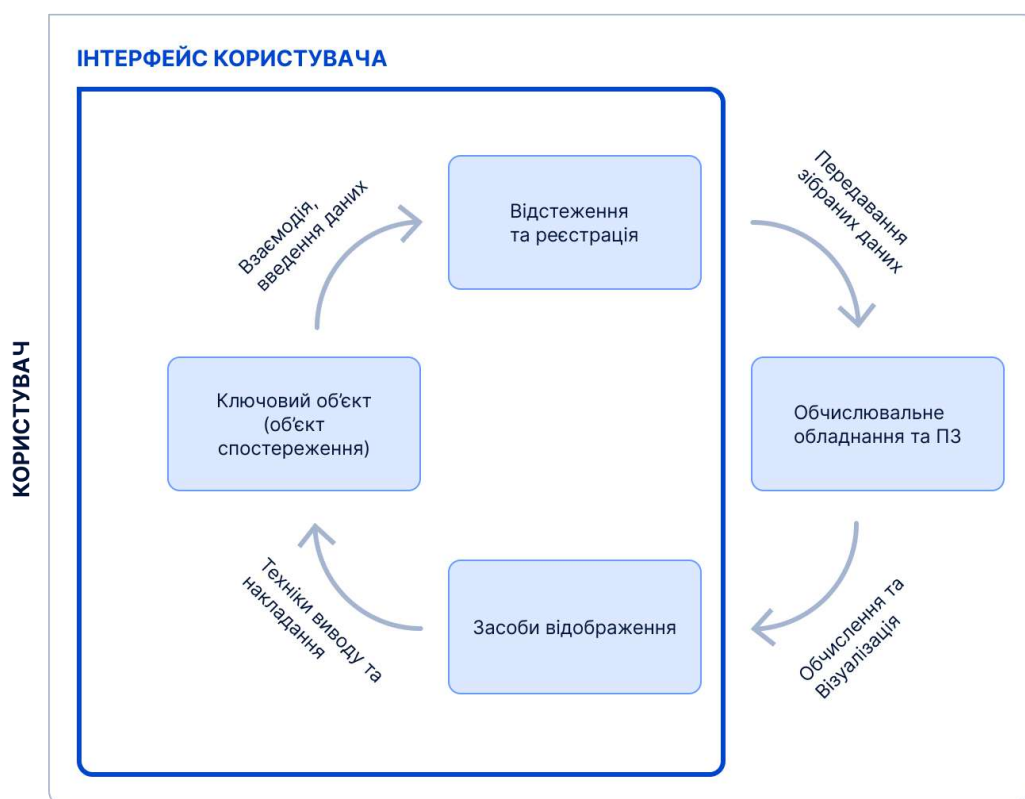
Кількість посилань у «Google» з використанням відповідного словосполучення, дані зібрані з головної сторінки пошуковика

Словосполучення	2020	2022
«Доповнена реальність»	48 700	229 000
«Додана реальність»	2 210	850
«Додаткова реальність»	3 610	2 000
«Добавлена реальність»	3	3
«Розширена реальність» ¹	н.д.	2 960
«Поліпшена реальність» ²	н.д.	54
«Збагачена реальність» ³	н.д.	78

Таблиця А.5.

Складові функціонування системи доповненої реальності

СИСТЕМА ДОПОВНЕНОЇ РЕАЛЬНОСТІ



¹ Вживається лише в іншому значенні (XR).

² Лише в якості синоніму.

³ Лише в якості синоніму.

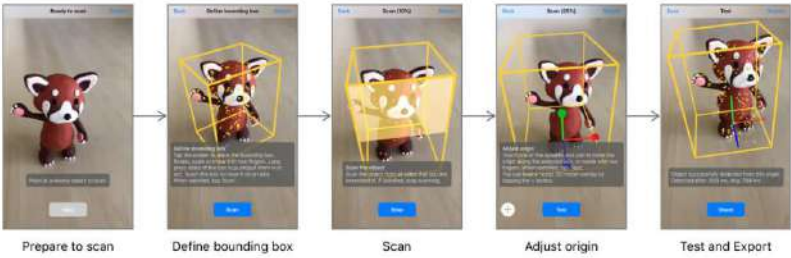
Таблиця А.6.

Технології відстеження за основними принципами дії

Назва	Підтипи	Підтип або пояснення
Час польоту. Час поширення імпульсних сигналів між парами точок, TOF (Time-of-flight)	Ультразвукове вимірювання	
	Пулсуючі інфрачервоні лазерні діоди	
	GPS (Глобальна система позиціонування)	
	Оптичні гіроскопи (Для вимірювання кутової швидкості)	
Просторове сканування. Грунтується на аналізі характеристик двовимірних проєкцій зображення або на визначенні кутів скануючих променів для обчислення положення та орієнтації цілі. Оптичними датчиками зазвичай є камери (наприклад, CCD), фотодіоди з бічним ефектом або чотириквдратні детектори (4Q).	Ззовні-всередину (outside-in)	<i>Нерухомі датчики в середовищі, які відстежують випромінювачі на рухомих цілях. Зовнішні системи використовують відеокамери, які розміщуються в середовищі і записуючі пристрої на цілі. Методи мультископії (застосування декількох камер, multiscopy) та аналіз зображеного (pattern recognition).</i>
	Зсередини-назовні (inside-out)	<i>Датчики знаходяться на цілі, а випромінювачі в середовищі. Методи 2D-проєкції зображень (відеометричний) та на основі кутів променів (сканування променів).</i>
Інерційне зондування (Inertial Sensing).	Механічний гіроскоп	<i>Принцип роботи побудований на спробі зберегти задану вісь обертання.</i>
	Акселерометр	<i>Принцип роботи побудований на спробі зберегти задане положення.</i>
Механічні зв'язки — відстежуються між еталоном та ціллю.		
Різниця фаз. Вимірюють відносну фазу вхідного сигналу від цілі та порівнюють з сигналом тієї самої частоти, що міститься на еталоні. Наприклад, Сазерленд використовував систему на базі ультразвукової різниці фаз для відстежування.		
Безпосереднє зондування	Зондування магнітного поля	Синусоїдальний змінний струм (AC)
		Імпульсний постійний струм (DC)
		Магнетометри (компаси)
	Зондування гравітаційного поля	

Таблиця А.7.

Типи маркерів доповненої реальності

Типи маркерів доповненої реальності	Ілюстрація
1. Маркер-рамка Проста чорна або біла рамка та позначки чи зображення всередині. Зазвичай, зображення розміщується поверх маркера, перекриваючи його.	
2. Маркер-зображення Маркер-зображення повинен мати природні особливості, що відрізняють його від інших. Чим більше точок, до яких може прив'язатись алгоритм, тим краще.	
3. Маркер 3D-об'єкт CAD або відсканована та реконструйована модель. Залежно від пристрою необхідно пройти ряд кроків для того, щоб програма перевірила та прийняла модель у якості маркера.	
4. Мульти-маркер Група маркерів, що мають відношення один до одного. Для показу інформації достатньо мати видимим лише один маркер із групи. Маркери не обов'язково мають розміщуватись в одній площині та бути лише маркерами-рамками.	

Таблиця А.8.

Приклади типів дисплеїв,
які використовуються у доповненій реальності



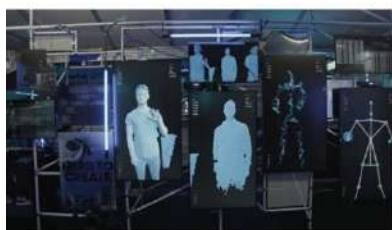
Відео-прозорий, наголовний дисплей © HTC Vive Pro



2. Відео-прозорий портативний дисплей



3. Просторовий, відео-дисплей



4. Просторовий відео-дисплей, комбінований



5. Просторовий відео-дисплей



6. Просторовий відео-прозорий дисплей



7. Оптично-прозорий над-головний дисплей



8. Наголовний оптично-прозорий дисплей © HoloLens



9. Наголовний дисплей з прямою проєкцією на об'єкт © Cortes, 2018



10. Просторовий дисплей з прямою проєкцією на білий кросівок © Perficient Digital Labs



11. Просторовий дисплей з прямою проєкцією на поверхню піску



12. Просторовий дисплей з прямою проєкцією на стіл та предмети



13. Просторовий дисплей з тильною проєкцією. Dreamed Japan. 2020 © Culturespaces / E. Spiller



14. Просторовий дисплей з прямою проєкцією © ARTECHOUSE, photo Max Rykov



15. Просторовий відео-дисплей, окремі та поєднані екрани © Sila Sveta, Louder, Lexus

Продовження таблиці А.8.



16. OLED Прозорий дисплей



17. LG's Прозорий телевізор © LG



18. Просторовий оптично-прозорий дисплей з прямою проєкцією



19. Просторовий відео-дисплей типу 20. В



20. Викривлений проєкційний дисплей із тильною проєкцією © PhysOrg.com



21. Просторовий відео-дисплей-стіл (концепт) © @jasminexETH



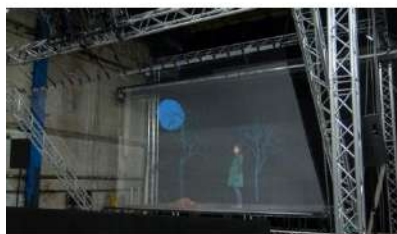
22. Microsoft's see-through 3D display using Samsung OLED screen © Silva 2014 "Glassist ..."



23. Просторовий оптично-прозорий відео-дисплей



24. Просторовий відео-дисплей-стіл, фрагмент



25. Просторовий оптично-прозорий дисплей



26. Просторовий оптично-прозорий дисплей



27. Мультископічний просторовий відео-дисплей © Looking Glass



28. Дисплей перевідображення (re-imaging) © Intel Perceptual Computing



29. Дисплей повторного відображення, що використовує реальний об'єкт, 3D Mirascope



Справжня жабка знаходиться всередині

Таблиця А.9.

Класифікація дисплеїв доповненої реальності за форм-фактором



Таблиця А.10.

Класифікація дисплеїв доповненої реальності
за мобільністю та типом взаємодії з середовищем

Дисплеї за типом взаємодії з середовищем	Мобільність дисплея	
Відео-непрозорі дисплеї	Портативні	Стаціонарні
Відео-прозорі дисплеї	Відеоекрани	Настільні монітори
Оптично-прозорі дисплеї	Проєктори	Збірні установки
Дисплеї з прямою проєкцією		Проєктори
Просторово-занурені дисплеї		Системи проєкторів

Таблиця А.11.

Класифікація проєкцій

Проєкція			
Тип проєктора	Форм-фактор проєктора	Тип проєкції	Екран проєкції
Відеопроєктор	Стаціонарний проєктор	Фронтальна	Прозорий
Ламповий проєктор	Наголовний проєктор	Тильна	Непрозорий
Лазерний проєктор	Портативний проєктор		

Таблиця А.12.

Класифікація дисплеїв

Ефект занурення		Дисплеї за типом сприйняття зображення	
Незанурюючі	Занурюючі	2D Displays	3D Displays
Вбудовані системи	Дисплеї-оточення	Парові (туманні)	Стереоскопічні з окулярами
Горизонтальні поверхні	Печери	Електронні	Стереоскопічні без окуляр
Стіни	Куполи та напівсфери	Проєкційні	Автостереоскопічні
Непрозорі екрани	Панорамні дисплеї		Мультископічні
Прозорі екрани			Голографічні

Таблиця А.13.

Ріст характеристик залежно від типу AR

Приєднана до користувача	Просторова (SAR)	
	Просторова, не занурена (SAR)	Просторово-занурена (SIAR)

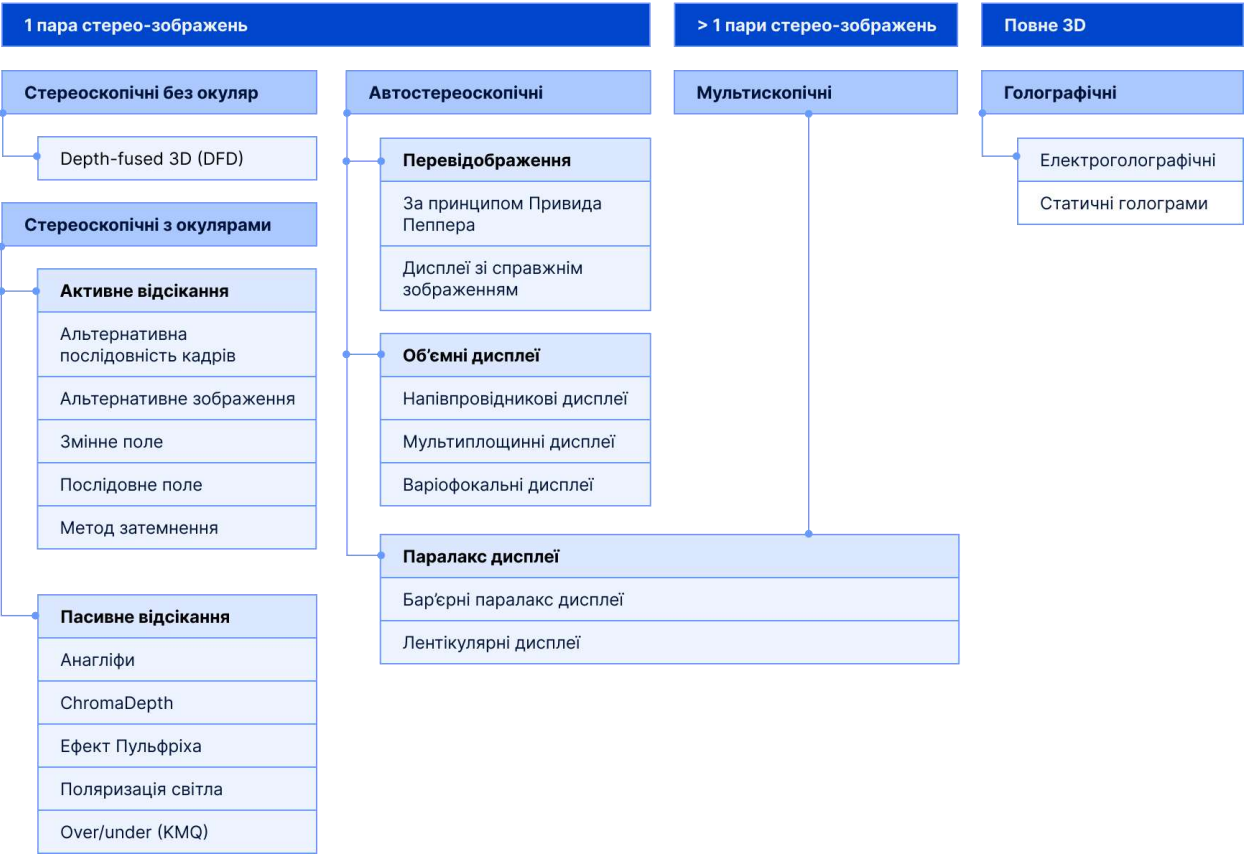
- Кількість одночасних глядачів для одного дисплею
- Розмір вікна доповнення
- Безпосередність доповнення
- Вбудованість системи у середовище

- Контроль користувача над положенням доповненої реальності, ракурсом

Таблиця А.14.

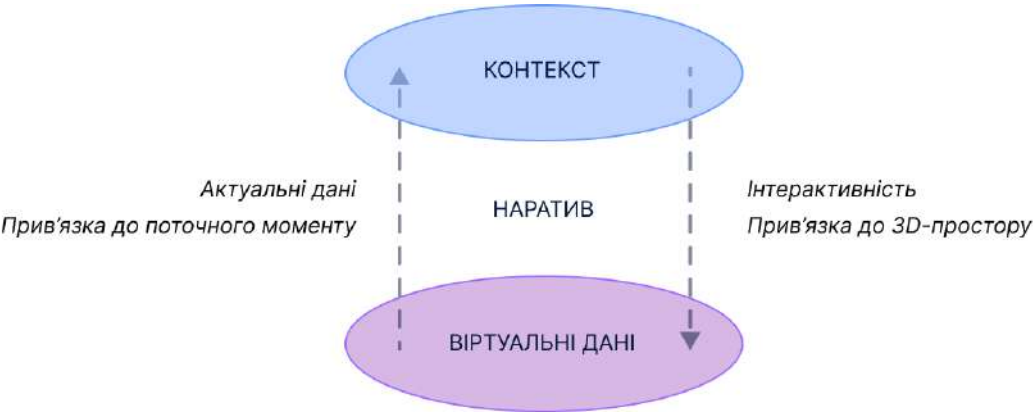
Типологія тривимірних дисплеїв

3D дисплеї за принципом роботи



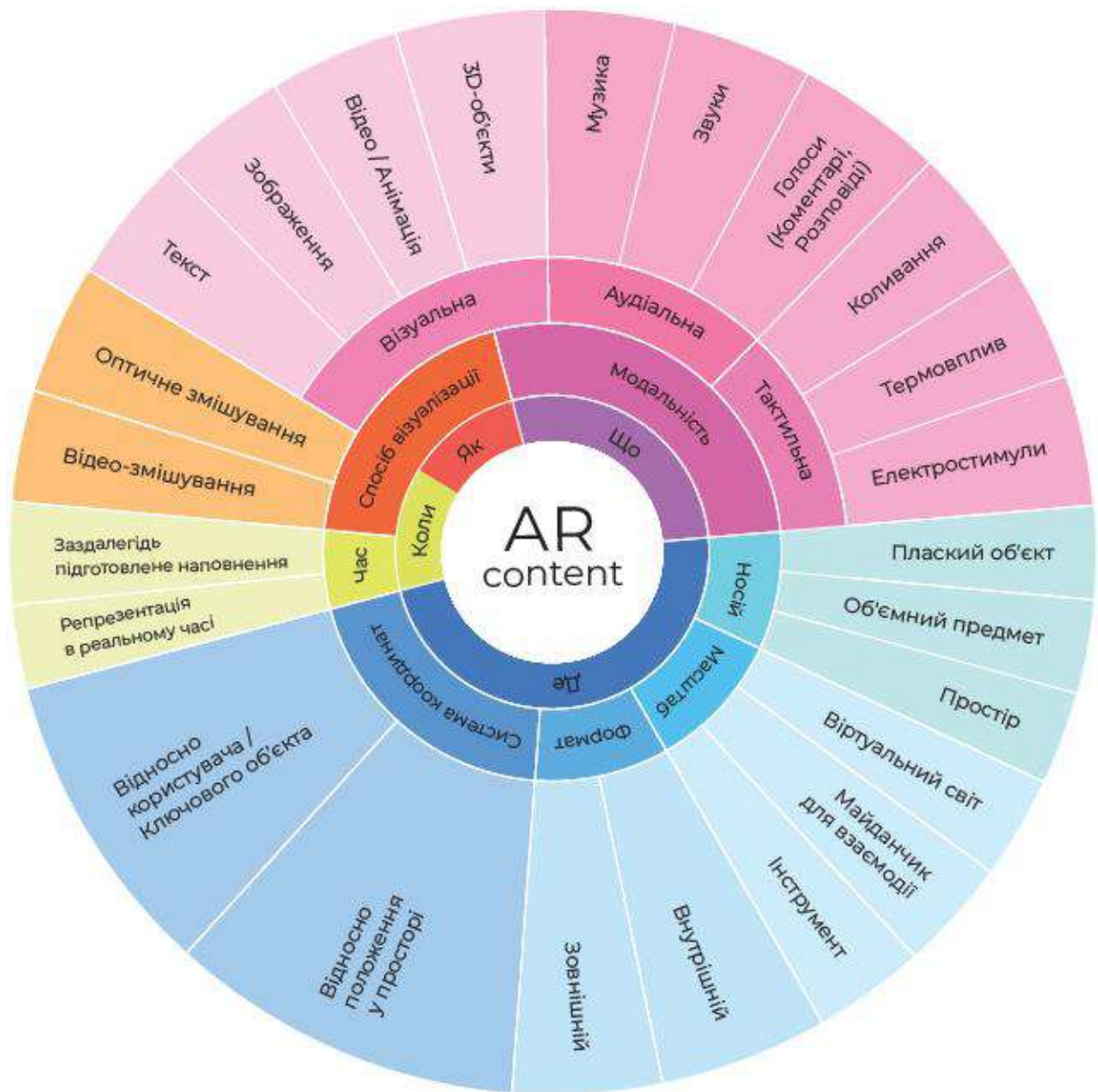
Таблиця А.15.

Умови утворення доповненої реальності. Схема складається з віртуальних даних, контексту в середовищі та наявності між ними наративу



Таблиця А.16.

Характеристики віртуальних даних у доповненій реальності



Таблиця А.17.

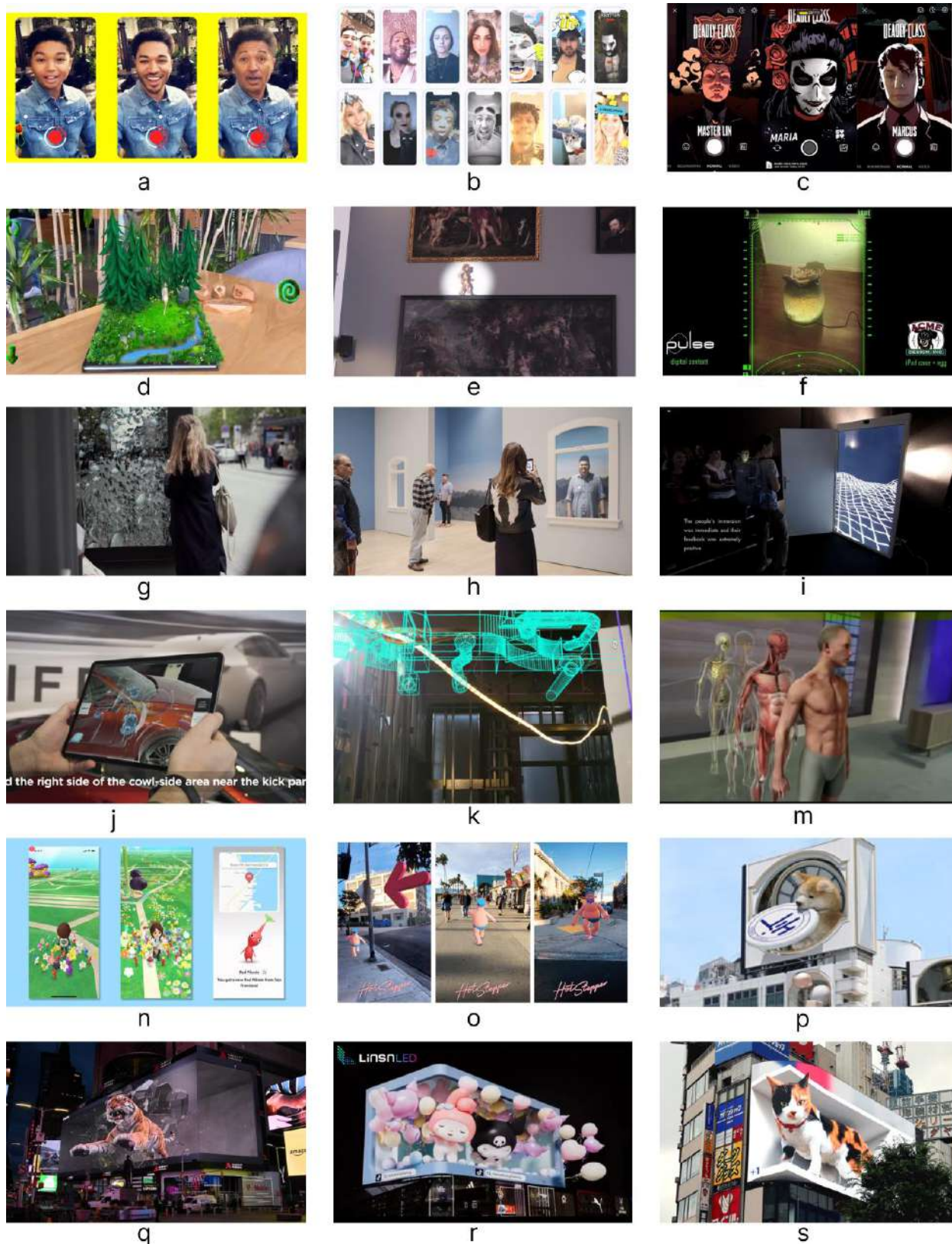
Класифікація проєктів доповненої реальності за функціями та сферами

Функціональна спрямованість

Інструменти створення AR або об'єктів для AR
Інструменти для творчості
Інструменти навігації
Інструменти комунікації та колаборації
Інструменти аналізу та інформування
Інструменти модифікації та покращення
Інструменти симуляції, тренування, розваг
Інструменти управління роботами, аватарами

Сфери використання

Архітектура та конструкції
Воєнна справа
Дизайн та прототипування (як процес)
Ігри та розваги
Інформаційні технології
Культурна спадщина та туризм
Маркетинг та реклама
Медицина, охорона здоров'я, психіатрія
Мистецтво
Загальні інструменти та сервіси
Мода та краса
Навчання
Спорт, тренування та активний відпочинок
Інструменти та сервіси загального вжитку



Іл. А.1. Приклади концептуальних метафор у доповненій реальності.

Приклади метафор. «Чарівне дзеркало»: а — маска, що змінює вік © SnapChat [361]; b — креативні маски © Facebook Sparkle; с — маски персонажів коміксів © Deadly Class AR Filters Sony Pictures. «Ліхтарик» та «Візор»: е — Rubens Cupid © Skullmapping; f — Alien Egg @ Pulse Studio. «Активний друк»: d — накладання зображення на об'єкт-маркер [42]. «Фальшиве вікно»: g — зображення з камери, доповнене косяками риб [93]; h — вікно, що показує

зображення з іншого вікна [92]; і — двері в цифровий простір [380]. «Рентгенівський знімок»: j — внутрішня будова автомобільної аудіосистеми [121]; k — розміщення комунікацій згідно з планом будівництва [76]; m — вивчення анатомії з допомогою шарів [155]. «Геошар»: n — Віртуальна мапа, яка співвідноситься з реальною локацією [244]; o — Персонаж-путівник вулицями Сан-Франциско [203]. «Акваріум»: p — собака Шибуя [348]; q — стрибуний тигр [336]; r — персонажі сімейства Hello Kitty [79]; s — кіт Шінджуку [222].

Таблиця А.18.

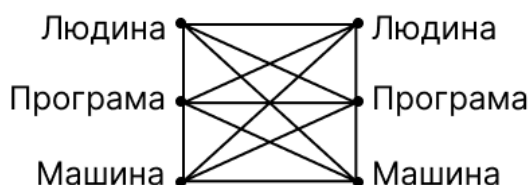
Типи доповненої реальності за принципом взаємодії з середовищем

	Приєднана до користувача	Просторова (SAR)	
		Просторова, не занурена (SAR)	Просторово-занурена (SIAR)
Відео-змішування	Відео-дисплеї «Магічне дзеркало»	Відео-дисплеї «Магічне дзеркало»	Неіснує або неможливо
	Відео-прозорі д. (VST-AR) «Фальшиве Вікно», «Активний друк», «Гео», «Рентген»	Відео-прозорі д. (VST-SAR) «Фальшиве Вікно», «Активний друк», «Гео», «Рентген»	
	Відео-дисплеї «Акваріум», «Вікно у світ»		
Оптичне-змішування	Тільки проєкція у просторі	Проекційні дисплеї «Магічне дзер.»	Неіснує або неможливо
	Оптично-прозора (OST-AR) «Фальшиве Вікно», «Активний друк», «Гео», «Рентген»	Оптично-прозора (OST-SAR) «Фальшиве Вікно», «Активний друк», «Гео», «Рентген»	
	Пряма проєкція на об'єкт доповнення «Активний друк», «Акваріум», «Вікно у світ»		
Об'єкт доповнення	Людина (глядач)		Як частина середовища
	Об'єкти, інші люди		Як частина середовища
	Середовище		

Відображення окремо, з керованим положенням огляду

Відображення окремо від об'єкта

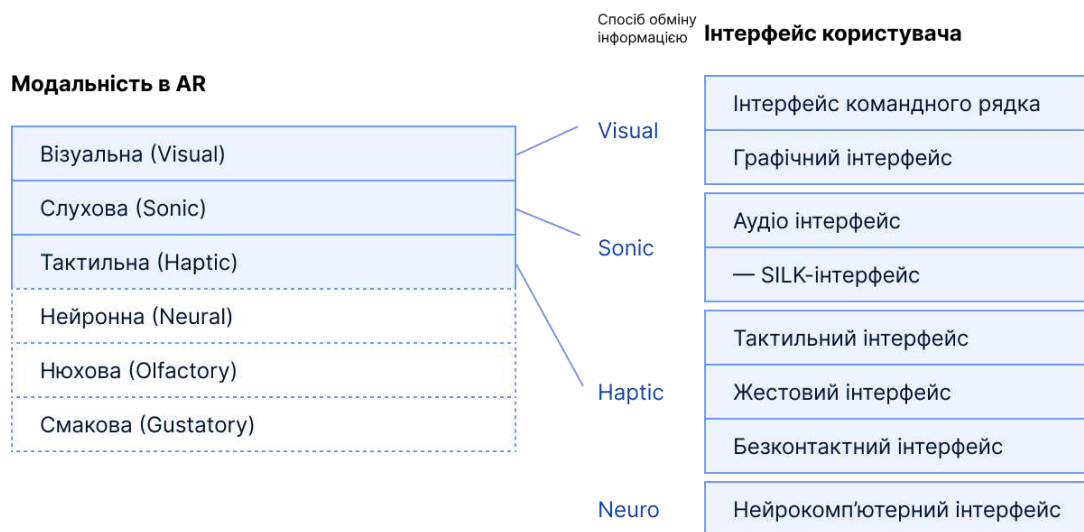
Пряме доповнення на об'єкт



Іл. А.2. Схема взаємодії між людиною, програмою та машиною. Чорні точки позначають інтерфейси для взаємодії.

Таблиця А.19.

Модальності та відповідні їм інтерфейси користувача



Таблиця А.20.

Типи слухових та тактильних інтерфейсів

Назва	Пояснення
Слухові інтерфейси. Покладаються на слухову модальність для введення та виведення та включають системи розпізнавання і синтезу мови та системи звукового зворотного зв'язку.	
Звуковий інтерфейс користувача (Sound User Interface, SUI)	Використовує звук як засіб спілкування. Від користувача вимагається лише видавати звуки в мікрофон або інший пристрій введення аудіо та слухати відповідь у гучномовці, навушники тощо. Найпростіший звуковий інтерфейс використовує сигналізація, яка повідомляє про свій стан комбінаціями звукових сигналів.
Голосовий інтерфейс користувача (Voice User Interface, VUI)	Використовує розпізнавання мовлення для розуміння голосових команд і відповідей на запитання, а також, як правило, перетворення тексту в мовлення для відтворення відповіді.
SILK-інтерфейс (від англ. speech — говоріння, image — образ, language — мова, knowledge — знання)	Різновид звукового інтерфейсу, у якому взаємодія відбувається за допомогою природньої розмови.
Тактильні інтерфейси (Haptic). Покладаються на відчуття дотику або пропріоцепцію для введення та виведення та включають тактильні дисплеї, системи зворотного зв'язку за силою натиску та системи захоплення руху.	
Тактильні інтерфейси	Тактильний інтерфейс здатний м'яко впливати на вигини поверхні шкіри для передачі інформації за допомогою просторово-часово програмованих шаблонів локалізованих механічних вібрацій.
Жестові інтерфейси	Покладаються на рухи тіла або жести для введення та виведення, а також включають безконтактні інтерфейси, системи відстеження рухів і системи розпізнавання мови тіла.

Таблиця А.21.

Типи візуальних інтерфейсів

Назва	Пояснення
Візуальні інтерфейси. Покладаються на візуальну інформацію.	
Символьний інтерфейс користувача (текстовий інтерфейс, інтерфейс командного рядка (command line interface, CLI), неграфічний інтерфейс)	Забезпечує взаємодію через текстові команди, введення яких здійснювалося виключно з клавіатури. Підтримує автоматизацію та створення сценаріїв із ланцюжками команд та забезпечує більш детальний контроль і вищий рівень функціональності, ніж графічний.
Графічний інтерфейс користувача (Graphic User Interface, GUI)	Надає довільний доступ до всіх видимих графічних компонентів екрана та дає змогу безпосереднього маніпулювання ними.
Візуальні інтерфейси: віконні (WIMP).	
Віконний інтерфейс, WIMP. WIMP розшифровується, як вікна (windows), піктограми (іконки, icons), меню (menu) та вказівник (pointer).	Це повноекранний інтерфейс, у якому кожна інтегральна частина розташовується в графічному вікні — власному субекранному просторі, що розміщений у довільному місці «над» основним екраном. Одночасно на екрані може бути кілька вікон, які перекриваються, віртуально перебуваючи «вище» або «нижче» один відносно одного.
Візуальні інтерфейси: поствіконні (post-WIMP).	
Масштабований інтерфейс користувача (Zooming User Interface або Zoomable User Interface, ZUI).	Робочий простір являє собою велику або необмежену площину, на якій розташовані основні елементи. Їхні властивості і вміст стають доступними в міру їхнього «наближення» (збільшення).
Тривимірні (3DUI)	Дають змогу переміщатися і взаємодіяти в 3D-просторі. Використовуються там, де має значення фізичне положення елементів у тривимірному просторі.
Інтерфейси ігор (HUD)	Набір постійних елементів на екрані. Може бути статичним (видимий весь час) чи динамічним (зникає, коли не потрібен).
Природні інтерфейси (NUI)	Спеціалізовані графічні інтерфейси, які працюють за допомогою розпізнавання мовлення та виявлення руху, тобто які найбільше використовують звичні та природні для користувачів дії та рухи.
Відчутні або матеріальні інтерфейси (Tangible User Interfaces, TUI)	Базуються на контакті з фізичними об'єктами.



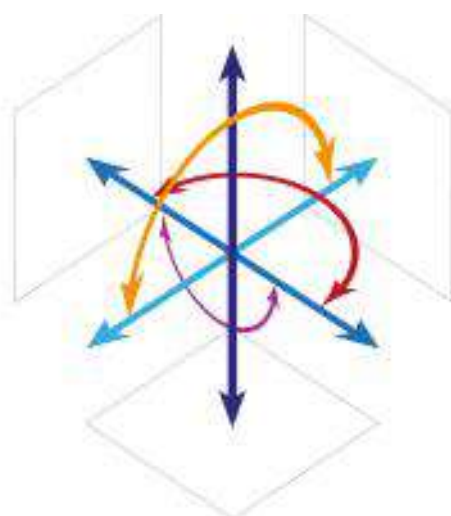
TUI, реальні об'єкти

Візуально доповнені
фізичні об'єктиТактильно доповнені
віртуальні об'єкти

Віртуальні об'єкти

RE ————— VE

Іл. А.3. Градація використання об'єктів для взаємодії у доповненій реальності від повністю реальних, до віртуальних



Нахил вперед-назад (Тангаж, Pitch)
 Нахил зі сторони в сторону (Поворот, Yaw)
 Нахил вліво-вправо (Крен, Roll)

Рух вперед-назад (Surge)
 Рух вліво-вправо (Sway)
 Рух вгору-вниз (Heave)

Іл. А.4. Шість ступенів свободи руху

Таблиця А.22.

Властивості доповнених просторів

Назва	Жанр	Імерсивний	Інтерактивний	Варіативний	Позиція спостереження	Сприйняття
«Цифрове дзеркало»	Досвід	Ні	Так	Ні	Поза	Назовні
«Керований емоціями»	Досвід	Так	Так	Так	Всередині і зовні	Назовні та всередину
«Омріяна Японія»	Виставка / Подорож	Так	Ні	Ні	Всередині	Назовні
«Iron Civilization»	Навколишнє середовище	Так	Так	Ні	Всередині	Назовні
«Дромос»	Перформанс / Досвід	Так	Ні	Ні	Всередині	Всередину
«ЛАЙЛА»	Перформанс / середовище	Так	Так	Так	Всередині	Назовні

Таблиця А.23.

Порівняльна таблиця типів AR-анімацій

Ознака	Циклічний сюжет, доповнююча роль	Лінійний сюжет, незалежна роль
Зв'язок з об'єктом-прив'язкою	Зв'язок зі статичним об'єктом	Середовище, як простір дії
Роль	Розкриття руху зашифрованого у зображенні чи предметі	Довільний контент
Тривалість перегляду	Коротка	Довга
Драматургія	Здебільшого відсутня	Використовується, наприклад, закладається конфлікт, протиріччя
Прийоми сценарного розвитку	Відсутні	Зав'язка, дія, кульмінація, розв'язка

Таблиця А.24.

Класифікація взаємодії за ознаками

Взаємодія	Види
за формою	• безпосередня • опосередкована: • за допомогою не цифрових об'єктів (напр. дошка для писання) • комп'ютерно-опосередкована, у тому числі мережеве спілкування
за засобом	• вербальний • невербальний
за роллю	• міжособистісна • представницька • рольова
за аудиторією	• індивідуальна • групова
за специфікою	• культурно-орієнтована
за напрямом	• інформаційна • регулятивна
за напрямом дії	• внутрішня (взаємне розуміння) • зовнішня (спільна робота, обмін розуміючими поглядами, зрозумілими жестами)
за масштабом	• (1:0) із самим собою (внутрішній діалог) • (1:1) один з одним (взаємодія з інтерфейсом, зазвичай, теж у цьому форматі) • (1:m) один із багатьма • (m:1) багато з одним • (m:m) багато з багатьма
за метою	• отримання/надання інформації чи послуги • міжособистісна взаємодія з Іншим/ми
за суб'єктом/об'єктом	• з інформацією чи послугою • з предметом, інтерфейсом пристрою/програми • з людиною/людьми або комунікативним агентом

Таблиця А.25.

Форми дії та взаємодії, створені медіа, за Дж. Б. Томпсоном

Характеристики взаємодії	Пряма взаємодія (Face-to-face)	Опосередкована взаємодія (mediated interaction)	Опосередкована квазі-взаємодія (mediated quasi-interaction)	Опосередкована онлайн-взаємодія (доп. у 2020)
Констатація простору-часу	Контекст спільної присутності; спільна просторово-часова система відліку	Розділення контекстів; розширена доступність у часі та просторі	Розділення контекстів; розширена доступність у часі та просторі	Розділення контекстів; розширена доступність у часі та просторі
Діапазон символічних підказок (домовленостей)	Різноманітність символічних підказок	Звуження діапазону символічних підказок	Звуження діапазону символічних підказок	Звуження діапазону символічних підказок
Орієнтація на дії	Орієнтована на конкретних інших	Орієнтована на конкретних інших	Орієнтована на невизначене коло потенційних одержувачів	Багато до багатьох (невизначене коло потенційних відправників та одержувачів)
Діалогічна/монологічна	Діалогічна	Діалогічна	Монологічна	Діалогічна

Таблиця А.26.

Рівні інтерактивності за Д. Родзом та Дж. Азбелом

Контроль над вмістом	Розширений	Коактивний	Проактивний
	Обмежений	Реактивний	Коактивний
		Обмежений	Розширений
		Контроль над структурою	

Таблиця А.27.

Типи інтерактивного спілкування за М. Муром

Типи інтерактивного спілкування	Пояснення
Учень-зміст (Learner-content)	Процес інтелектуальної взаємодії зі змістом, який призводить до змін у розумінні учня, його перспективі або когнітивних структурах розуму учня.
Учень-інструктор (Learner-instructor)	Взаємодія між тим, хто навчається, й експертом, який підготував предметний матеріал, або іншим експертом, який виступає в якості викладача.
Учень-учень (Learner-learner)	Взаємодія між учнями, між одним учнем та іншими учнями, поодиноці або в групі, з присутністю інструктора або без нього.

Таблиця А.28.

Порівняння рівнів інтерактивності Р. Шультмайстера та А. Ель Саддіка

Рівень	Можливості	Рівень Седдіка	Приклади
I	розглядати та сприймати предмети	I	Перегляд нерухомих зображень
II	перегляд і отримання кількох уявлень	II, III, IV	Перегляд відео (включно з відтворенням, зупинкою, швидкістю, повтором, перемотуванням назад тощо)
III	зміна форми представлення	V	Керування відображенням відео та порядком перегляду (обертання, масштабування, перехід до інших частин відео)
IV	зміна змісту компонента	VI	Маніпулювання відео або вмістом візуалізації через введення даних
V	побудова об'єкту або змісту репрезентації	VII	Створення відео або візуалізацій за допомогою програм або даних
VI	побудова об'єкту або змісту репрезентації та отримання зворотного зв'язку від системи	-	Отримання зворотного зв'язку щодо маніпуляцій із візуальними об'єктами

Таблиця А.29.

Рівні інтерактивності за Р. А. Швіром та Е.Р. Місанчуком

Рівні	Пояснення
Реактивний (Reactive)	відповідь користувача на наявний стимул
Проактивний (Proactive)	можливість конструювати та генерувати активність
Взаємний (Mutual)	Ознаки AI[⁴ AI] чи проєктування віртуальної реальності

Таблиця А.30.

Рівні взаємодії із використанням мультимедіа Міністерства оборони США

Назва та синоніми, що трапляються	Пояснення
Рівень I Пасивний (Passive)	Учень діє лише як одержувач інформації. Доступна навігація. Взаємодія обмежена тими діями, які потрібні для просування презентацією/сторінкою.
Рівень II Обмежений (Limited)	Прості відповіді на вказівки. Здатний надати тренування та практику, зворотній зв'язок на відповіді користувача. Може вчити виконувати покрокові дії в правильній послідовності: множинний вибір на основі сценарію; прикладні симуляції, де треба слідувати процедурі або процесу; інтерактивні анімації, де учень має можливість досліджувати.
Рівень III Помірний (Moderate) / Комплексний (Complex)	Складні взаємодії можуть вимагати вводу інформації та маніпулювання графічними об'єктами для перевірки та оцінювання представленої інформації. Пропонувати розгалужені сценарії на основі вибору та відповідей. Під час використання розгалуженої логіки можна відчувати певну небезпеку через неправильні відповіді і прогрес визначається прийнятими рішеннями. Можливість обмеженого моделювання дій у реальному часі в робочих умовах.
Рівень IV Симуляція (Simulation) / Симуляція, взаємодія на основі гри, взаємодія в реальному часі (Real-time)	Взаємодія в режимі реального часу створює навчальний сеанс, який включає реальний набір складних сигналів і відповідей. Учень бере участь у моделюванні, яке точно відображає робочу ситуацію. Стимули та реакції погоджені з реальним середовищем. Система оцінює вміння та знання, використовує найсучасніші технології для моделювання та спілкування.

Таблиця А.31.

Рівні інтерактивності за Ксав'єром Комптезе

Рівень	Пояснення
Пасивне споживання (Passive consumption)	Користувач використовує в системі продукти чи послуги без реальної взаємодії та реального вибору. Користується тим, що є.
Самообслуговування (Self Service)	Користувач має можливість вибору між різними продуктами чи послугами в системі.
Зроби сам (DIY)	Користувач залучається до ланцюжка створення вартості. З існуючих компонентів складає собі продукт.
Спільне проектування (Co-design)	На цьому рівні користувач починає додавати цінність, налаштовуючи продукт і самостійно визначаючи свої потреби (на відміну від покупки продукту, визначеного командою управління продуктом).
Спільне створення (Co-creation)	Користувач фактично бере участь у розробленні самого продукту чи послуги або контенту до нього.

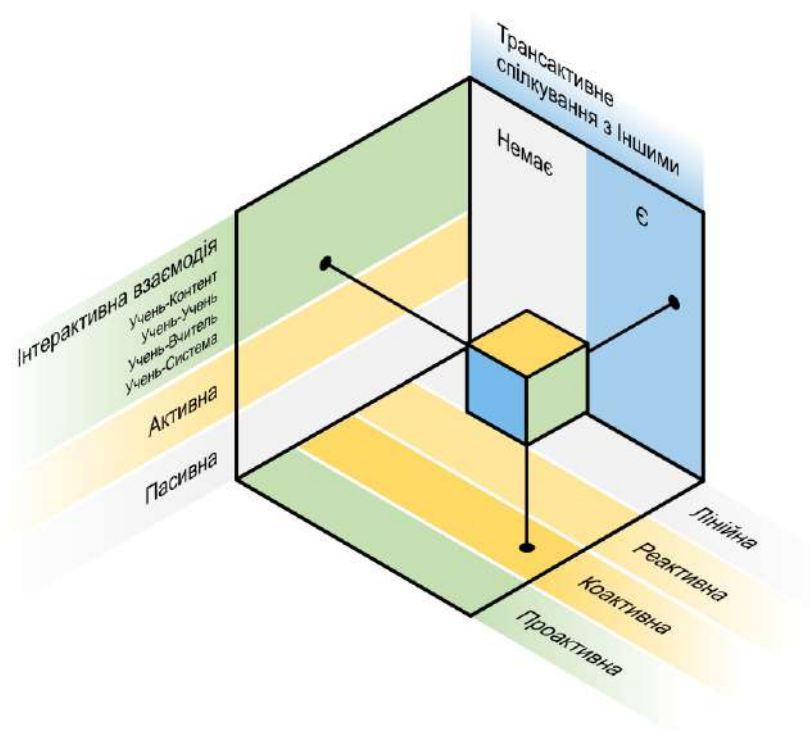
Таблиця А.32.

Порівняльна таблиця рівнів взаємодії

Суть рівня	—		А. Норхаяті		Швір та Місанчук	Шульмайтер Ель Саддік		DOD	Комптезе
	Роль користувача	Зв'язок між діями	Можливості	Можливості	Можливості	Можливості	Можливості	Можливості	Внесок
Автор	Пасивна	Лінійний	Низький	—	—	I	I	Пасивний	Пасивний
	Активна	Реактивний	Середній	Реактивний	Реактивний	II	II, III, IV	Обмежений	Самослужування
						III	V		
				Коактивний	Проактивний	IV	VI	Помірний	Конструювання рівнів (структура)
						V	VII		Спільний дизайн (вміст)
	Інтерактивна	Множинний	Високий	Проактивний	Взаємний	VI	—	Симуляція	Спільне створення
Акценти	Система	Блок	—	—	—	—	—	—	Система
	Користувач	—	—	—	—	—	—	—	Користувач
	—	Структура	—	—	—	—	—	—	—

Таблиця А.33.

Схема мультиплощинного співвідношення рівнів М. Мура, Д. Родза та Дж. Азбела та спілкування з Іншими під час взаємодії



Таблиця А.34.

Підказки для сприйняття простору в різних сенсорних каналах

Візуальні підказки глибини	Статичні та монокулярні підказки (графічні підказки)	Відносний розмір		
	Стосуються інформації про глибину, яку можна отримати зі статичного зображення, яке переглядається одним оком.	Висота відносно горизонту		
		Оклюдія		
		Лінійна та повітряна перспектива		
		Тіні та освітлення		
		Градiєнти текстури (залежно від відстані)		
Окуломоторні	Акомодація	Фізичне розтягнення та розслаблення кришталика ока, спричинене м'язами ока, коли об'єкт розташований близько чи далеко відповідно.		
Динамічні	Вергенція	Обертання очей, завдяки чому зображення можна об'єднати в одне на різних відстанях.		
	Паралакс	Інформація про глибину передається, коли об'єкти рухаються відносно глядача або глядач рухається відносно об'єктів. Паралакс під час руху змушує об'єкти, які розташовані ближче до глядача, рухатися у полі зору швидше, ніж ті об'єкти, які розташовані далі.		
	Бінокулярні	Бінокулярна невідповідність стереозображень	Відмінності тим більші, чим ближчий зображуваний об'єкт до глядача, через зміщення точки огляду для кожного ока.	За надто близького розміщення до користувача, можлива поява бінокулярного суперництва, яке призведе до часткової видимості зображень.
Інформація про глибину із двовимірних зображень, які трохи відрізняються через зміщення точки огляду для кожного ока.				
Слухові підказки глибини	Бінауральні підказки	Затримка звуку та різниця інтенсивності	Залежно від положення джерела звуку, він може потрапляти у вуха із невеликою затримкою (через відстань), а також може бути різним за інтенсивністю під час проходження через голову до дальшого вуха.	Не варто покладатися виключено на звукові підказки. Через перевідбиття від поверхонь може не бути затримки та різниці в інтенсивності, що призведе до плутанини визначення напрямку.
	Бінауральна інформація дає змогу імітувати реалістичні звуки та передати глибини.			
	Фільтри	Фільтри описують як звукові хвилі взаємодіють із торсом людини, плечима, головою та вушними раковинами залежно від просторового розміщення.		
	Реверберація	Реверберація — це сукупність відбитих хвиль від різних поверхонь у просторі. Дає відчуття відстані до джерела звуку та інформацію про розмір і конфігурацію середовища прослуховування, включно з геометрією та властивостями поверхонь.		
	Інтенсивність	Інтенсивність звуків, яка сприймається як гучність. Чим ближче об'єкт, тим гучніші звуки.		
	Вестибулярні підказки	Напрямок сили тяжіння	Отолітові органи та три напівкруглі протоки контролюють положення очей, голови, шиї, тіла та кінцівок у просторі і сприяють контролю пози та можливості зорового фокусу на об'єкті під час руху голови.	
Підказки щодо руху, напрямку, балансу та рівноваги.	Лінійне та кутове прискорення			
	Рух тіла			
Соматосенсорні підказки	Усвідомлення зовнішньої стимуляції			
	Соматосенсорні підказки	Статичне й динамічне положення тіла	Короткочасні дії: тиск, поштовх, ляпас, поллескування, постукування, укол. (Gibson, 1962)	
			Тривалі дії без переміщення: вібрація, розтягування, розминання, щипання. (Gibson, 1962)	
			Тривалі дії з переміщенням: дряпання, шкрябання, тертя, ковзання, розчісування, кочення. (Gibson, 1962)	
			Теплові сигнали	
			Біль	
Шкірні та підшкірні відчуття, механічні відчуття в суглобах та м'язах.				

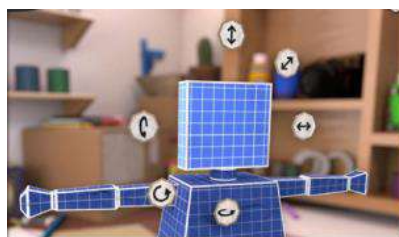
Таблиця А.35.

Збірна схема технік взаємодії у доповненій реальності



Таблиця А.36.

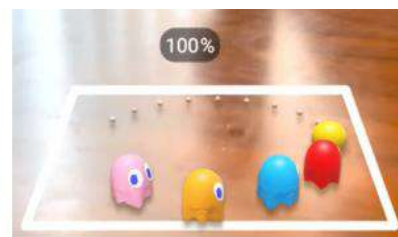
Приклади елементів взаємодії у доповненій реальності



1. Стрілки управління блоком © Paper Bots



2. Допоміжний об'єкт Точка, для побудови траєкторії траси © Audi Quattro Coaster AR



3. Габаритна рамка, яка визначає межі простору, необхідного для розміщення моделі та позначка масштабу © Google Lens



4. Інтерфейс з 2D панелями для налаштування розміщення дизайну на об'єкті © AR Spark



5. HUD-елементи інформації та управління. Кнопки дій. © Lego

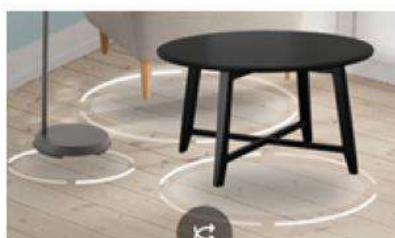


6a. Тривимірні кнопки та вікно повідомлення © Angry Birds AR

6b. Панель налаштувань у груповому додатку (прототип) © Microsoft



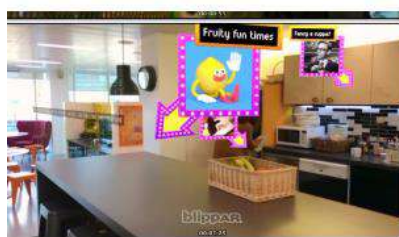
7. Індикація розпізнавання поверхні © Angry Birds AR



8. Індикація розміщення меблів та повороту © Ikea Place



9. Індикація розміщення віртуального лиса © Xavier Segers



10. Інформаційне пояснення, розміщене у просторі © Blippar



11. Інформаційне пояснення, двомірне © Google



12. Індикатори дій у просторі © Ghostbusters: Afterlife



13. Двомірний індикатор дії © East of the Rockies



14. Індикатори статусу у просторі © Ghostbusters: Afterlife



15. Навігаційний персонаж © Google Maps

Таблиця А.37.

Приклади форм взаємодії у доповненій реальності
з використанням реальних об'єктів



Paper Cubes для задання дій та об'єктів © Anna Fuste Lleixa



Вибір кольору © Perficent Digital Labs



Mario Kart © Nintendo Switch



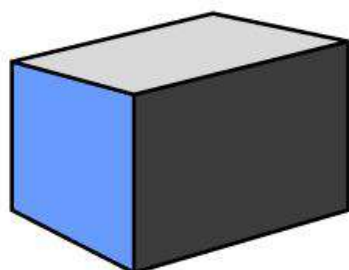
Marvelous Machines © Hidden Worlds



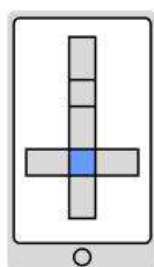
Metamorph, 2013 © Scenocosme



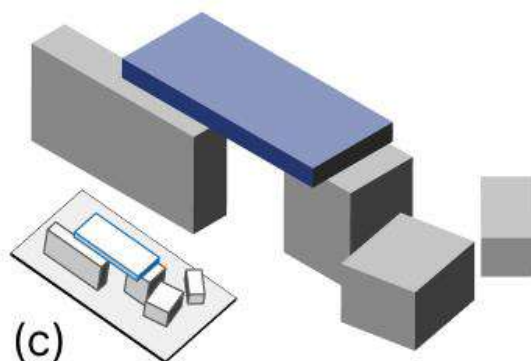
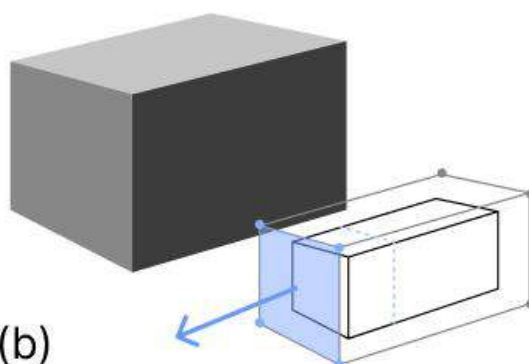
Розмальовки, 2015 © Disney Research



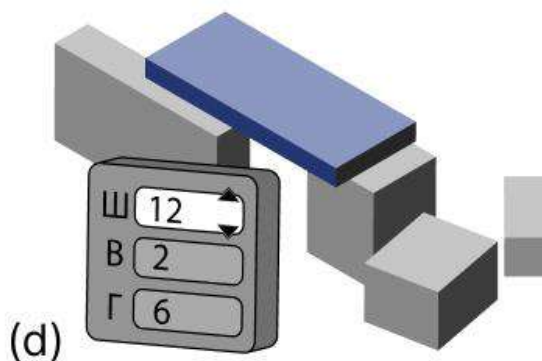
(a)



(b)



(c)

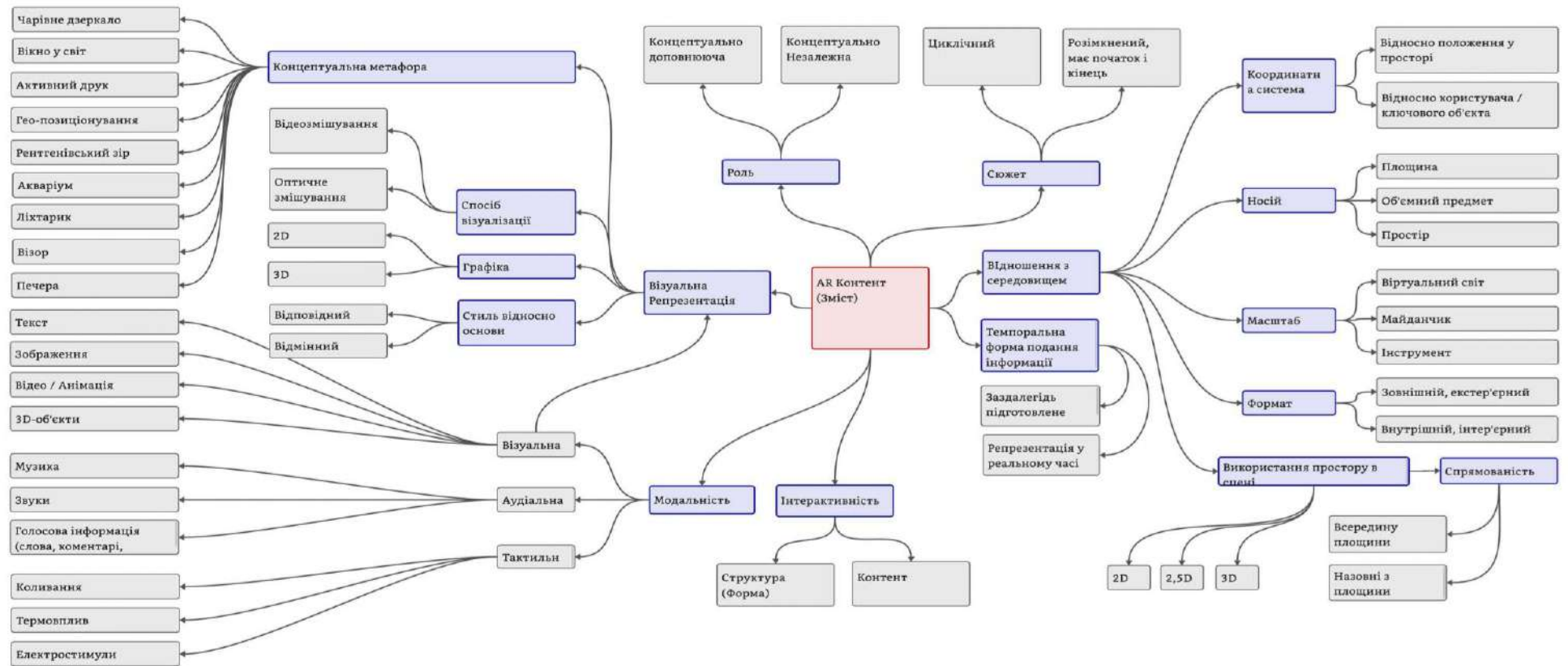


(d)

Іл. А.5. Непрямі методи просторової маніпуляції. а — техніка «Окремий простір», на прикладі використання екрану смартфона для створення окремого простору керування об'єктом, b — проксі-техніка «Вуду», c — проксі-техніка «Світ в мініатюрі», d — техніка «Віджет», на прикладі віджету для зміни параметрів об'єкта

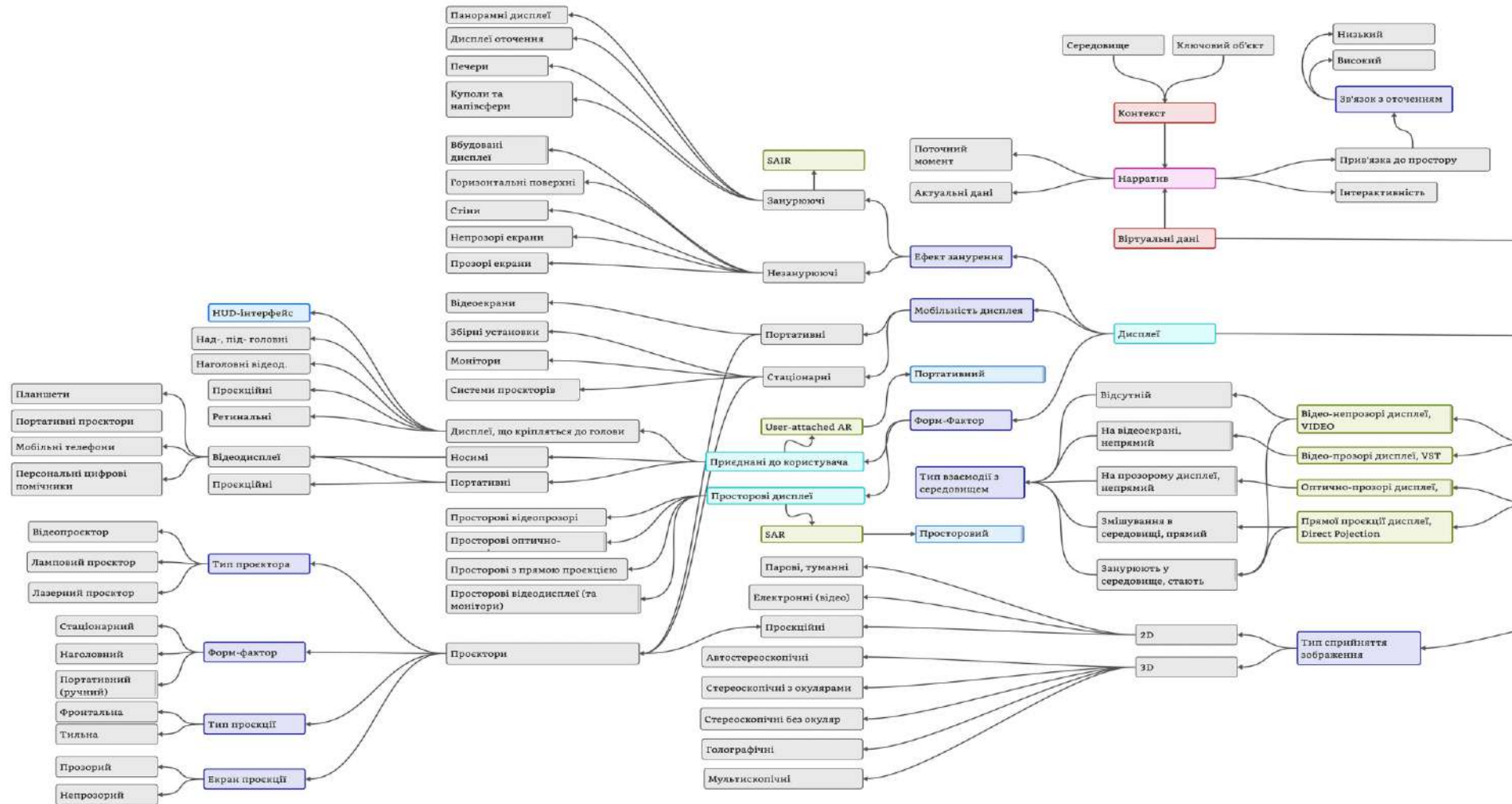
Таблиця А.38.

Узагальнююча схема взаємозв'язків
між компонентами контенту в системах доповненої реальності



Таблиця А.39.

Узагальнююча схема взаємозв'язків
між компонентами та складовими в системах доповненої реальності



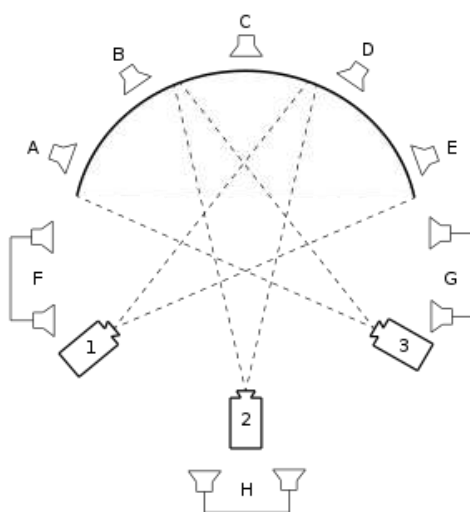
Додаток Б

Ілюстрації до розділу 1.

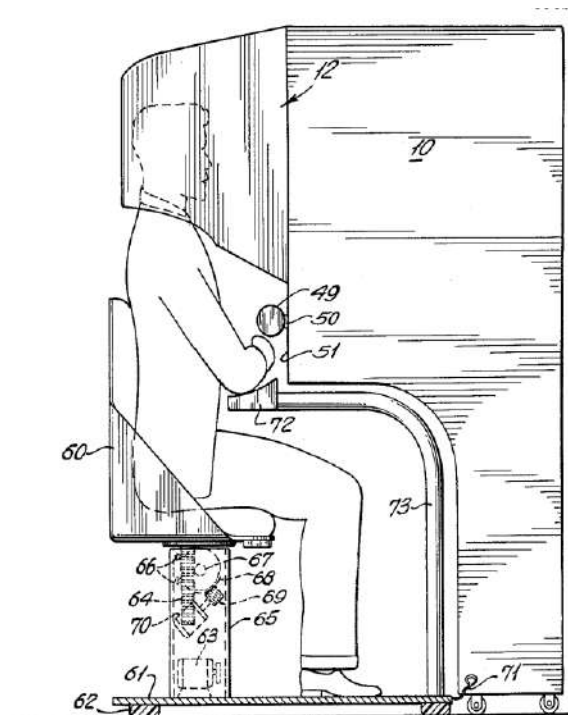
Теоретичні розробки в галузі дизайну систем із доповненою реальністю



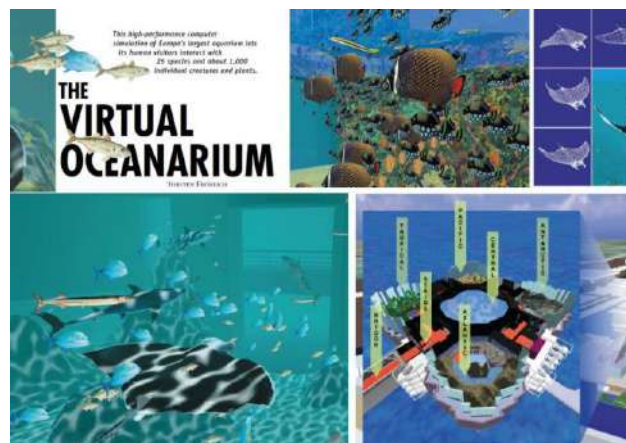
Іл. Б.1.1.1. «Сінерама». США, 1952 р.
 URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Cinerama>



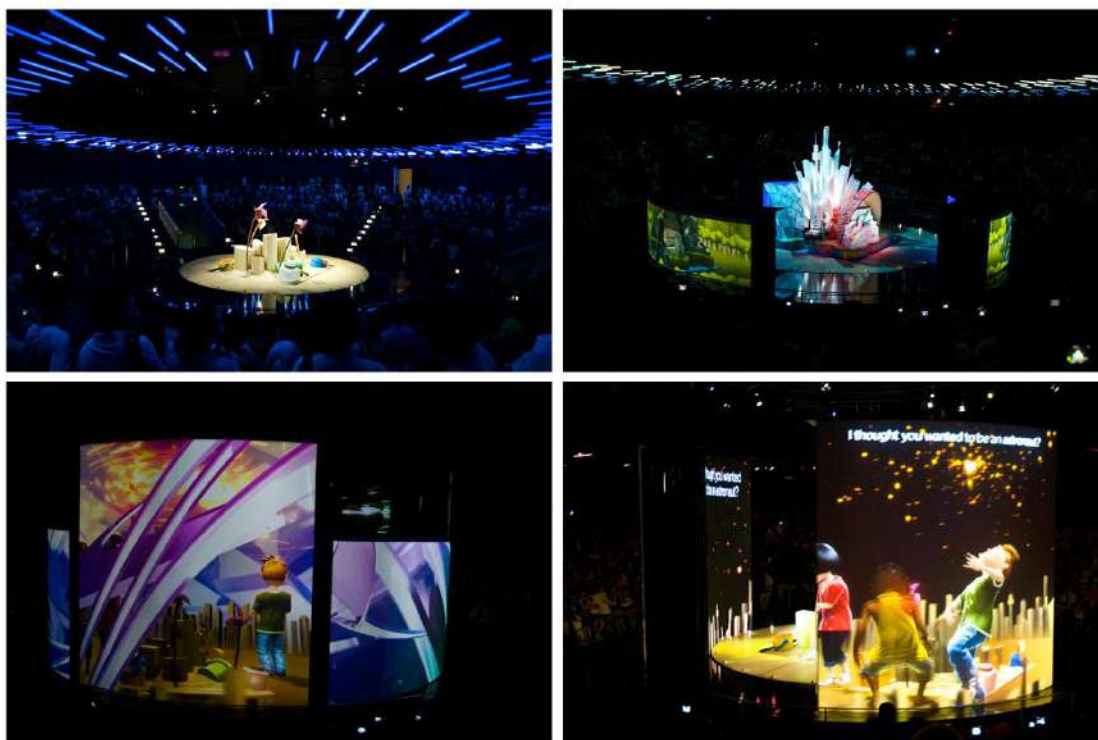
Іл. Б.1.1.2. Схема панорамної кінопроекції системи «Сінерама». 1 — кінопроектор правої частини зображення; 2 — кінопроектор середньої частини кадру; 3 — кінопроектор лівої частини зображення. А, В, С, D, Е — заекранні гучномовці п'яти фронтальних каналів звуку; F, G, Н — ліва, права і тилова акустичні системи ефектних каналів «звукового оточення».
 URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/67/Cinerama_PRJ.svg/300px-Cinerama_PRJ.svg.png



Іл. Б.1.1.3. «Сенсорам». Схема з патента #3050870 та фото готового апарату © Wikimedia.



Іл. Б.1.1.4. Павільйон «Віртуальний океанаріум». Ілюстрації зі статті «The Virtual Oceanarium». Communications of the ACM, July 2000, Vol. 43 No. 7, P. 94-101.



Іл. Б.1.1.5. Австралійський павільйон, ЕХРО, Шанхай, 2010 р.



Іл. Б.1.1.6. «PERSPECTIVE LYRIQUE». Фестиваль «Fete des Lumieres». France, Lyon, 2010 р. Дизайн: 1024 Architecture. Команда: François Wunschel, Fernando Favier, Pierre Schneider, Tijani Loussaief, Cinzia Campolese. Виробництво: Lighting-Process. Кадр із анімованого ролику, що транслюється на поверхню стін будинку. URL: <https://vimeo.com/18888136>



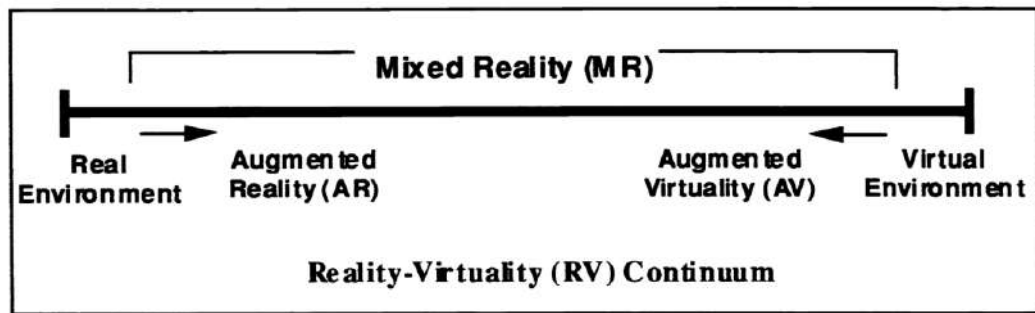
Іл. Б.1.3.1. «Snappables». 2020 р. Віртуальна лава та вода у середовищі. © Snapchat. URL: <https://venturebeat.com/2020/02/20/snapchat-adds-lava-and-water-ar-lenses-using-ground-segmentation-and-ml>



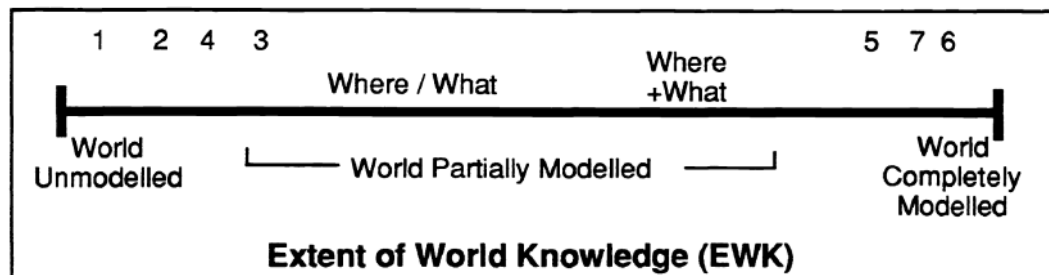
Іл. Б.1.3.2. «Джеми Mrgastan». Вірменія, 2020 р. Дизайн: Backbone Branding. Кадр з проморолика. URL: <https://youtu.be/sJMLrL85X00>



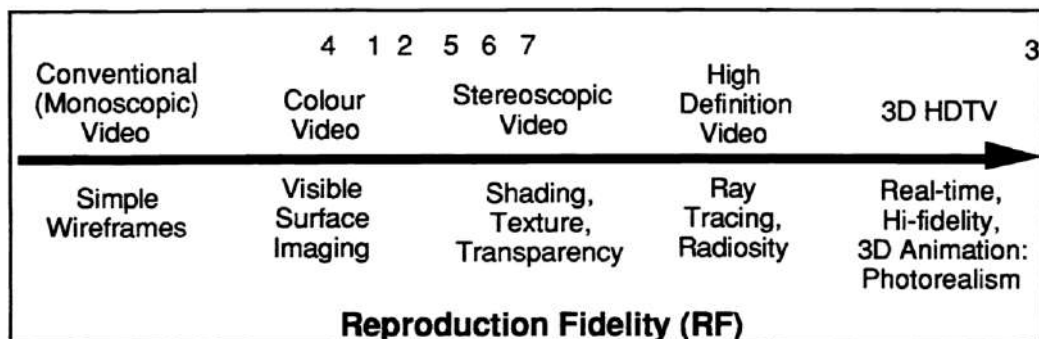
Іл. Б.1.3.3. Прототип змішаної реальності для банки томатного соусу «the Alce Nero». Проєкт SPARK. 2016 р. Кадр із відеоролика. URL: <https://youtu.be/LFTdI3Wa3kk>



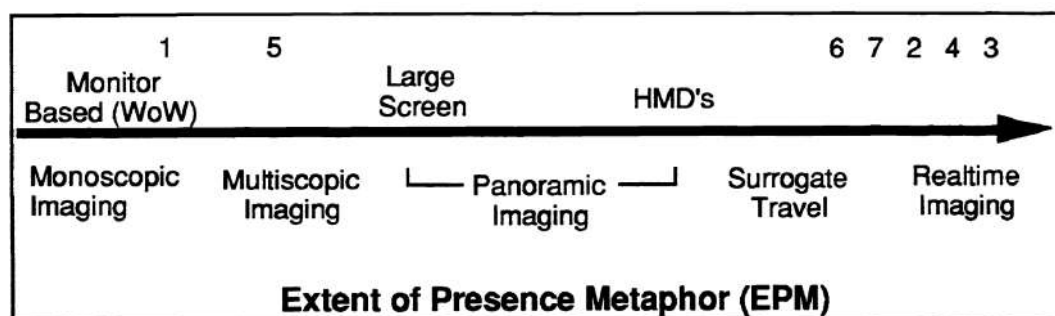
Іл. Б.1.3.4. Спрощене представлення RV (Reality-Virtuality) континууму, с. 283, за Мілгредом [280].



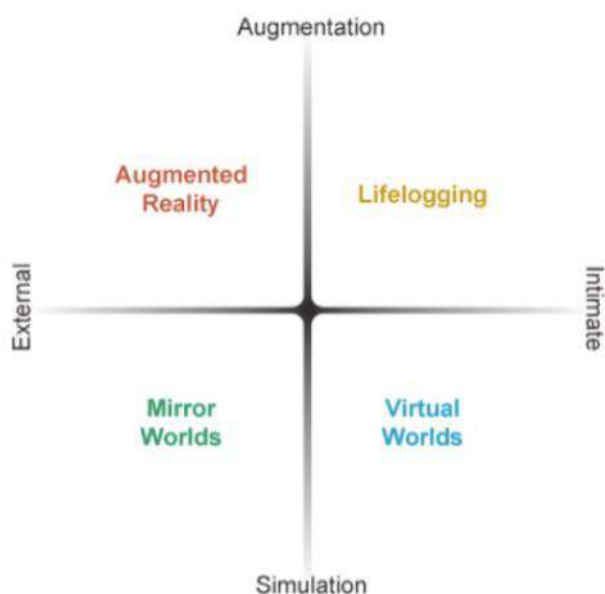
Іл. Б.1.3.5. Вимір ступенів знань про світ (Extent of World Knowledge, EWK) с. 284, за Мілгредом [280].



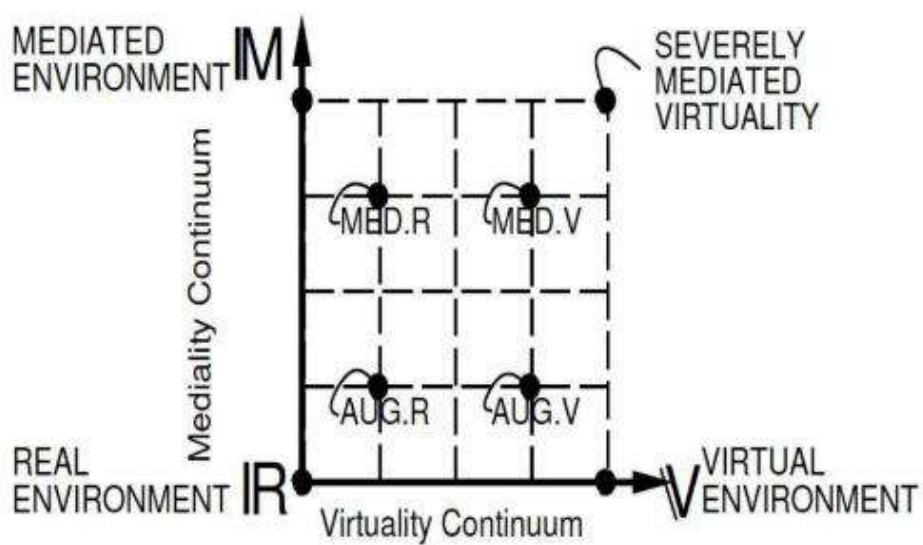
Іл. Б.1.3.6. Вимір точності відтворення (Reproduction Fidelity, RF), за Мілгредом [280].



Іл. Б.1.3.7. Вимір ступеню присутності (Extent of Presence Metaphor, EPM), за Мілгредом [280].



Іл. Б.1.3.8. Мапа Метаверс. 2007 р. [359]. Вертикальна вісь — тип доповнення-симуляція, горизонтальна — зовнішній-внутрішній простір.



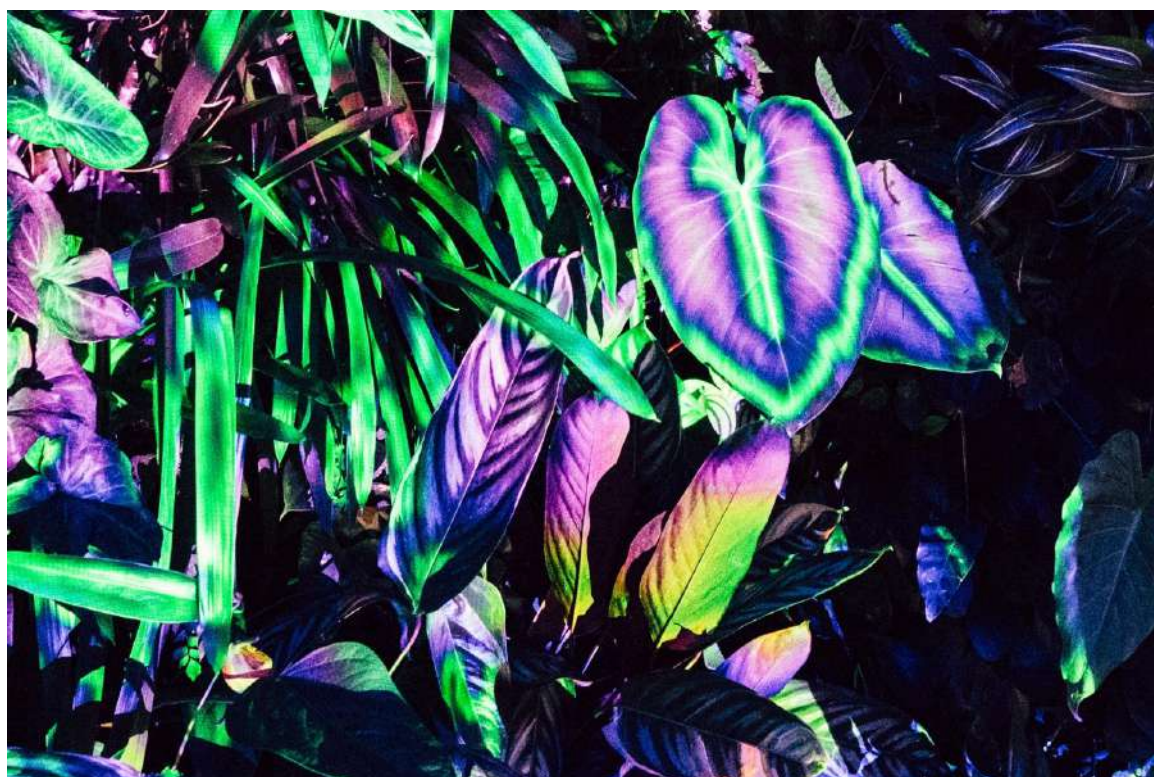
Іл. Б.1.3.9. Манн С. Опосередкована реальність. 2002 р. [261].

Ілюстрації до розділу 2.

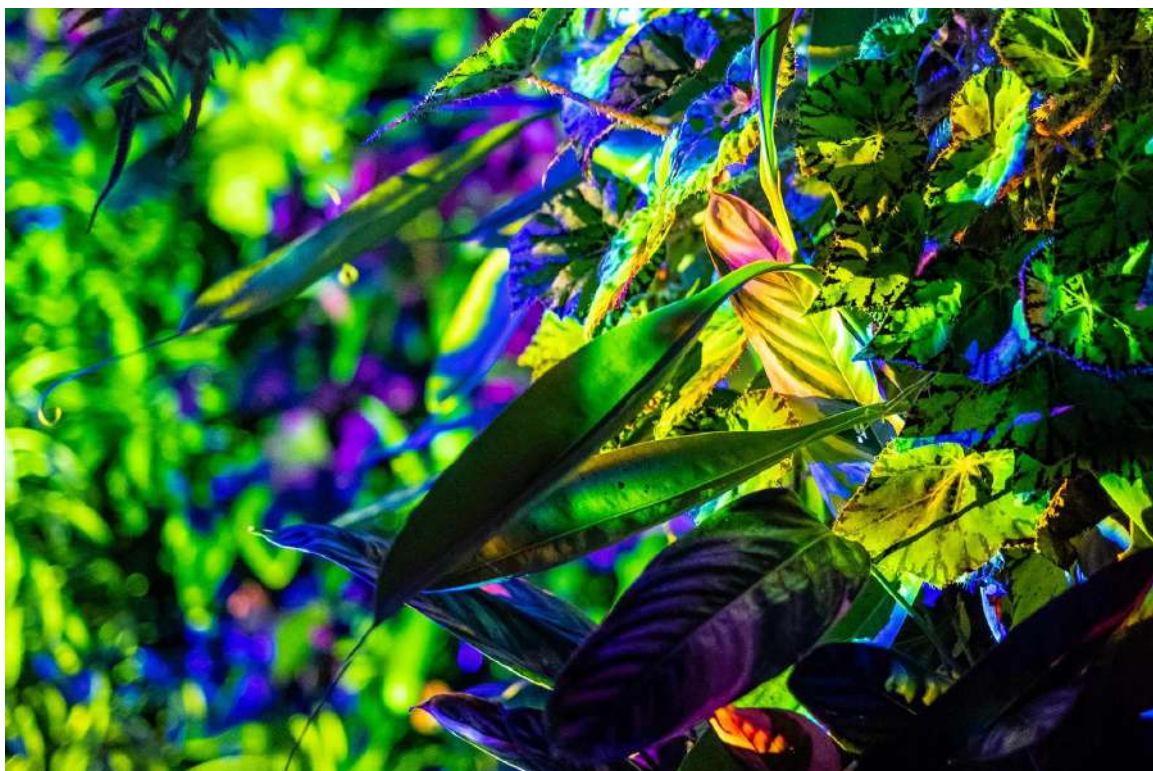
Складові систем доповненої реальності та загальні характеристики системи



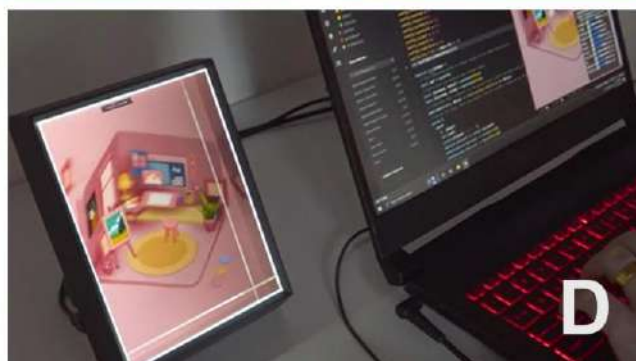
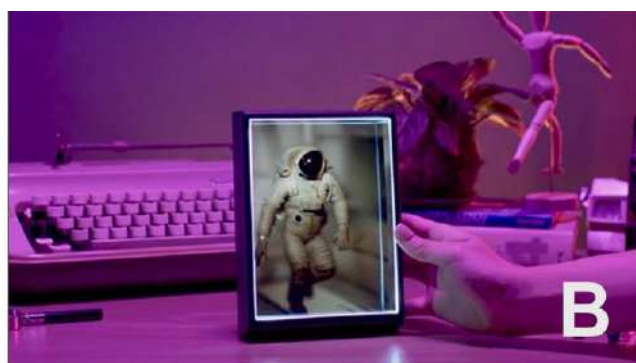
Іл. Б.2.1.1. Конфігуратор дизайну кросівок. США, 2019 р. Проекція на взуття. Дизайн: Lightform. Кадр з відеоролика. URL: <https://vimeo.com/348892998>



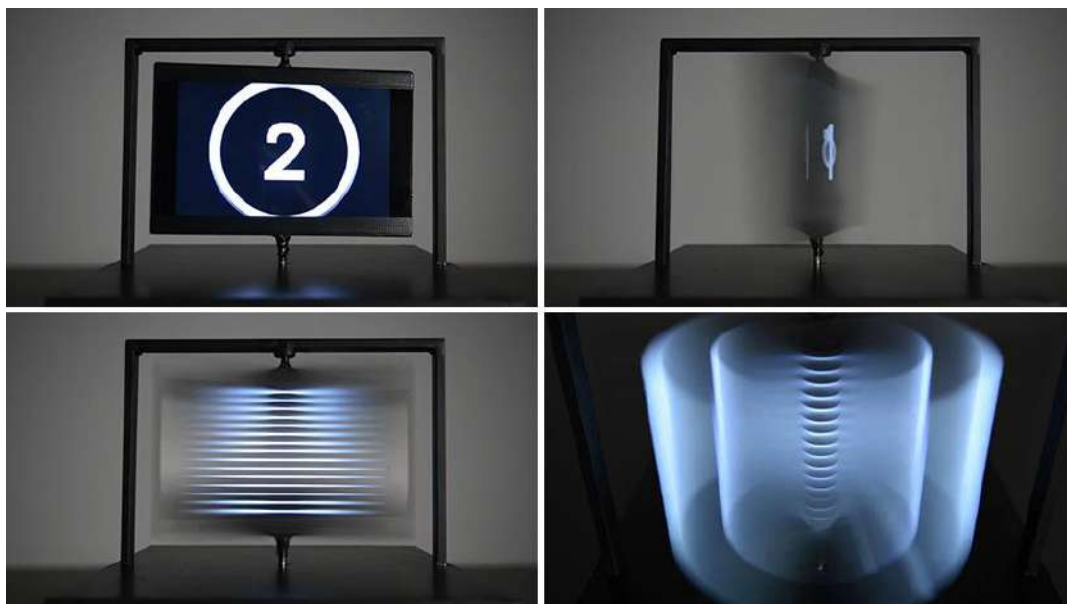
Іл. Б.2.1.2. «Night Bloom». США, 2020 р. Проекційний мапінг на рослини в Консерваторії квітів. Дизайн: LUX, Lightform. Кадр із відеоролика. URL: <https://vimeo.com/665762068>



Іл. Б.2.1.3. «Night Bloom». США, 2020 р. Проекційний мапінг на рослини в Консерваторії квітів. Дизайн: LUX, Lightform. URL: <https://lightform.com/blog/behind-the-scenes-conservatory-of-flowers-event-projection-mapping>



Іл. Б.2.1.4. Мультископічний дисплей від «Looking Glass Factory». 2020 р. Кадри з проморолика. URL: <https://lookingglassfactory.com/looking-glass-portrait>



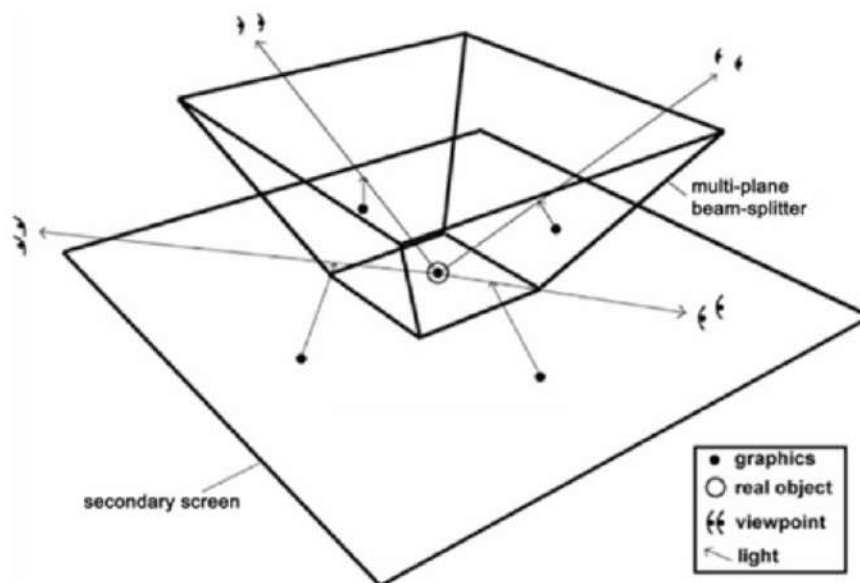
Іл. Б.2.1.5. Muzzin Benjamin. «Full turn». 2013 р. Кадри з відеоролика.
URL: <http://vimeo.com/74735651>



Іл. Б.2.1.6. Muzzin Benjamin. «Full turn». 2013 р. Кадри з відеоролика.
URL: <http://vimeo.com/74735651>



Іл. Б.2.1.7. Прототип нематеріального дисплея, що показує тривимірний чайник. Ча Лі та соавтори. 2009 р. [249, с. 193].



Іл. Б.2.1.8. Приклад мультиплосинного комбінатора променів. Бімбер О. [113, с. 22].



Іл. Б.2.1.9. Автоматичне віртуальне середовище «Cave» в EVL. 1993 р. Університет Іллінойсу в Чикаго. Користувач всередині CAVE. Фото зроблено під час модернізації CAVE для використання нових DLP-проекторів «Christie Mirage» на 5000 люменів. © Davepape. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Cave_automatic_virtual_environment



Іл. Б.2.1.10. «Офіс Майбутнього». 1998 р. Концептуальний ескіз офісу майбутнього [321].



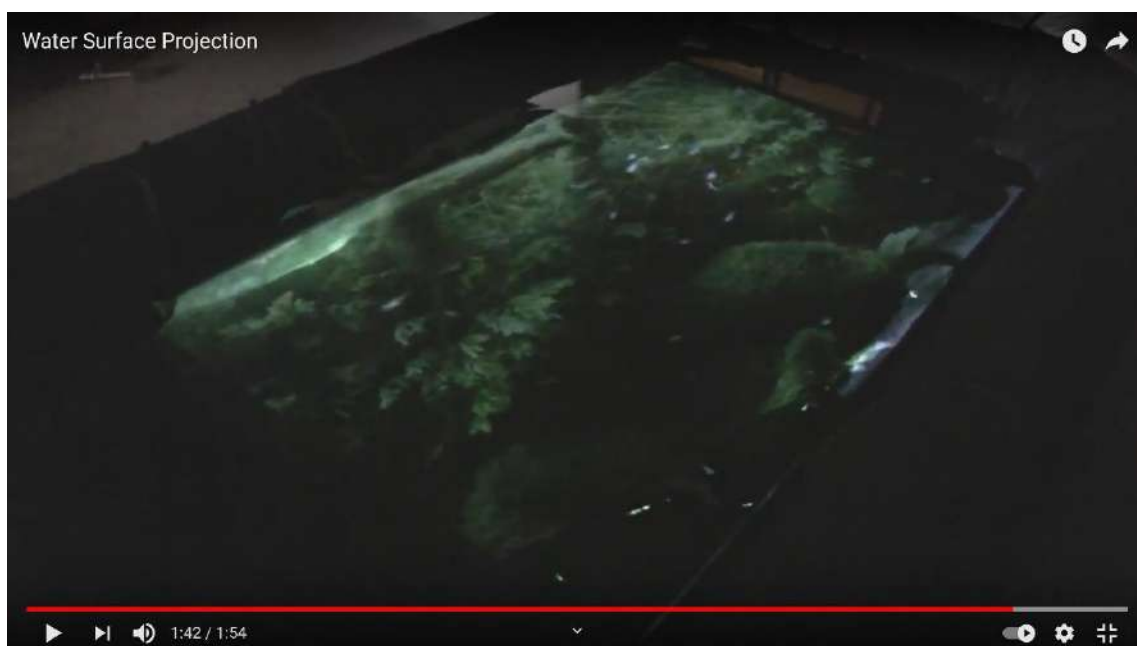
Іл. Б.2.1.11. Анімований олень біжить по воді. Музичний фестиваль «Latitude», 2017 р. Водяна проєкція. Дизайн: LCI. Кадр із відео.
URL: <https://youtu.be/RkMCJZaRnKI>



Іл. Б.2.1.12. Водяний 3D принтер для рекламної кампанії Gatorade. 2021 р. Краплі утворюють фігуру людини. Кадр із відео.
URL: <https://youtu.be/Us7JsVBc1qo>



Іл. Б.2.1.13. «Drop». Японія, 2021 р. Інтерактивна арт-інсталяція з проєкційним маппінгом на водні краплі. Art Museum of Nature and Human Non-Homogeneity. Кадр із відео. URL: <https://youtu.be/BRLx4lMetu4>



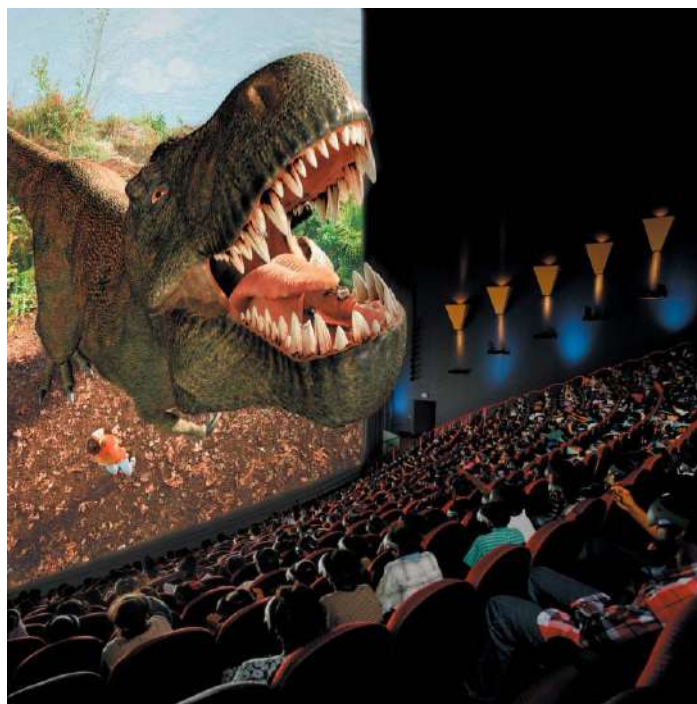
Іл. Б.2.1.14. Морське дно із рибами та водоростями. 2009 р. Проєкція на водну поверхню. © DIGILIGHT. Кадр із відео. URL: <https://vimeo.com/8277829>



Іл. Б.2.2.1. Приклад проєкції фільму на поверхню стіни. Авторський колаж на базі зображень @ rimchu та @ ironstagram з ліцензією від unsplash.



Іл. Б.2.2.2. Приклад проєкції фільму в авто-кінотеатрі. Авторський колаж на базі зображень @ jona_schm та @ ironstagram з ліцензією від unsplash.



Іл. Б.2.2.3. Приклад проєкції 3D-фільму у кінотеатрі. «Barzelletta — Film in 3D», 2014 р. URL: <https://proverbimilanesi.blogspot.com/2014/09/barzelletta-film-in-3d.html>



Іл. Б.2.2.4. Приклад проєкції у порожню раму. Авторський колаж на базі зображень @ ironstagram з ліцензією від unsplash та зображення для вільного використання з free-mockup.com.



Іл. Б.2.2.5. Приклад проєкції на поверхню з урахуванням контексту. Дизайн: ATMOS FX. США, 2017 р. URL: <https://www.essexlive.news/whats-on/whats-on-news/scary-projector-puts-terrifying-images-581531>



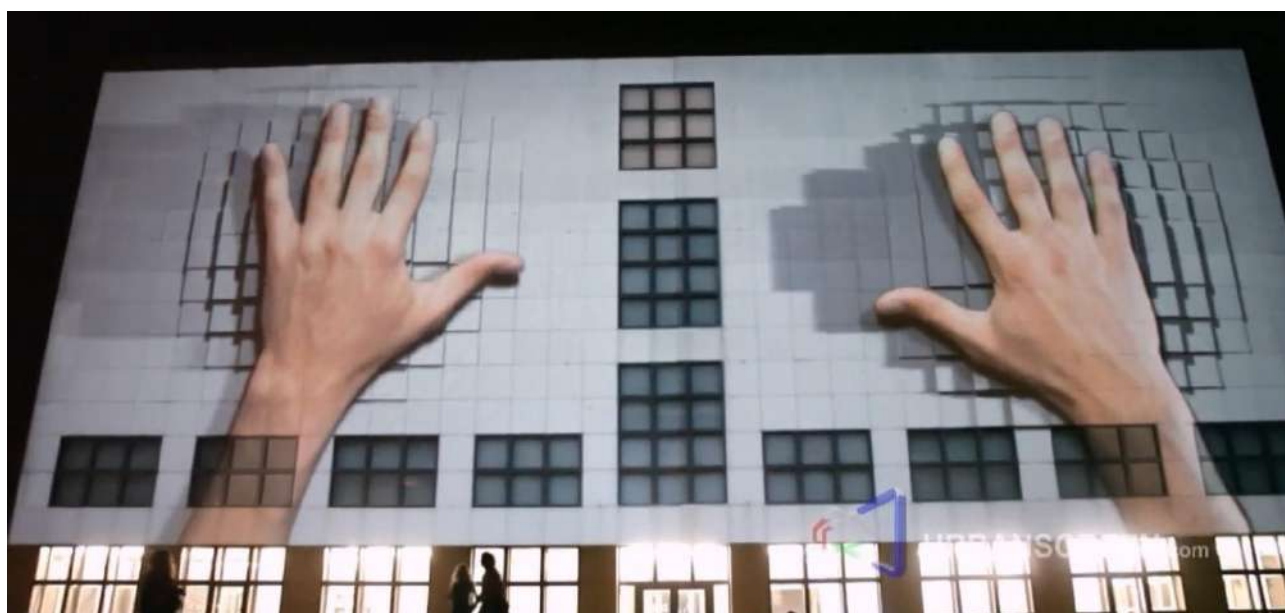
Іл. Б.2.2.6. «JCB Interactive projection wall». Індія, 2018 р. Дизайн: The Rightclick Innovations. Приклад проєкції з інтерактивними елементами на поверхню. URL: <https://youtu.be/IucCJFwygIg>



Іл. Б.2.2.7. Пісочний стіл із проєкцією. Китай, 2020 р. Дизайн: Movie Power Technology Co. URL: <http://www.movie-power.com/etxl/arsp.html>



Іл. Б.2.2.8. Холзер Джені. «Проекція на Бленгеймський палац».
Великобританія, 2017 р. URL:
<https://projects.jennyholzer.com/projections/blenheim-palace-2017/gallery#4>



Іл. Б.2.2.9. «555 KUBIK | facade projection». Urbanscreen, Гамбург, Німеччина,
2009 р. Приклад проєкції, що враховує геометрію будівлі та використовує
плитку фасаду як основу для анімацій. URL: <https://vimeo.com/5595869>



Іл. Б.2.2.10. «Coca-Cola Arctic Home Campaign — Augmented Reality». WWF. Лондон, Великобританія, 2013 р. Кадри з відео. URL: <https://youtu.be/h2Jg8ryVk1k>



Іл. Б.2.2.11. «Water Screens — Laservision Specialty Mediums». Дубаї, 2017 р. Водяні лазерні екрани. Дизайн: Laservision. URL: <https://www.laservision.com.au/water-screen-projection-world-record>



Іл. Б.2.2.12. Декорації для опери «Турандот». 2022 р. Дизайн: teamLab. Великий театр Женеви та галерея «Расе». Кадр зі спектаклю. © Даніель Крамер. URL: <https://www.stirworld.com/see-features-teamlab-creates-an-immersive-operatic-experience-for-puccini-s-turandot>



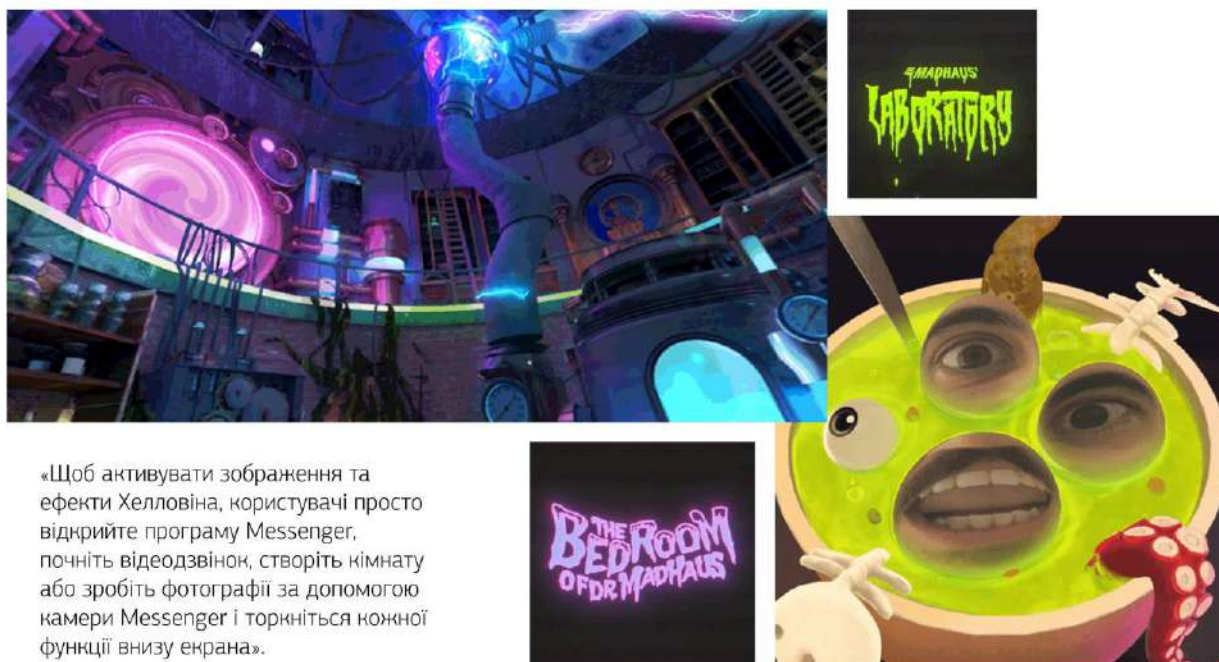
Іл. Б.2.3.1. Лінзи від Снепчат із використанням ШІ для зістарювання та омолодження селфі. 2019 р. © Snapchat. URL: <https://venturebeat.com/ai/snapchats-time-machine-lens-uses-ai-to-age-and-de-age-selfies>



Іл. Б.2.3.2. Deadly Class AR Filters. 2018 р. Дизайн: Nexus Studios © Sony Pictures. URL: <https://nexusstudios.com/work/deadly-class-ar-filters>

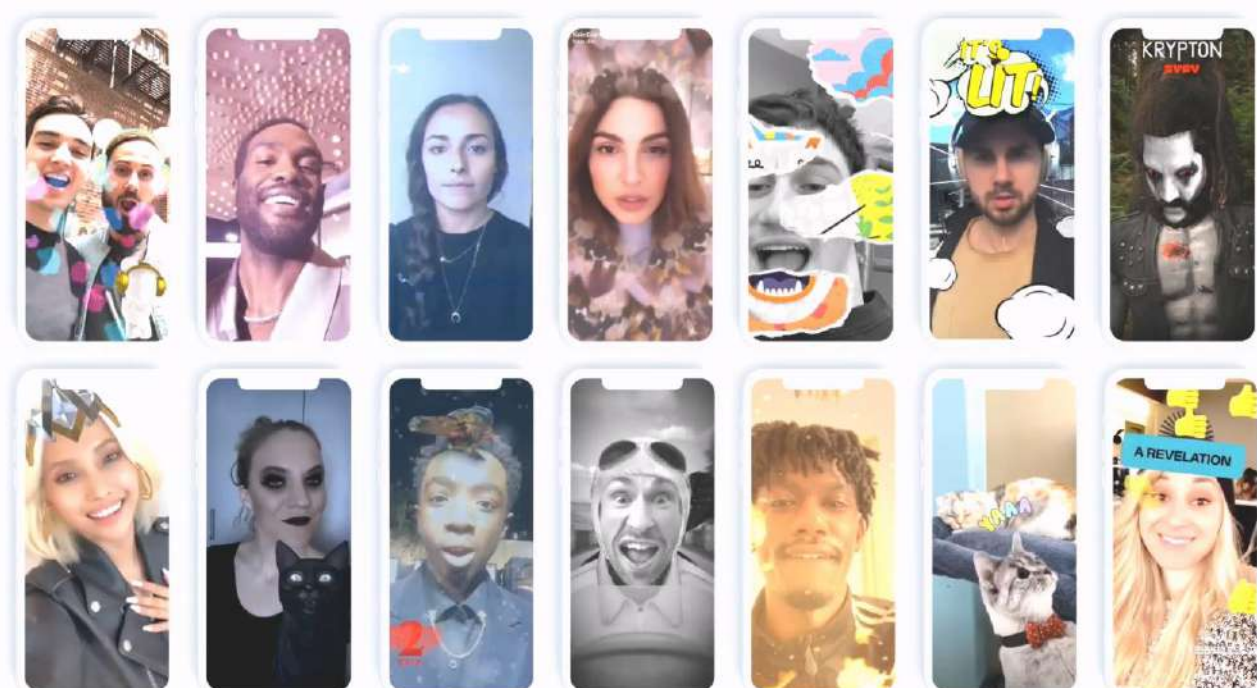


Іл. Б.2.3.3. Скріншоти «Clips app». Version 3.1.3. 2020 р. © Apple.
URL: <https://www.aiseesoft.com/resource/apple-clips-app.html>

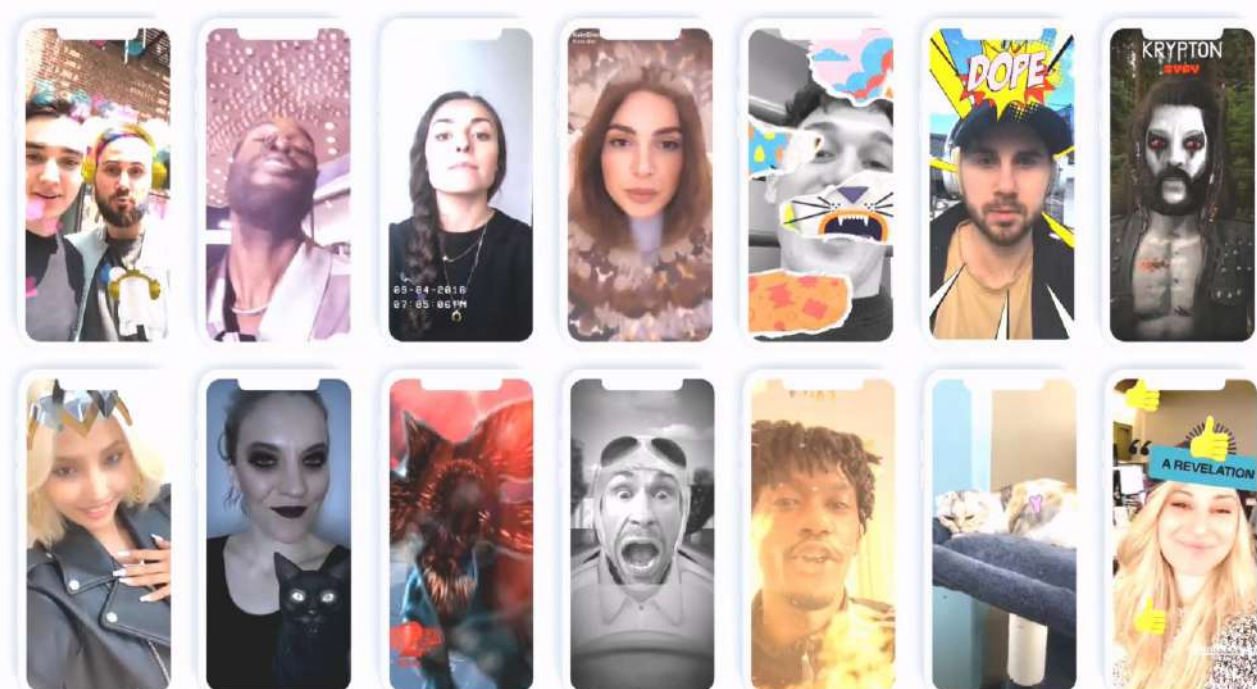


«Щоб активувати зображення та ефекти Хелловіна, користувачі просто відкрийте програму Messenger, почніть відеодзвінок, створіть кімнату або зробіть фотографії за допомогою камери Messenger і торкніться кожної функції внизу екрана».

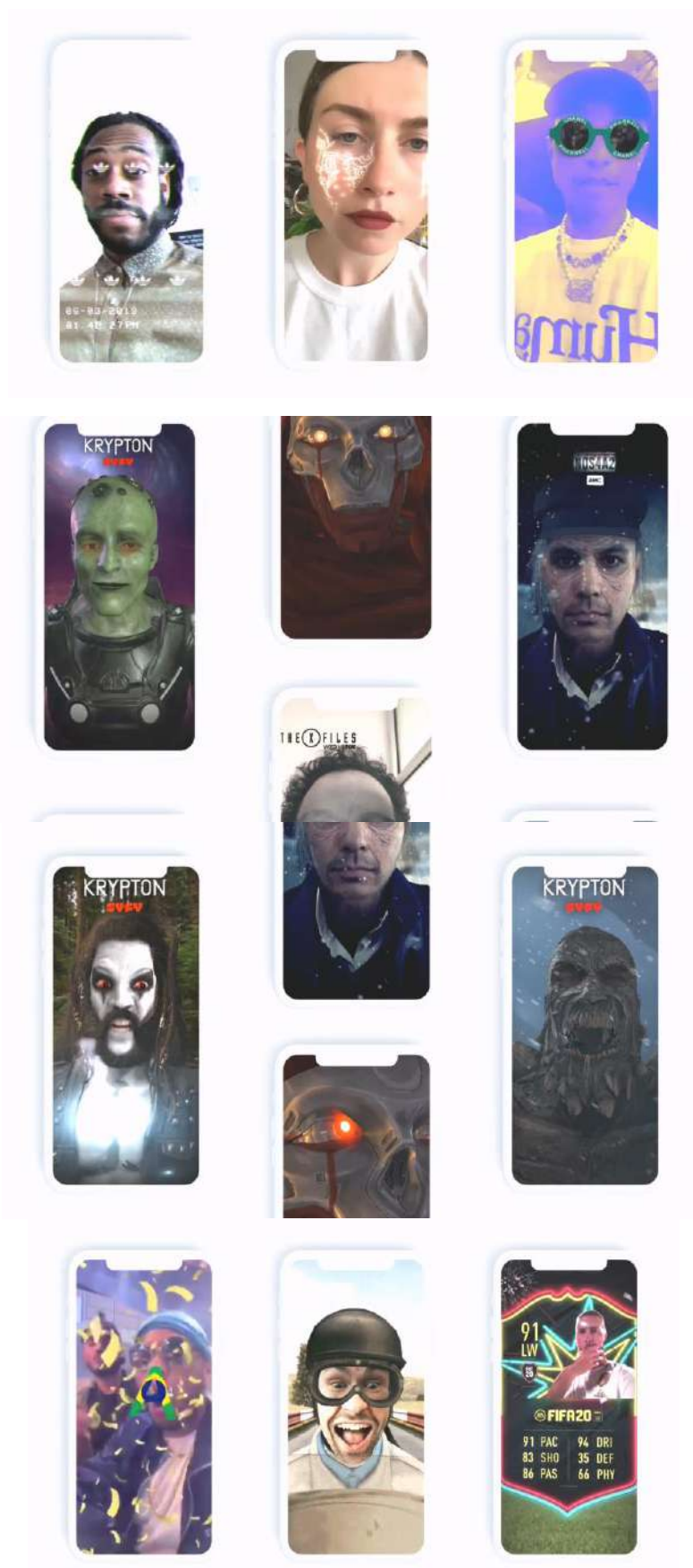
Іл. Б.2.3.4. AR фільтри для Хеллоуїну в «Facebook Messenger». 2020 р. Дизайн: Nexus Studios. © Facebook. URL: <https://nexusstudios.com/work/facebook-messenger-halloween>



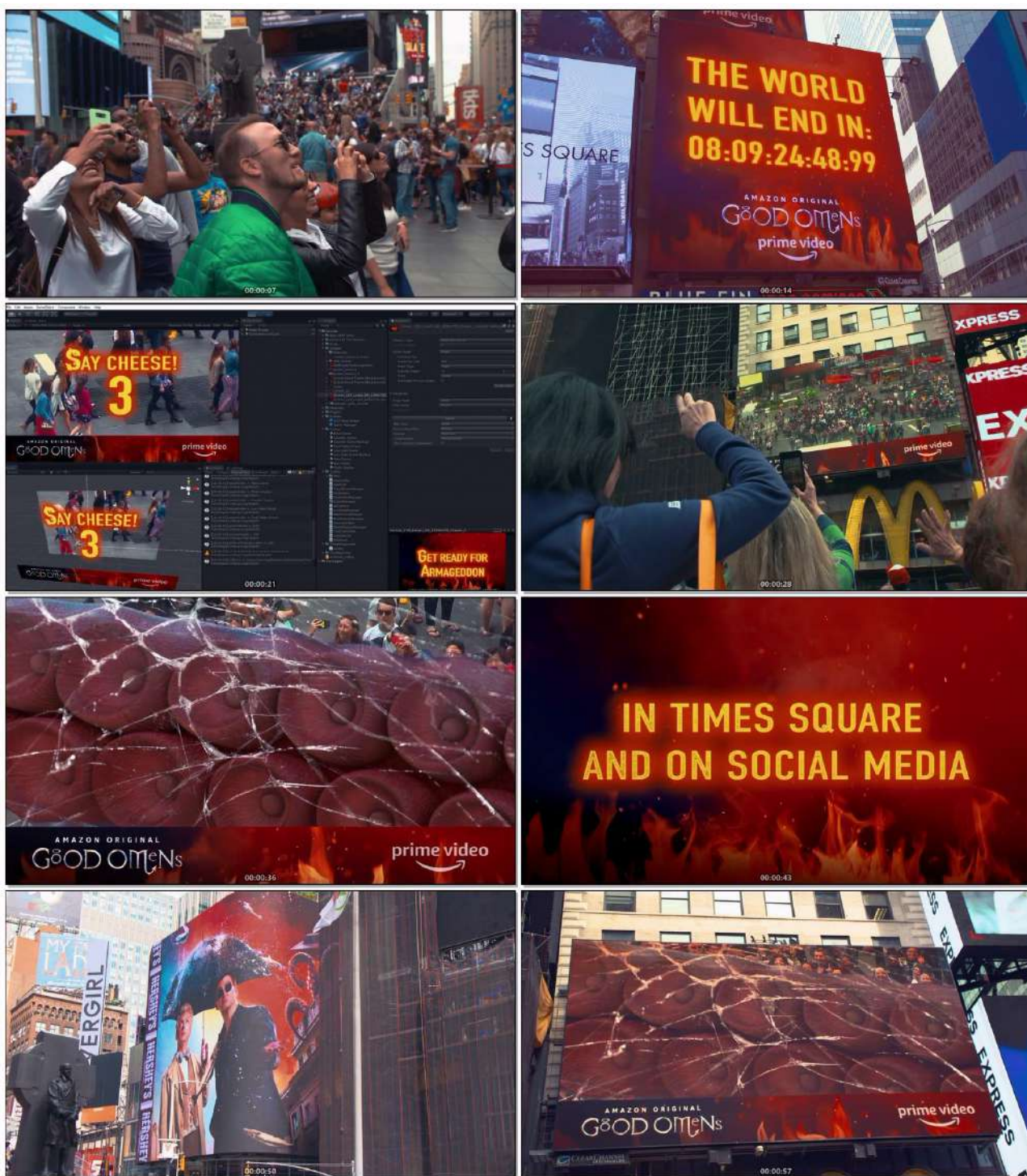
Іл. Б.2.3.5. Фільтри для «Snapchat». 2020 р. Дизайн: The Mill.
URL: <https://vimeo.com/417249735>



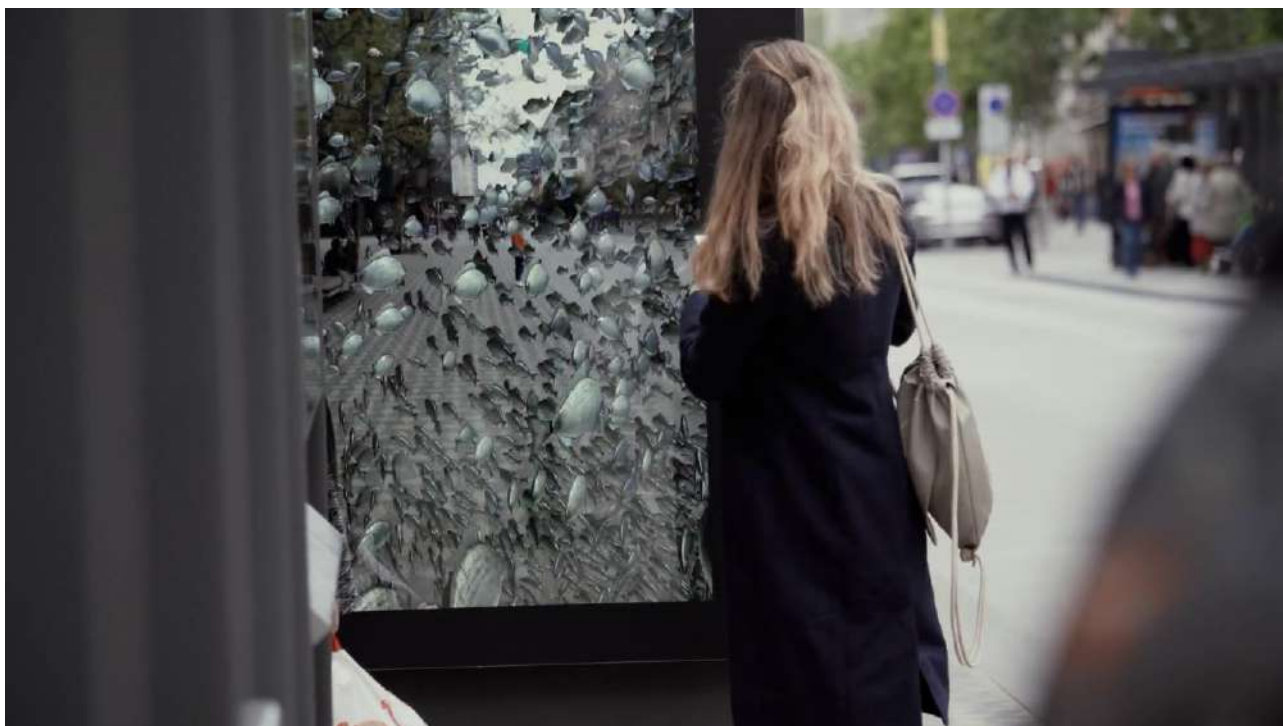
Іл. Б.2.3.6. Фільтри для «Snapchat». 2020 р. Дизайн: The Mill.
URL: <https://vimeo.com/417249735>



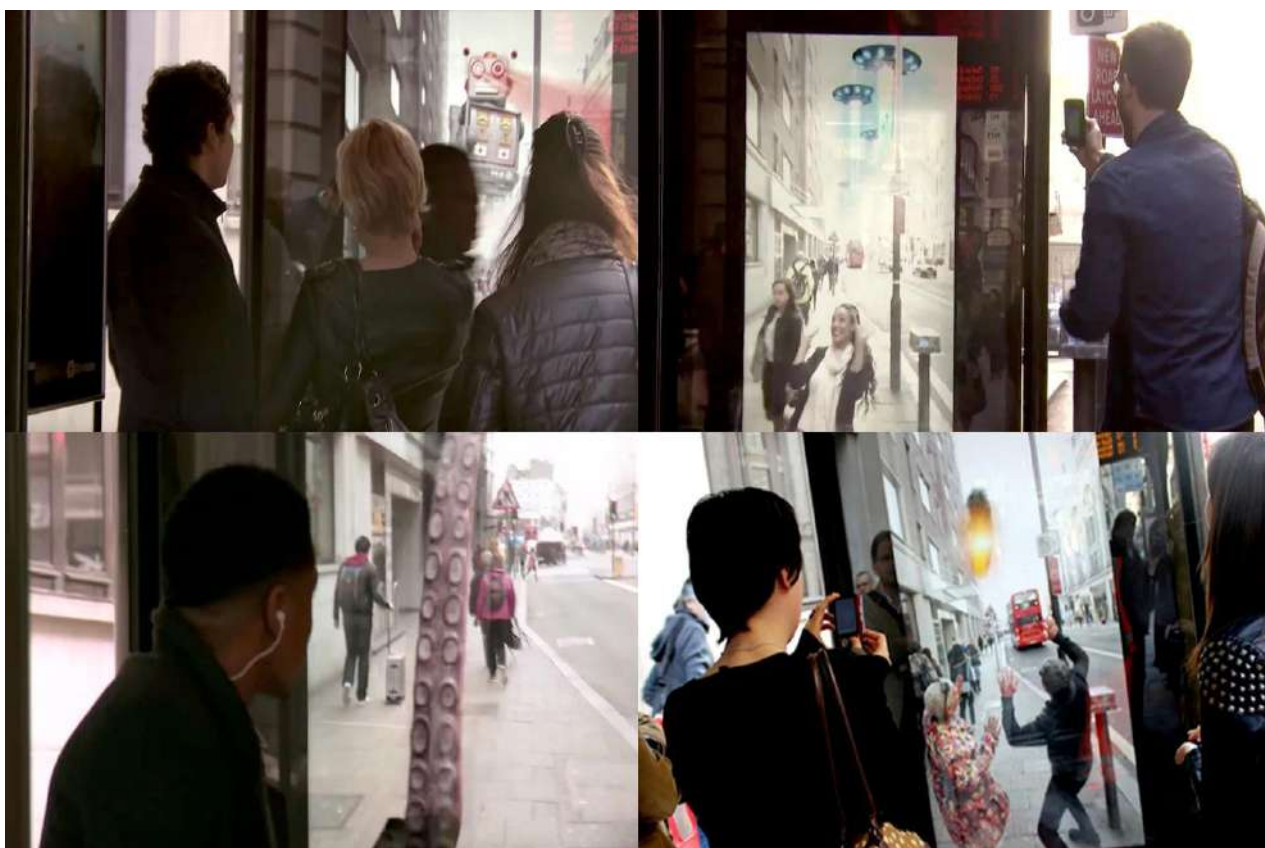
Іл. Б.2.3.7. Фільтри для «Snapchat». 2020 р. Дизайн: The Mill.
 URL: <https://vimeo.com/417249735>



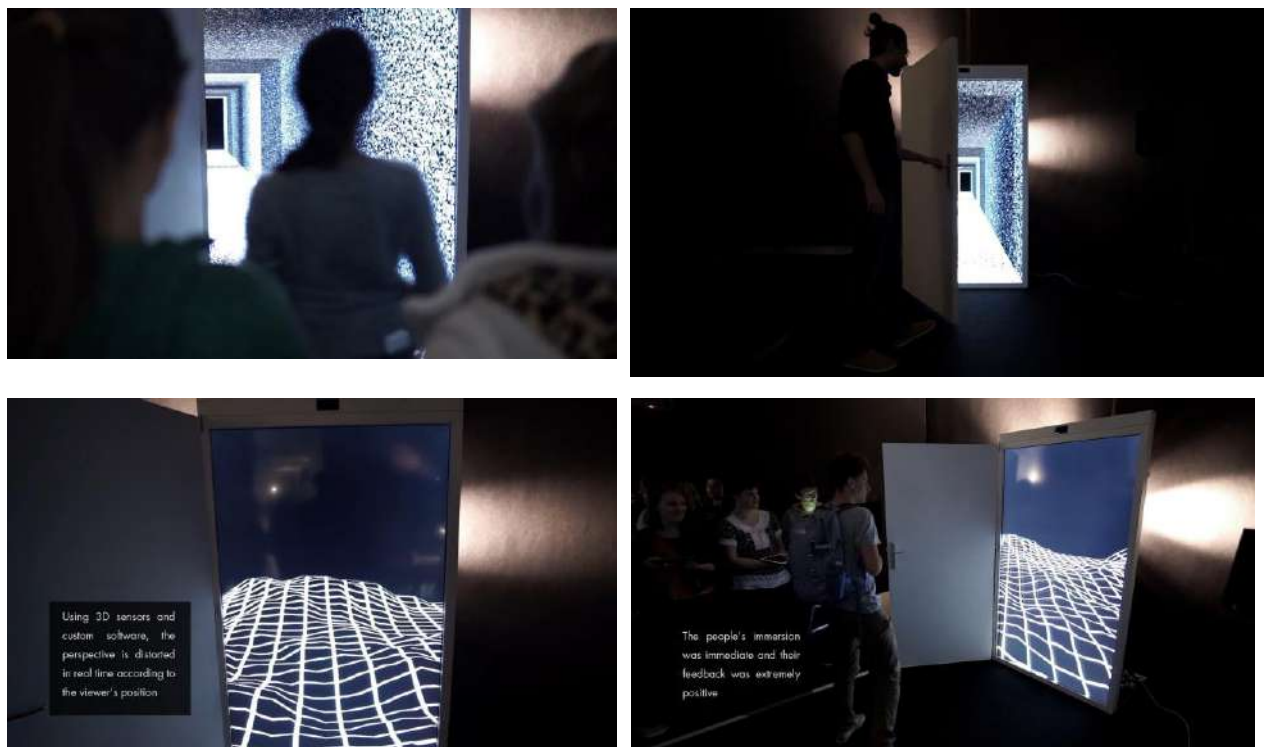
Іл. Б.2.3.8. «Good Omens». США, 2019 р. Промо кампанія. Дизайн: Grand Visual. Кадри з відео. URL: <https://vimeo.com/347070057>



Іл. Б.2.3.9. «TVC A1 Slovenia». Словенія, 2017 р. Рекламний відео-сітілайт. Дизайн: Grey Ljubljana. Кадри з відео. URL: <https://www.artrebel9.com/digital-experiences/ar-citylight>



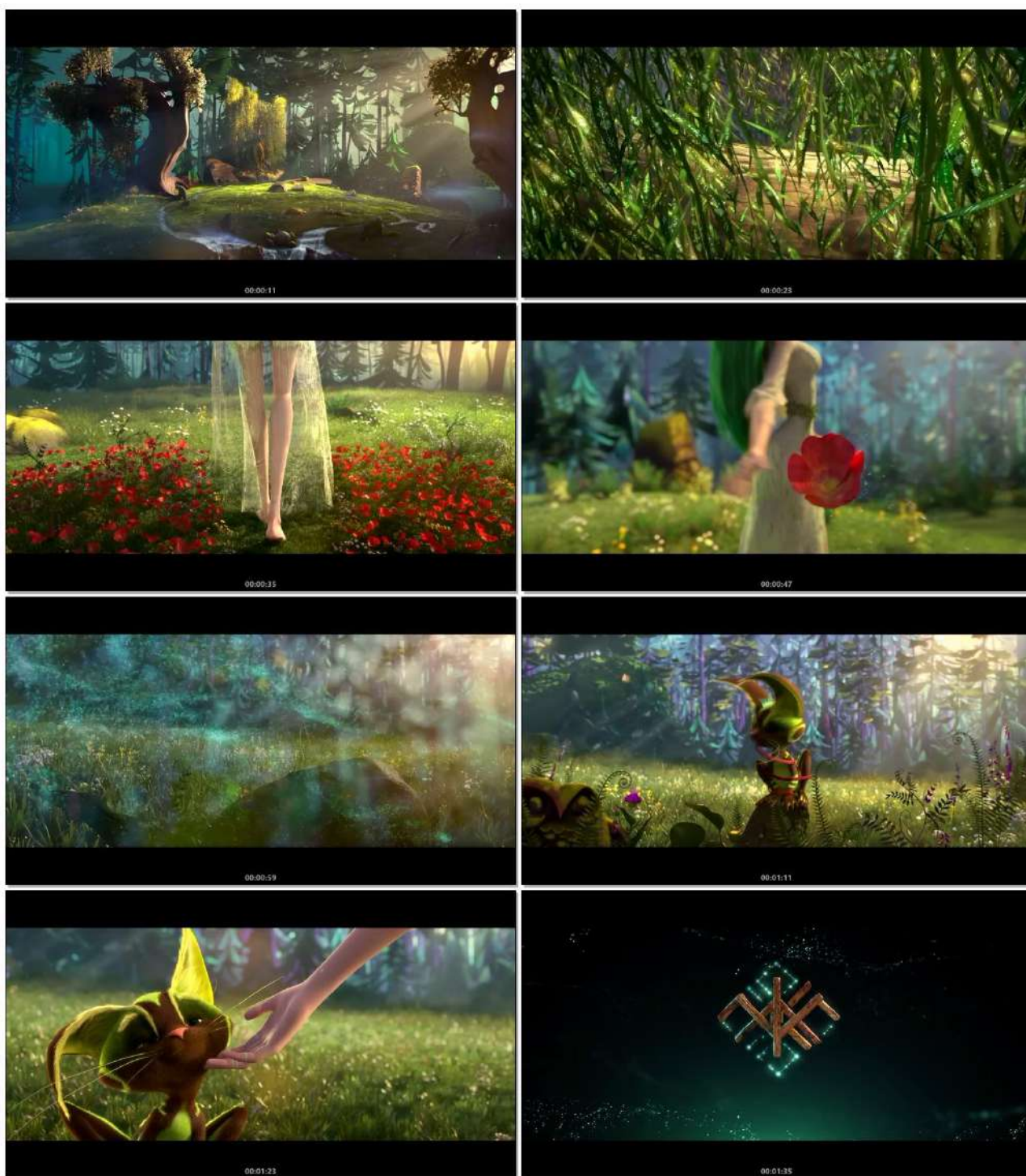
Іл. Б.2.3.10. «Bus Shelter Pepsi Max». Великобританія, 2020 р. Рекламний відеосітілайт. Дизайн: AMV BBDO, OMD, Talon, Little Dot. URL: <https://blog.littledotstudios.com/en-gb/news-views/pepsi-max-ar-bus-stop>



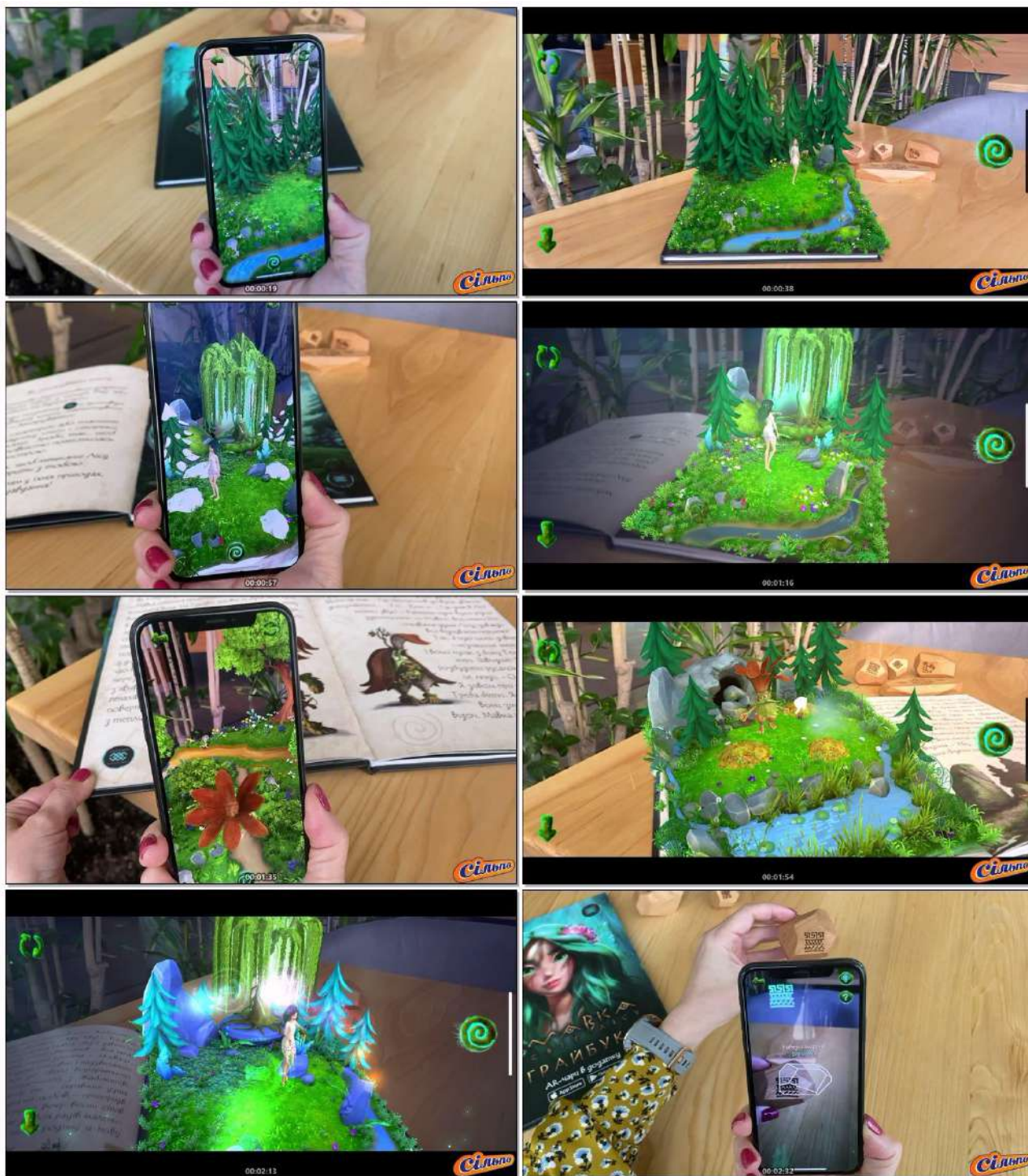
Іл. Б.2.3.11. «Doors, between reality and virtuality». Ліон, Франція, 2016 р.
Інтерактивна відеоінсталяція. Дизайн: Theoriz.
URL: <https://citymagazine.si/en/doors-doors-between-reality-and-virtuality>



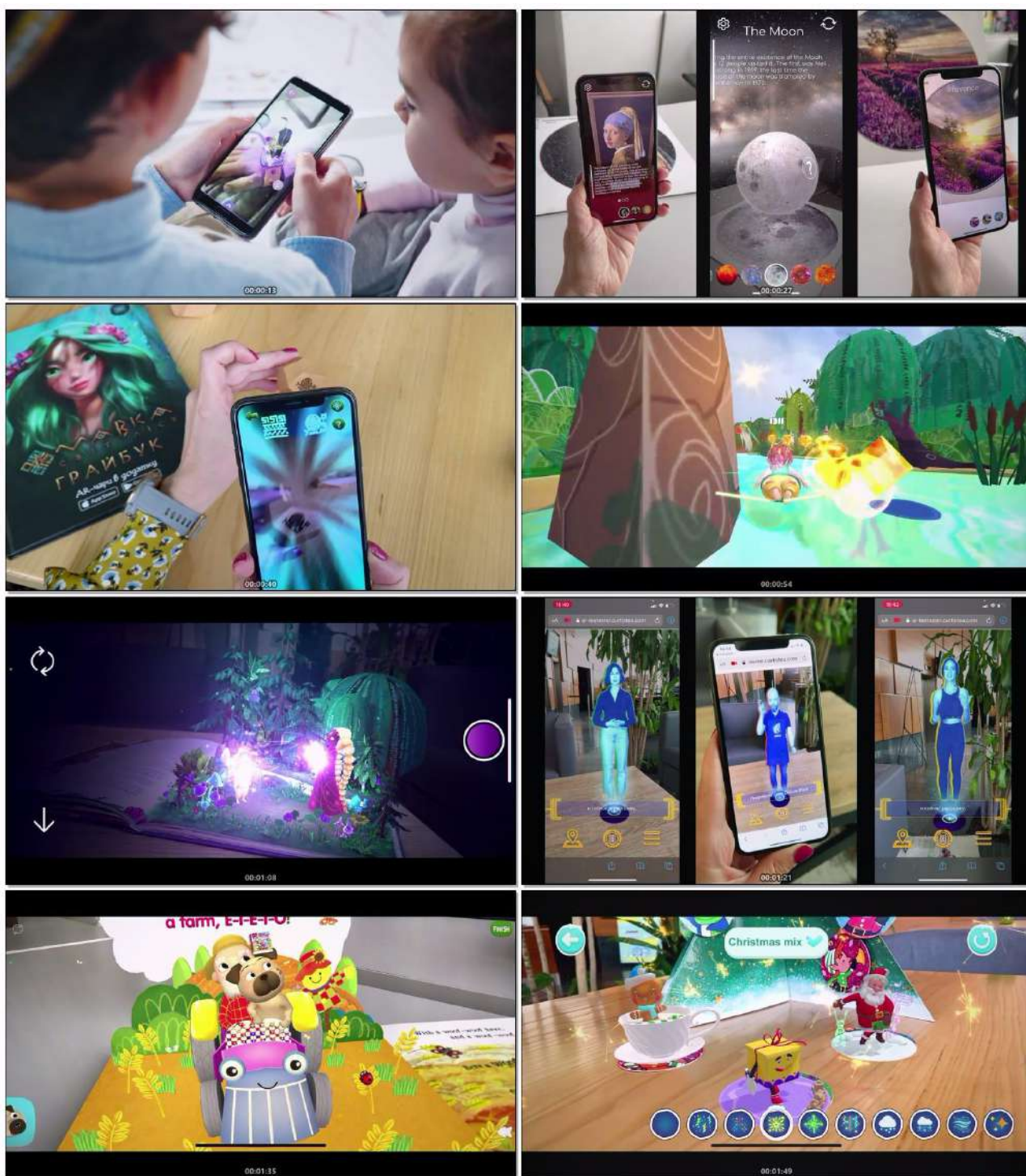
Іл. Б.2.3.12. «Rene Magritte: The Fifth Season». SFMOMA, США, 2018 р.
Відеовікна з AR. Дизайн: frog. URL: <https://www.frog.co/work/augmented-reality-meets-fine-art>



Іл. Б.2.3.13. «MAVKA. The Forest Song». Україна, 2017 р. Дизайн: Animagrad (FILM.UA Group). Кадри з тізеру до фільму.
 URL: <https://youtu.be/effkoBQqm7g>



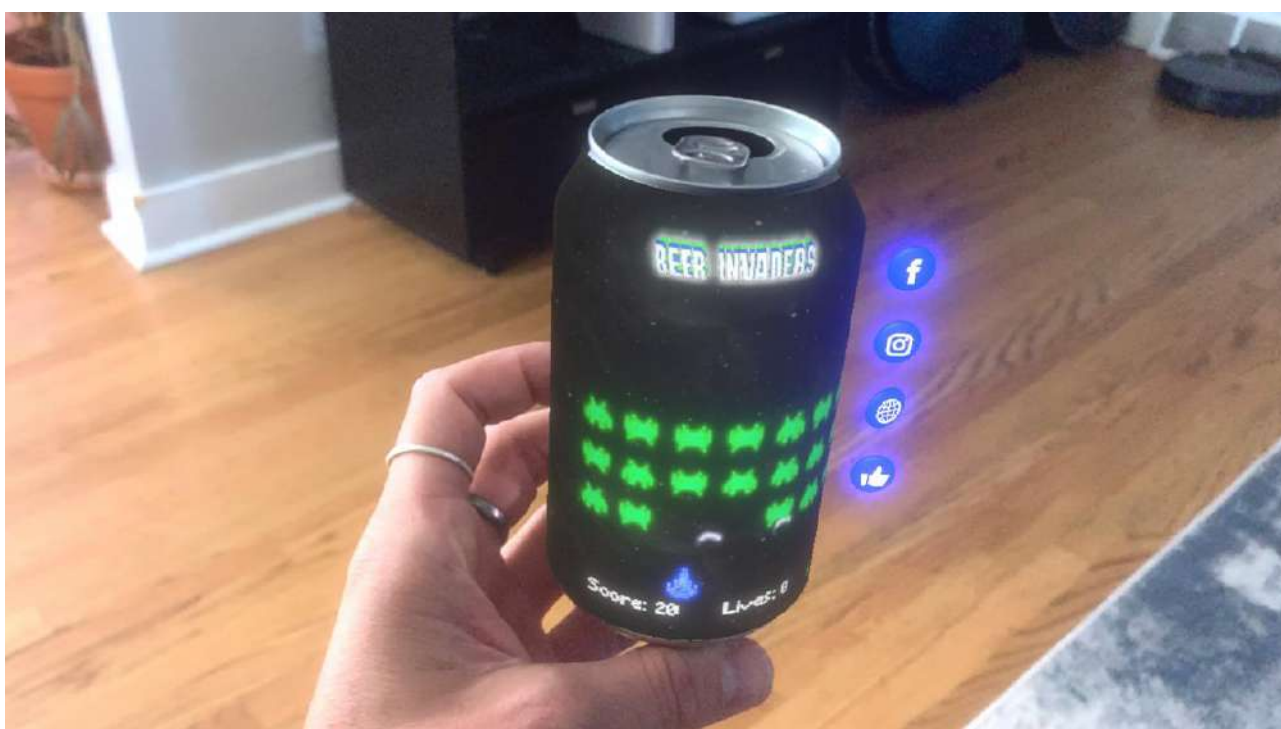
Іл. Б.2.3.14. «Мавка Сильпо». Україна, 2021 р. AR книга-гра та руни з передбаченнями. Дизайн: LiveAnimations. URL: <https://youtu.be/6H8eD5hyo24>



Іл. Б.2.3.15. «Showreel 2021». Доповнена реальність для друкованих видань.
 Дизайн: LiveAnimations. Кадри з відеоролика.
 URL: <https://youtu.be/a0nXtHbGgvw>



Іл. Б.2.3.16. «Notes IPA». Канада, 2021 р. Пакування з AR. Дизайн: zulu alpha kilo. URL: <https://youtu.be/qEmFbWpbMRk>



Іл. Б.2.3.17. «Beer Invaders». Австралія, 2021 р. Пакування з AR. Дизайн: Immertia. Кадр з відео. URL: <https://vimeo.com/619441596>

1.



2.



3.



Іл. Б.2.3.18. «Verve». США, 2021 р. AR та пакування для бренду «Opus Chrysalis». Процес появи графічних елементів. Дизайн: Rosie Grant, Molly Watkins. URL: <https://the-dots.com/projects/verve-brandopus-chrysalis-171960>



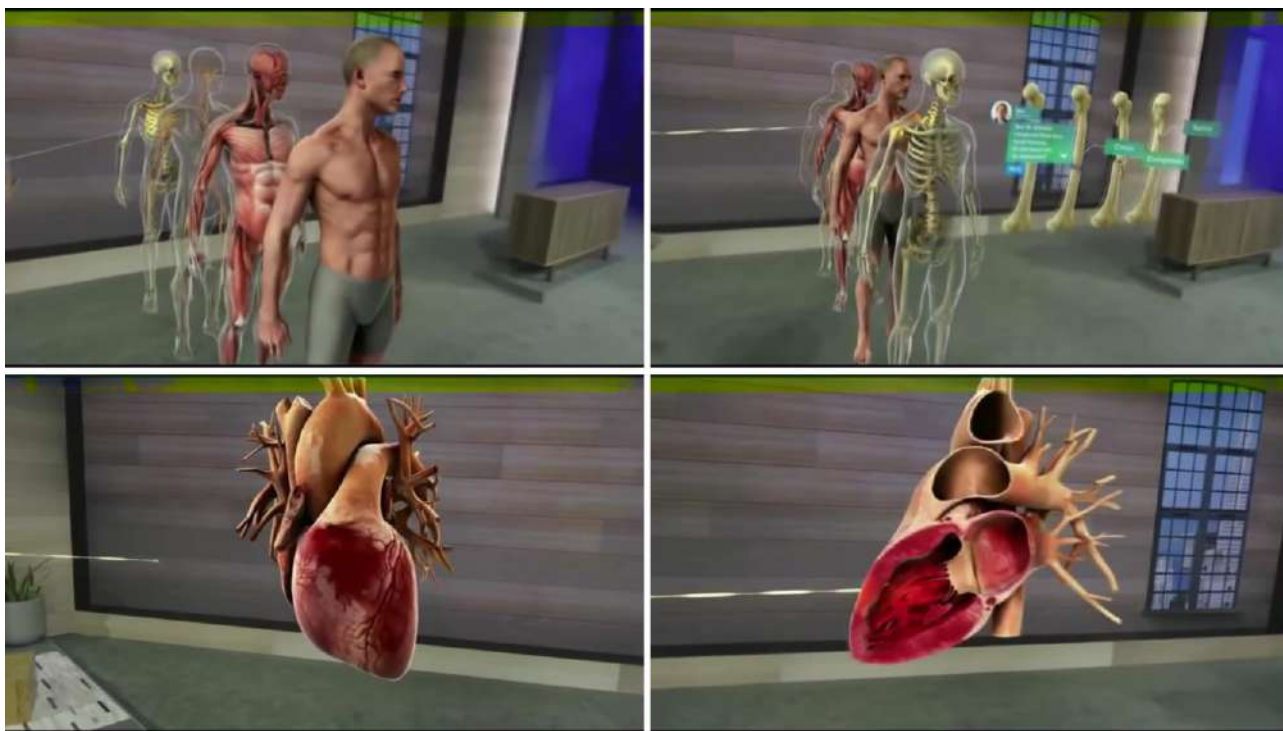
Іл. Б.2.3.19. «Verve». США, 2021 р. AR та пакування для бренду «Opus Chrysalis». Різні масштаби графіки. Дизайн: Rosie Grant, Molly Watkins. URL: <https://the-dots.com/projects/verve-brandopus-chrysalis-171960>



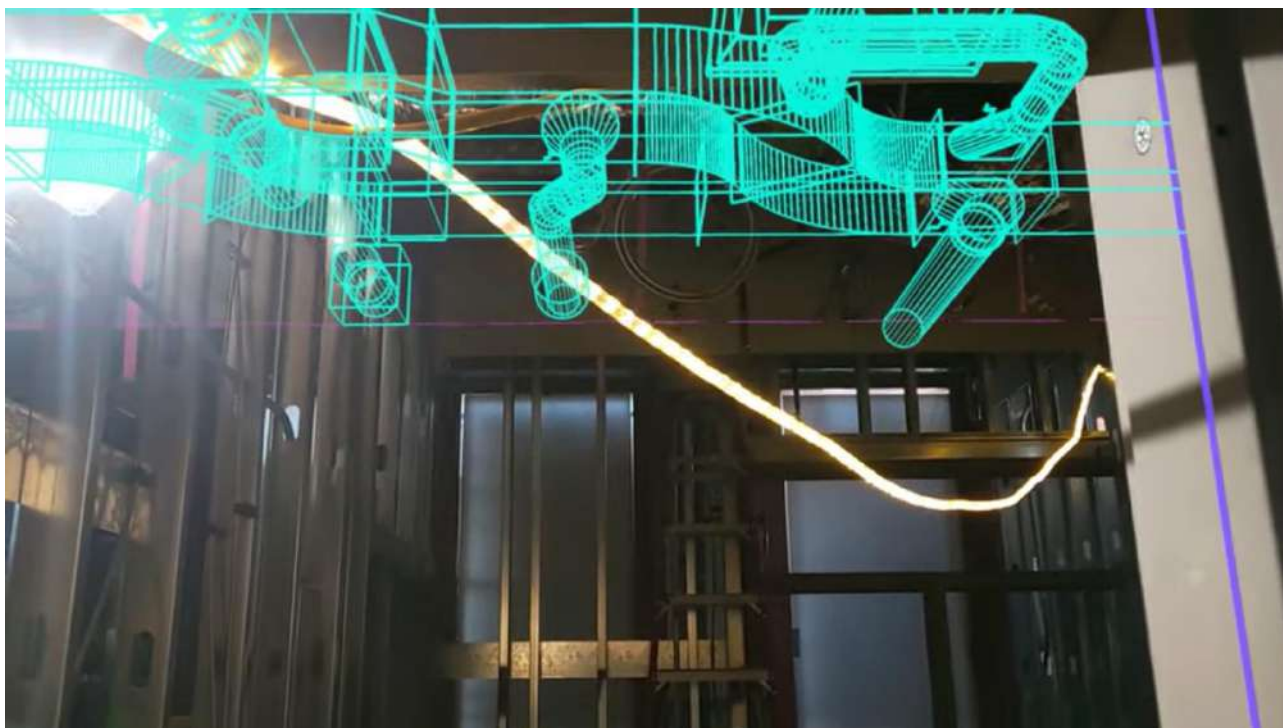
Іл. Б.2.3.20. «Mirages & miracles». Франція, 2017 р. Виставка з AR. Дизайн: Клер Бардайн і Едріан Монко (Adrien M & Claire B). Кадри з відео.
URL: <https://vimeo.com/246619389>



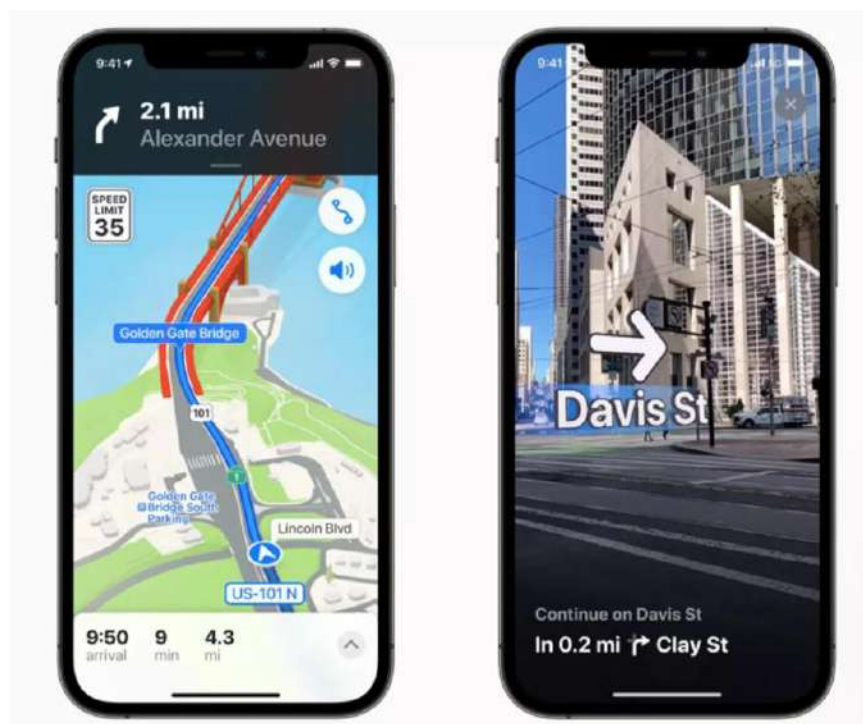
Іл. Б.2.3.21. AR демонстрація розміщення аудіосистеми «BassMatch» від «Bose Automotive». 2019 р. Кадри з відео.
URL: <https://youtu.be/XuJV2wX6OYs>



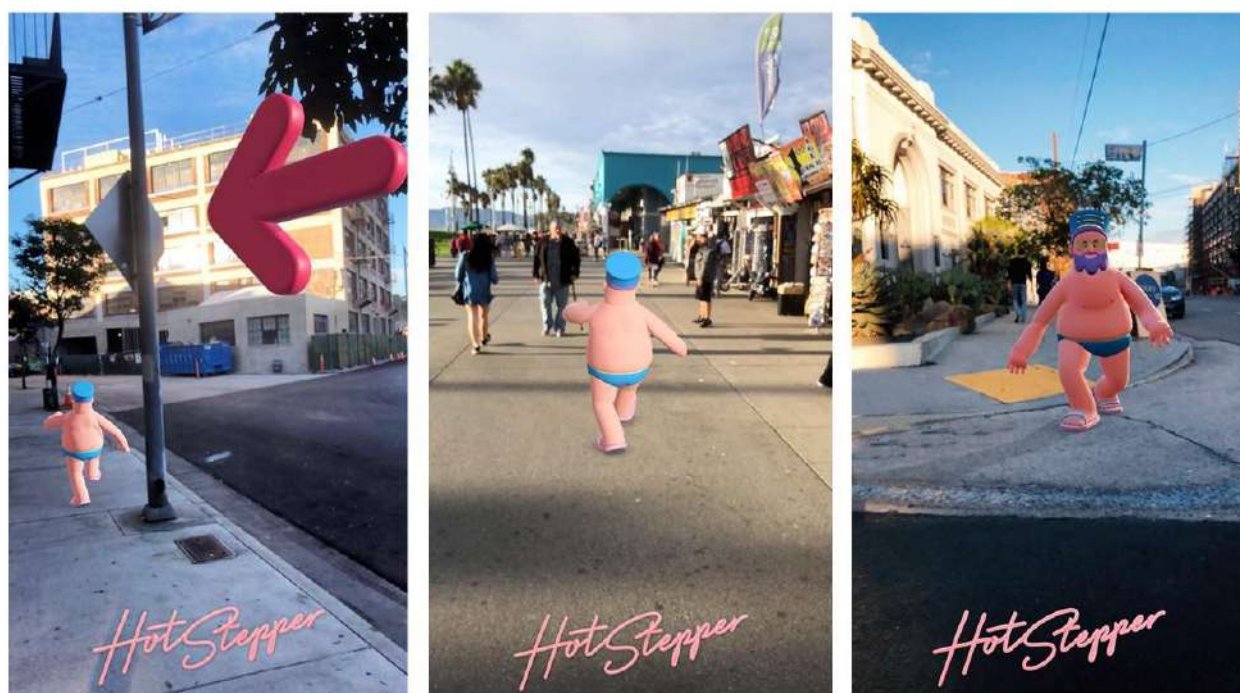
Іл. Б.2.3.22. Рентгенівський зір з «HoloLens». 2016 р. Кадри з відео.
URL: <https://youtu.be/etn2zCa7n40>



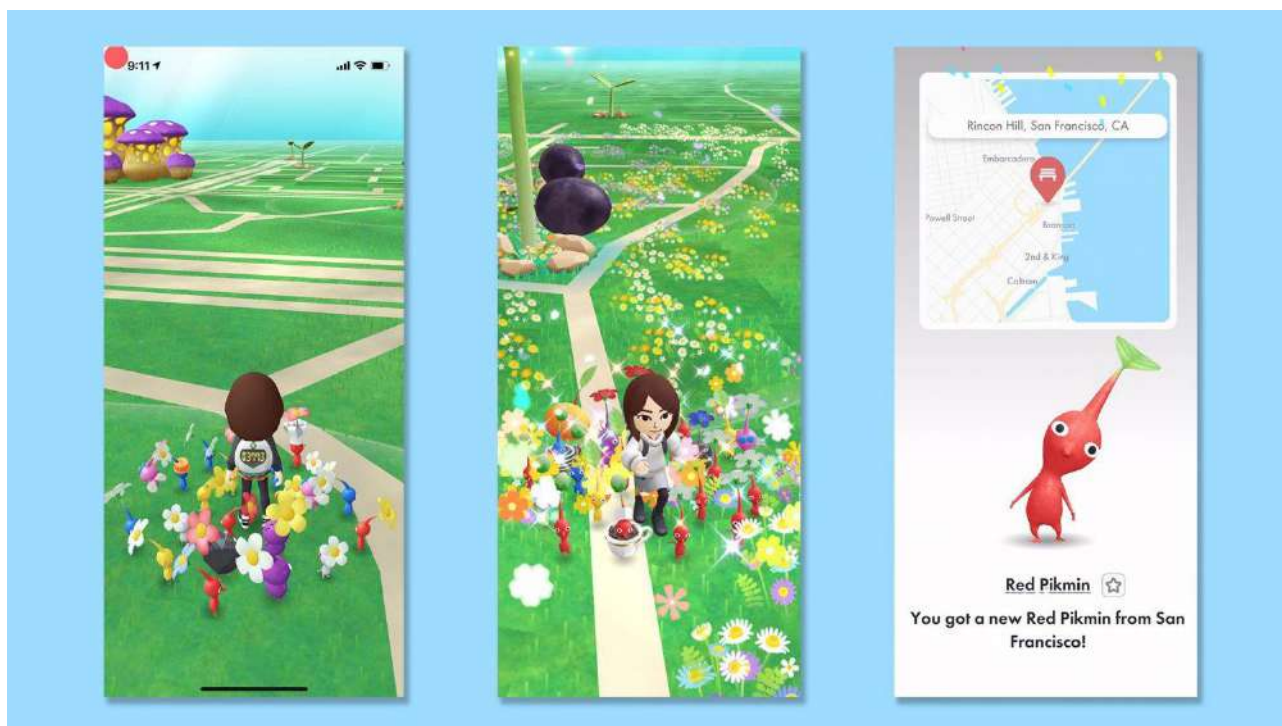
Іл. Б.2.3.23. «Argyle Build». 2022 р. AR додаток для конструювання. Дизайн: Argyle Build. Кадр з відео. URL: <https://youtu.be/C-t0df0Exb8>



Іл. Б.2.3.24. Застосунок «Apple Maps». 2021 р. Дизайн: Apple. © Apple.
Скріншоти. URL: <https://vrscout.com/news/apple-maps-introduces-ar-navigation>



Іл. Б.2.3.25. «HotStepper». США, 2017 р. Застосунок для навігації. Дизайн:
Nexus Studios. URL: <https://nexusstudios.com/work/hotstepper>



Іл. Б.2.3.26. «Pikmin Bloom». США, 2021 р. Навігаційна гра. Дизайн: Niantic.
URL: <https://www.digitalphablet.com/de/spielen/download-pikmin-bloom-for-iphone-and-android>



Іл. Б.2.3.27. «ХМ». 2022 р. BMW Billboard. Дизайн: Goodby Silverstein & Partners, BCN Visuals. URL: <https://musebycl.io/advertising/bmw-rolls-big-jaw-dropping-3d-billboards-times-square>



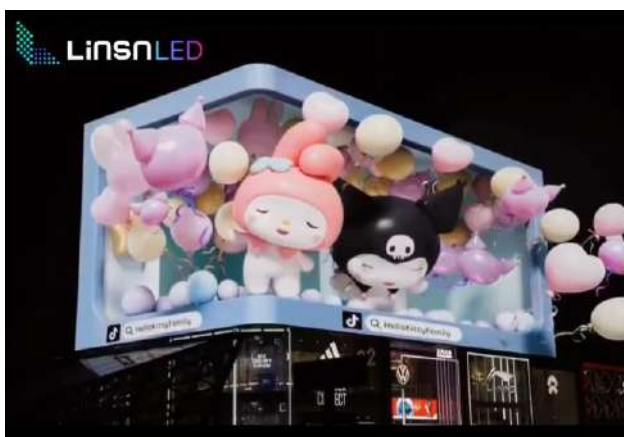
Іл. Б.2.3.28. «Shinjuku cat». Токіо, Японія, 2021 р. Біллборд з 3D-котом.
URL: <https://edition.cnn.com/style/article/3d-cat-billboard-tokyo/index.html>



Іл. Б.2.3.29. «Рік Тигра» з рекламної кампанії «Samsung Unpacked». 2022 р.
Кадр з відео. URL: https://youtu.be/jrPE2U_x_QI



Іл. Б.2.3.30. 3D LED білборди «Кінг-конг» та «Робот-крафтьяр». Кадри з відео. URL: <https://youtu.be/95gHLABPemk>



Іл. Б.2.3.31. 3D LED білборди «HelloKitty Family» та «Сафарі». Кадри з відео. URL: <https://youtu.be/95gHLABPemk>



Іл. Б.2.3.32. 3D LED білборди «Гігантський кит» та «Гаджет Vivo». Кадри з відео. URL: <https://youtu.be/95gHLABPemk>



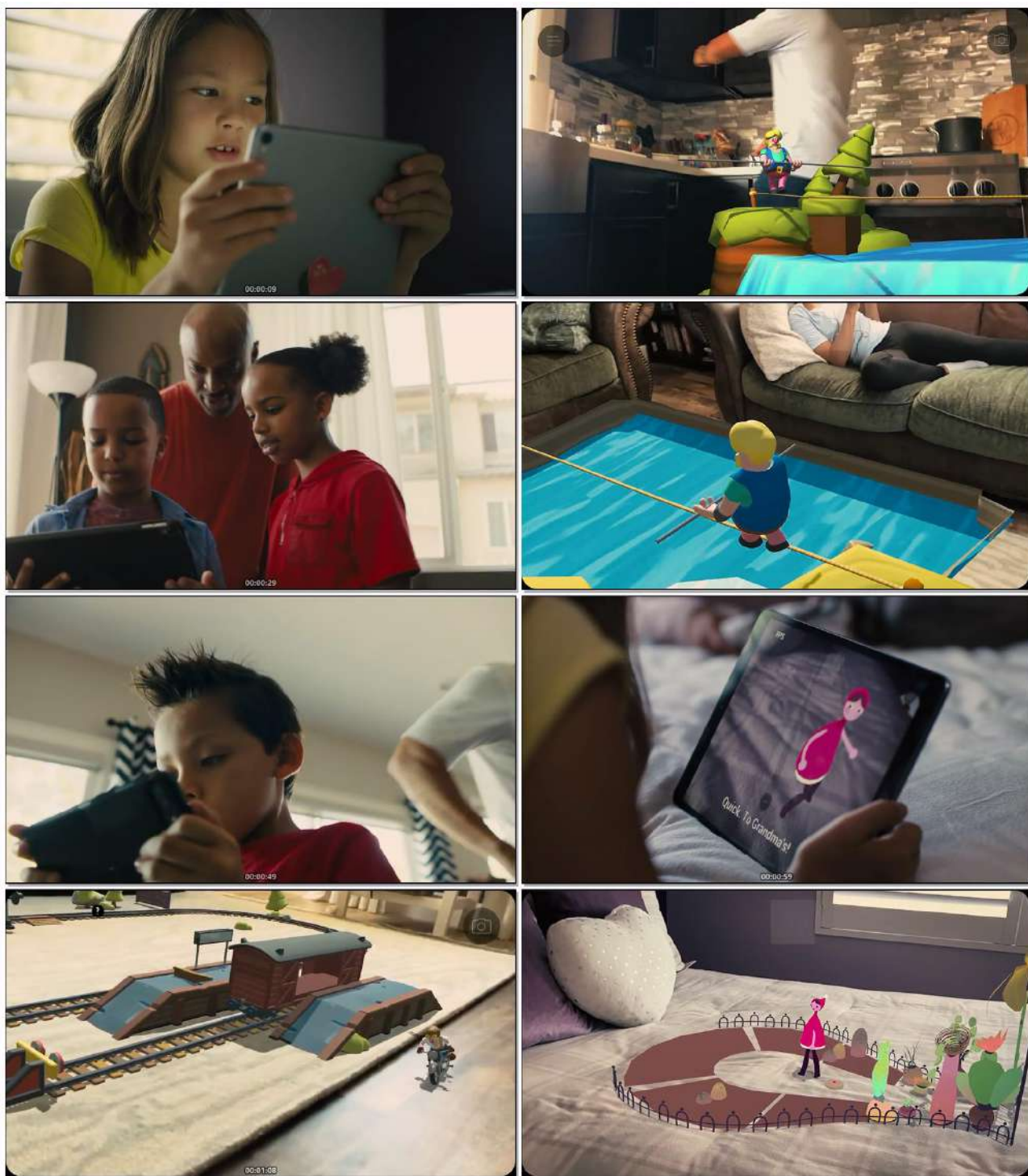
Іл. Б.2.3.33. 3D білборди «Resident Evil» від «Netflix» та циклоп від «ESKY MALL». Кадри з відео. URL: <https://youtu.be/xNHeHXuyNJY>



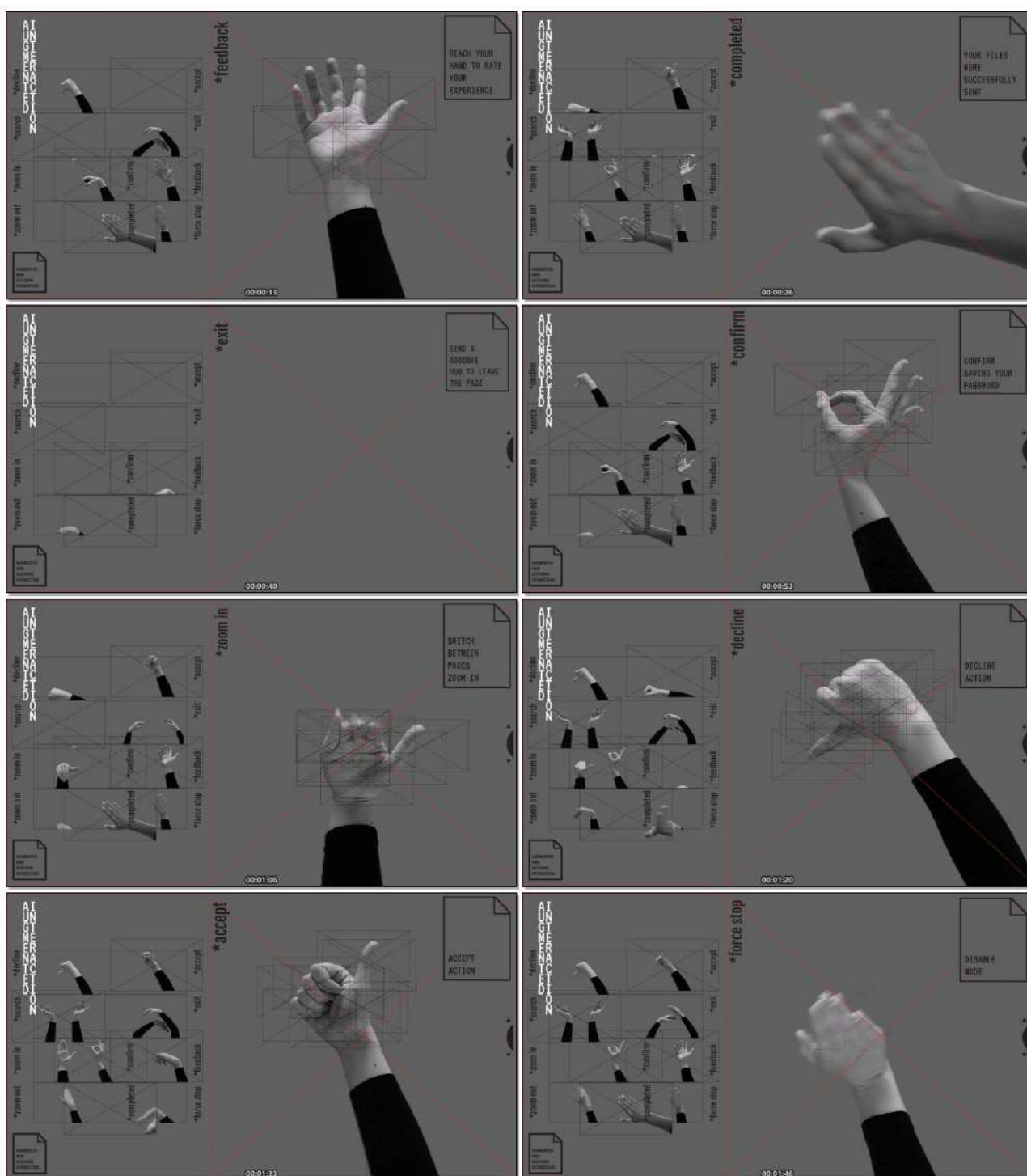
Іл. Б.2.3.34. 3D білборд «Пес породи акіта іну». Шибuya, Японія, 2022 р.
URL: <https://mustsharenews.com/3d-billboard-giant-pup>

Ілюстрації до розділу 3.

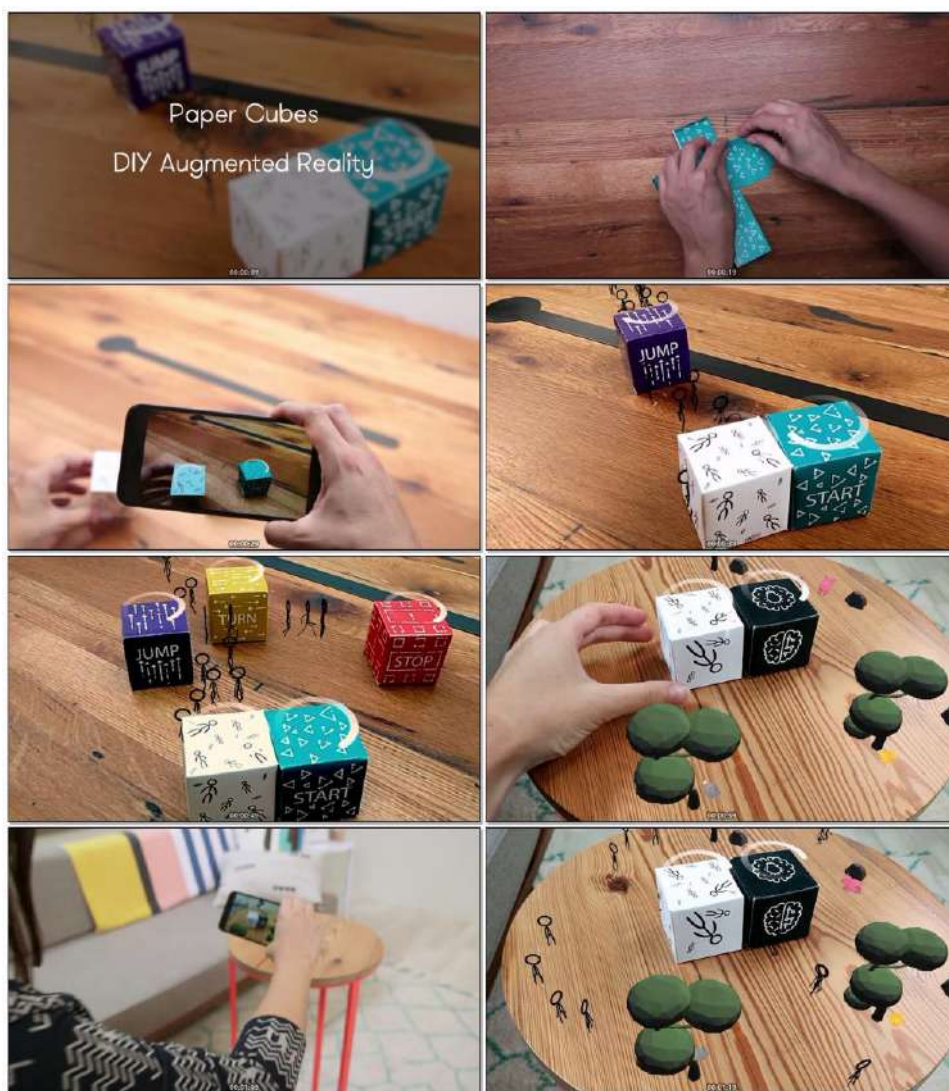
Доповнена реальність як інтерфейс людино-комп'ютерної взаємодії



Іл. Б.3.1.1. «Wonderscope». США, 2014 р. AR історії для дітей. Дизайн: studio Within. Кадри з відео. URL: <https://youtu.be/vqN3Rjv6nlk>



Іл. Б.3.1.2. Elena Jiga. «Concepts for AR User Interface Website». 2019 р.
Прототипи AR-сайту. Кадри з відео. URL: <https://vimeo.com/336992067>



Іл. Б.3.1.3. «Paper Cubes». США, 2017 р. AR гра. Дизайн: Anna Fuste Lleixa.
 URL: <https://youtu.be/arOEUV01rIw>



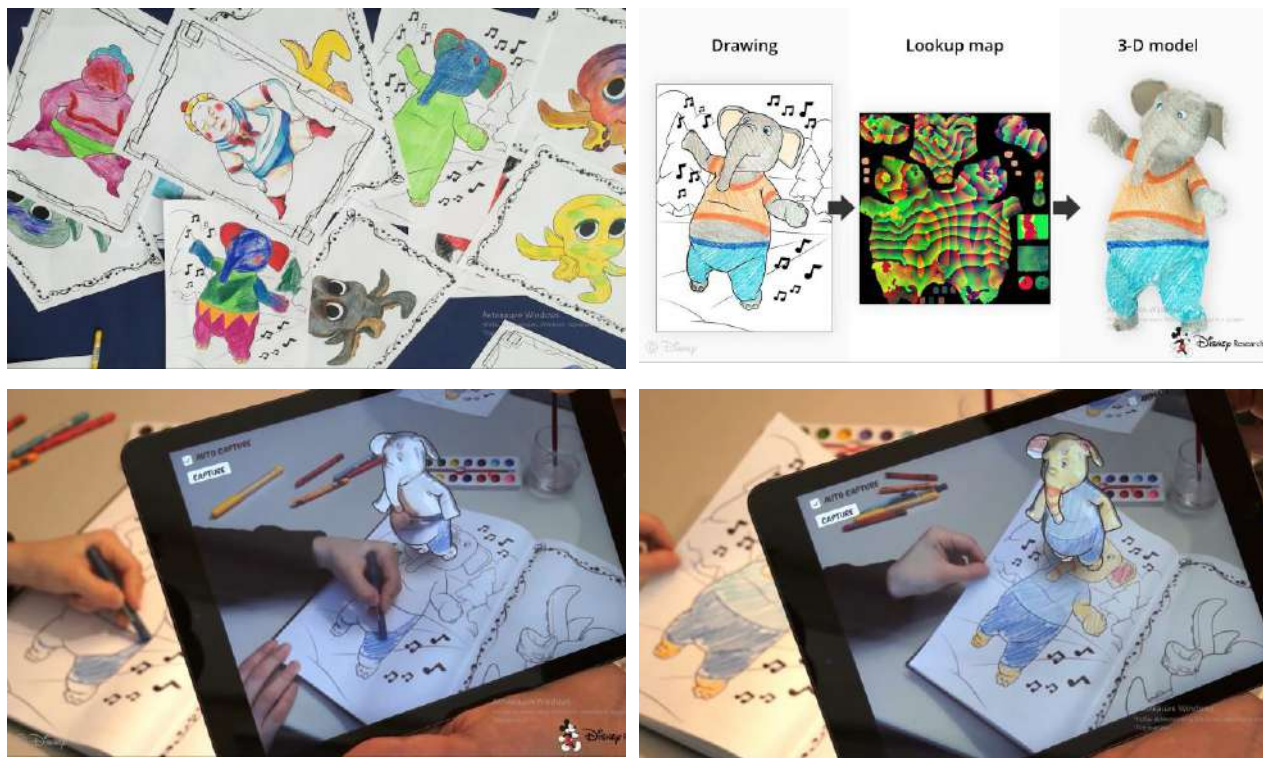
Іл. Б.3.1.4. Mario Kart Live: Home Circuit. Nintendo, 2020 р.
 URL: <https://mklive.nintendo.com>



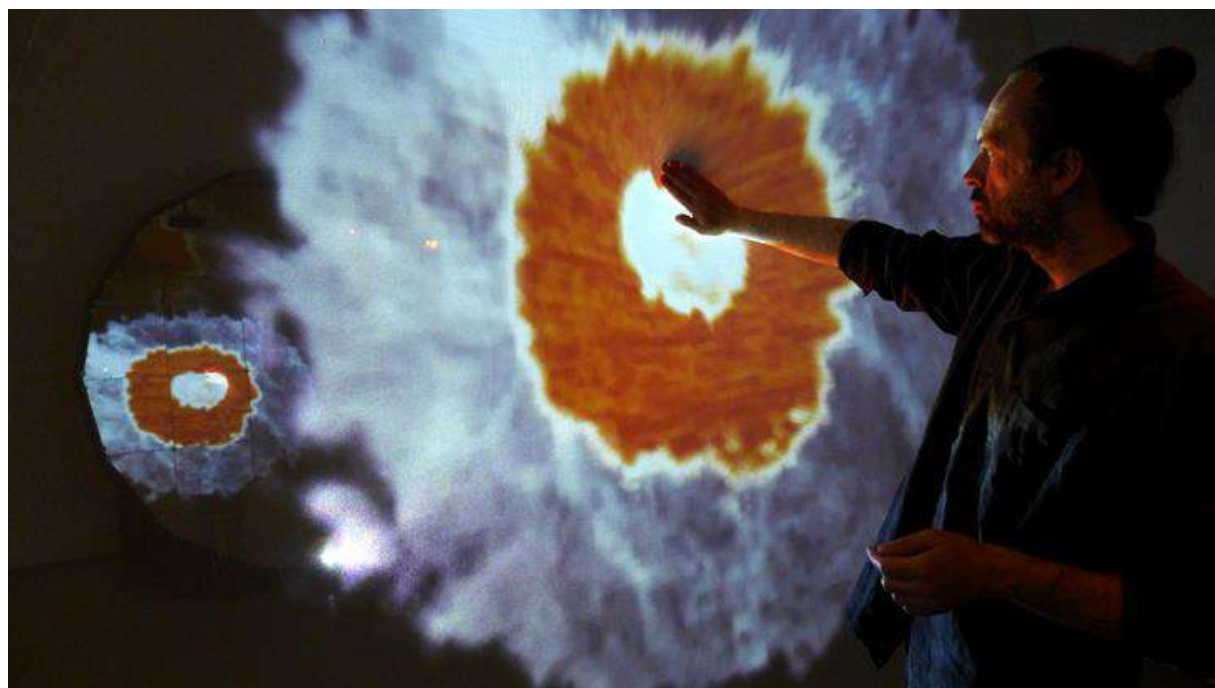
Іл. Б.3.1.5. «Mario Kart Live: Home Circuit». США, 2020 р. Гра у перегони.
 Дизайн: Nintendo, Velan Studios. Кадри з відео.
 URL: <https://youtu.be/1MgnRY5t7wU>



Іл. Б.3.1.6. «Чудові машини» («Marvelous Machines»). Іспанія, 2017 р. Книга з
AR. Дизайн: студія «Hidden Worlds». © Hidden Worlds, LCC.
URL: <https://www.marveloussilymachines.com>



Іл. Б.3.1.7. «Розмальовки з AR». США, 2015 р. Видання, розмальовка з AR.
 Дизайн: студія «Disney Research», Stephane Magnenat та колеги.
 URL: <https://studios.disneyresearch.com/2015/07/23/live-texturing-of-augmented-reality-characters-from-colored-drawingsnull>



Іл. Б.3.1.8. «Metamorphu». Франція, 2013 р. Інсталяція. Дизайн: Grégory Lasserre, Anaïs met den Ancxt. URL: https://www.scenocosme.com/metamorphu_e.htm



Іл. Б.3.2.1. «Everyman, The Ultimate Commodity v2.0». Сінгапур, 2007 р.
AR в театрі. © Russell Pensyl. URL: <https://pensyl.com/p51Uc.html>



Іл. Б.3.2.2. «Metakimosphere no. 1». Лондон, Великобританія, 2015 р. Перформанс. Дизайн: DAP-Lab. Artaud Performance Center, Brunel University.



Іл. Б.3.2.3. «Metakimosphere». Лондон, Великобританія, 2015 р. Перформанс. Кімосфери з мешканцями-виконавцями у флексиматичних матеріалах, у виконанні Ванесси Мікелон. Дизайн: DAP-Lab. Artaud Performance Center, Brunel University. © DAP-Lab. URL: <http://people.brunel.ac.uk/dap/kimospheres.html> [114, с. 1]



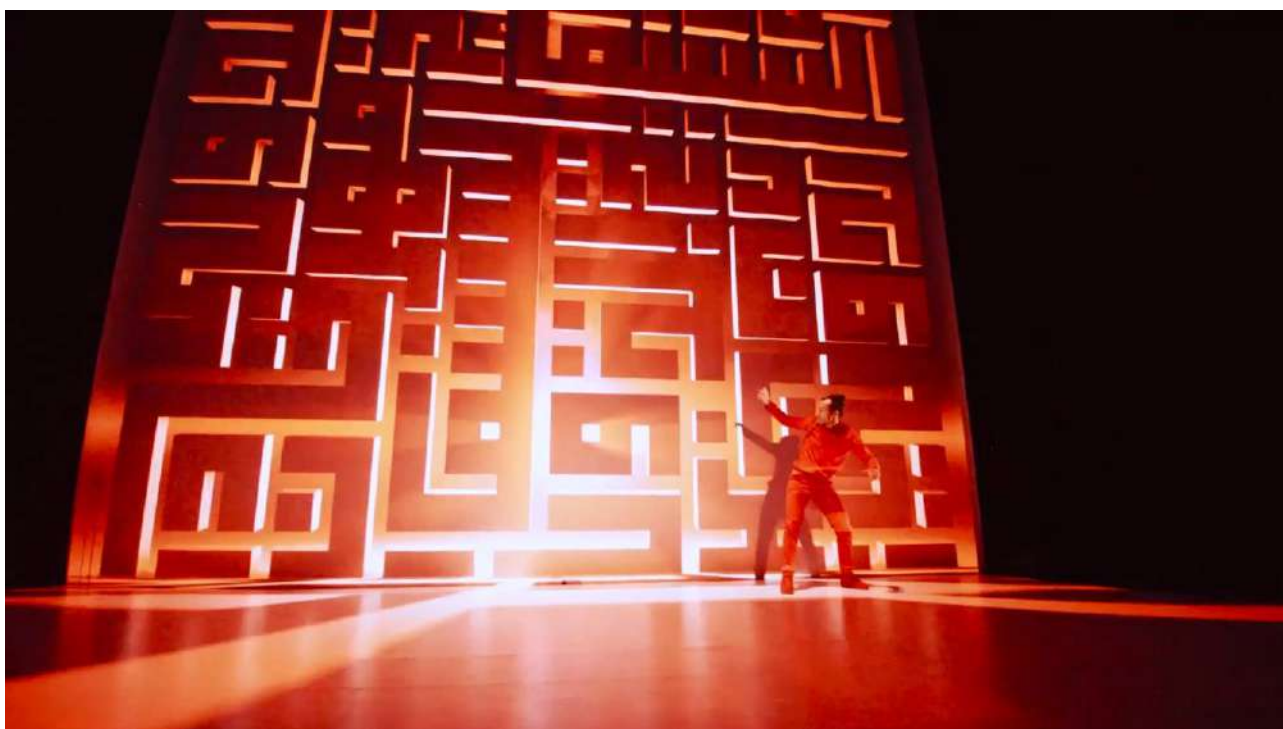
Іл. Б.3.2.4. Мультимедійне шоу. Бухарест, Румунія, 2020 р. Дизайн: Mindscape Studio. Кадр з відео. URL: <https://vimeo.com/394645471>



Іл. Б.3.2.5. Мультимедійне шоу. Польща, 2017 р. Режисер: Jacek Kościuszko. Дизайн: E4EYE, Film Image, OneCell, Alvernia Studios. Кадр з відео. URL: <https://vimeo.com/223599366>



Іл. Б.3.2.6. «The Velvet Rabbit». Польща, 2012 р. Відеомеппінг для театральної постановки. Дизайн: Paweł Weremiuk, Emilia Metzel. Театр гротеска у Кракові. Кадр з відео. URL: <https://vimeo.com/54367753>



Іл. Б.3.2.7. Інтерактивний проєкційний меппінг для Dubai Film Festival. Дубаї, 2017 р. Дизайн: JBM Production. Кадр з відео. URL: <https://vimeo.com/253611759>



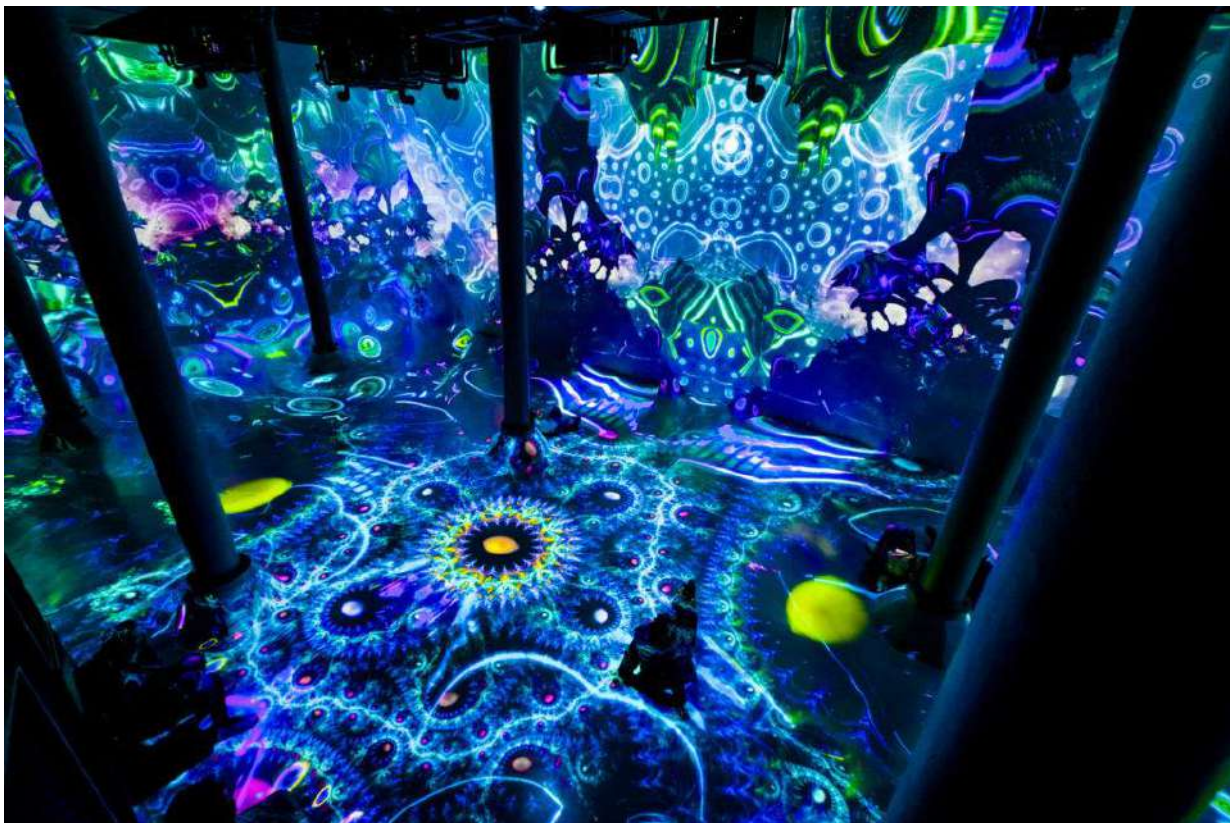
Іл. Б.3.2.8. «Die Invasion der Galerie». Німеччина, 2016 р. Перформанс.
 Дизайн: Scullmapping (Filip Sterckx, Antoon Verbeeck). Кадри з відео.
 URL: <https://youtu.be/APpw6ZKIQ3I>



Іл. Б.3.2.9. «PIXELBLOOM». США, 2022 р. Щорічна виставка «Цвітіння сакури» для вшанування традиції, природи та технологій. Дизайн: Sandro Kereselidze, Riki Kim. ARTECHOUSE. © Max Rykov.
 URL: <https://artechouse.com/honoring-tradition-nature-and-technology-with-an-annual-cherry-blossom-exhibition>



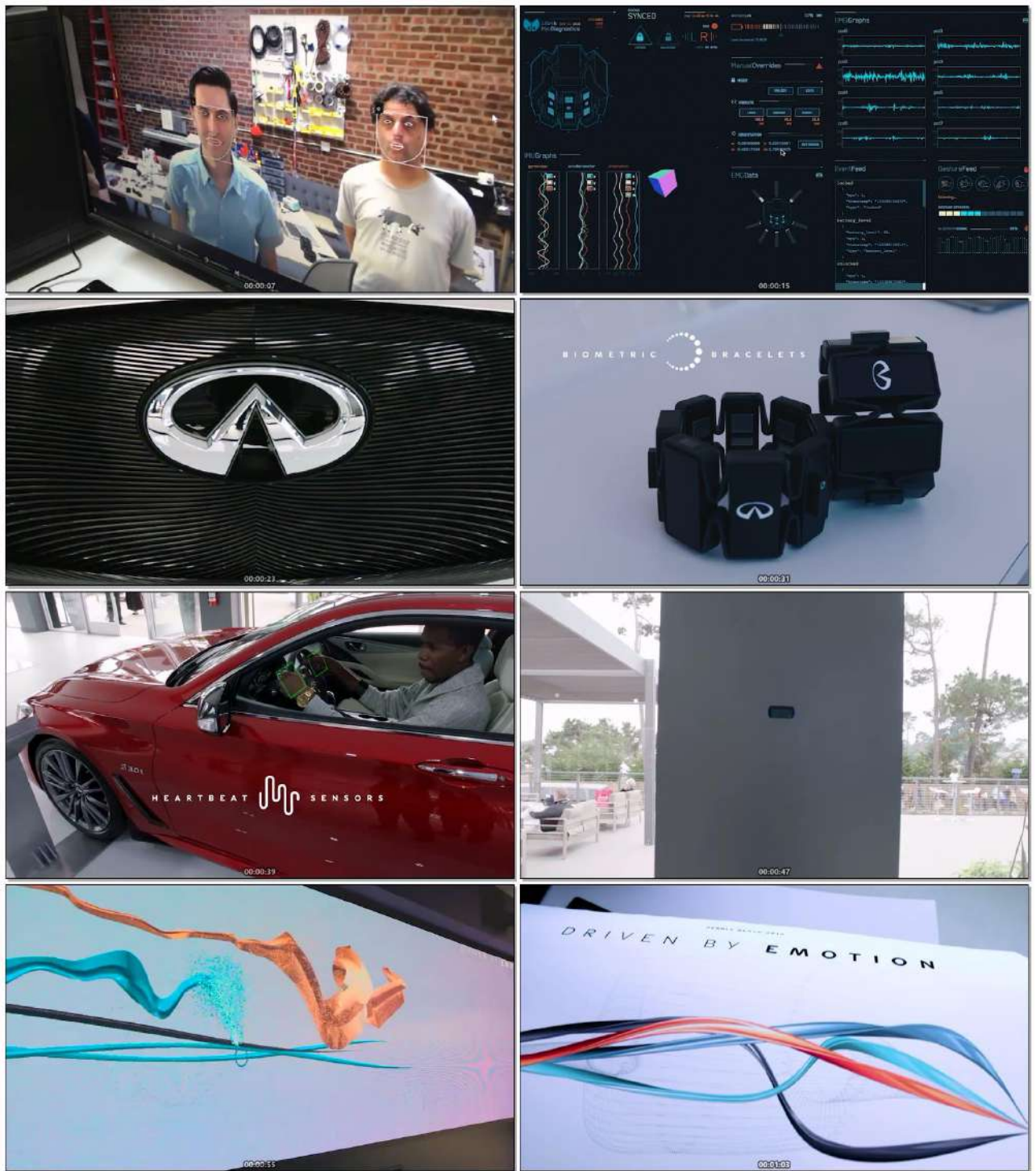
Іл. Б.3.2.10. «Magentaverse». США, 2023 р. ARTECHOUSE. © Max Rykov.
 URL: <https://artechouse.com/program/magentaverse-nyc>



Іл. Б.3.2.11. «Geometric-Properties». США, 2023 р. Дизайн: Julius Horsthuis. ARTECHOUSE. © Max Rykov. URL: <https://artechouse.com/music-in-experiential-art>



Іл. Б.3.2.12. «Adidas Speedfactory». Нова Зеландія, 2017 р. Інтерактивна інсталяція. Дизайн: Resn, Agency & Production, The FWA. © Adidas. URL: <https://thefwa.com/cases/adidas-speedfactory-activation>



Іл. Б.3.2.13. «Driven By Emotion». США, 2016 р. Інтерактивна візуалізація даних. Дизайн: Resn, CP+V. Кадри з відео. URL: <https://vimeo.com/182361226>



Іл. Б.3.2.14. «Dreamed Japan. Images of the Floating World». Франція, 2020 р.
Інсталяція. Імерсивна подорож. Дизайн: the Danny Rose Studio.
© Culturespaces / E. Spiller. URL: <https://www.atelier-lumieres.com/en/dreamed-japannull>



Іл. Б.3.2.15. «Dreamed Japan. Images of the Floating World». Франція, 2020 р.
Інсталяція. Імерсивна подорож. Дизайн: the Danny Rose Studio.
© Culturespaces / E. Spiller. URL: <https://www.atelier-lumieres.com/en/dreamed-japannull>



Іл. Б.3.2.16. «Dreamed Japan. Images of the Floating World». Франція, 2020 р.
Інсталяція. Імерсивна подорож. Дизайн: the Danny Rose Studio. ©
Culturespaces / E. Spiller. URL: <https://www.atelier-lumieres.com/en/dreamed-japannull>



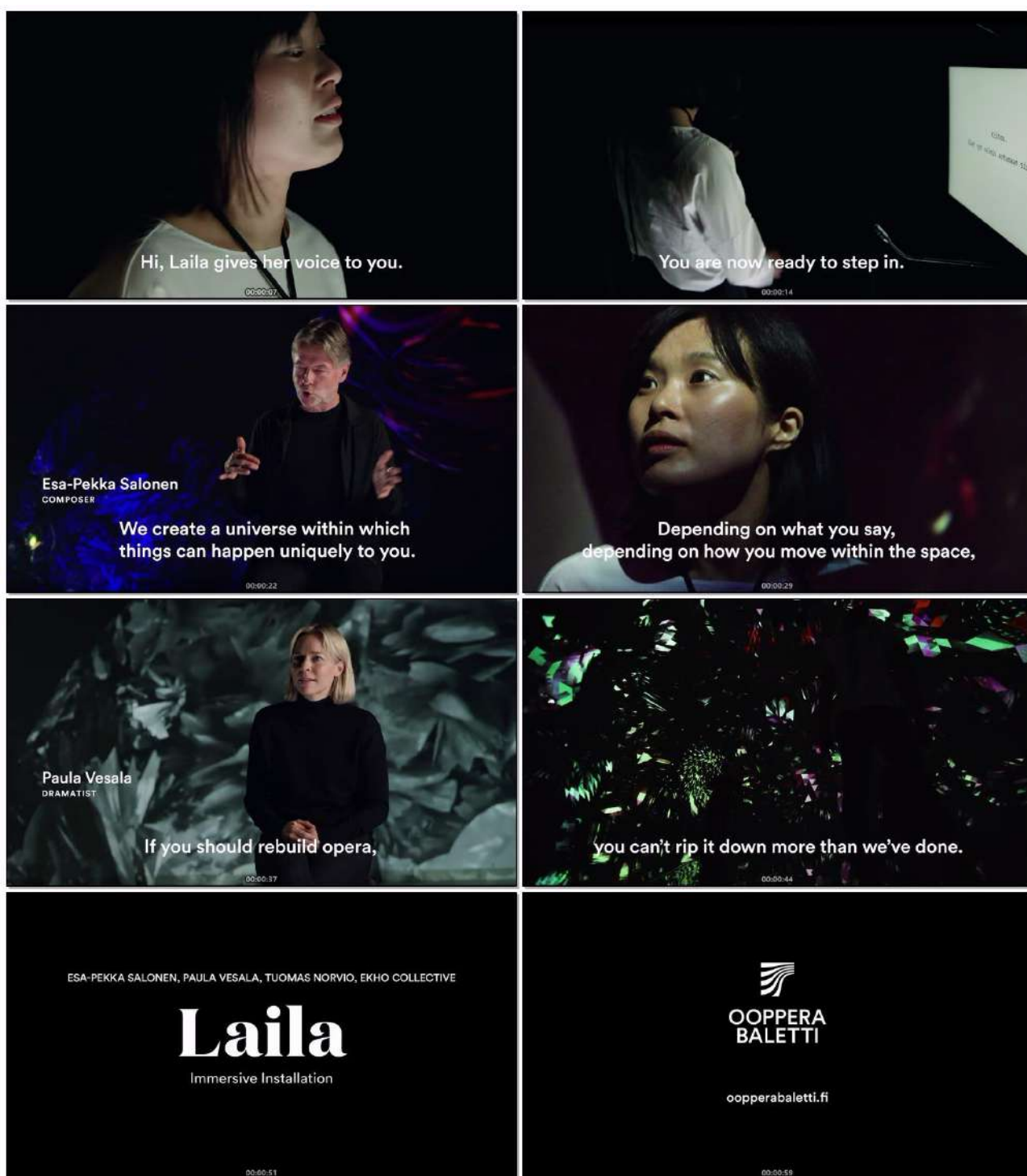
Іл. Б.3.2.17. «Dreamed Japan. Images of the Floating World». Франція, 2020 р.
Інсталяція. Імерсивна подорож. Дизайн: the Danny Rose Studio. ©
Culturespaces / E. Spiller. URL: <https://www.atelier-lumieres.com/en/dreamed-japannull>



Іл. Б.3.2.18. «Iron Civilization». Південна Корея, 2021 р. Імерсійна інтерактивна інсталяція. Дизайн: Ihsu Yoon, Creative Black, Gx lab. Центр «Park1538». Кадр з відео. URL: <https://vimeo.com/591592413>



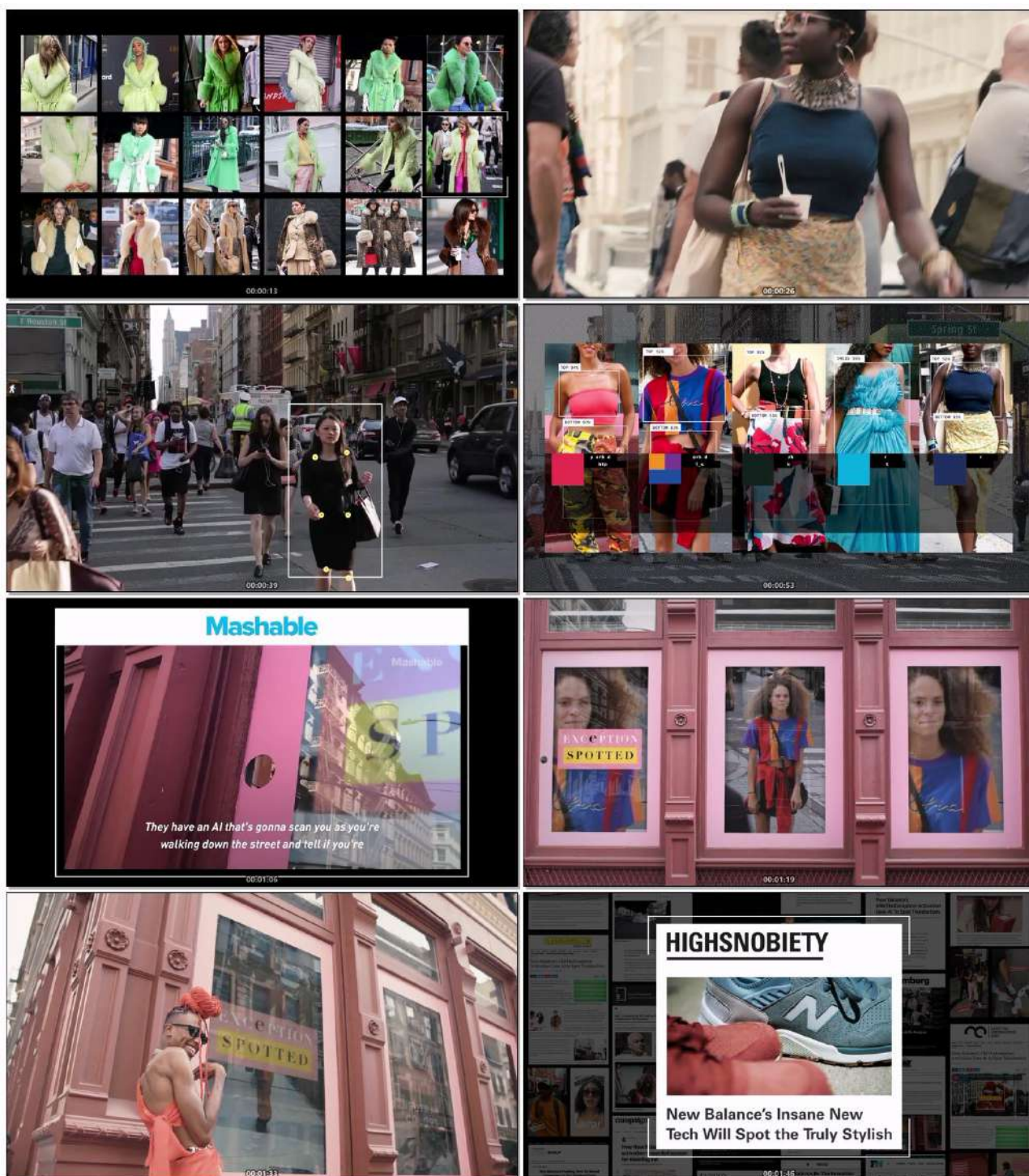
Іл. Б.3.2.19. «Iron Civilization». Південна Корея, 2021 р. Імерсійна інтерактивна інсталяція. Дизайн: Ihsu Yoon, Creative Black, Gx lab. Центр «Park1538». Кадр з відео. URL: <https://vimeo.com/591592413>



Іл. Б.3.2.20. «LAILA». Фінляндія, 2020 р. Імерсивний перформанс. Дизайн: Esa-Pekka Salonen, Paula Vesala, Tuomas Norvio, the Ekho Collective. Фінська національна опера. Кадри з відеоролика. URL: <https://youtu.be/uN2Q-Q-mKVI>



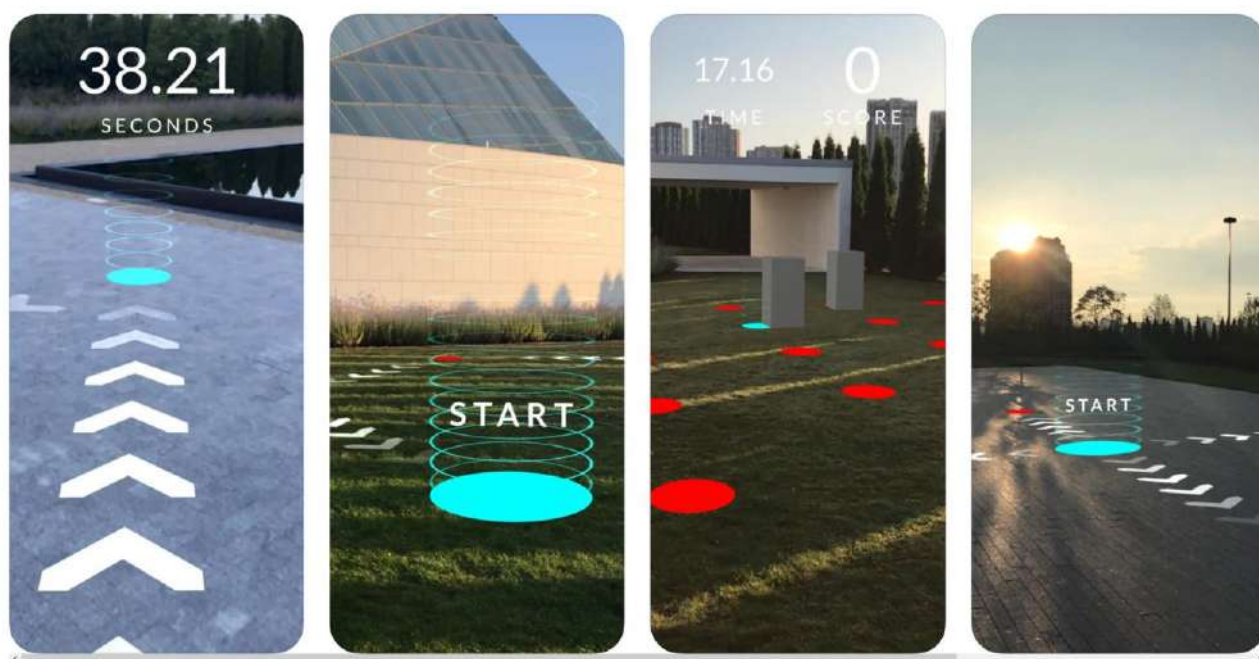
Іл. Б.3.2.21. «Dromos». Канада, 2013 р. Імерсивний перформанс на фестивалі Mutek. Дизайн: Fraction (composer), Maotik (digital artist).
URL: <https://youtu.be/Tkqbj6aBy5I>



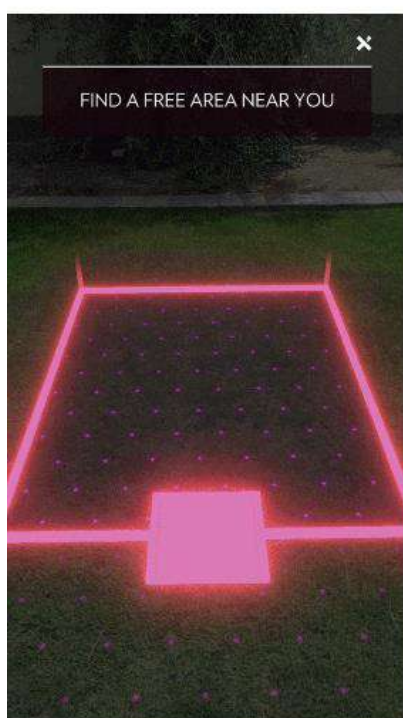
Іл. Б.3.2.22. «Exception Spotting». США, 2019 р. Візуальний аналіз та інтерактивний баннер. Дизайн: New Balance, VML. Кадри з відео.
URL: <https://vimeo.com/342960404>



Іл. Б.3.2.23. Mathias Fuchs, Olly Farsh, Andy Oda. «Поствініл». Відень, Австрія, 2005 р. Зліва направо: DJ-аватар перед TECHNICS 1200, DJ-аватар перед готелем Каліфорнія, DJ-аватар стоїть на програвачі.
URL: <https://www.creativegames.org.uk/art/postvinyl/postvinyl.htm>



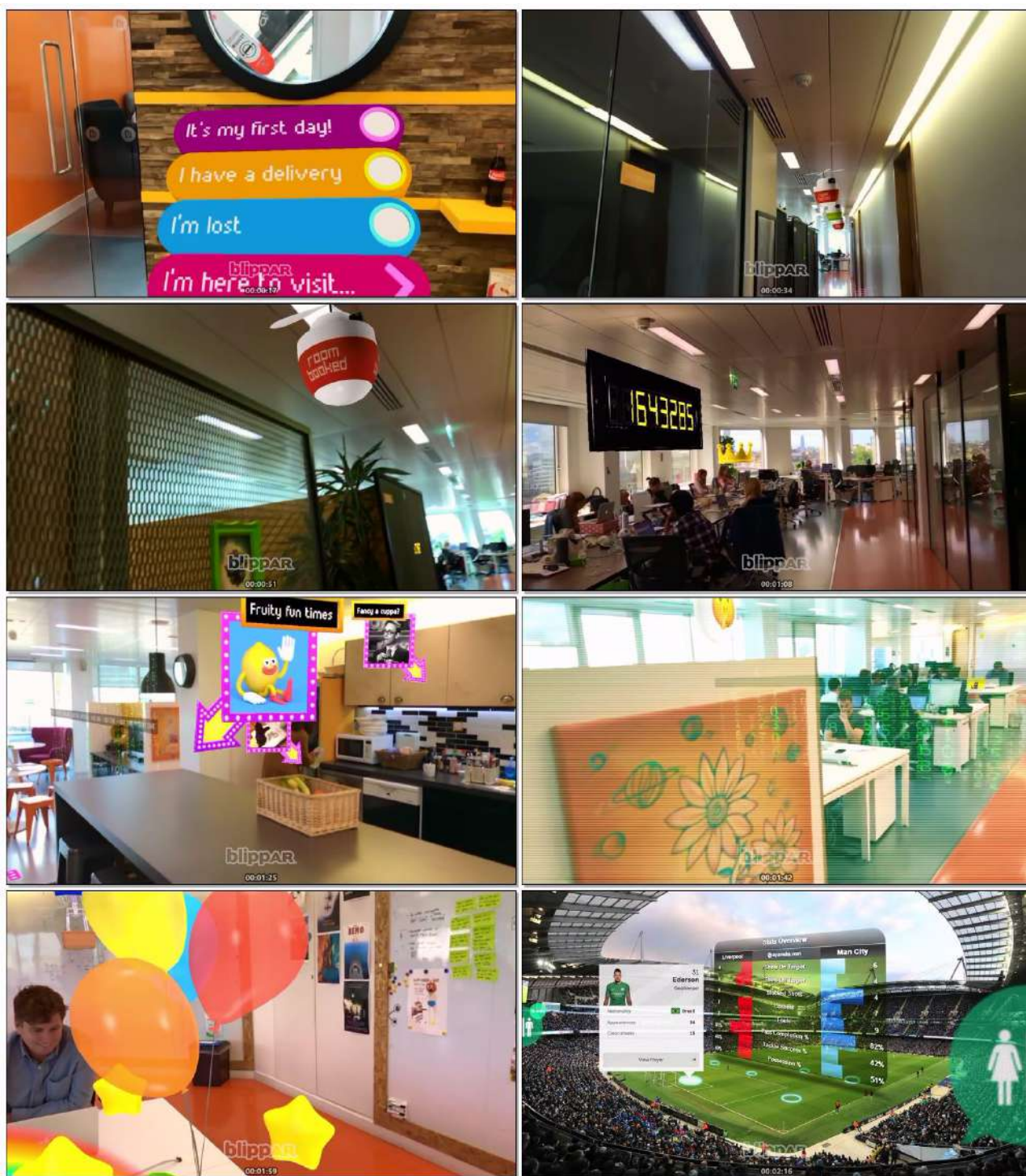
Іл. Б.3.2.24. «AR Runner». Канада, 2017 р. Застосунок для бігу. Дизайн: Semidome Inc. Скріншоти. URL: <http://www.semido.me/arrunner>



Іл. Б.3.2.25. «Pharos». 2019 р. Гра — музична подорож. Дизайн: Neil Parris (Head of Entertainment Partnerships, AR/Lens), Чайлдіш Гамбіно (Childish Gambino) (artist). © Google. URL: <https://blog.google/products/google-ar-vr/new-childish-gambino-app-pharos-ar>



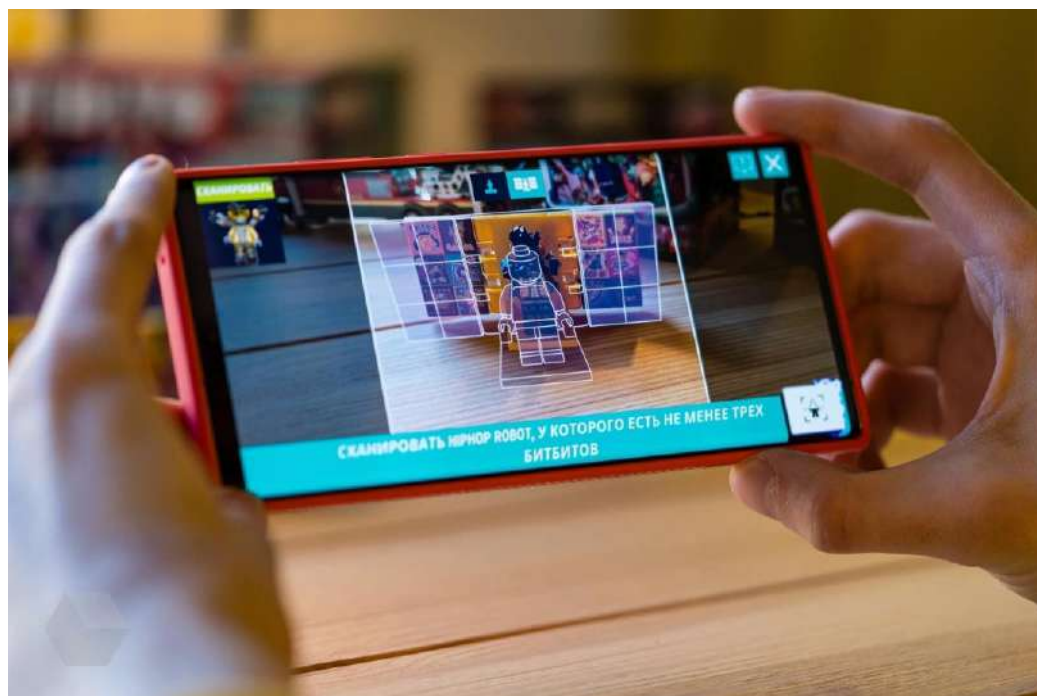
Іл. Б.3.2.26. «BlacknBear AR Portal». США, 2021 р. Космічний корабель у AR.
 Дизайн: BlacknBear. Кадри з відео. URL: <https://vimeo.com/580048958>



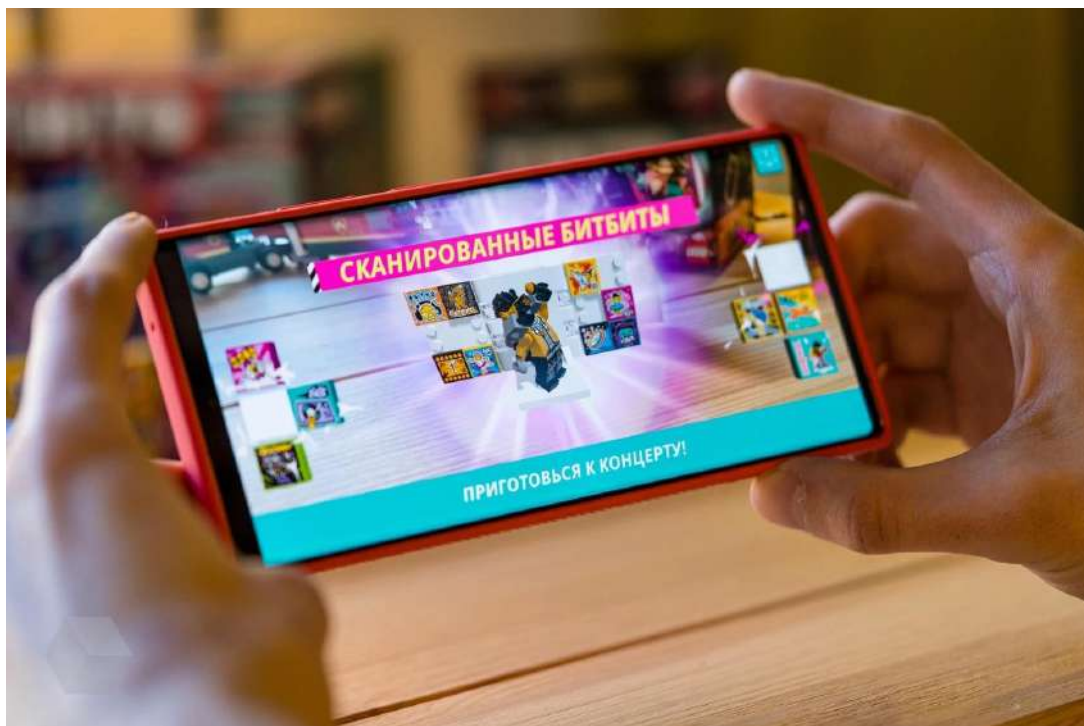
Іл. Б.3.2.27. «Visual indoor positioning for enhanced location-based AR». 2018 р.
 Навігаційний застосунок, що знайомить із офісом. Дизайн: Blippar.
 URL: <https://youtu.be/X7IqAHgZlCs>



Іл. Б.3.2.28. «LEGO VIDIYO». США, 2021 р. Музична гра з AR. Вибір персонажа. Дизайн: Universal Music Group, Creative Play Lab. © LEGO. Скріншот. URL: <https://rozetked.me/reviews/16018-obzor-lego-vidiyo-ar-igrushki-dlya-razvitiya-tvorcheskih-sposobnostey>



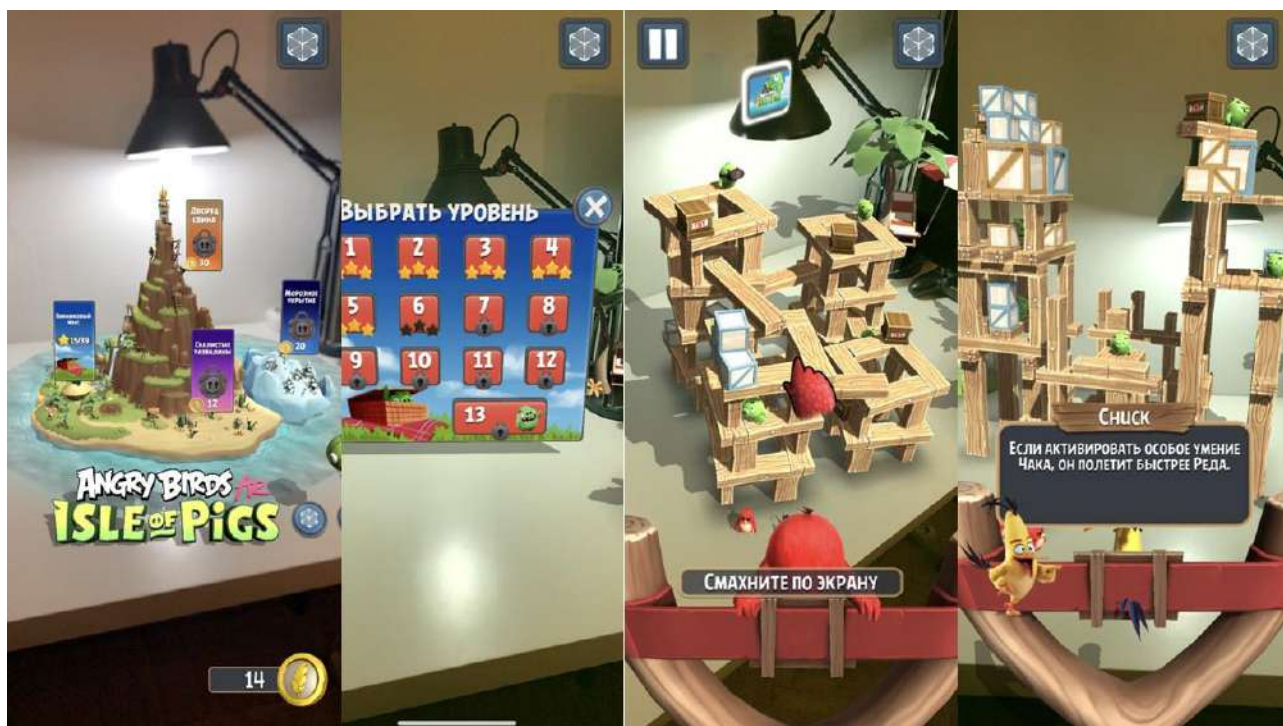
Іл. Б.3.2.29. «LEGO VIDIYO». США, 2021 р. Музична гра з AR. Реєстрація сцени. Дизайн: Universal Music Group, Creative Play Lab. © LEGO. Скріншот. URL: <https://rozetked.me/reviews/16018-obzor-lego-vidiyo-ar-igrushki-dlya-razvitiya-tvorcheskih-sposobnostey>



Іл. Б.3.2.30. «LEGO VIDIYO». США, 2021 р. Музична гра з AR. Розпізнавання бітів. Дизайн: Universal Music Group, Creative Play Lab. © LEGO. Скріншот. URL: <https://rozetked.me/reviews/16018-obzor-lego-vidiyo-ar-igrushki-dlya-razvitiya-tvorcheskih-sposobnostey>



Іл. Б.3.2.31. «LEGO VIDIYO». США, 2021 р. Музична гра з AR. Режим зйомки. Дизайн: Universal Music Group, Creative Play Lab. © LEGO. Скріншот. URL: <https://rozetked.me/reviews/16018-obzor-lego-vidiyo-ar-igrushki-dlya-razvitiya-tvorcheskih-sposobnostey>



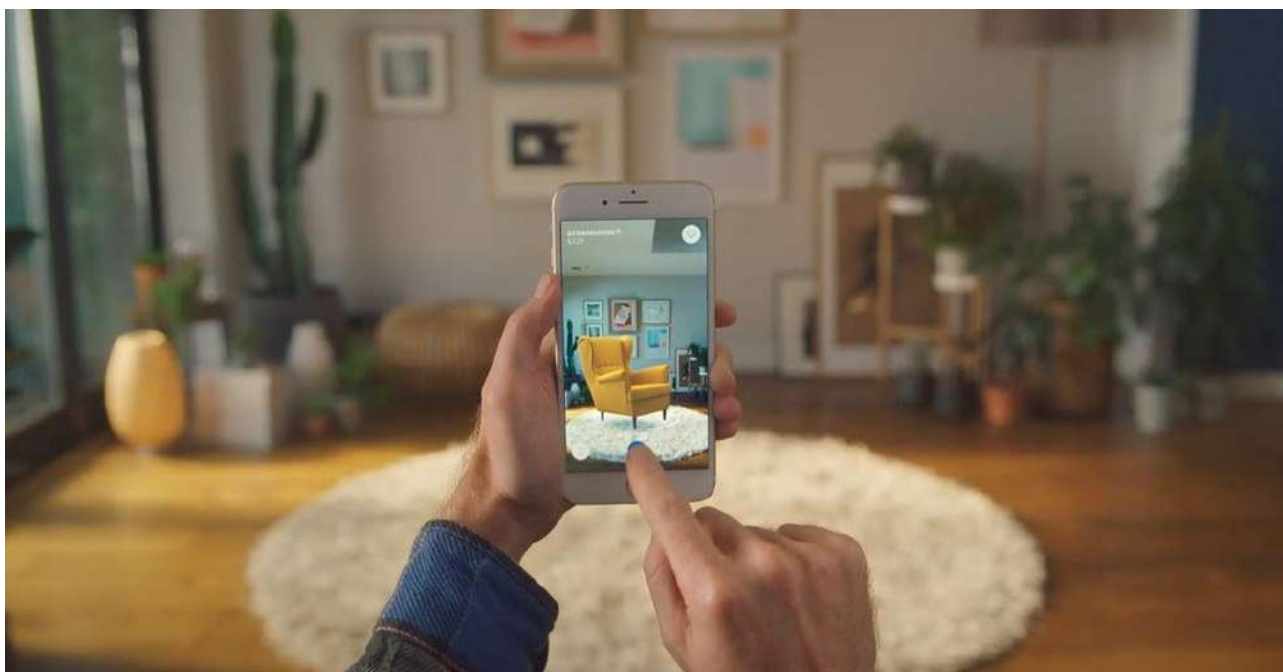
Іл. Б.3.2.32. «Angry Birds AR: Isle of Pigs». Фінляндія, 2019 р. AR гра.
Вступна заставка та процес гри. Дизайн: Resolution Games.
URL: <https://youtu.be/NzsRtkZoXvc>



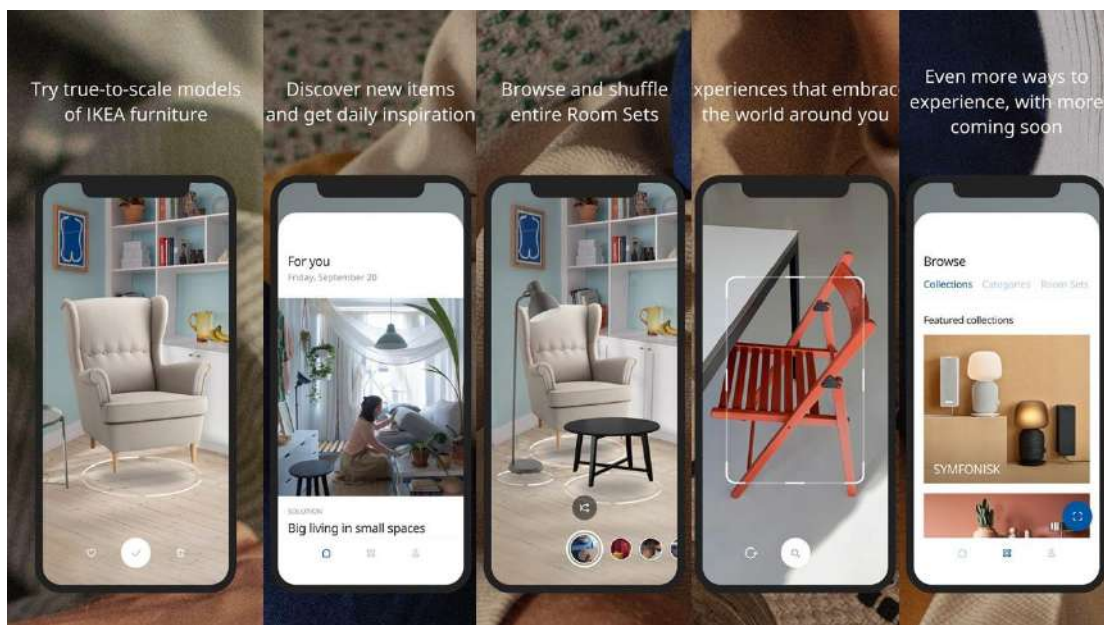
Іл. Б.3.2.33. «Angry Birds AR: Isle of Pigs». Фінляндія, 2019 р. AR гра. Процес розпізнавання поверхонь (ліворуч) та діалогове вікно (праворуч). Дизайн: Resolution Games. URL: <https://youtu.be/NzsRtkZoXvc>



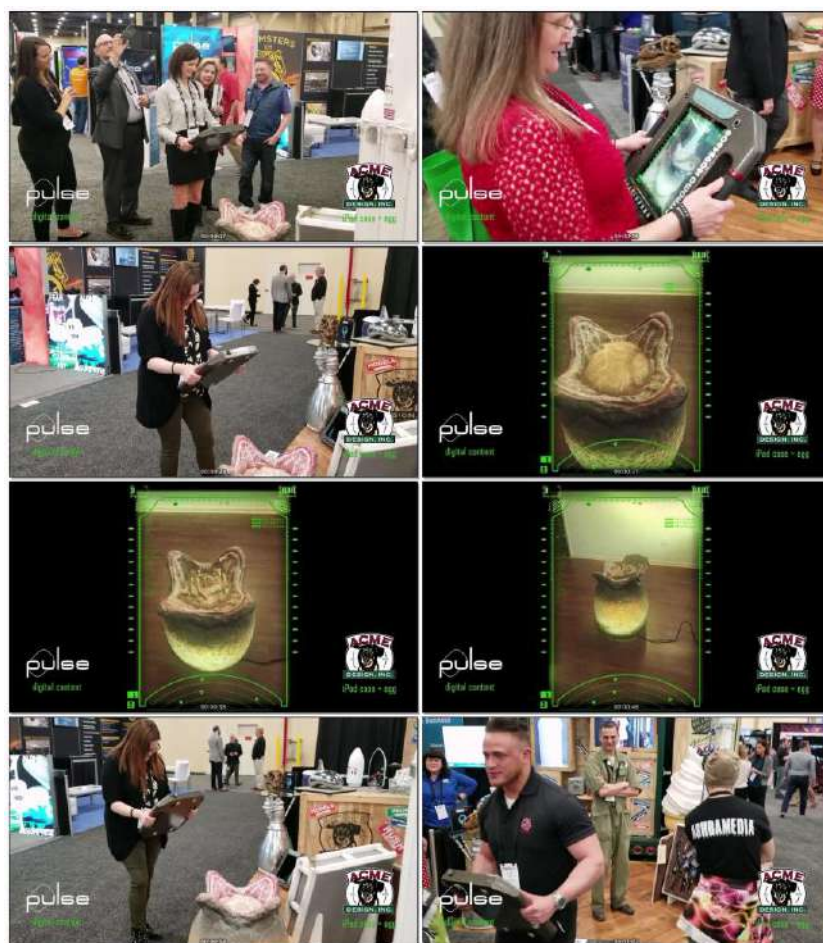
Іл. Б.3.2.34. «Vuforia Chalk». США, 2020 р. Застосунок для комунікації.
Дизайн: PTC Inc. Скріншоти. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vuforia.Chalk>



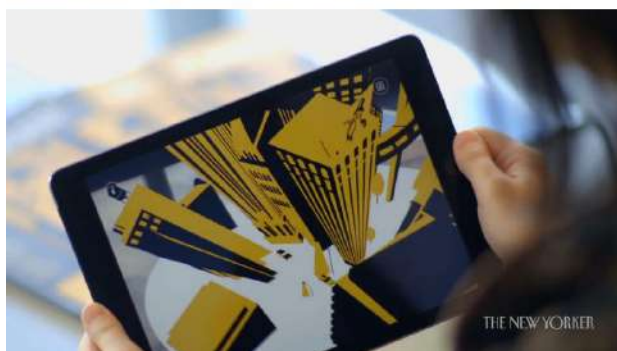
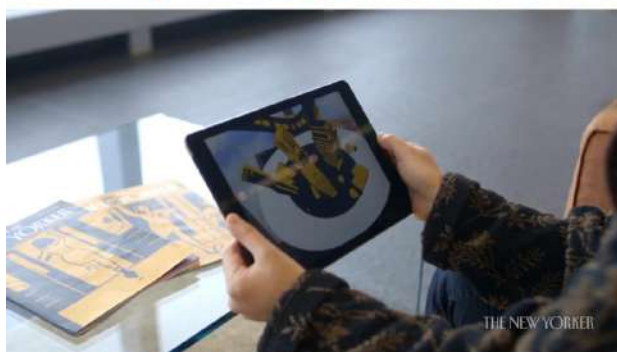
Іл. Б.3.2.35. «IKEA Place». Австралія, 2016 р. Застосунок для дизайну інтер'єру. Скріншот. URL: <https://www.ikea.com/au/en/customer-service/mobile-apps/say-hej-to-ikea-place-pub1f8af050>



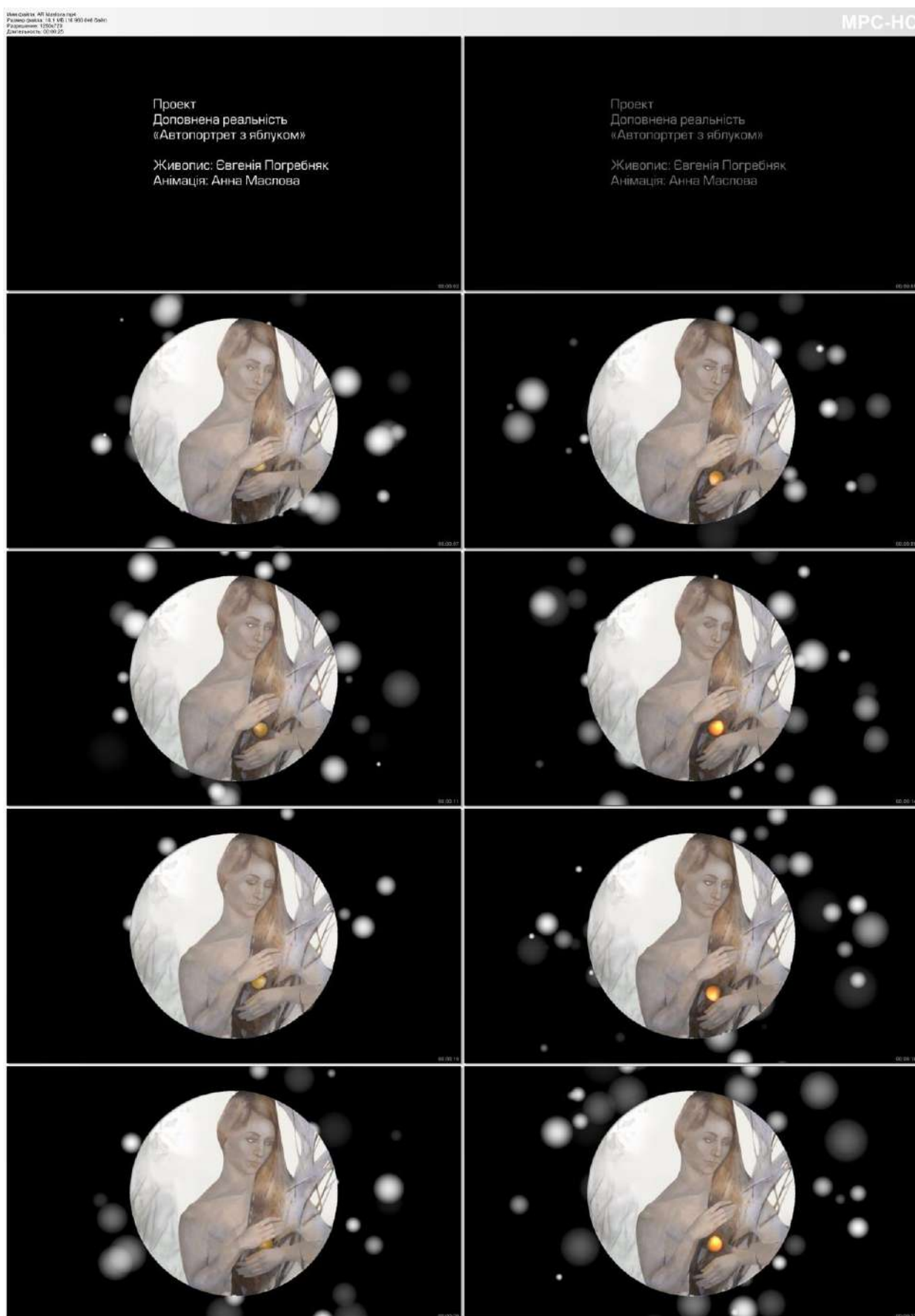
Іл. Б.3.2.36. «IKEA Place». Австралія, 2016 р. Застосунок для дизайну інтер'єру. Скріншоти. URL: <https://apps.apple.com/us/app/ikea-place/id1279244498>



Іл. Б.3.2.37. «Alien AR». США, 2019 р. Активний друк на об'єкті. Дизайн: Pulse Studio LLC, ACME Design Inc. ExhibitorLive. Кадри з відео. URL: <https://vimeo.com/323285684>



Іл. Б.3.3.1. Christoph Niemann, «AR Cover». СІІА, 2016 р. Арт-директор: Françoise Mouly. Кадри з відео. URL: <https://www.newyorker.com/video/watch/introducing-christoph-niemann-augmented-reality-covers>

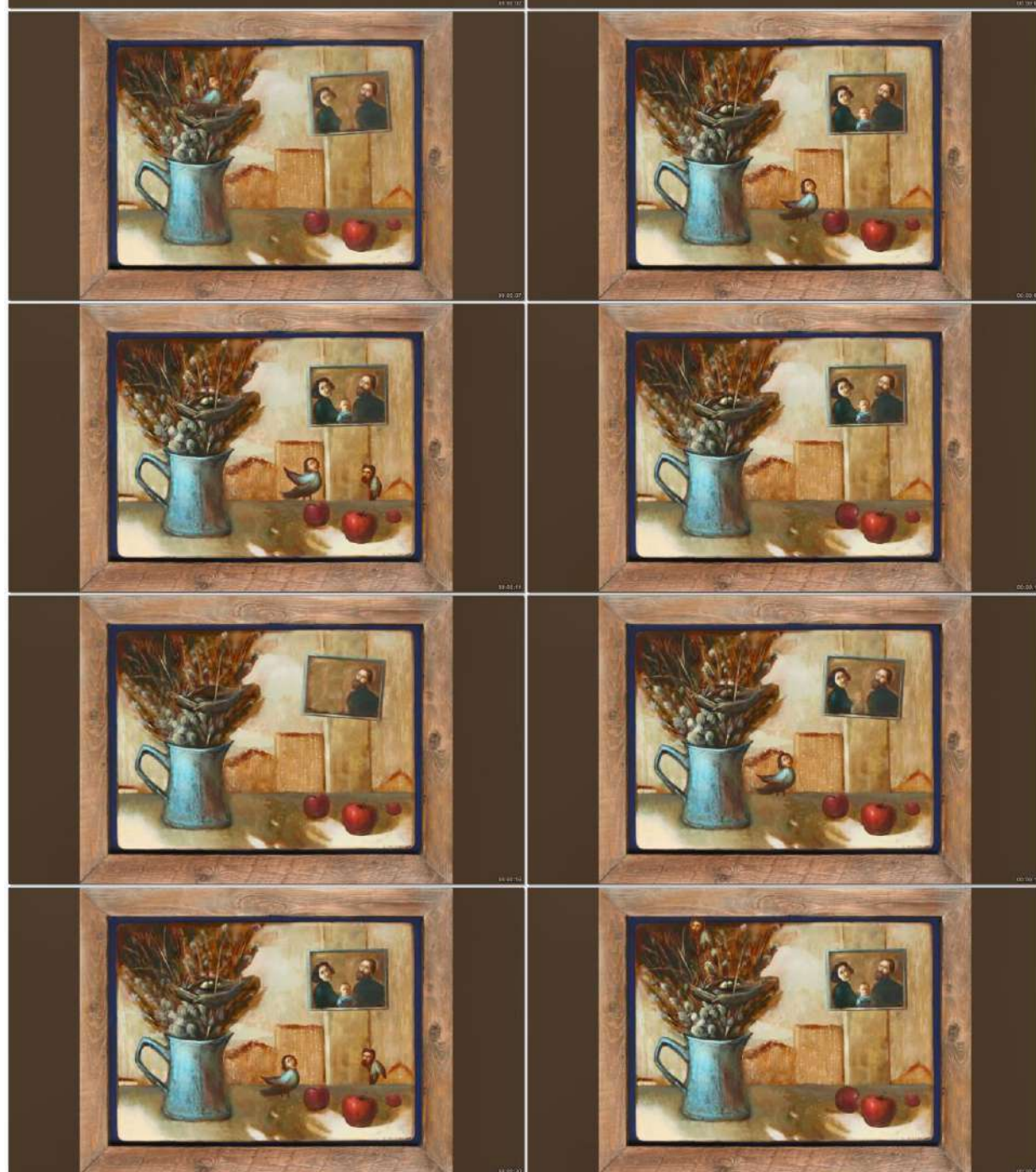


Іл. Б.3.3.2. Погребняк Євгенія, «Знайдення». Україна, 2019 р. Проект «Автопортрет з яблуком. Самопрезентація міфу», куратор Є. О. Котляр. Анімація: Анна Маслова. Кадри з відео. Кафедра МД. ХДАДМ.



Іл. Б.3.3.3. Кругляк-Дрига Анна, «Прикраси Єви». Україна, 2020 р. Проєкт «Автопортрет з яблуком. Самопрезентація міфу», куратор Є. О. Котляр. Анімація: Діана Ляшенко. Кадри з відео. Кафедра МД. ХДАДМ.

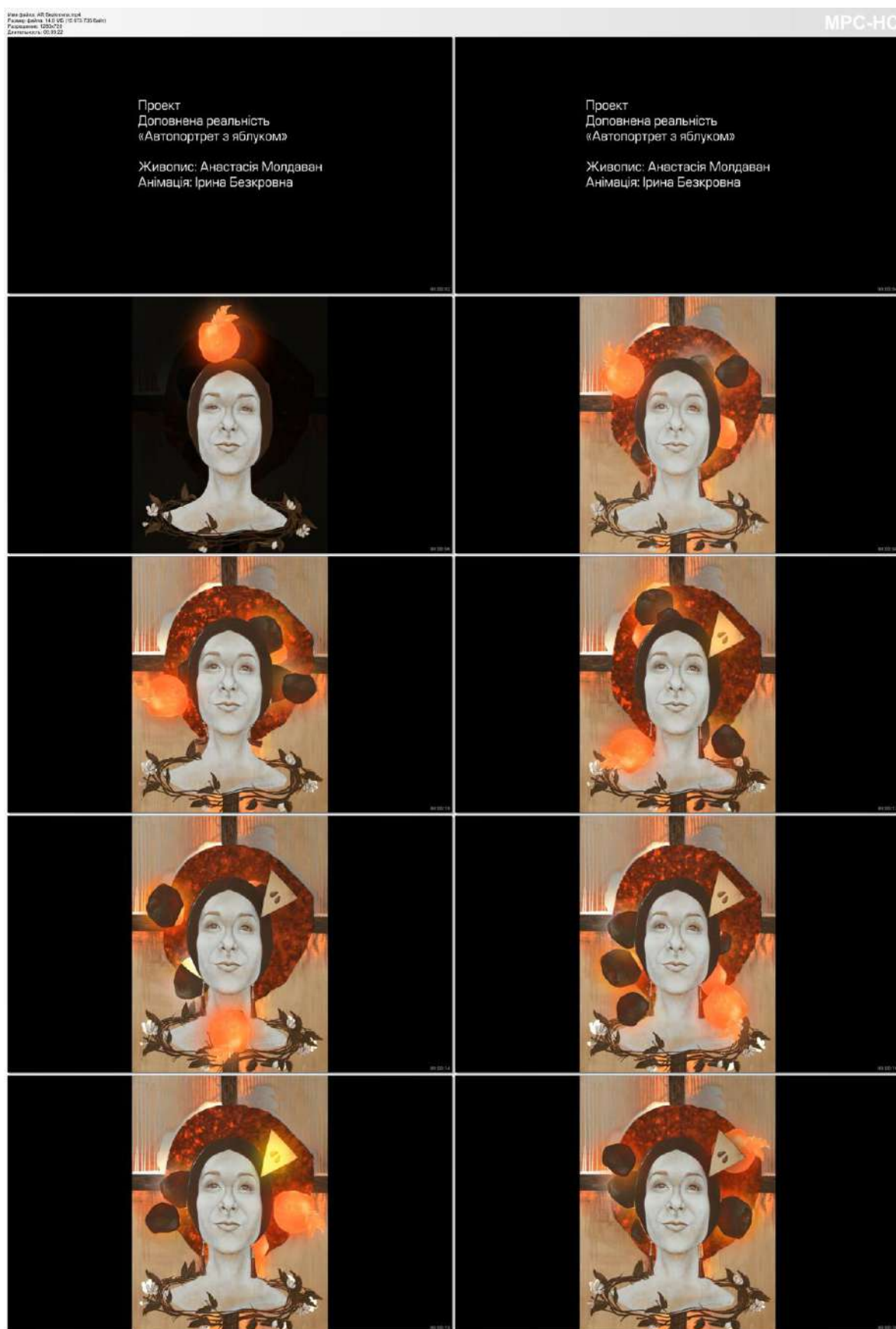
Живопис: Ірина Шматова
Анімація: Катерина Богодюк



Іл. Б.3.3.4. Шматова Ірина, «Дощ після довгої зими». Україна, 2020 р. Проєкт «Автопортрет з яблуком. Самопрезентація міфу», куратор Є. О. Котляр. Анімація: Катерина Богодюк. Кадри з відео. Кафедра МД. ХДАДМ.



Іл. Б.3.3.5. Ландіна Юлія, «Зрілість». Україна, 2018 р. Проєкт «Автопортрет з яблуком. Самопрезентація міфу», куратор Є. О. Котляр. Анімація: Дар'я Пугачова. Кадри з відео. Кафедра МД. ХДАДМ.



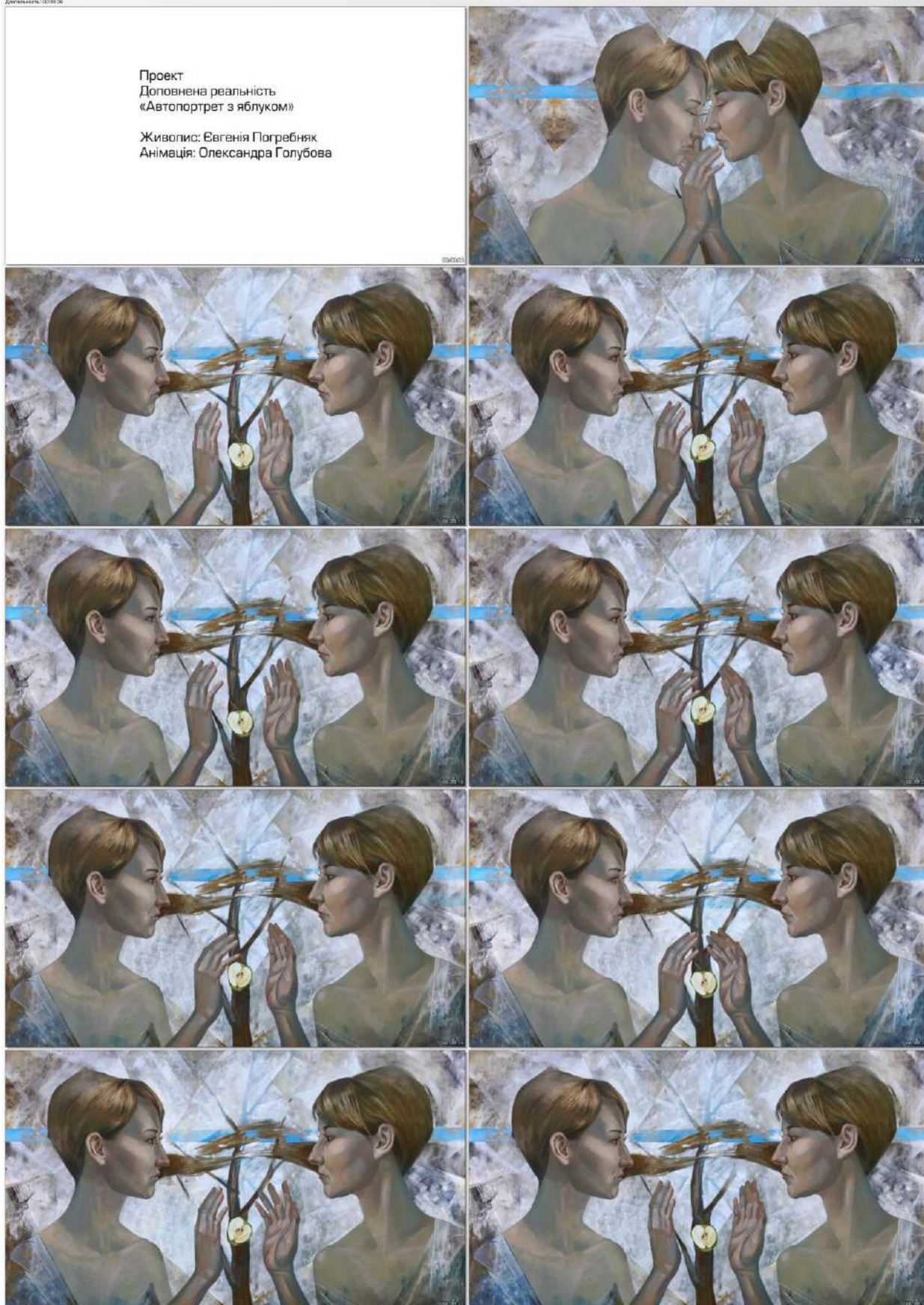
Іл. Б.3.3.6. Молдаван Анастасія, «Таємниця імені». Україна, 2018 р. Проект «Автопортрет з яблуком. Самопрезентація міфу», куратор Є. О. Котляр. Анімація: Ірина Безкровна. Кадри з відео. Кафедра МД. ХДАДМ.

Меню файлів: 400 Сторінок: 174
Розмір файлу: 28,2 МБ (29 473 388 байт)
Розширення: 1280x720
Датум створення: 12/10/18

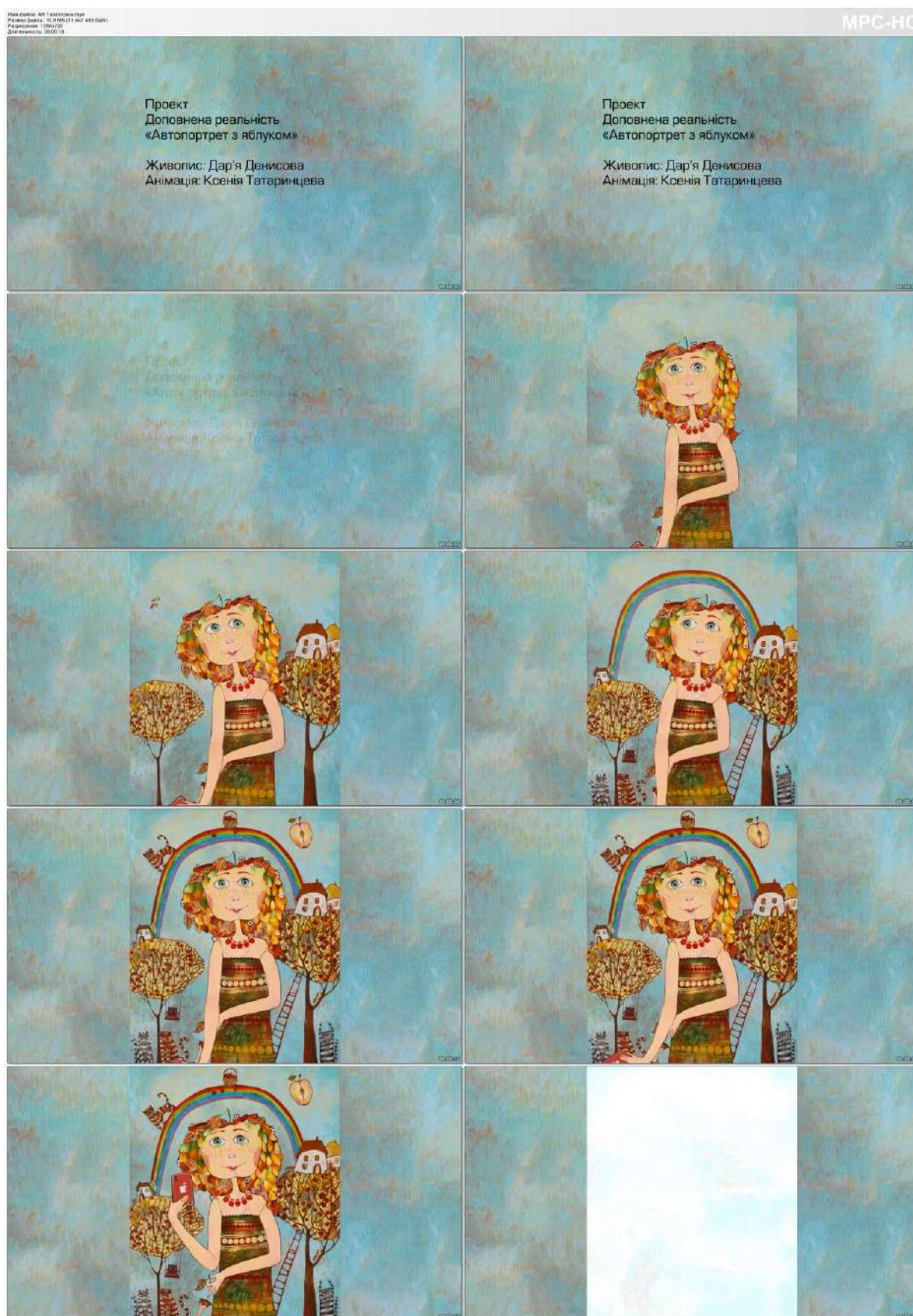
MPC-HC

Проект
Доповнена реальність
«Автопортрет з яблуком»

Живопис: Євгенія Погребняк
Анімація: Олександра Голубова



Іл. Б.3.3.7. Погребняк Євгенія, «Діалог». Україна, 2018 р. Проект «Автопортрет з яблуком. Самопрезентація міфу», куратор Є. О. Котляр. Анімація: Олександра Голубова. Кадри з відео. Кафедра МД. ХДАДМ.



Іл. Б.3.3.8. Денисова Дар'я, «Яблучне селфі». Україна, 2018 р. Проєкт «Автопортрет з яблуком. Самопрезентація міфу», куратор Є. О. Котляр. Анімація: Ксенія Татаринцева. Кадри з відео. Кафедра МД. ХДАДМ.



Іл. Б.3.3.9. «Cautionary Tales For Children, A Parents Guide». Великобританія, 2021 р. Книга з AR. Дизайн: Peter Jago. URL: <https://youtu.be/WXSkxWoX7Iw>



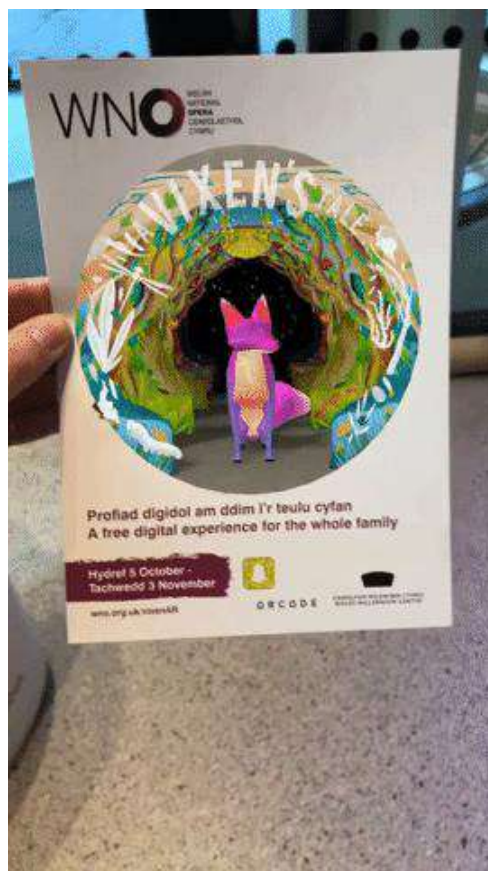
Іл. Б.3.3.10. «The Boy with His Head Stuck in a Book». Франція, 2017 р. Дизайн: Anna Broadhurst (Zappar). Кадри з відеоролика. URL: https://youtu.be/qxpb01_73i8



Іл. Б.3.3.11. «Changdeok ARirang». Південна Корея, 2021. Туристичний гайд з AR. Дизайн: SK Telecom, Google, Администрация культурного наследия.
URL: <https://nexusstudios.com/work/changdeoknull>



Іл. Б.3.3.12.- Іл. Б.3.3.15. «The Cunning Little Vixen (Хитра маленька Лисиця)». Великобританія, 2019 р. Інсталяція. Арки з ілюстраціями. Дизайн: Xavier Segers. URL: <https://xaviersegers.com/a-vixens-talenull>



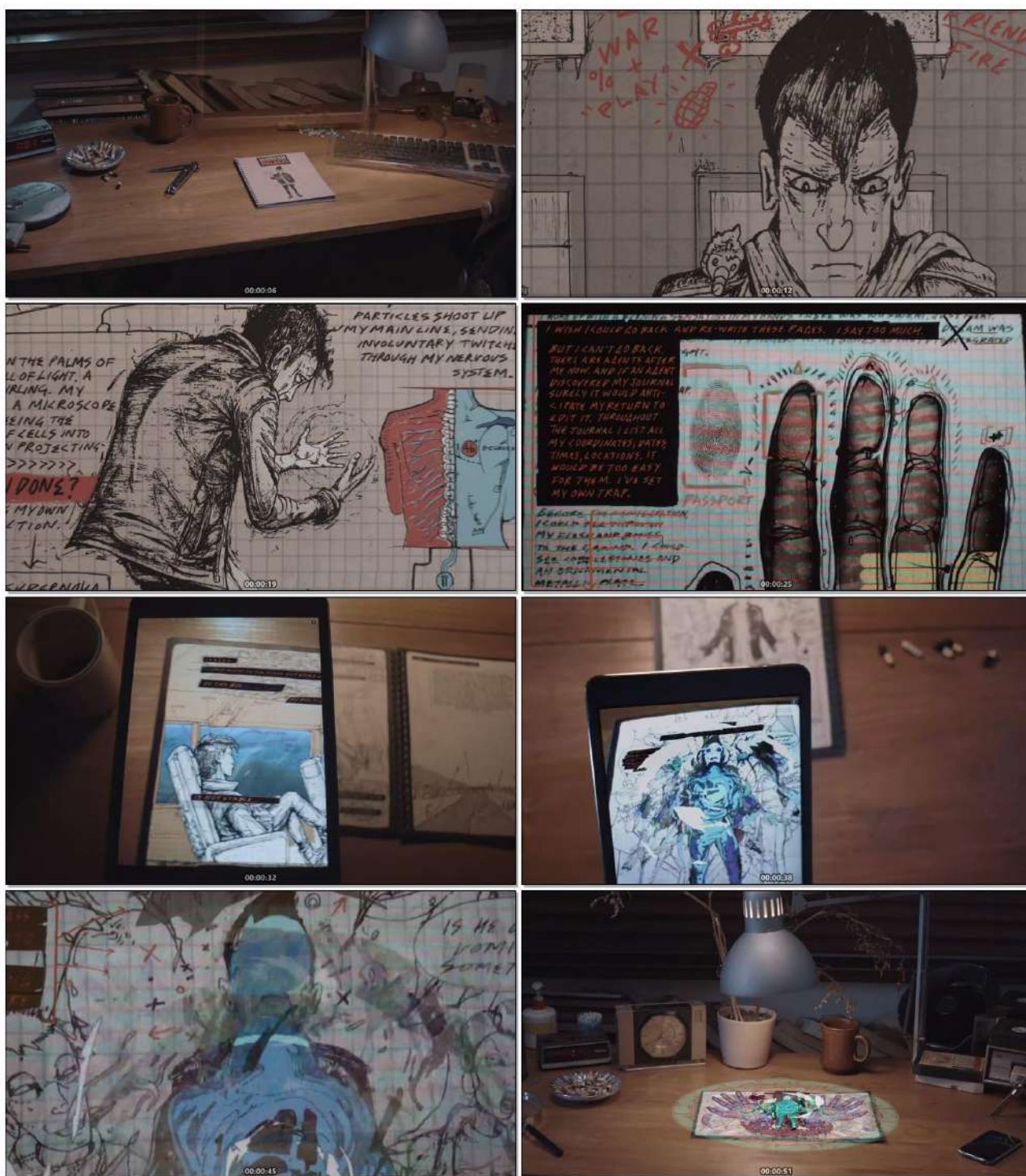
Іл. Б.3.3.13. Листівка з AR.



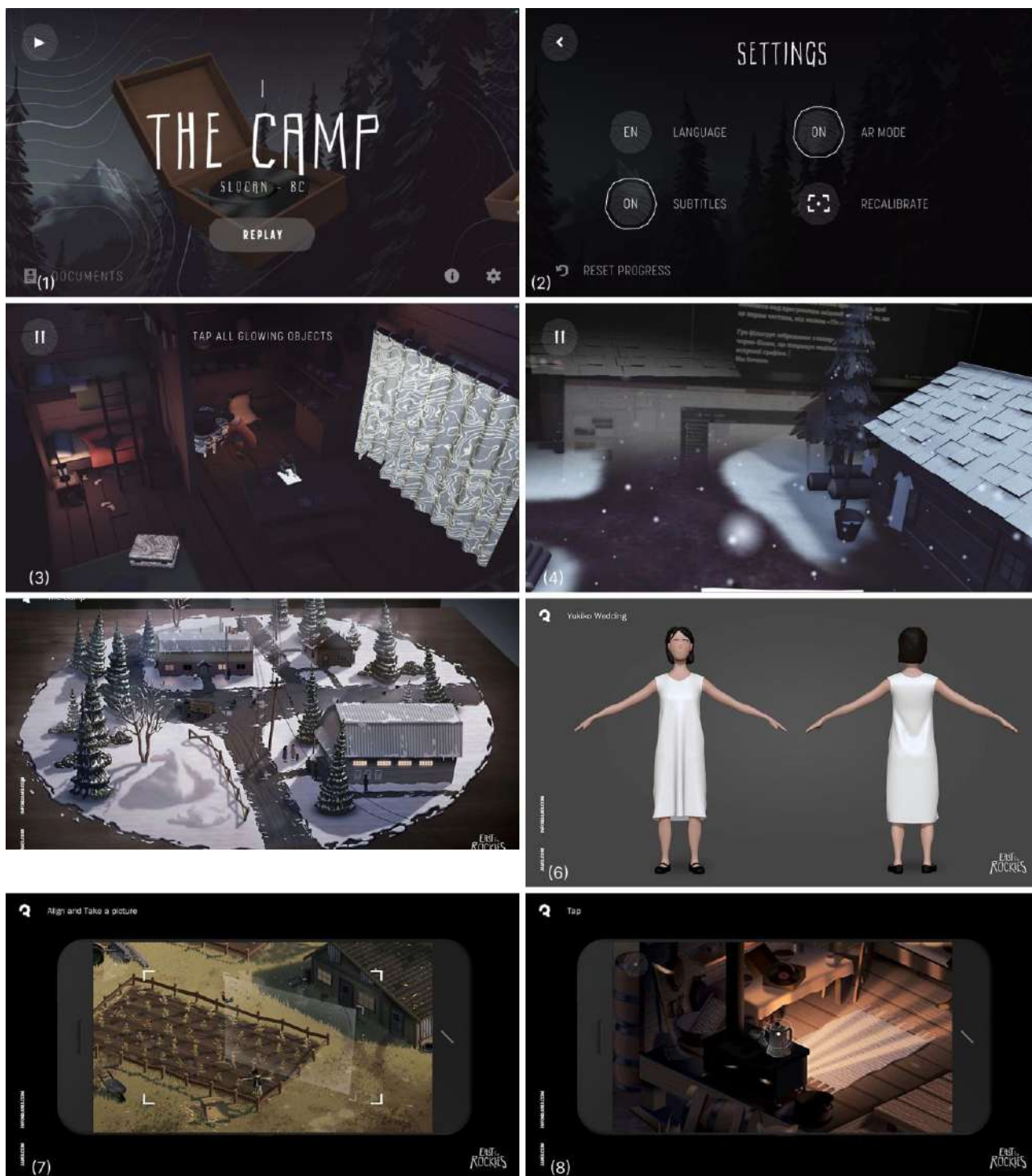
Іл. Б.3.3.14. Процес виготовлення.



Іл. Б.3.3.15. Вид на арки в висоти.



Іл. Б.3.3.16. «Modern Polaxis». Австралія, 2014 р. Книга з AR. Дизайн: Sutū, Lukasz Karluk, Lhasa Mencur. Кадри з відео.
URL: <https://uploadvr.com/augmented-reality-comic-books-polaxis>



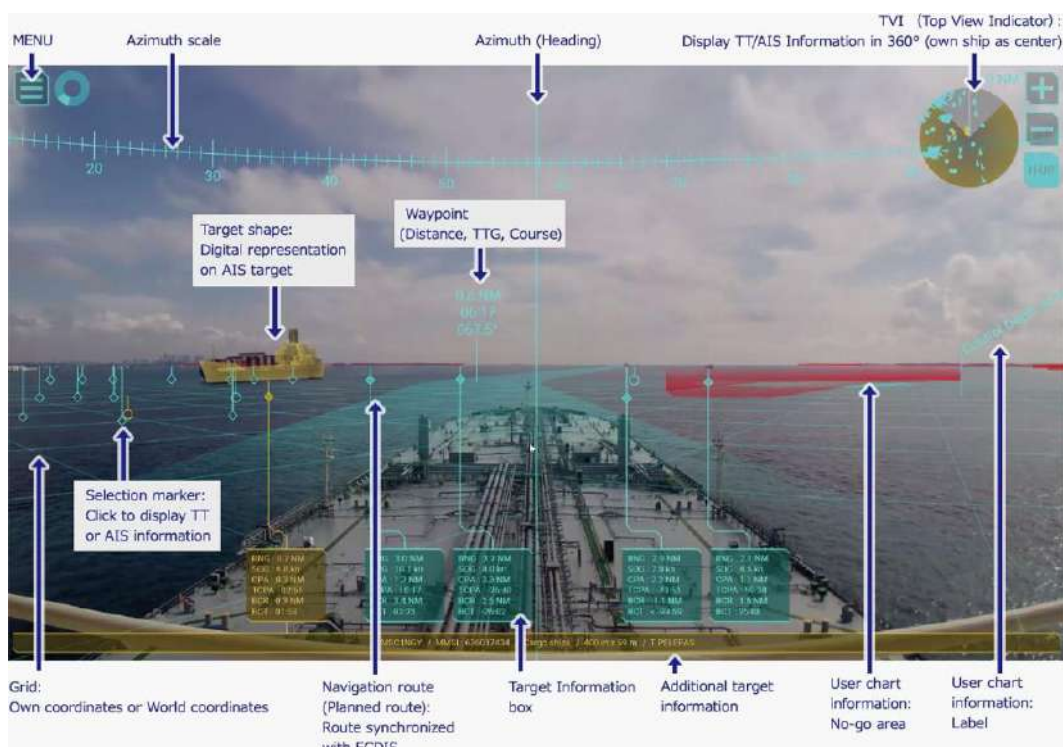
Іл. Б.3.3.17. «East of the Rockies». Канада, 2019 р. AR історія. Дизайн: Joy Kogawa (main character), Jason Legge (writer), Dirk Van Ginkel (writer), Jam3 design firm (directors). Скріншоти. URL: <https://www.eastoftherockies.com>



Іл. Б.3.3.18. «East of the Rockies». Канада, 2019 р. AR історія. Дизайн: Joy Kogawa (main character), Jason Legge (writer), Dirk Van Ginkel (writer), Jam3 design firm (directors). Кадри з трейлера. URL: <https://vimeo.com/299943712>

Ілюстрації до розділу 4.

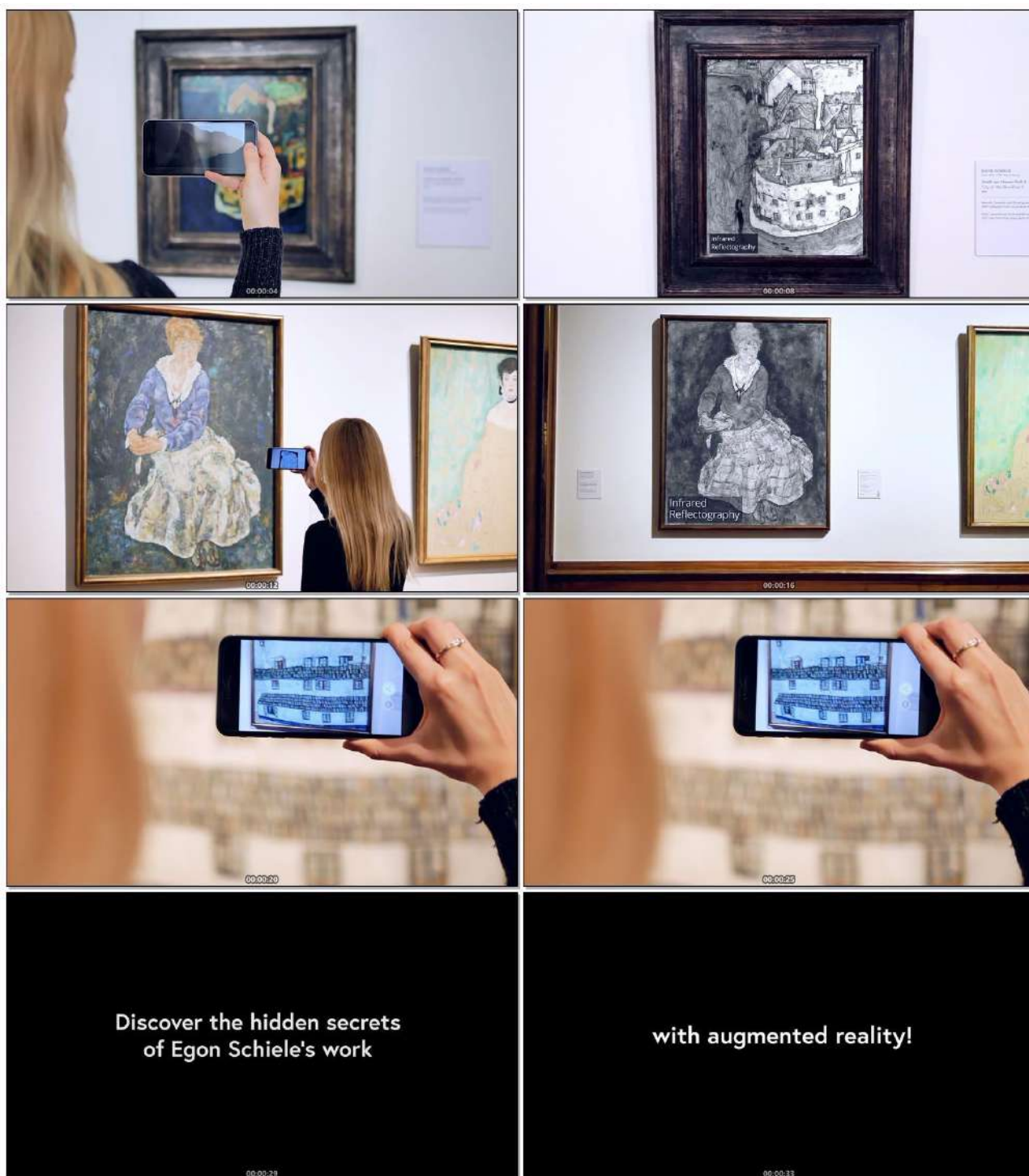
Підходи та принципи проєктування



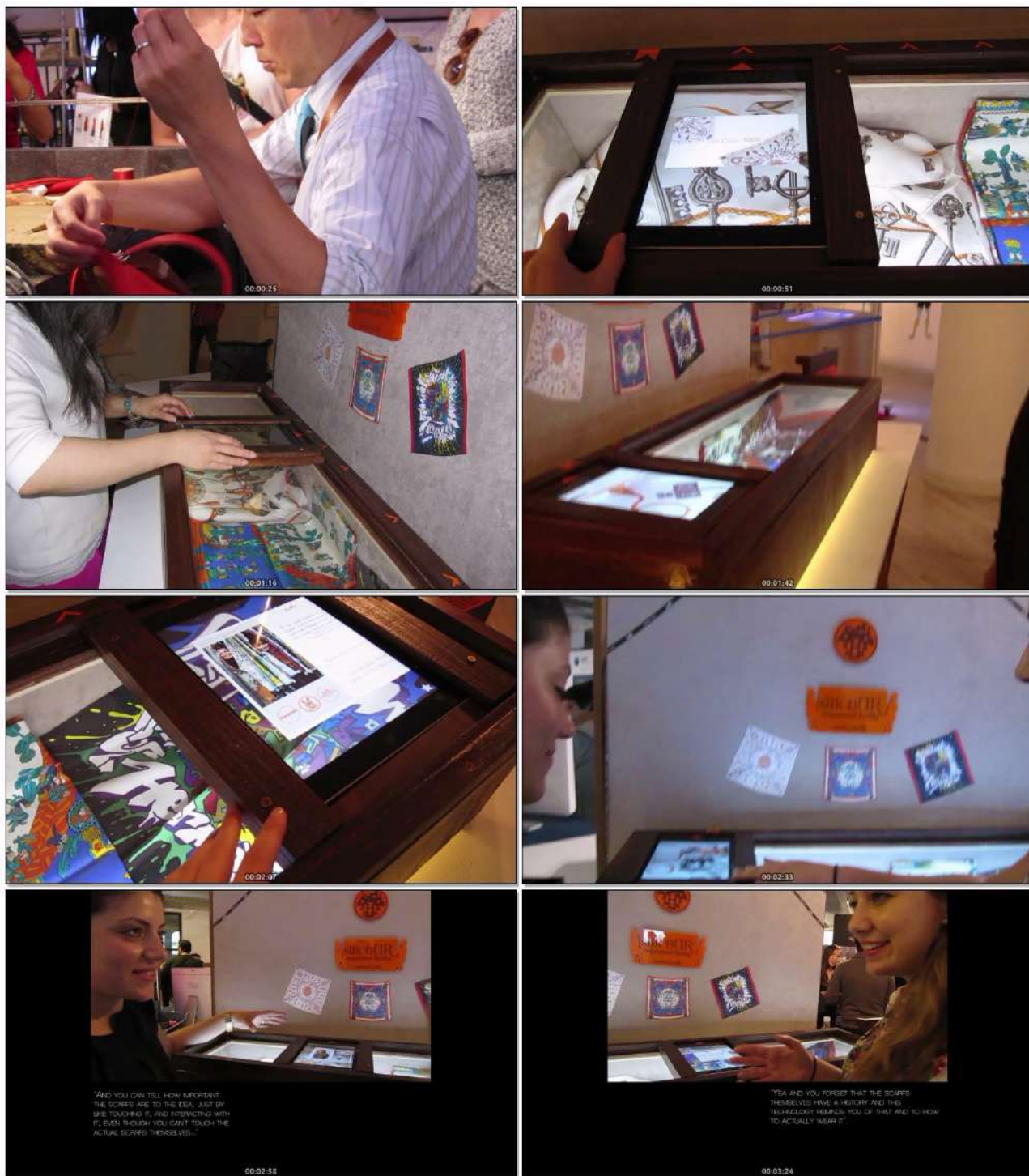
Іл. Б.4.1.1. «Mitsui OSK Lines». Японія, 2017 р. AR-рішення для морської навігації. Mitsui OSK Lines (MOL) та «Furuno Electric».
URL: <https://www.mol.co.jp/en/pr/2022/22098.html>



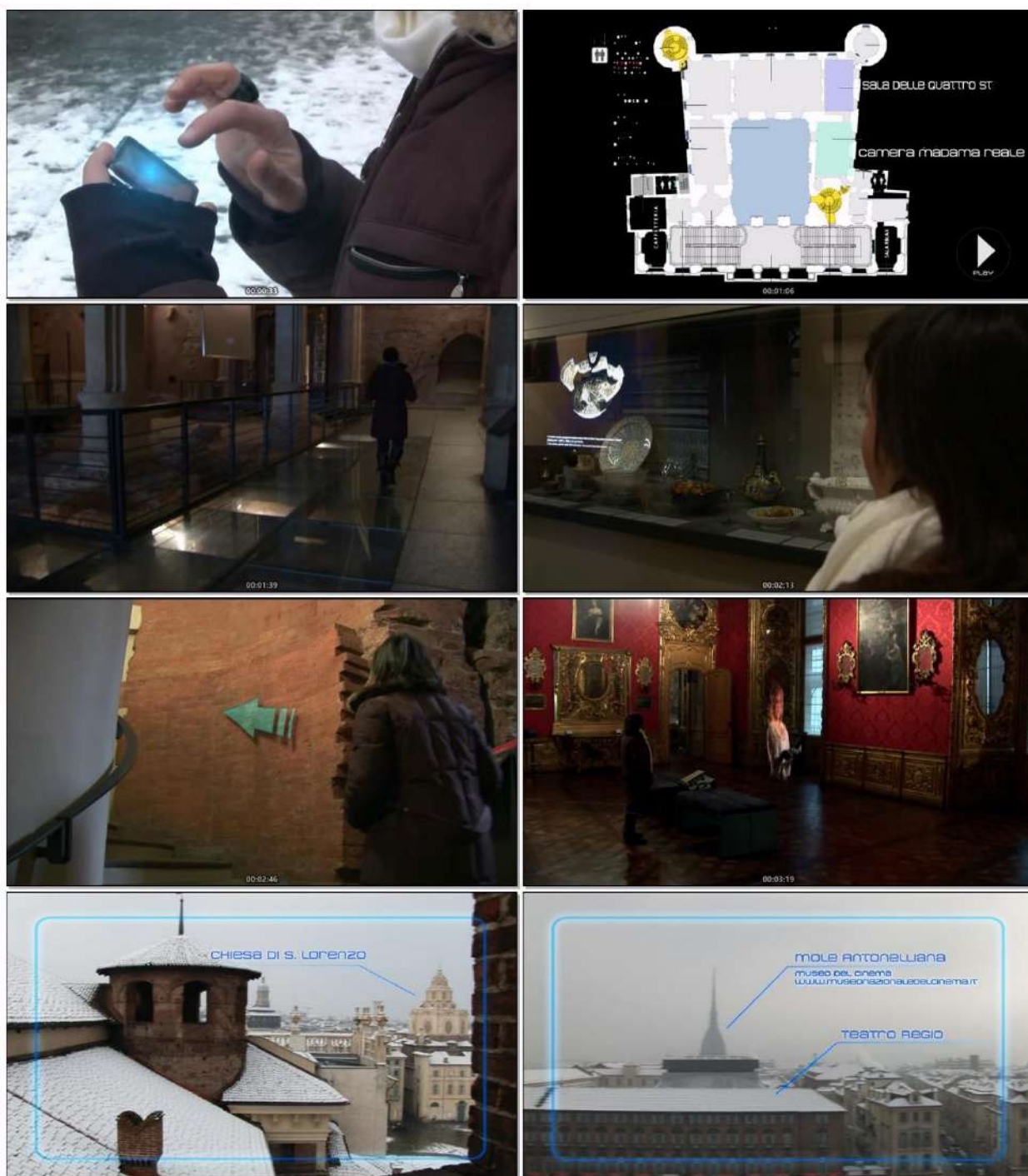
Іл. Б.4.1.2. «LEGO® HIDDEN SIDE». 2019 р. Ігровий застосунок. Дизайн: LEGO. Демонстрація гри в NINJAGO. URL: https://youtu.be/PBTey07_vKk



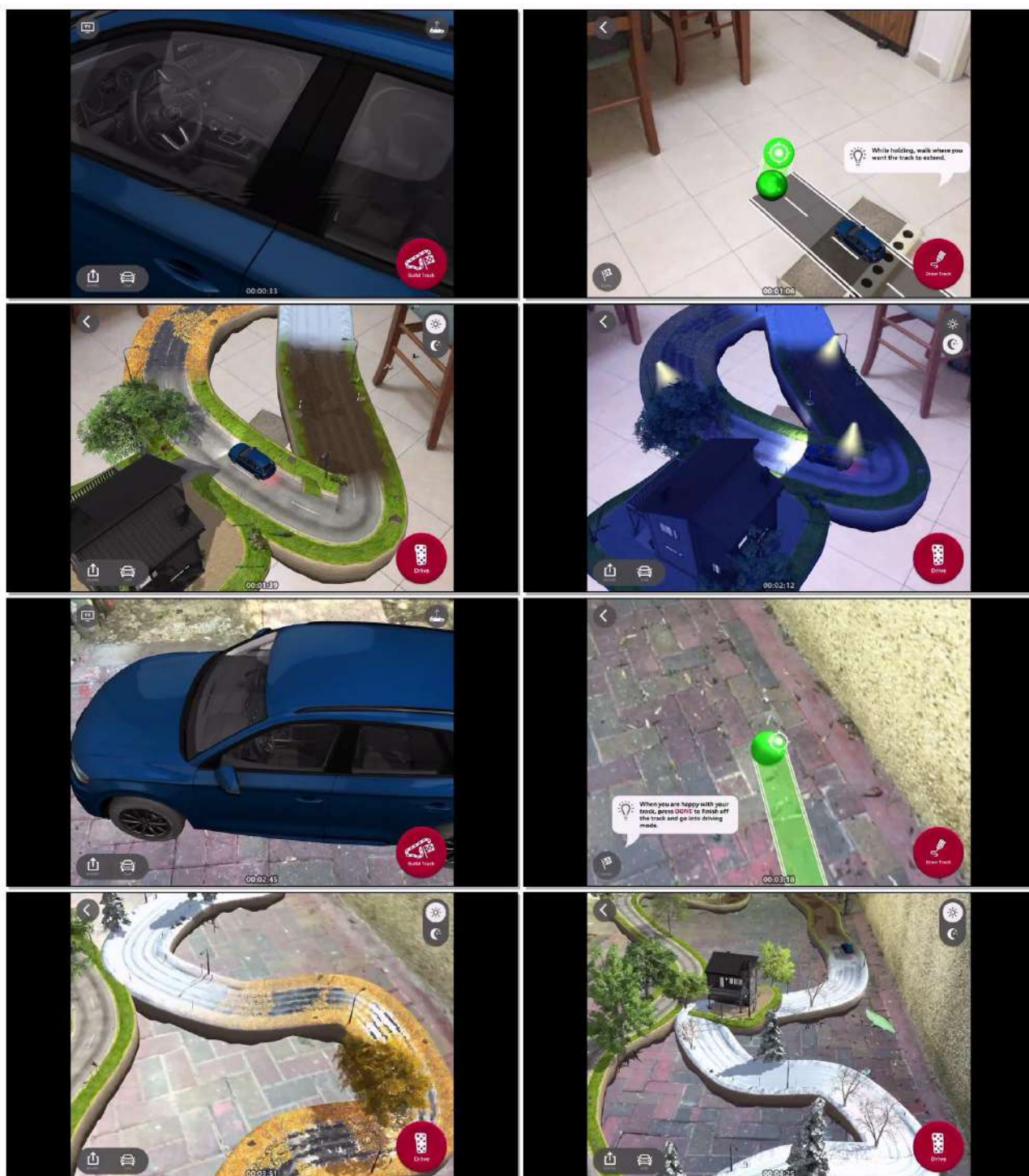
Іл. Б.4.1.3. «Egon Schiele — AR Belvedere». Австрія, 2020 р. Виставка з AR.
Кадри з відео. URL: <https://youtu.be/O4LWGmRA6BI>



Іл. Б.4.1.4. «Silk Bar AR with Hermès». СІІА, 2013 р. Інформаційний застосунок. Дизайн: Marisa Glick, Margrethe Harboe, Michael York, Nattavadee Temkasem, Sarah Robinson, Silvana Perez Cunarro, Wei Ng. Кадри з відео.
URL: <https://vimeo.com/66037698>



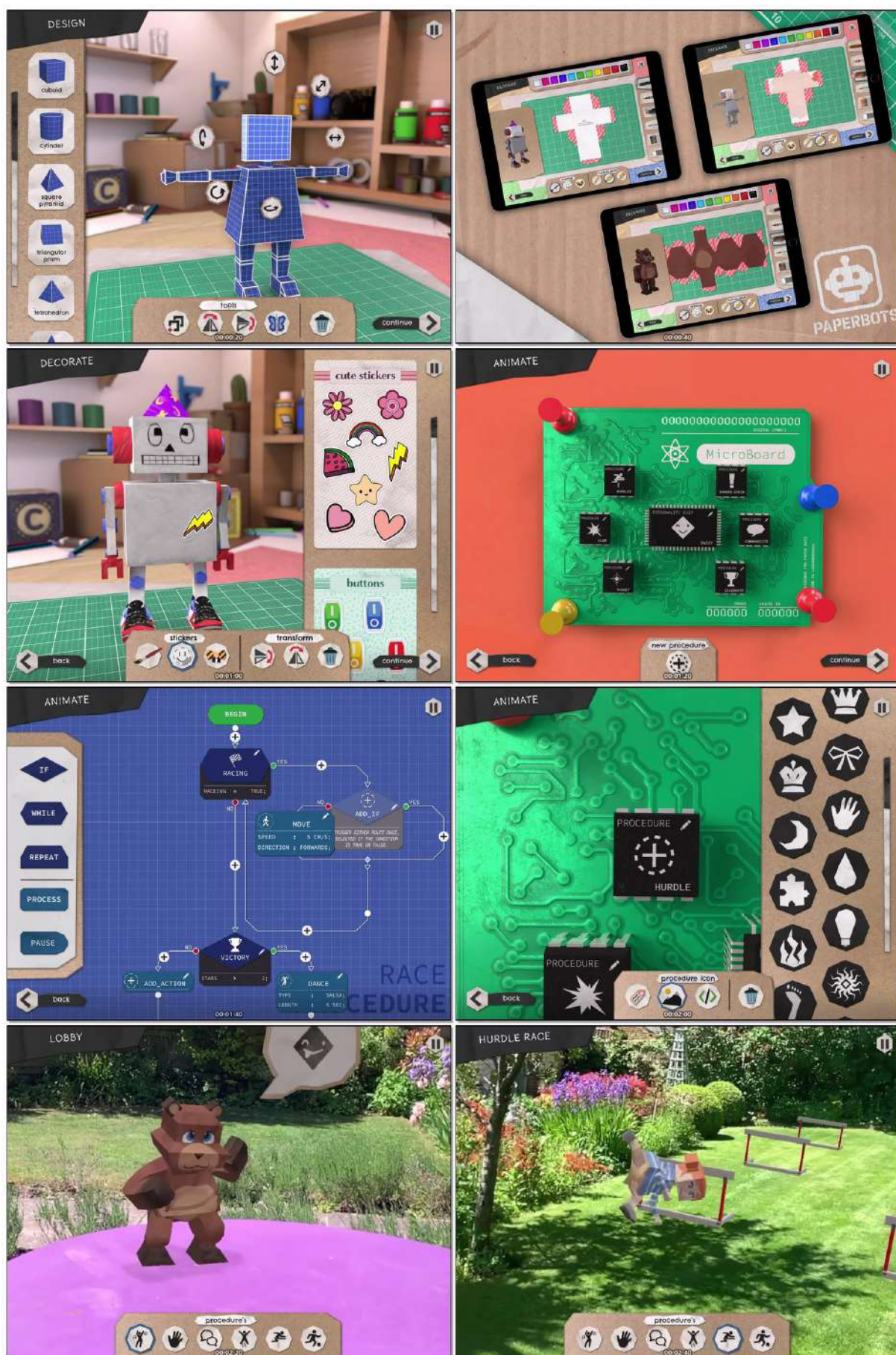
Іл. Б.4.1.5. «Augmented Museum». Італія, 2010 р. Навігаційний застосунок.
 Дизайн: Rocco Alberto Currà. Кадри з відео.
 URL: <https://www.youtube.com/watch?v=sCX-M7-olD8>



Іл. Б.4.1.6. «Quattro coaster». Швеція, 2018 р. Застосунок-конструктор.
 Дизайн: POL (Oslo), DVA Studio (Stockholm). © Audi. Кадри з відео.
 URL: <https://www.youtube.com/v=s2EJzR-TXjw>



Іл. Б.4.1.7. «Quattro coaster». Швеція, 2018 р. Застосунок-конструктор.
 Дизайн: POL (Oslo), DVA Studio (Stockholm). © Audi. Кадри з відео.
 URL: <https://youtu.be/OIFCQMeY3j4>



Іл. Б.4.1.8. «PaperBots». Велика Британія, 2020 р. Гра-конструктор. Дизайн: Peter Jago. Кадри з відео. URL: https://youtu.be/Y-OmtqAN9_k



Іл. Б.4.1.2.9. «Проект SPARK». Італія, 2015 р. Прототипування пакування для томатного соусу “the Alce Nero». Кадри з відео.

URL: <https://youtu.be/LFTdI3Wa3kk>



Іл. Б.4.1.10. Punpongsanon Parinya. «SoftAR». 2015 р. Візуальне маніпулювання відчуттям тактильної м'якості за допомогою AR.

URL: <https://vimeo.com/134274565>

Додаток В

Перелік схем, ілюстрацій та таблиць

- Іл. А.1** Приклади концептуальних метафор у доповненій реальності.
- Іл. А.2** Схема взаємодії між людиною, програмою та машиною. Чорні точки позначають інтерфейси для взаємодії.
- Іл. А.3** Градація використання об'єктів для взаємодії у доповненій реальності від повністю реальних, до віртуальних.
- Іл. А.4** Шість ступенів свободи руху.
- Іл. А.5** Непрямі методи просторової маніпуляції. а — техніка «Окремий простір», на прикладі використання екрану смартфона для створення окремого простору керування об'єктом, б — проксі-техніка «Вуду», с — проксі-техніка «Світ в мініатюрі», d — техніка «Віджет», на прикладі віджету для зміни параметрів об'єкта.
- Іл. Б.1.1.1** «Сінерама». США, 1952 р. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Cinerama>.
- Іл. Б.1.1.2** Схема панорамної кінопроекції системи «Сінерама». 1 — кінопроектор правої частини зображення; 2 — кінопроектор середньої частини кадру; 3 — кінопроектор лівої частини зображення. А, В, С, D, Е — заекранні гучномовці п'яти фронтальних каналів звуку; F, G, Н — ліва, права і тилова акустичні системи ефектних каналів «звукового оточення». URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/6/67/Cinerama_PRJ.svg/300px-Cinerama_PRJ.svg.png.
- Іл. Б.1.1.3** «Сенсорама». Схема з патента #3050870 та фото готового апарату © Wikimedia.
- Іл. Б.1.1.4** Павільйон «Віртуальний океанаріум». Ілюстрації зі статті «The Virtual Oceanarium». Communications of the ACM, July 2000, Vol. 43 No. 7, P. 94-101.

- Іл. Б.1.1.5** Австралійський павільйон, EXPO, Шанхай, 2010 р.
- Іл. Б.1.1.6** «PERSPECTIVE LYRIQUE». Фестиваль «Fete des Lumieres». France, Lyon, 2010 р. Дизайн: 1024 Architecture. Команда: François Wunschel, Fernando Favier, Pierre Schneider, Tijani Loussaief, Cinzia Campolese. Виробництво: Lighting-Process. Кадр із анімованого ролику, що транслюється на поверхню стін будинку. URL: <https://vimeo.com/18888136>.
- Іл. Б.1.3.1** «Snappables». 2020 р. Віртуальна лава та вода у середовищі. © Snapchat. URL: <https://venturebeat.com/2020/02/20/snapchat-adds-lava-and-water-ar-lenses-using-ground-segmentation-and-ml>.
- Іл. Б.1.3.2** «Джеми Mrgastan». Арменія, 2020 р. Дизайн: Backbone Branding. Кадр із проморолика. URL: <https://youtu.be/sJMLrL85X00>.
- Іл. Б.1.3.3** Прототип змішаної реальності для банки томатного соусу «the Alce Nero». Проєкт SPARK. 2016 р. Кадр із відеоролика. URL: <https://youtu.be/LFTdI3Wa3kk>.
- Іл. Б.1.3.4** Спрощене представлення RV (Reality-Virtuality) континууму, с. 283, за Мілгредом [280].
- Іл. Б.1.3.5** Вимір ступенів знань про світ (Extent of World Knowledge, EWK) с. 284, за Мілгредом [280].
- Іл. Б.1.3.6** Вимір точності відтворення (Reproduction Fidelity, RF), за Мілгредом [280].
- Іл. Б.1.3.7** Вимір ступеню присутності (Extent of Presence Metaphor, EPM), за Мілгредом [280].
- Іл. Б.1.3.8** Мапа Метаверс. 2007 р. [359]. Вертикальна вісь — тип доповнення-симуляція, горизонтальна — зовнішній-внутрішній простір.
- Іл. Б.1.3.9** Манн С. Опосередкована реальність. 2002 р. [261].
- Іл. Б.2.1.1** Конфігуратор дизайну кросівок. США, 2019 р. Проекція на взуття. Дизайн: Lightform. Кадр із відеоролика. URL: <https://vimeo.com/348892998>.

- Іл. Б.2.1.2** «Night Bloom». США, 2020 р. Проекційний мапінг на рослини в Консерваторії квітів. Дизайн: LUX, Lightform. Кадр із відеоролика. URL: <https://vimeo.com/665762068>.
- Іл. Б.2.1.3** «Night Bloom». США, 2020 р. Проекційний мапінг на рослини в Консерваторії квітів. Дизайн: LUX, Lightform. URL: <https://lightform.com/blog/behind-the-scenes-conservatory-of-flowers-event-projection-mapping>.
- Іл. Б.2.1.4** Мультископічний дисплей від «Looking Glass Factory». 2020 р. Кадри з проморолика. URL: <https://lookingglassfactory.com/looking-glass-portrait>.
- Іл. Б.2.1.5** Muzzin Benjamin. «Full turn». 2013 р. Кадри з відеоролика. URL: <http://vimeo.com/74735651>.
- Іл. Б.2.1.6** Muzzin Benjamin. «Full turn». 2013 р. Кадри з відеоролика. URL: <http://vimeo.com/74735651>.
- Іл. Б.2.1.7** Прототип нематеріального дисплея, що показує тривимірний чайник. Ча Лі та соавтори. 2009 р. [249, с. 193].
- Іл. Б.2.1.8** Приклад мультиплощинного комбінатора променів. Бімбер О. [113, с. 22].
- Іл. Б.2.1.9** Автоматичне віртуальне середовище «Cave» в EVL. 1993 р. Університет Іллінойсу в Чикаго. Користувач всередині CAVE. Фото зроблено під час модернізації CAVE для використання нових DLP-проекторів «Christie Mirage» на 5000 люменів. © Davepape. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Cave_automatic_virtual_environment.
- Іл. Б.2.1.10** «Офіс Майбутнього». 1998 р. Концептуальний ескіз офісу майбутнього [321].
- Іл. Б.2.1.11** Анімований олень біжить по воді. Музичний фестиваль «Latitude», 2017 р. Водяна проєкція. Дизайн: LCI. Кадр із відео. URL: <https://youtu.be/RkMCJZaRnKI>.

- Іл. Б.2.1.12** Водяний 3D принтер для рекламної кампанії Gatorade. 2021 р. Краплі утворюють фігуру людини. Кадр із відео. URL: <https://youtu.be/Us7JsVBc1qo>.
- Іл. Б.2.1.13** «Drop». Японія, 2021 р. Інтерактивна арт-інсталяція з проєкційним маппінгом на водні краплі. Art Museum of Nature and Human Non-Homogeneity. Кадр із відео. URL: <https://youtu.be/BRLx4lMetu4>.
- Іл. Б.2.1.14** Морське дно із рибами та водоростями. 2009 р. Проєкція на водну поверхню. © DIGILIGHT. Кадр із відео. URL: <https://vimeo.com/8277829>.
- Іл. Б.2.2.1** Приклад проєкції фільму на поверхню стіни. Авторський колаж на базі зображень @ rimchu та @ ironstagram з ліцензією від unsplash.
- Іл. Б.2.2.2** Приклад проєкції фільму в авто-кінотеатрі. Авторський колаж на базі зображень @ jona_schm та @ ironstagram з ліцензією від unsplash.
- Іл. Б.2.2.3** Приклад проєкції 3D-фільму у кінотеатрі. «Barzelletta — Film in 3D», 2014 р. URL: <https://proverbimilanesi.blogspot.com/2014/09/barzelletta-film-in-3d.html>.
- Іл. Б.2.2.4** Приклад проєкції у порожню раму. Авторський колаж на базі зображень @ ironstagram з ліцензією від unsplash та зображення для вільного використання з free-mockup.com.
- Іл. Б.2.2.5** Приклад проєкції на поверхню з урахуванням контексту. Дизайн: ATMOS FX. США, 2017 р. URL: <https://essexlive.news/whats-on/whats-on-news/scary-projector-puts-terrifying-images-581531>.
- Іл. Б.2.2.6** «JCB Interactive projection wall». Індія, 2018 р. Дизайн: The Rightclick Innovations. Приклад проєкції з інтерактивними елементами на поверхню. URL: <https://youtu.be/IucCJFwygIg>.

- Іл. Б.2.2.7** Пісочний стіл із проєкцією. Китай, 2020 р. Дизайн: Movie Power Technology Co. URL: <http://www.movie-power.com/etxl/arsp.html>.
- Іл. Б.2.2.8** Холзер Джені. «Проекція на Бленгеймський палац». Англія, 2017 р. URL: <https://projects.jennyholzer.com/projections/blenheim-palace-2017/gallery#4>.
- Іл. Б.2.2.9** «555 KUBIK | facade projection». Urbanscreen, Гамбург, Німеччина, 2009 р. Приклад проєкції, що враховує геометрію будівлі та використовує плитку фасаду як основу для анімацій. URL: <https://vimeo.com/5595869>.
- Іл. Б.2.2.10** «Coca-Cola Arctic Home Campaign — Augmented Reality». WWF. Лондон, Англія, 2013 р. Кадри з відео. URL: <https://youtu.be/h2Jg8ryVk1k>.
- Іл. Б.2.2.11** «Water Screens — Laservision Specialty Mediums». Дубаї, 2017 р. Водяні лазерні екрани. Дизайн: Laservision. <https://laservision.com.au/water-screen-projection-world-record>.
- Іл. Б.2.2.12** Декорації для опери «Турандот». 2022 р. Дизайн: teamLab. Великий театр Женеви та галерея «Расе». Кадр зі спектаклю. © Даніель Крамер. URL: <https://stirworld.com/see-features-teamlab-creates-an-immersive-operatic-experience-for-puccini-s-turandot>.
- Іл. Б.2.3.1** Лінзи від Снепчат із використанням ШІ для зістарювання та омолодження селфі. 2019 р. © Snapchat. URL: <https://venturebeat.com/ai/snapchats-time-machine-lens-uses-ai-to-age-and-de-age-selfies>.
- Іл. Б.2.3.2** Deadly Class AR Filters. 2018 р. Дизайн: Nexus Studios © Sony Pictures. URL: <https://nexusstudios.com/work/deadly-class-ar-filters>.
- Іл. Б.2.3.3** Скріншоти «Clips app». Version 3.1.3. 2020 р. © Apple. URL: <https://www.aiseesoft.com/resource/apple-clips-app.html>.

- Іл. Б.2.3.4** AR фільтри для Хелоуїну в «Facebook Messenger». 2020 р. Дизайн: Nexus Studios. © Facebook. URL: <https://nexusstudios.com/work/facebook-messenger-halloween>.
- Іл. Б.2.3.5** Фільтри для «Snapchat». 2020 р. Дизайн: The Mill. URL: <https://vimeo.com/417249735>.
- Іл. Б.2.3.6** Фільтри для «Snapchat». 2020 р. Дизайн: The Mill. URL: <https://vimeo.com/417249735>.
- Іл. Б.2.3.7** Фільтри для «Snapchat». 2020 р. Дизайн: The Mill. URL: <https://vimeo.com/417249735>.
- Іл. Б.2.3.8** «Good Omens». США, 2019 р. Промо кампанія. Дизайн: Grand Visual. Кадри з відео. URL: <https://vimeo.com/347070057>.
- Іл. Б.2.3.9** «TVC A1 Slovenia». Словенія, 2017 р. Рекламний відео-сітілайт. Дизайн: Grey Ljubljana. Кадри з відео. URL: <https://www.artrebel9.com/digital-experiences/ar-citylight>.
- Іл. Б.2.3.10** «Bus Shelter Pepsi Max». Великобританія, 2020 р. Рекламний відеосітілайт. Дизайн: AMV BBDO, OMD, Talon, Little Dot. URL: <https://blog.littledotstudios.com/en-gb/news-views/pepsi-max-ar-bus-stop>.
- Іл. Б.2.3.11** «Doors, between reality and virtuality». Ліон, Франція, 2016 р. Інтерактивна відеоінсталяція. Дизайн: Theoriz. URL: <https://citymagazine.si/en/doors-doors-between-reality-and-virtuality>.
- Іл. Б.2.3.12** «Rene Magritte: The Fifth Season». SFMOMA, США, 2018 р. Відеовікна з AR. Дизайн: frog. URL: <https://www.frog.co/work/augmented-reality-meets-fine-art>.
- Іл. Б.2.3.13** «MAVKA. The Forest Song». Україна, 2017 р. Дизайн: Animagrad (FILM.UA Group). Кадри з тізеру до фільму. URL: <https://youtu.be/effkoBQqm7g>.

- Іл. Б.2.3.14** «Мавка Сильпо». Україна, 2021 р. AR книга-гра та руни з передбаченнями. Дизайн: LiveAnimations. URL: <https://youtu.be/6H8eD5hyo24>.
- Іл. Б.2.3.15** «Showreel 2021». Доповнена реальність для друкованих видань. Дизайн: LiveAnimations. Кадри з відеоролика. URL: <https://youtu.be/a0nXtHbGgvw>.
- Іл. Б.2.3.16** «Notes IPA». Канада, 2021 р. Пакування з AR. Дизайн: zulu alpha kilo. URL: <https://youtu.be/qEmFbWpbMRk>.
- Іл. Б.2.3.17** «Beer Invaders». Австралія, 2021 р. Пакування з AR. Дизайн: Immertia. Кадр із відео. URL: <https://vimeo.com/619441596>.
- Іл. Б.2.3.18** «Verve». США, 2021 р. AR та пакування для бренду «Opus Chrysalis». Процес появи графічних елементів. Дизайн: Rosie Grant, Molly Watkins. URL: <https://the-dots.com/projects/verve-brandopus-chrysalis-171960>.
- Іл. Б.2.3.19** «Verve». США, 2021 р. AR та пакування для бренду «Opus Chrysalis». Різні масштаби графіки. Дизайн: Rosie Grant, Molly Watkins. URL: <https://the-dots.com/projects/verve-brandopus-chrysalis-171960>.
- Іл. Б.2.3.20** «Mirages & miracles». Франція, 2017 р. Виставка з AR. Дизайн: Клер Бардайн і Едріан Монко (Adrien M & Claire B). Кадри з відео. URL: <https://vimeo.com/246619389>.
- Іл. Б.2.3.21** AR демонстрація розміщення аудіосистеми «BassMatch» від «Bose Automotive». 2019 р. Кадри з відео. URL: <https://youtu.be/XuJV2wX6OYs>.
- Іл. Б.2.3.22** Рентгенівський зір з «HoloLens». 2016 р. Кадри з відео. URL: <https://youtu.be/etn2zCa7n40>.
- Іл. Б.2.3.23** «Argyle Build». 2022 р. AR додаток для конструювання. Дизайн: Argyle Build. Кадр із відео. URL: <https://youtu.be/C-t0df0Exb8>.

- Іл. Б.2.3.24** Застосунок «Apple Maps». 2021 р. Дизайн: Apple. © Apple. Скріншоти. URL: <https://vrscout.com/news/apple-maps-introduces-ar-navigation>.
- Іл. Б.2.3.25** «HotStepper». США, 2017 р. Застосунок для навігації. Дизайн: Nexus Studios. URL: <https://nexusstudios.com/work/hotstepper>.
- Іл. Б.2.3.26** «Pikmin Bloom». США, 2021 р. Навігаційна гра. Дизайн: Niantic. URL: <https://www.digitalphablet.com/de/spielen/download-pikmin-bloom-for-iphone-and-android>.
- Іл. Б.2.3.27** «ХМ». 2022 р. BMW Billboard. Дизайн: Goodby Silverstein & Partners, BCN Visuals. URL: <https://musebycl.io/advertising/bmw-rolls-big-jaw-dropping-3d-billboards-times-square>.
- Іл. Б.2.3.28** «Shinjuku cat». Токіо, Японія, 2021 р. Білборд з 3D-котом. URL: <https://edition.cnn.com/style/article/3d-cat-billboard-tokyo>.
- Іл. Б.2.3.29** «Рік Тигра» з рекламної кампанії «Samsung Unpacked». 2022 р. Кадр із відео. URL: https://youtu.be/jrPE2U_x_QI.
- Іл. Б.2.3.30** 3D LED білборди «Кінг-конг» та «Робот-крафтар». Кадри з відео. URL: <https://youtu.be/95gHLABPemk>.
- Іл. Б.2.3.31** 3D LED білборди «HelloKitty Family» та «Сафарі». Кадри з відео. URL: <https://youtu.be/95gHLABPemk>.
- Іл. Б.2.3.32** 3D LED білборди «Гігантський кит» та «Гаджет Vivo». Кадри з відео. URL: <https://youtu.be/95gHLABPemk>.
- Іл. Б.2.3.33** 3D білборди «Resident Evil» від «Netflix» та циклоп від «ESKY MALL». Кадри з відео. URL: <https://youtu.be/xNHeHXuyNJY>.
- Іл. Б.2.3.34** 3D білборд «Пес породи акіта іну». Шибуя, Японія, 2022 р. URL: <https://mustsharenews.com/3d-billboard-giant-pup>.
- Іл. Б.3.1.1** «Wonderscope». США, 2014 р. AR історії для дітей. Дизайн: studio Within. Кадри з відео. URL: <https://youtu.be/vqN3Rjv6nlk>.
- Іл. Б.3.1.2** Elena Jiga. «Concepts for AR User Interface Website». 2019 р. Прототипи AR-сайту. Кадри з відео. URL: <https://vimeo.com/336992067>.

- Іл. Б.3.1.3** «Paper Cubes». США, 2017 р. AR гра. Дизайн: Anna Fuste Lleixa. URL: <https://youtu.be/arOEUVO1rIw>.
- Іл. Б.3.1.4** Mario Kart Live: Home Circuit. Nintendo, 2020 р. URL: <https://mklive.nintendo.com/>.
- Іл. Б.3.1.5** «Mario Kart Live: Home Circuit». США, 2020 р. Гра у перегони. Дизайн: Nintendo, Velan Studios. Кадри з відео. URL: <https://youtu.be/1MgnRY5t7wU>.
- Іл. Б.3.1.6** «Чудові машини» (“Marvelous Machines”). Іспанія, 2017 р. Книга з AR. Дизайн: студія «Hidden Worlds». © Hidden Worlds, LCC. URL: <https://www.marveloussillymachines.com>.
- Іл. Б.3.1.7** «Розмальовки з AR». США, 2015 р. Видання, розмальовка з AR. Дизайн: студія «Disney Research», Stephane Magnenat та колеги. URL: <https://studios.disneyresearch.com/2015/07/23/live-texturing-of-augmented-reality-characters-from-colored-drawingsnull>.
- Іл. Б.3.1.8** «Metamorphu». Франція, 2013 р. Інсталяція. Дизайн: Grégory Lasserre, Anaïs met den Ancxt. URL: https://www.scenocosme.com/metamorphu_e.htm.
- Іл. Б.3.2.1** «Everyman, The Ultimate Commodity v2.0». Сінгапур, 2007 р. AR в театрі. © Russell Pensyl. URL: <https://pensyl.com/p51Uc.html>.
- Іл. Б.3.2.2** «Metakimosphere no. 1». Лондон, Великобританія, 2015 р. Перформанс. Дизайн: DAP-Lab. Artaud Performance Center, Brunel University. © DAP-Lab [114, с. 1].
- Іл. Б.3.2.3** «Metakimosphere». Лондон, Великобританія, 2015 р. Перформанс. Кімосфери з мешканцями-виконавцями у флексиматичних матеріалах, у виконанні Ванесси Мікелон. Дизайн: DAP-Lab. Artaud Performance Center, Brunel University. © DAP-Lab. URL: <http://people.brunel.ac.uk/dap/kimospheres.html>.
- Іл. Б.3.2.4** Мультимедійне шоу. Бухарест, Румунія, 2020 р. Дизайн: Mindscape Studio. Кадр із відео. URL: <https://vimeo.com/394645471>.

- Іл. Б.3.2.5** Мультимедійне шоу. Польща, 2017 р. Режисер: Jacek Kościuszko. Дизайн: E4EYE, Film Image, OneCell, Alvernia Studios. Кадр із відео. URL: <https://vimeo.com/223599366>.
- Іл. Б.3.2.6** «The Velvet Rabbit». Польща, 2012 р. Відеомеппінг для театральної постановки. Дизайн: Paweł Weremiuk, Emilia Metzel. Театр гротеска у Кракові. Кадр із відео. URL: <https://vimeo.com/54367753>.
- Іл. Б.3.2.7** Інтерактивний проєкційний меппінг для Dubai Film Festival. Дубаї, 2017 р. Дизайн: JBM Production. Кадр із відео. URL: <https://vimeo.com/253611759>.
- Іл. Б.3.2.8** «Die Invasion der Gallerie». Німеччина, 2016 р. Перформанс. Дизайн: Sculldmapping (Filip Sterckx, Antoon Verbeeck). Кадри з відео. URL: <https://youtu.be/APpw6ZKIQ3I>.
- Іл. Б.3.2.9** «PIXELBLOOM». США, 2022 р. Щорічна виставка «Цвітіння сакури» для вшанування традиції, природи та технологій. Дизайн: Sandro Kereselidze, Riki Kim. ARTECHOUSE. © Max Rykov. URL: <https://www.artechouse.com/honoring-tradition-nature-and-technology-with-an-annual-cherry-blossom-exhibition>.
- Іл. Б.3.2.10** «Magentaverse». США, 2023 р. ARTECHOUSE. © Max Rykov. URL: <https://www.artechouse.com/program/magentaverse-nyc>.
- Іл. Б.3.2.11** «Geometric-Properties». США, 2023 р. Дизайн: Julius Horsthuis. ARTECHOUSE. © Max Rykov. URL: <https://www.artechouse.com/music-in-experiential-art>.
- Іл. Б.3.2.12** «Adidas Speedfactory». Нова Зеландія, 2017 р. Інтерактивна інсталяція. Дизайн: Resn, Agency & Production, The FWA. © Adidas. URL: <https://thefwa.com/cases/adidas-speedfactory-activation>.
- Іл. Б.3.2.13** «Driven By Emotion». США, 2016 р. Інтерактивна візуалізація даних. Дизайн: Resn, CP+B. Кадри з відео. URL: <https://vimeo.com/182361226>.

- Іл. Б.3.2.14** «Dreamed Japan. Images of the Floating World». Франція, 2020 р. Інсталяція. Імерсивна подорож. Дизайн: the Danny Rose Studio. © Culturespaces / E. Spiller. URL: <https://www.atelier-lumieres.com/en/dreamed-japannull>.
- Іл. Б.3.2.15** «Dreamed Japan. Images of the Floating World». Франція, 2020 р. Інсталяція. Імерсивна подорож. Дизайн: the Danny Rose Studio. © Culturespaces / E. Spiller. URL: <https://www.atelier-lumieres.com/en/dreamed-japannull>.
- Іл. Б.3.2.16** «Dreamed Japan. Images of the Floating World». Франція, 2020 р. Інсталяція. Імерсивна подорож. Дизайн: the Danny Rose Studio. © Culturespaces / E. Spiller. URL: <https://www.atelier-lumieres.com/en/dreamed-japannull>.
- Іл. Б.3.2.17** «Dreamed Japan. Images of the Floating World». Франція, 2020 р. Інсталяція. Імерсивна подорож. Дизайн: the Danny Rose Studio. © Culturespaces / E. Spiller. URL: <https://www.atelier-lumieres.com/en/dreamed-japannull>.
- Іл. Б.3.2.18** «Iron Civilization». Південна Корея, 2021 р. Імерсійна інтерактивна інсталяція. Дизайн: Ihsu Yoon, Creative Black, Gx lab. Центр «Park1538». Кадр із відео. URL: <https://vimeo.com/591592413>.
- Іл. Б.3.2.19** «Iron Civilization». Південна Корея, 2021 р. Імерсійна інтерактивна інсталяція. Дизайн: Ihsu Yoon, Creative Black, Gx lab. Центр «Park1538». Кадр із відео. URL: <https://vimeo.com/591592413>.
- Іл. Б.3.2.20** «LAILA». Фінляндія, 2020 р. Імерсивний перформанс. Дизайн: Esa-Pekka Salonen, Paula Vesala, Tuomas Norvio, the Ekho Collective. Фінська національна опера. Кадри з відеоролика. URL: <https://youtu.be/uN2Q-Q-mKVI>.

- Іл. Б.3.2.21** «Dromos». Канада, 2013 р. Імерсивний перформанс на фестивалі Mutek. Дизайн: Fraction (composer), Maotik (digital artist). URL: <https://youtu.be/Tkqbj6aBy5I>.
- Іл. Б.3.2.22** «Exception Spotting». США, 2019 р. Візуальний аналіз та інтерактивний баннер. Дизайн: New Balance, VML. Кадри з відео. URL: <https://vimeo.com/342960404>.
- Іл. Б.3.2.23** Mathias Fuchs, Olly Farsh, Andy Odia. «Поствініл». Відень, Австрія, 2005 р. Зліва направо: DJ-аватар перед TECHNICS 1200, DJ-аватар перед готелем Каліфорнія, DJ-аватар стоїть на програвачі. URL: <https://www.creativegames.org.uk/art/postvinyl/postvinyl.htm>.
- Іл. Б.3.2.24** «AR Runner». Канада, 2017 р. Застосунок для бігу. Дизайн: Semidome Inc. Скріншоти. URL: <http://www.semido.me/arrunner>.
- Іл. Б.3.2.25** «Pharos». 2019 р. Гра — музична подорож. Дизайн: Neil Parris (Head of Entertainment Partnerships, AR/Lens), Чайлдіш Гамбіно (Childish Gambino) (artist). © Google. URL: <https://blog.google/products/google-ar-vr/new-childish-gambino-app-pharos-ar>.
- Іл. Б.3.2.26** «BlacknBear AR Portal». США, 2021 р. Космічний корабель у AR. Дизайн: BlacknBear. Кадри з відео. URL: <https://vimeo.com/580048958>.
- Іл. Б.3.2.27** «Visual indoor positioning for enhanced location-based AR». 2018 р. Навігаційний застосунок, що знайомить із офісом. Дизайн: Blippar. URL: <https://youtu.be/X7IqAHgZlCs>.
- Іл. Б.3.2.28** «LEGO VIDIYO». США, 2021 р. Музична гра з AR. Вибір персонажа. Дизайн: Universal Music Group, Creative Play Lab. © LEGO. Скріншот. URL: <https://rozetked.me/reviews/16018-obzor-lego-vidiyo-ar-igrushki-dlya-razvitiya-tvorcheskih-sposobnostey>.
- Іл. Б.3.2.29** «LEGO VIDIYO». США, 2021 р. Музична гра з AR. Реєстрація сцени. Дизайн: Universal Music Group, Creative Play Lab.

© LEGO. Скріншот. URL: <https://rozetked.me/reviews/16018-obzor-lego-vidiyo-ar-igrushki-dlya-razvitiya-tvorcheskih-sposobnostey>.

- Іл. Б.3.2.30** «LEGO VIDIYO». США, 2021 р. Музична гра з AR. Розпізнавання бітів. Дизайн: Universal Music Group, Creative Play Lab. © LEGO. Скріншот. URL: <https://rozetked.me/reviews/16018-obzor-lego-vidiyo-ar-igrushki-dlya-razvitiya-tvorcheskih-sposobnostey>.
- Іл. Б.3.2.31** «LEGO VIDIYO». США, 2021 р. Музична гра з AR. Режим зйомки. Дизайн: Universal Music Group, Creative Play Lab. © LEGO. Скріншот. URL: <https://rozetked.me/reviews/16018-obzor-lego-vidiyo-ar-igrushki-dlya-razvitiya-tvorcheskih-sposobnostey>.
- Іл. Б.3.2.32** «Angry Birds AR: Isle of Pigs». Фінляндія, 2019 р. AR гра. Вступна заставка та процес гри. Дизайн: Resolution Games. URL: <https://youtu.be/NzsRtkZoXvc>.
- Іл. Б.3.2.33** «Angry Birds AR: Isle of Pigs». Фінляндія, 2019 р. AR гра. Процес розпізнавання поверхонь (ліворуч) та діалогове вікно (праворуч). Дизайн: Resolution Games. URL: <https://youtu.be/NzsRtkZoXvc>.
- Іл. Б.3.2.34** «Vuforia Chalk». США, 2020 р. Застосунок для комунікації. Дизайн: PTC Inc. Скріншоти. URL: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.vuforia.Chalk>.
- Іл. Б.3.2.35** «IKEA Place». Австралія, 2016 р. Застосунок для дизайну інтер'єру. Скріншот. URL: <https://www.ikea.com/au/en/customer-service/mobile-apps/say-hej-to-ikea-place-pub1f8af050>.
- Іл. Б.3.2.36** «IKEA Place». Австралія, 2016 р. Застосунок для дизайну інтер'єру. Скріншоти. URL: <https://apps.apple.com/us/app/ikea-place/id1279244498>.

- Іл. Б.3.2.37** «Alien AR». США, 2019 р. Активний друк на об'єкті. Дизайн: Pulse Studio LLC, ACME Design Inc. ExhibitorLive. Кадри з відео. URL: <https://vimeo.com/323285684>.
- Іл. Б.3.3.1** Christoph Niemann, «AR Cover». США, 2016 р. Арт-директор: Françoise Mouly. Кадри з відео. URL: <https://www.newyorker.com/video/watch/introducing-christoph-niemann-augmented-reality-covers>.
- Іл. Б.3.3.2** Погребняк Євгенія, «Знайдення». Україна, 2019 р. Проєкт «Автопортрет з яблуком. Самопрезентація міфу», куратор Є. О. Котляр. Анімація: Анна Маслова. Кадри з відео. Кафедра МД. ХДАДМ.
- Іл. Б.3.3.3** Кругляк-Дрига Анна, «Прикраси Єви». Україна, 2020 р. Проєкт «Автопортрет з яблуком. Самопрезентація міфу», куратор Є. О. Котляр. Анімація: Діана Ляшенко. Кадри з відео. Кафедра МД. ХДАДМ.
- Іл. Б.3.3.4** Шматова Ірина, «Дощ після довгої зими». Україна, 2020 р. Проєкт «Автопортрет з яблуком. Самопрезентація міфу», куратор Є. О. Котляр. Анімація: Катерина Богодюк. Кадри з відео. Кафедра МД. ХДАДМ.
- Іл. Б.3.3.5** Ландіна Юлія, «Зрілість». Україна, 2018 р. Проєкт «Автопортрет з яблуком. Самопрезентація міфу», куратор Є. О. Котляр. Анімація: Дар'я Пугачова. Кадри з відео. Кафедра МД. ХДАДМ.
- Іл. Б.3.3.6** Молдаван Анастасія, «Таємниця імені». Україна, 2018 р. Проєкт «Автопортрет з яблуком. Самопрезентація міфу», куратор Є. О. Котляр. Анімація: Ірина Безкровна. Кадри з відео. Кафедра МД. ХДАДМ.
- Іл. Б.3.3.7** Погребняк Євгенія, «Діалог». Україна, 2018 р. Проєкт «Автопортрет з яблуком. Самопрезентація міфу», куратор Є. О. Котляр. Анімація: Олександра Голубова. Кадри з відео. Кафедра МД. ХДАДМ.

- Іл. Б.3.3.8** Денисова Дар'я, «Яблучне селфі». Україна, 2018 р. Проект «Автопортрет з яблуком. Самопрезентація міфу», куратор Є. О. Котляр. Анімація: Ксенія Татаринцева. Кадри з відео. Кафедра МД. ХДАДМ.
- Іл. Б.3.3.9** «Cautionary Tales For Children, A Parents Guide». Великобританія, 2021 р. Книга з AR. Дизайн: Peter Jago. URL: <https://youtu.be/WXSkxWoX7Iw>.
- Іл. Б.3.3.10** «The Boy with His Head Stuck in a Book». Франція, 2017 р. Дизайн: Anna Broadhurst (Zappar). Кадри з відеоролика. URL: https://youtu.be/qxpb01_73i8.
- Іл. Б.3.3.11** «Changdeok ARirang». Південна Корея, 2021 р. Туристичний гайд з AR. Дизайн: SK Telecom, Google, Администрация культурного наследия. URL: <https://nexusstudios.com/work/changdeoknull>.
- Іл. Б.3.3.12** «The Cunning Little Vixen (Хитра маленька Лисиця)». Великобританія, 2019 р. Інсталяція. Арки з ілюстраціями. Дизайн: Xavier Segers. URL: <https://xaviersegers.com/a-vixens-talenull>.
- Іл. Б.3.3.13** «The Cunning Little Vixen (Хитра маленька Лисиця)». Великобританія, 2019 р. Листівка з AR. Дизайн: Xavier Segers. URL: <https://xaviersegers.com/a-vixens-talenull>.
- Іл. Б.3.3.14** «The Cunning Little Vixen (Хитра маленька Лисиця)». Великобританія, 2019 р. Інсталяція. Процес виготовлення. Дизайн: Xavier Segers. URL: <https://xaviersegers.com/a-vixens-talenull>.
- Іл. Б.3.3.15** «The Cunning Little Vixen (Хитра маленька Лисиця)». Великобританія, 2019 р. Інсталяція. Вид на арки в висоти. Дизайн: Xavier Segers. URL: <https://xaviersegers.com/a-vixens-talenull>.

- Іл. Б.3.3.16** «Modern Polaxis». Австралія, 2014 р. Книга з AR. Дизайн: Sutu, Lukasz Karluk, Lhasa Mencur. Кадри з відео. URL: <https://uploadvr.com/augmented-reality-comic-books-polaxis/null>.
- Іл. Б.3.3.17** «East of the Rockies». Канада, 2019 р. AR історія. Дизайн: Joy Kogawa (main character), Jason Legge (writer), Dirk Van Ginkel (writer), Jam3 design firm (directors). Скріншоти. URL: <https://www.eastoftherockies.com>.
- Іл. Б.3.3.18** «East of the Rockies». Канада, 2019 р. AR історія. Дизайн: Joy Kogawa (main character), Jason Legge (writer), Dirk Van Ginkel (writer), Jam3 design firm (directors). Кадри з трейлера. URL: <https://vimeo.com/299943712>.
- Іл. Б.4.1.1** «Mitsui OSK Lines». Японія, 2017 р. AR-рішення для морської навігації. Mitsui OSK Lines (MOL) та «Furuno Electric». URL: <https://www.mol.co.jp/en/pr/2022/22098.html>.
- Іл. Б.4.1.2** «LEGO® HIDDEN SIDE». 2019 р. Ігровий застосунок. Дизайн: LEGO. Демонстрація гри в NINJAGO. URL: https://youtu.be/PBTey07_vKk.
- Іл. Б.4.1.3** «Egon Schiele — AR Belvedere». Австрія, 2020 р. Виставка з AR. Кадри з відео. URL: <https://youtu.be/O4LWGmRA6BI>.
- Іл. Б.4.1.4** «Silk Bar AR with Hermès». США, 2013 р. Інформаційний застосунок. Дизайн: Marisa Glick, Margrethe Harboe, Michael York, Nattavadee Temkasem, Sarah Robinson, Silvana Perez Cunarro, Wei Ng. Кадри з відео. URL: <https://vimeo.com/66037698>.
- Іл. Б.4.1.5** «Augmented Museum». Італія, 2010 р. Навігаційний застосунок. Дизайн: Rocco Alberto Currà. Кадри з відео. URL: <https://youtu.be/sCX-M7-oldD8>.
- Іл. Б.4.1.6** «Quattro coaster». Швеція, 2018 р. Застосунок-конструктор. Дизайн: POL (Oslo), DVA Studio (Stockholm). © Audi. Кадри з відео. URL: <https://youtu.be/s2EJzR-TXjw>.

- Іл. Б.4.1.7** «Quattro coaster». Швеція, 2018 р. Застосунок-конструктор. Дизайн: POL (Oslo), DVA Studio (Stockholm). © Audi. Кадри з відео. URL: <https://youtu.be/OIFCQMeY3j4>.
- Іл. Б.4.1.8** «PaperBots». Великобританія, 2020 р. Гра-конструктор. Дизайн: Peter Jago. Кадри з відео. URL: https://youtu.be/Y-OmtqAN9_k.
- Іл. Б.4.1.9** «Проект SPARK». Італія, 2015 р. Прототипування пакування для томатного соусу «the Alce Nero». Кадри з відео. URL: <https://youtu.be/LFTdI3Wa3kk>.
- Іл. Б.4.1.10** Punpongsanon Parinya. «SoftAR». 2015 р. Візуальне маніпулювання відчуттям тактильної м'якості за допомогою AR. URL: <https://vimeo.com/134274565>.

Перелік таблиць

- Табл. А.1** Хронологія основних етапів розвитку AR в контексті загального розвитку технологій, графіки та мультимедіа.
- Табл. А.2** Типології доповненої реальності за функціями.
- Табл. А.3** Типології доповненої реальності за компонентами.
- Табл. А.4** Кількість посилань у «Google» з використанням відповідного словосполучення, дані зібрані з головної сторінки пошуковика.
- Табл. А.5** Складові функціонування системи доповненої реальності.
- Табл. А.6** Технології відстеження за основними принципами дії.
- Табл. А.7** Типи маркерів доповненої реальності.
- Табл. А.8** Приклади типів дисплеїв, які використовуються у доповненій реальності.
- Табл. А.9** Класифікація дисплеїв доповненої реальності за форм-фактором.
- Табл. А.10** Класифікація дисплеїв доповненої реальності за мобільністю та типом взаємодії з середовищем.
- Табл. А.11** Класифікація проєкцій.

- Табл. А.12** Класифікація дисплеїв.
- Табл. А.13** Ріст характеристик залежно від типу AR.
- Табл. А.14** Типологія тривимірних дисплеїв.
- Табл. А.15** Умови утворення доповненої реальності. Схема складається з віртуальних даних, контексту в середовищі та наявності між ними наративу.
- Табл. А.16** Характеристики віртуальних даних у доповненій реальності.
- Табл. А.17** Класифікація проєктів доповненої реальності за функціями та сферами.
- Табл. А.18** Типи доповненої реальності за принципом взаємодії із середовищем.
- Табл. А.19** Модальності та відповідні їм інтерфейси користувача.
- Табл. А.20** Типи слухових та тактильних інтерфейсів.
- Табл. А.21** Типи візуальних інтерфейсів.
- Табл. А.22** Властивості доповнених просторів.
- Табл. А.23** Порівняльна таблиця типів AR-анімацій.
- Табл. А.24** Класифікація взаємодії за ознаками.
- Табл. А.25** Форми дії та взаємодії, створені медіа, за Дж. Б. Томпсоном.
- Табл. А.26** Рівні інтерактивності за Д. Родзом та Дж. Азбелом.
- Табл. А.27** Типи інтерактивного спілкування за М. Муром.
- Табл. А.28** Порівняння рівнів інтерактивності Р. Шульмайстера та А. Ель Саддіка.
- Табл. А.29** Рівні інтерактивності за Р. А. Швіром та Е. Р. Місанчуком.
- Табл. А.30** Рівні взаємодії із використанням мультимедіа Міністерства оборони США.
- Табл. А.31** Рівні інтерактивності за Ксав'єром Комптезе.
- Табл. А.32** Порівняльна таблиця рівнів взаємодії.
- Табл. А.33** Схема мультиплощинного співвідношення рівнів М. Мура, Д. Родза та Дж. Азбела та спілкування з Іншими під час взаємодії.

- Табл. А.34** Підказки для сприйняття простору в різних сенсорних каналах.
- Табл. А.35** Збірна схема технік взаємодії у доповненій реальності.
- Табл. А.36** Приклади елементів взаємодії у доповненій реальності.
- Табл. А.37** Приклади форм взаємодії у доповненій реальності з використанням реальних об'єктів.
- Табл. А.38** Узагальнююча схема взаємозв'язків між компонентами контенту в системах доповненої реальності.
- Табл. А.39** Узагальнююча схема взаємозв'язків між компонентами та складовими в системах доповненої реальності.
- Табл. К.1** Переваги та виклики різних типів AR.

Додаток Г

Термінологічний словник

Варіофокальний дисплей — це тип дисплея, який має здатність змінювати свою фокусну відстань або глибину роздільної здатності, щоб забезпечити оптимальний зоровий комфорт для користувача та прибрати акомодативний конфлікт, який виникає, коли зображення на дисплеї розташоване на різних площинах від очей користувача. Зміна фокусної відстані дає змогу варіофокальному дисплею «підлаштовуватись» під фокусні властивості очей користувача, що особливо корисно для доповненої реальності, де змішування віртуальних об'єктів із реальним оточенням може створювати проблеми з фокусуванням.

Взаємодія «Людина-Людина» (Human-Human interaction, ННІ). Взаємодія «Людина-Людина» вивчається з боку психології, соціології, педагогіки, дизайну, інформаційних технологій. Розглядається як безпосередня взаємодія, так і як опосередкована, яка дає змогу людям співпрацювати в будь-який час та в будь-якому місці. Вона тісно переплітається з НСІ, але робить наголос на взаємодії між людьми.

Взаємодія «Людина-Інформація» (Human-Information interaction, НІІ). Взаємодія «Людина-Інформація» досліджується з погляду того, як людина використовує й опрацьовує інформацію та які когнітивні процеси за такої умови відбуваються. Найбільше уваги приділяють цьому напрямку інформаційні науки, когнітивні, семіотика та інші.

Взаємодія «Людина-Комп'ютер»¹ (англ. Human-computer interaction, НСІ), (синоніми: людино-машинна взаємодія, людино-комп'ютерна взаємодія) — полідисциплінарний науковий напрям, що розвивається для вдосконалення методів розробки, оцінювання та впровадження інтерактивних комп'ютерних систем призначених для використання людиною, а також із

¹ Необхідно зробити додатковий наголос, що комп'ютер у цьому контексті та контексті статті уособлює будь-які обчислювальні пристрої (планшети, смартфони тощо), придатні для взаємодії.

метою дослідження різних аспектів цього використання. Ця дисципліна займається методологією і розвитком проектуванням інтерфейсів та теорією взаємодії з інтерфейсами. Акцентує більшу увагу на користувачах обчислювальних пристроїв, ніж інших артефактів та є основою для більш вузьких напрямів.

Взаємодія «Людина-Артефакт» (Human to artifact communication, HAI).

Взаємодія «Людина-Артефакт» розглядається культурологією, естетикою, дизайном, ергономікою, психологією, комп'ютерними науками тощо. Хоча артефакт позначає ширше за змістом поняття, ніж електронний пристрій, коли йдеться про інтерактивну поведінку артефакту, розглядають найчастіше функційні, естетичні та кінестетичні властивості електронного пристрою.

Взаємодія «Людина-Документ» (Human-Document Interaction, HDI).

Взаємодія «Людина-Документ» [229] розглядається з боку використання паперових документів у поєднанні з додатковими цифровими функціями в змішаній реальності.

Взаємодія «Людина-робот» (Human-Robot interaction, HRI).

Взаємодія «Людина-робот» акцентує вивчення на людських, соціальних та організаційних аспектах відносин із роботами.

Взаємодія «Машина-Машина» (Machine–Machine Interaction, MMI).

Взаємодія «Машина-Машина» досліджує інтерфейси та методи обміну даними між пристроями та мережами пристроїв.

Віджети — це самостійні графічні функціональні одиниці, які надають певний набір можливостей і функцій. Елементи — це менші, окремі будівельні блоки, які забезпечують базовий рівень функціональності або візуальний стиль. *3D-віджети* — це елементи керування, розміщені в 3D-сцені з об'єктами, якими маніпулюють. Вони можуть мати різну форму та наповнення, яким користувач може безпосередньо керувати.

Віконний інтерфейс, або WIMP, що розшифровується, як вікна (windows), піктограми (іконки, icons), меню (menu) та вказівник (pointer), це система засобів для взаємодії користувача з комп'ютером, заснована на

представленні всіх доступних системних об'єктів та функцій як графічних компонентів екрана (вікон, значків, меню, кнопок, списків тощо).

Затінення. див. *Оклюдія навколишнього середовища*.

Імерсійні технології, технології занурення (англ. immersion — занурення) — технології повного або часткового занурення у віртуальний світ. Деякі типи імерсійних технологій розширюють реальність, накладаючи цифрові зображення на середовище користувача. Інші створюють нову реальність, повністю закриваючи користувача від решти світу й занурюючи його в цифрове середовище. Вони забезпечують ефект повної або часткової присутності в альтернативному просторі.

Континуум (англ. Continuum) — теорії або моделі, що пояснюють поступовий перехід від однієї умови до іншої без різких змін.

Лідар (англ. Light Identification, Detection and Ranging) — технологія отримання та обробки інформації про віддалені об'єкти за допомогою активних оптичних систем, що використовують явища відбиття світла і його розсіювання в прозорих і напівпрозорих середовищах.

Людино-машинний інтерфейс (англ. Human-machine interface, HMI) — широке поняття, що охоплює інженерні рішення, які забезпечують взаємодію людини-оператора з керованими ним машинами.

Комп'ютерне бачення (Computer Vision) — окрема дисципліна, спрямована на створення систем, які можуть знаходити, відстежувати та визначати об'єкти на основі візуальних даних. А також однойменні технології, що забезпечують не тільки розпізнавання оточення, а також жестів, міток, дотиків тощо, наприклад, «OpenCV» (opencv.org).

Мікроламелі — це технологія або структура, що включає мікроскопічні ламелі або тонкі пластинки, розташовані в певному порядку або шаруваті структури. Вони можуть бути виготовлені з різних матеріалів, таких як метали, скло, полімери або навіть наноматеріали. Часто використовуються в оптиці та світлотехніці для створення специфічних оптичних ефектів, наприклад: дифракція, багат шарові оптичні фільтри, оптичні ґратки та інші

оптичні елементи. Можуть впливати на пропускання світла, його розсіювання, напрямлення та інші оптичні характеристики.

Мультиплексування — передача декількох потоків даних по одному каналу зв'язку.

Оклюдія навколишнього середовища — це техніка затінення та візуалізації в 3D-комп'ютерній графіці, моделюванні та анімації, яка використовується для обчислення того, наскільки кожна точка сцени піддається впливу навколишнього освітлення. Чим ближче поверхні одна до одної, тим менше розсіяного світла потрапить між ними. Наприклад, внутрішня частина трубки зазвичай більш закрита (і, отже, темніша), ніж відкриті зовнішні поверхні, і стає більш темною із заглибленням всередину.

Структуроване світло — це процес проєкції відомого візерунка (сітки або горизонтальних смуг) на сцену. Те, як вони деформуються під час зіткнення з поверхнями, дає змогу обчислювати інформацію про глибину та поверхню об'єктів у сцені.

Шейдери — мініпрограми, що визначають характеристики поверхонь.

Фреймворк (англ. framework — каркас) — готовий каркас, який спрощує та прискорює створення продукту. Зазвичай використовується в контексті створення цифрових продуктів та програмного забезпечення і складається з набору інструментів, бібліотек, шаблонів та рекомендацій. *Фреймворк* — набір бібліотек із кодом, що вирішують базові завдання реєстрації, змішування тощо та звільняють розробників від необхідності винаходити рішення наново. Їх використовують як основу в будь-якому AR-застосунку.

NFC (англ. Near-Field Communication, досл. «зв'язок на невеликих відстанях», «комунікація ближнього поля») — технологія бездротового зв'язку малого радіуса дії «за один дотик». Забезпечує обмін даними між пристроями насамперед смартфонами та безконтактними платіжними терміналами на відстані приблизно 10 см.

RFID (Radio Frequency Identification, радіочастотна ідентифікація) — спосіб автоматичної ідентифікації об'єктів, коли радіосигнали зчитують дані, що зберігаються у RFID-мітках (транспондерах).

S.L.A.M. (англ. simultaneous localization and mapping, одночасна локалізація та відображення) — це обчислювальна проблема побудови або оновлення мапи невідомого середовища з одночасним відстеженням розташування агента в ньому. Алгоритми SLAM базуються на концепціях обчислювальної геометрії та комп'ютерного зору.

Додаток Д

Д.1. Класифікація стереоскопічних дисплеїв

Тривимірні дисплеї поділяються на стереоскопічні, автостереоскопічні та мультископічні. На табл. А.14 зображена класифікація тривимірних дисплеїв. *Стереоскопічні дисплеї* транслюють псевдо-тривимірне зображення, яке сприймає об'ємним мозок людини. Під час перегляду, рух голови та очей спостерігача не змінює отриманої інформації про тривимірні об'єкти, які спостерігаються. Стереоскопія — техніка створення або посилення ілюзії глибини зображення за допомогою стереопсису для бінокулярного зору. Більшість стереоскопічних методів представляють глядачеві пару двовимірних зображень, по одному на кожне око. Просторові дисплеї вже просторово вирівняні із середовищем, однак, для перегляду повноцінного об'ємного зображення, глядачі мають одягати спеціальні окуляри, щоб коректно розділити світловий потік, що формує стереозображення.

Окуляри, залежно від технології, можуть бути поле-розподільні (активна фільтрація — містять електроніку, яка взаємодіє з екраном) або світло-фільтрувальні (пасивна фільтрація — відсікання потоку світла на основі кольору, кута нахилу променя, поляризації світла або інтенсивності світла). Техніка стереорозподілу зображення для дисплеїв відома як закривання (shuttering) [112, с. 36]. Зазвичай цьому ефекту бракує належної фокусної глибини, тому він може спричиняти в деяких людей напругу очей та так званий вергенційно-акомодаційний конфлікт. Однак, завдяки окулярам, спостерігати стереозображення може одночасно багато людей, хоча для всіх воно буде в одному, фіксованому ракурсі.

3D-дисплей зі зміщенням по глибині (Depth-fused 3D (DFD) display) використовує глибину та яскравість для досягнення об'ємного вигляду. Два ідентичних за розміром дисплея розташовані перед очима так, що при погляді на певній відстані від носа, вони повністю перекриваються. Вміст зображення, який має виглядати ближчим до очей, отримує більшу яскравість тоді, як

вміст, який розташований далі, отримує нижчу яскравість [258, с. 115]. Завдяки різниці в яскравості, мозок інтерпретує глибину зображення.

Автостереоскопічні дисплеї дають змогу переглядати об'ємні зображення без застосування спеціальних окулярів, але геометрія перегляду в деяких дисплеях вимагає обмежених положень голови для забезпечення стереоскопічного ефекту. Об'ємне зображення, яке спостерігає глядач може бути реальним або віртуальним. Реальне зображення — те, від якого справді надходять промені світла, що відбиваються від його поверхні, як у дисплеях перевідображення, а у віртуальному зображенні — лише здається, що промені йдуть від об'єкта. Виділяють чотири типи автостереоскопічних дисплеїв: перевідображення, об'ємометричні, паралакс, голографічні.

Дисплеї перевідображення або повторного відображення використовують реальне (фізично наявний об'єкт) або віртуальне зображення (табл. А.8 (28)), як основу і, за допомогою дзеркал, повторно відображають його в новій позиції або глибині. Наприклад, промені в увігнутому дзеркалі віддзеркалюються та врешті перетинаються перед дзеркальною поверхнею, що продукує ефект плаваючого в повітрі об'єкта (табл. А.8 (29)). Дзеркальні поверхні самі не створюють 3D, а створюють копію наявного об'єкта в полі зору глядача. До дисплеїв перевідображення належить дисплей на основі ілюзії привида Пеппера, конструкції з увігнутими дзеркалами та більш складні системи з електронними дисплеями. Такі системи можуть відображувати не лише статичні зображення, а й відео з об'єктами, що рухаються й обертаються.

Об'ємометричні дисплеї або об'ємні дисплеї — безпосередньо висвітлюють просторові точки в межах об'єму дисплея. Наразі використовуються для генерації синтетичних вокселізованих зображень або тривимірних примітивів. За технологією відтворення зображення поділяються на напівпровідникові, мультиплощинні об'ємні дисплеї, варіофокальні дзеркальні дисплеї.

Напівпровідникові дисплеї за допомогою спеціальних джерел енергії, що розташовані зовні матеріала-основи, проходять крізь об'єм матеріалу та збуджують у ньому оптично активні іони, генеруючи видимі фотони (світло). Джерелами енергії можуть бути інфрачервоні лазери, джерела ультрафіолетового випромінювання, електронні пучки, а матеріалом-основою — різні гази, кристали, електроактивні полімери. Основний матеріал-основа мусить мати кілька властивостей: бути прозорим у своєму початковому стані; у збудженому стані повинен випромінювати видиме світло; мати однорідну структуру; мати показник заломлення, подібний до повітря, щоб уникнути спотворення зображення. Напівпровідникові дисплеї — перспективні, але, на жаль, поки що немає способу використовувати повітря, як основу для такого дисплею та немає рішення для уникання створення вокселів-привидів [113, с. 86], що утворюються під час перетину променів активаторів.

Мультиплотинні об'ємні дисплеї будують зображення з мультиплексованої [multiplex] у часі серії двовимірних зображень. Можливі варіанти досягнення цього: екрани, що обертаються, на які створюється проєкція зображення [260]; прямий рух або обертання елементів, що генерують світло; використання багатьох фіксованих панелей, які переключаються між собою [369].

Варіофокальні дзеркальні дисплеї використовують гнучкі дзеркала, щоб перенести зображення з CRT екрана через різні площини глибини об'єму зображення. Простір позаду дзеркал займає обладнання, що відповідає за деформацію поверхні дзеркал, наприклад, гучномовці або вакуумні помпи. Ці дисплеї схожі за принципом дії на дисплеї перевідображення, але з контрольованою поверхнею дзеркал та віддзеркаленням зображення з екрана. Оскільки технології розвиваються, вони стають усе більш поширеними та дають змогу забезпечити більш імерсійний та комфортний досвід для користувачів віртуальної та доповненої реальності.

Паралакс дисплеї — двовимірний дисплей, покритий масивом світлонаправляючих елементів (зазвичай полос), які спрямовують

випромінюване світло від екранного пікселя лише до потрібного ока [204, с. 5]. Зорова система глядача інтерпретує різну світлову інформацію, як таку, що випромінюється однією точкою в просторі [112]. Розділяють паралактичні бар'єрні дисплеї та лінзоподібні листові дисплеї. У *паралактичному бар'єрному дисплеї* ліве та праве зображення чергуються в стовпцях на основному дисплеї, а бар'єр розташований так, що ліві та праві пікселі зображення блокуються від глядача, за винятком зони огляду для лівого та правого ока відповідно [204, с. 5]. У *лінзоподібному листовому дисплеї* застосовують масив оптичних елементів, зокрема напівциліндричні лінзи, які розташовані вертикально відносно основного 2D-дисплея. Циліндричні лінзи спрямовують розсіяне світло від пікселя так, що його можна побачити лише під обмеженим кутом перед дисплеєм, що дає змогу направляти різні пікселі до обмеженої кількості визначених вікон перегляду.

Голографічні дисплеї. Голограма — це фотометрична емульсія, яка записує інтерференційні картини когерентного світла. *Оптична голограма* — реконструює світло, що відбиває об'єкт-основа під час процесу запису з використанням інтерференційних смуг. За належного освітлення інтерференційні смуги функціонують як складна дифракційна решітка, яка реконструює як напрямок, так і інтенсивність світла, відбитого від об'єкта-основи [204, с. 6]. Не може бути відтворена в реальному часі, тому не підходить для анімацій, але з високою якістю відображає статичні об'єкти.

Згенерована комп'ютером голограма, електроголографія — включає два основні процеси: обчислення меж, коли 3D-опис перетворюється на цифрові голографічні смуги та оптичну модуляцію, коли світло модулюється обчисленими смугами та виводиться як 3D-зображення. Голограми можуть бути дуже щільними і відстань між точками-зразками може становити приблизно 0,5 мікрона, а не 100 мікронів, як у звичайному 3D-дисплеї [204, с. 6]. Будь-яке тривимірне запрограмоване комп'ютерне зображення в принципі може бути перетворено в голограму за допомогою перетворень Фур'є [113, с. 87], але головна перепона щодо використання голограм — величезні ресурси,

необхідні для зберігання цифрової інформації про голографічний об'єкт. У повсякденному житті голограмами називають багато чого², що насправді ними не є, наприклад, дисплеї за принципом привида Пеппера, які виглядають подібно до голограм, але фактично не відтворені за тією ж технологією. Також, формально, голограми не є автостереоскопічними чи мультистереоскопічними тому, що відображають не просто пари зображень для імітації тривимірного простору, а буквально є набором точок у просторі.

Мультископічні дисплеї проєктують більше ніж два зображення в простір і можуть відображати об'єкт так, щоб його було видно з декількох місць під різним кутом (табл. А.8 (27)). Поверхня дисплея поділена в такий спосіб, щоб кожне зображення можна було бачити лише в діапазоні місць, вужчому за середню міжочну відстань людини, яка дорівнює 63 мм. Відповідно не тільки кожне око бачить різне зображення, але й різні пари зображень видно з різних місць перегляду [245]. Це дає змогу кільком випадково розташованим спостерігачам одночасно бачити об'єкт у правильному 3D. Мультископічні дисплеї можуть бути побудовані на базі паралакс-дисплею.

Д.2. Еволюція поняття інтерфейсу

Поняття «інтерфейс» увійшло в ужиток у різних професіях та повсякденному житті. Інтуїтивне розуміння цього терміну різниться. Для подальшого використання та дослідження інтерфейсів систем із доповненою реальністю необхідно дослідити визначення цього терміну та його похідних.

Сучасний термін «інтерфейс» має декілька значень. Вони з'являлися поступово, у відповідь на розвиток наук та технологій. Перші згадки цього

² Використання терміну голограми у вебджерелі “The strange legacy of Tupac’s ‘hologram’ lives on five years after its historic Coachella debut”. URL: <https://andscape.com/features/the-strange-legacy-of-tupacs-hologram-after-coachella/> (дата звернення: 10.10.2023 р.)

терміну, як зазначається в Оксфордському словнику англійської мови (2-ге вид., 1989), зафіксовані в 1882 та 1883 pp. [213] та належать до галузі хімії:

— 1882 p. *Bottomley Hydrost.* 13 *The term interface denotes a face of separation, plane or curved, between two contiguous portions of the same substance.*

— 1883 p. *G. Chrystal in Encycl. Brit.* XV. 264/1 *The interface of the two liquids in the axial line.*

У першому значенні інтерфейс означав таке: поверхня, що лежить між двома частинами речовини або простору та утворює їхню спільну межу.

Слово утворене від *inter-* (між) + *face* (форма, фігура, стан (*shape, figure, form*)), де найближче значення «*face*» трактується як «будь-яка поверхня, зазвичай фронтальна або зовнішня» [164], і буквально означає «проміжна поверхня», тобто, поверхня між двома іншими або «спільна межа».

Хоча термін виник ще у 1880-х роках, набув популярності лише у 1960-х, коли його почали використовувати в комп'ютерній індустрії для позначення точки взаємодії між комп'ютером та іншою системою. Тоді й почалося його запозичення іншими галузями. Подібно до поняття архітектури, яке почали вживати за межами дизайну та будівництва, наприклад, у комп'ютерній галузі.

Друге значення цього терміна (а), означає наступне: (перехідне та фігуративне) Засіб або місце взаємодії двох систем, організацій тощо; місце зустрічі або спільна позиція між двома сторонами, системами або дисциплінами; також взаємодія, зв'язок, діалог. Застосування терміну в цьому значенні, за матеріалами Оксфордського словника [213], зустрічається в газетах та книгах культурологічного, інженерного, мистецького, технологічного, психологічного напрямів [213]:

— 1962 p. Book M. McLuhan. *Gutenberg Galaxy*, p. 141 (заголовок) *The interface of the Renaissance was the meeting of medieval pluralism and modern homogeneity and mechanism.*

— 1962 p. Edition «*Evening Star*» (Washington, D.C.) p. 18, Август. *Interface.. seems to mean the liaison between two different agencies that may be*

working on the same project та *The Defense Communications Agency..was made responsible for the resolution of interface problems.*

— 1964 p. A. Battersby. *Network Analysis* viii. 116 *Interfaces: events should be established at stages where the work passes from one department to another—these stages are known as interfaces.*

— 1965 p. H. I. Ansoff *Corporate Strategy* (1968) vi. p. 107. *Functional organizations, such as research, development, finance, and marketing, have a strong interface with the outside environment.*

— 1965 p. Edition «Internat». *Sci. & Technol.* Oct. 30/1. *The advantages of high-speed transport were piddled away at the nodes or interfaces: from bus to train, train to train, city terminal to airport terminal, check-in counter to loading gate, and so on.*

— 1967 p. Edition «Technology Week» 23 Jan. 75/1. *The interface across which the engineer-scientist and the biologist can interact is a broad one.*

— 1967 p. Edition «Times Rev». *Industry* Feb. 27/1. *The third interface between government and the marketing system is with the intermediate firm supplying either other intermediate firms or the consumer.*

— 1967 p. Edition «Economist» 16 Sept. p. ix/1. *The North Sea and Channel ports form the biggest frontiers in world trade—or the biggest interface, in the language of the modern transport man, meaning the place where the greatest quantity of international cargo changes its mode of transport.*

— 1970 p. Edition «Nature» 23 May 684/1. *The interface between physics and music is of direct relevance to..the psychological effects of hearing.*

— 1970 p. Edition «Interior Design Dec». 767/4. *Educationalists are convinced that the need for the interface of lecturer and student will not diminish.*

— 1972 p. Edition «Sci». *Amer.* Nov. 51/3. *The issue of insanity as a defense in criminal cases..is at the interface of medicine, law and ethics.*

Друге значення цього терміна (б) схоже на попереднє, але вживається не в переносному значенні та означає наступне: пристрій, призначений для підключення двох наукових приладів, пристроїв тощо, щоб ними можна було

керувати спільно. Перші згадки застосування терміну в цьому значенні зустрічається переважно в наукових журналах та виданнях із фізики та електроніки [213].

— 1964 p. Ann. N.Y. Acad. Sci. CXV. p. 574. *The collection of components which connects the analog and digital computers to each other, and which controls and converts the data, is generally termed the 'interface'.*

— 1966 p. Electronics 3 Oct. p. 130. *If a flight carries special equipment, then modular interfaces can easily be designed to adapt the general-purpose computer to the equipment.*

— 1973 p. T. Allbeury Choice of Enemies xvi. p. 79. *Programs are written in a computer language... If you wanted to use one of the IBM languages on an ICL machine, you'd have to have what's called an interface to make the two different things compatible.*

— 1973 p. Physics Bull. Apr. 242/3 *Scobie and Wellum...have built interfaces for two pulse height analysers.*

Кембріджський словник [211] надає такі визначення:

1. Зв'язок між двома елементами електронного обладнання або між людиною та комп'ютером (приклад: Мій комп'ютер має мережевий інтерфейс, що дає змогу мені дістатися до інших комп'ютерів). 2. ситуація, спосіб або місце, де дві речі поєднують ся і впливають одна на одну (приклад: Інтерфейс між технологіями та традиціями. Нам потрібен чіткіший інтерфейс між керівництвом та робочою силою).

Словник Мериам-Вебстер [212] надає таке визначення:

— 1.a. місце, де незалежні й часто не пов'язані між собою системи зустрічаються і діють, або взаємодіють між собою (інтерфейс людина-машина)

— 1.b. засоби, за допомогою яких взаємодія або комунікація досягаються за допомогою інтерфейсу

— 2. поверхня, що утворює спільну межу двох тіл, просторів або фаз розділу (наприклад: нафта-вода)

У ньому ж надається і визначення інтерфейсу в медичній галузі:

— поверхня, що утворює спільну межу двох тіл, просторів або фаз, що межує (є інтерфейсом) між різними тканинами, такими як шкіра, жирова тканина та м'язи — Х. П. Шван (H. P. Schwan)

American Heritage® Dictionary [135] надає такі трактування:

1. Поверхня, що утворює спільну межу між сусідніми зонами, тілами, речовинами або фазами.

2. Точка, у якій взаємодіють незалежні системи або різноманітні групи: «інтерфейс між злочинністю та політикою, де можна знайти більшу частину нашої реальності» (Джек Кролл).

3. Щодо комп'ютерів: а. Система взаємодії або зв'язку між комп'ютером та іншою сутністю, наприклад, принтер, інший комп'ютер, мережа чи користувач-людина. б. Пристрій (наприклад, кабель, мережева плата, монітор або клавіатура), що забезпечує взаємодію або зв'язок між комп'ютером та іншою сутністю. с. Схема або дизайн інтерактивних елементів комп'ютерної програми, інтернет-служби або електронного пристрою.

Словник «Collins English Dictionary» [135] надає такі значення:

1. (Хімія) хімічна поверхня, яка утворює межу між двома тілами, рідинами або хімічними фазами. 2. спільна точка або межа між двома речами, предметами тощо. 3. (Інформатика) електрична схема, що зв'язує один пристрій, зокрема комп'ютер, з іншим.

Словник «Random House Kernerman» Webster's College Dictionary [135]

1. поверхня, що розглядається як спільна межа двох тіл, просторів або фаз. 2. територія, спільна між двома або більше дисциплінами чи напрямками навчання або пов'язана між ними. 3. спільний кордон або взаємозв'язок між системами, обладнанням, концепціями або людьми. 4. те, що дає можливість окремим, а іноді й несумісним елементам координувати або спілкуватися. 5. спілкування або взаємодія. 6. комп'ютерне обладнання або програмне забезпечення, призначене для передачі інформації між апаратними

пристроями, між програмними програмами, між пристроями та програмами або між комп'ютером та користувачем.

Словник української мови у 20 томах [36]: 1. Сукупність засобів і правил, що забезпечують взаємодію пристроїв обчислювальної системи та (або) програми, а також їхню взаємодію з людиною.

— *Доступ до окремих видань здійснюється через спеціальний інтерфейс, основним елементом якого є підсистема електронного каталогу (з наук. літ.);*

— *Інтерфейси є основою взаємодії сучасних інформаційних систем (з наук.-попул. літ.);*

— *Завдання інтерфейсу — бути засобом спілкування однієї системи з іншою (з навч. літ.);*

— *Інтерфейс .. керування цілком сумісний із лазерними гарматами. Вся процедура встановлення і відладки відбере лише кілька годин (О. Авраменко, В. Авраменко).*

Великий тлумачний словник сучасної мови [35] визначає інтерфейс, як:

1. Спільна межа двох об'єктів, взаємодія через яку цілком визначена. 2. Межа між двома функціональними пристроями, що визначається своїми функціональними характеристиками, загальними механічними характеристиками сполучення, характеристиками сигналів обміну та ін. 3. Зв'язок між будь-якими двома функціонуючими одиницями, включно з організмами. 4. спец. Сукупність засобів, що забезпечують взаємодію пристроїв обчислювальної системи та програм, а також їхню взаємодію з людиною.

Окрім використання слова «інтерфейс» як іменника, також можливе застосування слова в якості дієслова [135], що не має прямого переводу на українську: (англ.) interfaced; interfacing; interfaces.

У перехідному значенні означає: 1. підключення за допомогою інтерфейсу. 2. служити інтерфейсом для чогось. У неперехідному означає: 1. стати взаємозв'язаними. 2. гармонійно взаємодіяти або координувати.

Проте, необхідно бути обережними у використанні цього дієслова в деяких галузях. Ще в період розповсюдження слова були намагання використовувати його як дієслово, але це зустріло заперечення поміж людей, вважаючи його прикладом бюрократичного жаргону. В опитуванні American Heritage Dictionary 2011 року [135], респонденти визнали використання слова інтерфейс у ролі дієслова неприйнятним у прикладі, який позначає взаємодію між людьми (57%): «The managing editor must interface with a variety of freelance editors and proofreaders.». Також, дещо більший відсоток не схвалив дієслово «інтерфейс» у прикладах, що вказують на взаємодію між корпорацією та громадськістю (66%) або між різними громадами міста (65%). Дослідники припускають, що письменникам, які хочуть уникнути жаргонних тонів, було б добре уникати такого використання.

Окрім загальних значень, у наведених вище прикладах можна зустріти використання терміну в ролі гіпоніму, тобто слова з вузьким значенням, яке називає предмет (властивість, ознаку) як елемент класу (множини).

Так, в інформатиці під цим словом можуть вживати *command-line interface*, *user interface* (синонім *UI*) та його підвиди (*character user interface*, *graphical user interface*, *web user interface* тощо) і в загальному виді позначати «зв'язок між користувачем та машиною».

В об'єктно-орієнтованому програмуванні може означати «фрагмент коду, що визначає набір операцій, які має реалізувати інший код» або «зв'язок між частинами програмного забезпечення»: *abstract interface*, *application programming interface*, *generic interface*, *marker interface*, *network interface*, *programming interface*. У біохімії можна зустріти термін «*interface*» [210], що означає внутрішню поверхню згорнутого білка, як протиставлення терміну «*exoface*» — зовнішній поверхні.

Отже, у підсумку, у загальному значенні, **інтерфейс** (ім.) — «спільна межа» (засіб або місце взаємодії) між окремими системами, через яку вони взаємодіють між собою; сукупність засобів і правил, що забезпечують

взаємодію окремих систем (наприклад, людини та програмного забезпечення, програмного й апаратного забезпечення і т. п.).

Д.3. Аналіз мобільної AR-розповіді «На схід від Скелястих гір»

У 2019 році було випущено проєкт «На схід від Скелястих гір» (East of the Rockies) — AR-розповідь, що розгортається в інтернувальному таборі Слокан у Японії під час Другої світової війни (іл. Б.3.3.18) [154]. Ця історія розповідається з погляду 17-річної дівчини Юкі [290] і стосується життя японських сімей, які проживали в Канаді та були вигнані до відокремлених таборів канадським урядом після подій, спричинених Японією під час Другої світової війни. Реалізацією цього проєкту займалася команда дизайнерської фірми «jam3», письменники Джейсон Легге, Дірк Ван Гінкель і Джой Когава. Остання, що є свідком подій, була вдосконалена поетеса, активістка, член Ордену Канади, Ордену Британської Колумбії і японського Ордену Сонця, що сходить. Цей проєкт є повністю цифровим та не покладається на фізичну основу, наприклад книгу, але використовує навколишній простір. Концептуалізований із вдумливою врахованістю деталей, він добре відтворює сприйняття відеоігор, наприклад «Firewatch», «Journey» та «The Long Dark», особливо щодо освітлення та текстур. Створення візуального наповнення включало в себе використання архівних світлин та застосування запису рухів акторів для анімацій.

Зважаючи на те, що середні мобільні пристрої не надто потужні, AR-застосунки потребують оптимізації моделей та помірної деталізації. Варто зазначити, що персонажі в розповіді мають достатній, але спрощений вигляд (іл. Б.3.3.17 (6)), відсутність пророблених облич чи дрібних реалістичних деталей. Текстурні елементи максимально спрощені, матеріали багатьох тривимірних об'єктів відрізняються лише кольором, не акцентуючи увагу на таких ознаках реалістичності, як рефлексивність, прозорість, рефракція тощо. Ця оптимізація створила можливість для створення великої за мірками AR

сцени в контексті доповненої реальності, доступної для вивчення. Кожна сцена гри насичена багатьма предметами (іл. Б.3.3.17 (8)), з якими доступна взаємодія, позначені позначені точковими маркерами. Глядачі слідкують за перебігом історії, використовуючи різні способи взаємодії, а саме: дотики, рухи пальцями, збільшення об'єктів та деталей у кожній сцені. Кожна взаємодія активізує частину історії, яку розповідає від першої особи Юкі (прочитаного голосом Джой, онуки Анни). Роздивляючись гру, можна помітити деякі влучні прийоми. Наприклад, коли персонажі з валізами йдуть дорогою, завдяки зміщенню поверхні під ними, вони весь час залишаються в кадрі, або коли Юкі заходить до будівлі, спершу не видно, що всередині, а потім стіни зникають і показують внутрішнє облаштування. Цей перехід виконує подвійну роль: дає змогу завантажити об'єкти на сцену, що раніше були непомітними та надає деякий простір для засвоєння деталей.

Розгляд досвіду перегляду історії, дав змогу визначити його недоліки та сформулювати ідеї для покращення. Перегляд відбувався на смартфоні iPhone 7, у вечірній час за штучного стельового освітлення. Ініціювання гри передбачає вибір режиму, у якому гравець планує грати: з використанням доповненої реальності (AR) або без неї. У звичайному режимі гравець має можливість наближувати зображення розсуненням пальців на поверхні екрану й обертати сцену. Проте, обмеженість обертання залежить від камери, що націлюється на основних персонажів. В AR-режимі гравець здатен наближати зображення об'єктів, використовуючи функції камери, і переміщуватися навколо сцени. Обираючи AR-режим, відбувається етап визначення плоскої поверхні, у якому гра рекомендує використовувати стіл, а не підлогу, як опору для відображення. Це візуалізується за допомогою хвилястої сітки розпізнаної поверхні, яку можна підтвердити як дійсну. Далі відбувається завантаження сцени, яке сигналізується невеликим написом у правому верхньому куті. У цей момент на екрані зображено лише платівковий програвач, іншої інформації немає. Однак, рухаючи камерою, стає зрозуміло, що ми стоїмо занадто близько до центральної частини сцени, тож потрібно відійти на деяку відстань назад,

щоби переглянути верхню частину, яка містить вхідний напис про першу частину «The Camp». Деколи, під час продовження сюжету, гра показує індикатор завантаження подібний до кола, що обертається, проте, це не завжди чітко вказує на статус завантаження або можливу затримку, якщо процес триває понад 5–7 секунд.

Під час роботи гра застосовує фільтрацію для візуальної інформації з камери, що призводить до чорно-білого зображення. Це вдосконалює виділення накладеної графіки, яка може бути недостатньо контрастною. У приміщенні, де відбувався перегляд гри, освітлення було достатнім, що призвело до сприйняття графіки більш темною та тьмяною, а можливості регулювання яскравості не було. Щоб покращити відображення було б важливо дати змогу користувачам налаштовувати яскравість. Вимкнути освітлення в кімнаті теж було неможливо, бо застосунок покладається на використання камери, яка не функціонує в умовах зниженої освітленості. Пропозицією для покращення може бути розроблення додаткових методів, які не будуть залежати від камери в темряві. На додаток, під час роботи телефон значно нагрівався, зокрема, камера, і навіть вимкнувся через перегрів. Іншою проблемою стало фізичне навантаження. Кожна із частин, на яку поділена історія, виявилася надто довгою, щоб так довго тримати телефон відставленою рукою і потребувала перерви для відпочинку. Тримання телефону для спостереження за сценою спонукало до постійного руху, переміщення камери, роздивляння з різних сторін, занурення в моделі. Деякі об'єкти, зокрема візки чи дрова, які розташовуються навколо будинків, не було видно у версії без AR, але й не було якихось незвичайних знахідок чи нагород, прихованих на території, які б мали спонукати до переміщень.

Що стосується поєднання з навколишнім простором, у зображенні з рекламних матеріалів (іл. Б.3.3.17 (5)) видно земельну ділянку в зимній період, межі якої обіграно відірваними шматочками снігу для більш плавного переходу до реального простору. Доречний крок, оскільки одна із помилок, яку можна допустити під час розроблення тривимірної сцени, різкий обрив або

обрізання моделей чи малюнків поза кадром та робочим простором. Однак, у реальному застосунку межі сцени просто плавно розчинялись у просторі (іл. Б.3.3.17 (4)). Хоч цей перехід і був доречним у певні моменти сюжету, в інші рази хотілося більш чіткої межі, обіграної графічно, як у концепті.

Переважно перспектива перегляду сцени була зверху під кутом 45 градусів, у той час як у звичайному режимі огляд відбувався зсередини будівель на рівні очей людини. Це створювало враження два протилежні враження роздивляння лялькового будиночку ззовні або перебування всередині. Зміна позиції тіла давала змогу роздивитися сцену з різних ракурсів. Найбільш комфортно було розглядати гру сидячи за столом, але це обмежувало огляд, оскільки гра не давала можливості обертати сцену. Стоячи була змога вільно оглядати сцену, але для розгляду дрібних деталей потрібно було нахилитися. Контролювати положення сцени дала змогу й незапланована помилка. Якщо вимкнути екран телефона та відправити його в сон, а потім продовжити гру, то гра розташувала віртуальну сцену не в тому місці, де вона була раніше. Це також могло привести до зміни висоти розміщення, що полегшувало огляд сцени на рівні очей без зайвих присідань. Знову відкалібрувати гру можна було через налаштування (іл. Б.3.3.17 (2)).

Під час розповіді на екрані з'являлося завдання натиснути на всі активні об'єкти, які потрібно було знайти самотійно. Вони підсвічувалися білою хвилястою текстурою, а інколи й невеликою точкою, від якої відходять концентричні кола (іл. Б.3.3.17 (3 та 8)). У той час як для великих об'єктів цього було достатньо, підсвічування маленьких об'єктів було не завжди помітним, що зазначили деякі гравці. На певному етапі гри, коли головна героїня вийшла на двір, гравці загубили її і продовжували шукати об'єкти всередині будинку. Також, інколи не було зрозуміло, чи потрібно ще щось знаходити чи досліджувати. Коли було показано баню на екрані, то видно було тільки половину будівлі. Звикнувши до того, що попередні будинки мали лише одну зовнішню стіну, не було очевидно, що потрібно заглянути в будівлю з іншого боку.

У грі не було можливості вільно натискати на предмети, окрім передбачених сюжетом, а кількість можливих дій була зовсім невелика (кліки та свайпи). Об'єкти, що активуватись, з'являлися на екрані, перекриваючи всі інші, їх можна було обертати в просторі, роздивлятись, але не було можливості збільшити сильніше та прибрати з екрану до завершення програвання коментаря про них. Також бракувало можливості тимчасово наблизити зону інтересу, особливо під час розгляду активних об'єктів. Частково це пов'язано з низькополігональною графікою, яку б показало занадто сильне наближення, але, на нашу думку, глядач уже усвідомлює, що деталізація обмежена.

Дизайн AR-ігор передбачає комплексний підхід, що враховує роботу, як над графікою та анімацією, так і над проєктуванням досвіду, який отримує гравець. З огляду на описане вище, для поліпшення враження від досвіду доповненої реальності (AR), можна розглянути низку покращень. З погляду ергономіки, розділення кожної глави на менші частини може полегшити вибір контенту, подібно до обрання глав. Об'єднання звичайного та доповненого режимів та додавання можливості одночасно обертати та обходити сцену забезпечить гравцеві більшу гнучкість. Важливою може стати здатність тимчасово наближувати об'єкти, використовуючи плавну техніку зміни масштабу, яка дає змогу гравцю визначити зручний рівень деталізації. Також, можливість регулювати положення сцени по висоті може забезпечити більше кутів огляду, хоча варто врахувати, що це може вплинути на сприйняття взаємодії гравця з доповненою реальністю. Додавання підказок щодо неоглянутих зон та об'єктів за межами кадру візуально допоможе гравцю у виявленні всіх деталей. Впровадження значків або індикаторів в HUD-зоні може ще більше спростити навігацію гравця. Додавання більшої кількості анімацій та інтерактивних об'єктів може зробити гру більш насиченою, а режим вільної гри та додаткові взаємодії, пов'язані зі сюжетом та завданнями, додадуть варіативність та глибину в ігровий досвід.

На сайті проєкту можна також знайти супутні матеріали для обговорення в класі зі вчителем. Використання питань із супутніх матеріалів

для ігрової активності може сприяти залученню гравців до активного навчання, а деякі питання могли б стати основою для ігрової активності. Наприклад, діти, які покидали дім, могли взяти із собою лише валізу вагою до 34 кілограм і гравцю можна було б запропонувати зібрати валізу та спробувати вмістити в неї обрані речі.

Загалом, незважаючи на можливості для вдосконалення взаємодії чи дизайну, розглянутий проєкт ефективно виконує завдання розповісти дітям та підліткам про історичні події за допомогою доповненої реальності. Гра використовує гібридний підхід, де інтерактивний наратив переплітається з можливістю фізичного переміщення в просторі. Вона здатна залучити увагу та інтерес дітей та підлітків до історії, роблячи її більш доступною та зрозумілою.

Д.4. Принципи спокійних технологій для AR

Принцип «мінімум технологій» означає, що чим менше задіяно технологій та ресурсів в AR-системі для виконання завдання, тим легше її обслуговувати та підтримувати. Мінімально достатня кількість технологій, потрібна для вирішення проблеми сприяє зменшенню можливих поломок, появі стандартизації, очевидності роботи системи. Продукт, що задіює правильну кількість технологій швидко стає невидимим. Якщо є можливість не створювати нові залежності в системі — цього варто уникнути. Це не означає, що такий продукт легше створювати. Навпаки, чим простіша у використанні річ, тим складнішого процесу розроблення вона може потребувати.

Принцип «найменша можлива увага» побудований на законах когнітивного сприйняття. Чим більше речей потребують уваги, тим менше її залишається на виконання справ, і тим більше стресу спричиняють ці взаємодії. Впливаючі вікна, як приклад, здатні повністю переключити на себе увагу. Такі елементи не завжди оцінюють контекст та доцільність втручання

та відволікання від основного завдання. Принцип найменшої уваги пропонує обирати форми сповіщень відповідно до важливості повідомлень. Насичуючи простір віртуальними даними, не всі вони рівноцінно важливі та нагальні. Візуальний дисплей може бути вторинним джерелом інформації, а кнопки, світло, лампи, звуки, вібрації — первинним. Важливу роль відіграють і умови, у яких відбувається взаємодія: шум, тиша, натовп, вільний простір тощо.

Принцип «інформувати та заспокоювати» пов'язаний із потребою зняти ношу контролю завдань із користувача та запевнити, що система сповістить його про свій стан та дії. Індикатори, повідомлення, звуки, рядки статусу, екстрені сповіщення — різні типи відповідно до ситуації. У проєктах Чадалавади та Ватанабе [133; 396], спрямованих на створення систем для AR-візуалізації траєкторії руху мобільного візка під час переміщення роботом, автори констатують, що люди віддають перевагу взаємодії із роботами, коли вони (роботи) візуально демонструють свої наміри, використовуючи візуальні підказки.

Принцип «використання периферії». Визначаючи доцільність відволікати користувача від його поточного завдання, треба зважати, що увага може бути зосереджена на чомусь одному. Спокійні технології переміщуються між центром уваги та периферією [400]. У центрі уваги люди мають більшу роздільну здатність сприйняття та помічають невеликі зміни й деталі, а чим далі від центру до периферії, тим менша роздільна здатність розпізнавання. Це означає, що, по-перше, треба знижувати кількість відволікаючих деталей, які втручаються в центральну зону уваги, а по-друге, повідомлення на периферії мають бути більшими за площею, але менш візуально «шумними».

За відсутності термінових повідомлень, периферія — хороше місце для передавання інформації через можливість чути звуки, розпізнавати форми та об'єкти. Процес водіння повною мірою демонструє мультисенсорний досвід із різного рівня завданнями та вивіреном рівнем уваги в процесі. Індикатори на периферії повідомляють про стан авто, не відволікаючи водія від основного завдання, а дзеркала дають змогу отримати більший простір огляду без

потреби обертатися чи зупиняти основне завдання [130, с. 25]. Розподіляючи повідомлення між рівнями уваги, треба спиратися на візуальну інформацію (первинна увага), звукову, вібрації чи світло (вторинна) та індикатори (третинна).

Індикатори статусу поділяються на візуальні, аудіальні та тактильні й кожна категорія містить спокійні варіанти сповіщень. Поміж візуальних індикаторів це: світло, як мінімум світлодіод з індикатором увімкнено/вимкнено; графічні точки статусу, різного кольору, яскравості та форми; іконки. Колір у таких індикаторах зазвичай базується на загально прийнятих позначеннях, наприклад: червоний — заборонено, вимкнено; зелений — дозволено, онлайн тощо. В аудіальних можна виділити в таку категорію тонери, які видають одиничні звуки або їхні комбінації. Також, тонери можуть додати наголосу світловим індикаторам або виступати самостійним елементом. Такі індикатори мають невелике когнітивне навантаження і можуть знімати його з візуального поля та слугувати унікальним ідентифікатором певного результату. Тактильні зручні тим, що створюють фізичні нагадування і можуть не турбувати інших людей. Хоча вони доволі різноманітні, зазвичай використовуються прості комбінації та сигнали.

Не всі сповіщення мають бути спокійними. У середовищі удосталь прикладів об'єктів, які мають бути гучними: чайники, датчики диму, усі вони мають об'єктивні причини відвертати увагу. У бажанні зробити щось помітним та гучним Амбер Кейз [130] рекомендує послуговуватися низкою правил. По-перше, чим частіше сповіщення, тим спокійнішим воно має бути. По-друге, чи можливі фальшиві позитивні спрацьовування та як їх уникнути? І по-третє, якщо можна розмістити сповіщення десь у просторі й без галасу, варто це зробити.

Принцип «поєднання технологій та людяності» говорить про те, що не потрібно змушувати людей діяти як машини, щоб виконати завдання, а машини ставати людьми [130, с. 29]. Цей принцип побудований на прийнятті

потреб людей та їхніх слабкостей, і пропонує під час проєктування зважати на такі аспекти дизайну, як зручність, тактильність, доступність, емоції, персональна історія тощо. Він теж закликає поважати людську увагу, нагороджувати її та конструктивно підкріплювати. Отримуючи в розпорядження персональний простір людини, варто добірливо наповнювати його віртуальними даними, з урахуванням насамперед потреб людини, а не програми.

Принцип «комунікувати без розмови» нагадує, що повідомлення можна доносити не тільки словами. Аудіальний інтерфейс теж потребує повної уваги і відволікає на стільки ж, як і візуальний. Альтернативою голосу можуть стати звуки, тони та світло як стимули. Розпізнавання голосу також вимагає тихого оточення та має використовуватися тільки в дуже важливих ситуаціях. До того ж, використання голосу вимагає врахування різних мов, акцентів тощо й менш універсальне ніж тони, символи чи світло (хоча символи теж можуть змінювати своє значення залежно від контексту). Говорячи про спокійні технології, не зайвим буде використання заспокійливих звуків та тонів, замість різких та надто відволікаючих там, де це можливо. Тон має відповідати важливості повідомлення.

Принцип «працювати, коли зламається», нагадує, що не все йде за планом і розроблення має це передбачати. Усе ламається в неочікуваний момент, але необхідно передбачити пограничні випадки і відповідні рішення. В англійській мові є гарне слово *Fallback*, яке означає відкат до меншого, але подібного або очевидного функціоналу, запасний план. Причому, як зазначає Амбер Кейз [130], пограничні випадки мають більшу значущість, ніж частота, з якою вони трапляються. Прикладом цього принципу є ліфт та сходи, які дублюють функцію переміщення між поверхами. У доповненій реальності це може бути зміна режимів, перехід від AR до простого 3D, AR-навігація та звичайна електронна мапа.

Усі сповіщення виникають у відповідь на тригери: дії або зовнішні обставини, пов'язані з контекстом чи часом. Системи доповненої реальності

працюють у мінливому середовищі й залежать від чогось зовні системи, що може не підлягати контролю. З урахуванням такої поведінки та того, що якась зовнішня подія може не відбутись, варто подбати про відстеження другорядних та третьорядних тригерів для важливих подій, якщо первинні не спрацюють.

Принцип «поважати соціальні норми» означає, що введення доповненої реальності не має відмітати ті правила поведінки та норми, прийняті в суспільстві. Звісно, питання норми не статичне, але має відбуватися поступове культурне опанування технологій. Багато шуму наробила AR-гра «Pokemon Go», коли згенеровані тварини не навмисно опинились у церкві, що призвело до неприйнятної поведінки азартних мисливців та засудження гри з боку суспільства. Занадто різка зміна поведінки та способу виконання завдання теж може спричиняти відторгнення. Найкраща стратегія — коли технології повертають до норми, компенсуючи втрачені можливості, як окуляри чи слухові апарати [130]. Колись камера в смартфоні була проголошена кінцем приватності, а потім усі завели собі такий смартфон і це стало новою нормою [130, с. 46]. Сьогодні AR-окуляри будуть спричиняти схожі побоювання і потрібен час, щоб це стало нормою.

Принцип «пошук способів заспокоєння» говорить про те, що ніколи не пізно «заспокоїти» технологію та знайти, що покращити й оптимізувати з погляду взаємодії та вищезазначених принципів.

Д.5. Чинники, що впливають на дизайн AR. Переваги та виклики різних типів AR.

Таблиця Д.5.1. Переваги та виклики різних типів AR

Характеристики	Виклики	Можливі рішення
1	2	3
Загальні виклики дизайну та розроблення		
Концепція	Використання без чіткого розуміння «навіщо» обезцінює введення технології в проєкт.	Можливі переваги: — Доступність та наочність інформації. Отримання інформації в зрозумілій формі; — Контекстуальність. Тісний зв'язок між оточенням та інформацією, що відтворюється; — Персоналізація досвіду. Можливість персонального занурення та більш тісного, індивідуального контакту з доповненням.
Потреба доцільного використання AR у проєкті.	Щоб отримати максимальну користь від залучення AR, треба щонайменше: — Визначити зрозумілу мету застосування, коли технологія AR себе виправдовує і приносить користь; — не уникати можливості комбінувати AR з різними іншими технологіями; — не намагатися обмежитися суто AR у складних проєктах та дати змогу користувачу обирати зручний режим. Найкращі приклади можна побачити в тих проєктах, де технології працюють у колаборації.	
Навчання користувачів	Залучення AR у проєкт може потребувати додаткового планування організаційного процесу та навчання користувачів роботі з технологією чи її запуску.	— Скласти план підготовчої взаємодії та алгоритмів вирішення можливих проблем.

Продовження таблиці Д.5.1.

1	2	3
Доступність	Потреба встановлювати індивідуальні застосунки для кожного AR досвіду стає бар'єром із використання для багатьох користувачів.	Потенційне рішення — поява агрегаторів застосунків AR, що полегшать користувачам доступ до окремого проєкту. А поки що дизайнери мають орієнтуватися на ті функційні обмеження, які пропонують наявні AR-редактори.
Можливості розроблення	Застосунки, що пропонують типовий функціонал для створення, мають не великий діапазон можливостей, що відрізняється на конкретних платформах. Вони не підходять для проєктів з якимись відмінностями в принципах роботи.	Створити унікальний застосунок.
Оптимізація	Через невисоку потужність споживчих пристроїв для перегляду AR, занадто складні та важкі сцени будуть тормозити та погіршувати загальний досвід.	Оптимізація графіки, моделей, текстур, 3D-сцен тощо.
Взаємодія	Недосконалість технологій, помилки та неточності в яких, погіршують загальний досвід користувачів.	— Робота з помилками; — захист критично важливих функцій; — інструкції з вирішення проблем.
Безпека	Фізична безпека під час використання AR, пов'язана з перешкодами на шляху, обмеженням видимості в шоломах, доступним простором для переміщення, небезпеками, пов'язаними з переміщенням вулицями, переходом доріг, безпекою та комфортом оточуючих.	— Проробити сценарії повідомлень та інструкцій щодо безпечного використання застосунків, особливо на вулиці.

Продовження таблиці Д.5.1.

1	2	3
Законодавство	Через порівняно невелику поширеність, ще недостатньо пророблені закони щодо зйомки та фіксації камерами середовища для роботи AR, що може бути перепорою для використання її в певних місцях.	— Діяти відповідно до законів; — поступова зміна норм та запуск обговорень.
Зовнішні чинники	Усі ті чинники, що впливають на розміщення обладнання, площа, характер середовища, погодні умови тощо.	
Обмеження ПО/ПЗ	Технічні можливості обладнання, його фізичні характеристики та вимоги щодо встановлення.	
Обмеження ПО/ПЗ	— Труднощі розпізнавання поверхонь та предметів; — проблеми із синхронізацією реальних та віртуальних рухів; — відсутність корекції перспективних викривлень для поверхні накладання або віртуального об'єкта.	— Вдосконалення алгоритмів обробки; — покращення обладнання; — тестування; — дизайн з урахуванням обмежень.
Обмеження ПО/ПЗ	— Якість графіки, яку може відтворити та обробити система, а також ступінь, до якого вона здатна розрахувати поєднання віртуального та базового.	— Завдання дизайнера — обіграти візуально та концептуально такі обмеження.
Обчислення: фокусування погляду	— Розпізнавання точки фокусу погляду (у певних системах). Людський зір весь час фокусується на єдиному об'єкті інтересу, нівелюючи деталі на інших присутніх об'єктах.	Поточні інтерфейси демонструють всю наявну інформацію з однаковою чіткістю, але мають навчитися фільтрувати її показ з урахуванням погляду та фокусу на певному об'єкті, щоб не переобтяжувати увагу зайвими деталями.
Стандартизація	Відсутність стандартів дизайну та розробки.	— Введення досліджень.

Продовження таблиці Д.5.1.

1	2	3
Стереоскопічна AR		
Обчислення: стереоскопія	— Відображення графіки перед поверхнею реального об'єкта потребує стереоскопічної проєкції, яка залежить від точки зору так само, як і для інших непласких екранів [322].	
Обчислення: тіні	— Глядачі будуть бачити тіні оклюзії, сгенеровані для інших.	Варіанти рішень, за О. Бімбером [113, с. 59]: — джерело освітлення прикріплюється до точки огляду; — тіні генеруються лише для тих поверхонь, які видимі з точки огляду (місця розташування проєктора); — кожний проєктор має відеокамеру, що збирає інформацію про відбивну здатність поверхонь реальних об'єктів та наявні тіні.
Імерсійна стереоскопічна AR		
Взаємодія	— Призначена лише на одного активного користувача з можливістю відслідковування його голови.	— Для більшої кількості активних користувачів можуть застосовуватися мультиплексовані окуляри із затворами [322]. Мультиплексування передбачає розміщення в межах смуги пропуску вихідного каналу зв'язку кількох каналів зв'язку з меншою шириною.
Відео AR (на базі моніторів)		
Взаємодія	— Пряма взаємодія з реальним середовищем і його графічним доповненням зазвичай у таких конфігураціях не підтримуються.	Часткове рішення — використання сенсорних екранів.
Обмеження ПО/ПЗ	— Невелика зона для доповнення, обмежена розмірами монітору, а також обмежена роздільна здатність, зокрема, відстежуваної базової реальності для VST рішень.	

Продовження таблиці Д.5.1.

1	2	3
Сприйняття	— Збоку сприйняття можлива поява відчуття, коли доповнення більше схоже на дистанційний перегляд, ніж метафору вікна у світ [113, с. 8].	— Посилення концептуального наративу.
AR з прямою проєкцією		
Зовнішні фактори: фізичний об'єкт	— Використання світла, для накладання доповнення на картини, може їх пошкодити.	— У ультрафіолетове та ультрачервоне випромінювання можна і треба фільтрувати спеціальними фільтрами, встановленими перед проєкторами.
Зовнішні фактори: фізичний об'єкт	— Пошкодження упродовж 1-ї години із силою 1000lx рівноцінне 1000 годин із силою 1lx та залежить від матеріалу та кольору картини та довжини світлової хвилі [113, с. 81].	— Делікатні зони освітлюють не більше ніж 100lx-150lx; — не таким шкідливим є тимчасове освітлення, наприклад, коли освітлені, яскраві точки чи зони з'являються на полотні на декілька секунд за 2-3 хвилини презентації; — виставити поріг інтенсивності освітлення та перевірити можливе погіршення відображення доповнення та артефактів.
Зовнішні фактори: фізичний об'єкт	Побічні ефекти, що залежать від світла та точки перегляду: неламбертівські дзеркальні відбиття, власні тіні, підповерхневе розсіювання та взаємовідбиття, які створюються мазками пензля, матеріалом фарби чи текстурою полотна [113, с. 81].	— Тестування та корекція.
VST / OST AR		
Обмеження ПО/ПЗ	— Низька роздільна здатність у відстежуючому пристрої, що фіксує базову реальність, як для OST, так і для VST-рішень, що призводить до неточного чи нечіткого розпізнавання чи відображення базової реальності.	— Зміна відстежуючого пристрою; — пристосування.

Продовження таблиці Д.5.1.

1	2	3
Наголовна VST / OST AR		
Обмеження ПО/ПЗ	— Обмежене поле зору [113, с. 3].	— Додаткові заходи безпеки; — підказки про об'єкти за межами поля зору.
Наголовна VST AR		
Сприйняття	VST краще синхронізують віртуальні та базові пікселі, але за це доводиться платити більшим часом обробки та можливими затримками. Це може викликати дискомфорт або симуляторну хворобу, тошноту, особливо під час швидких рухів [113, с. 4].	— Уникати потреби швидких рухів у сценаріях взаємодії.
Наголовна OST AR		
Обмеження ПО/ПЗ: відображення	— Проблема постійної глибини зображення, коли очі змушені постійно перемикає фокус або постійно сприймати один рівень глибини нечітким [113, с. 3].	— Потреба точного калібрування для правильного графічного накладання.
Обчислення	— Не зможуть забезпечити постійне й точне перекриття базовими об'єктами та точне суміщення за освітленістю.	— Використання стилізації, відмова від реалізму; — уникнення розміщення позаду цільового об'єкта.
Hand-Held AR		
Ергономіка	— Необхідність завжди розміщувати пристрій між користувачем та зоною, де є проєкція, обмежує, як загальну якість проєкцій, так і кількість часу, який може використовувати цю технологію користувач; — Втомилення м'язів.	— Короткотривалі сесії підкріплені сценарієм.

Продовження таблиці Д.5.1.

1	2	3
Взаємодія	— Вимагає жестів та дотиків до дисплея для маніпулювання віртуальними об'єктами; — зайнятість рук, що впливає на ті види взаємодії, які можуть бути доступні користувачу.	— Тестування голосового вводу; — пошуки способів полегшення, спрощення взаємодії.
Обмеження ПО/ПЗ	— Невеликий розмір екрана такого пристрою і обсяг можливої для одночасного показу інформації.	Є відмінність між нерухомим екраном, у якому переміщується сцена, та рухомим, який рухається в просторі сцени (відомим, як ефект Паркса [301]), більш притаманним AR і більш зручним. Цей ефект означає, що використовувати екран пристрою, як віконце для перегляду сцени, значно більшої за видиму частину простору, зручніше, ніж рухати сцену в межах нерухомого екрана, як, наприклад, на ПК.
SAR		
Переваги	— Відсутність потреби носити наголовний дисплей або тримати в руках [113, с. 8; 239]; — широке поле зору зображення [246]; — можливість масштабувати зображення та робити його величезним [246]; — можливість генерувати більший обсяг інтеграцій віртуальних об'єктів із реальними (декілька просторових точок поєднання) [246]; — покращене відчуття занурення; — висока роздільна здатність; — краща акомодация та конвергенція очей [113, с. 56]; — менша рухома тошнота [113, с. 56]. Саме за ці переваги та широкі творчі можливості, просторова доповнена реальність стає основним вибором для митців і дизайнерів.	

Продовження таблиці Д.5.1.

1	2	3
SAR з прямою проєкцією		
Переваги	— Більш висока роздільна здатність; — яскраві зображення віртуальних об'єктів, тексту або дрібних деталей; — покращена ергономічність та зручність перегляду, оскільки віртуальні об'єкти зазвичай відображаються поблизу їхнього «реального» місця розташування у просторі, тому на них легше, природніше дивитись; — має теоретично необмежене поле зору та зону перегляду, яку можна охопити декількома проєкторами.	
Зовнішні чинники: поверхня	— Неможливо досягти яскравого зображення на сильно дзеркальній, низьковідбиваючій чи темній поверхні.	— Поверхня для проєкції в ідеальному випадку мусить мати гладку форму, світлого кольору.
Зовнішні чинники: освітлення	— на контрастність зображення може вплинути навколишнє освітлення.	— Краще обирати середовища, освітленість яких можна контролювати.
Зовнішні чинники: фізичний об'єкт	— Є об'єкти, стосовно яких не можуть бути зареєстровані віртуальні об'єкти. Не підходять погано освітлені, або навпаки, пересвічені об'єкти з нечіткою геометрією [322].	— Обирати добре освітлені, не пересвічені об'єкти із чіткою геометрією.
Зовнішні чинники: фізичний об'єкт	— Обмеження, спричинені фізичними об'єктами, щодо розміру, форми, кольору віртуальної проєкції, яка може бути накладена на об'єкт.	— Занадто яскраві, насичені за кольором об'єкти призведуть до викривлення результуючого кольору, а складні форми ускладнять процес корекції та розроблення.
Зовнішні чинники: фактура та колір поверхні	— Потреба компенсації неоднорідностей фактури та кольору основи.	— Може бути виконана як методом обчислень проєктуючого приладу, так і з використанням спеціальної прозорої плівки, що розсіює частину світла; — у бюджетних випадках, корекція може бути виконана дизайнером у постобробці, коли з фінального зображення віднімаються фонові кольори для балансування.

Продовження таблиці Д.5.1.

1	2	3
Зовнішні чинники: тіні	Непередбачені тіні від об'єктів чи глядачів за використання фронтального проєктора.	— Використовувати задній проєктор; — залучити декілька проєкторів [112, с. 38] для перекриття всього задіяного простору.
Обмеження ПО/ПЗ: роздільна здатність	— Обмежена роздільна здатність проєктора.	Обмежена роздільна здатність проєктора призводить до надто великих проєкцій пікселів, які не можуть точно покрити дрібні пігменти на поверхні екрана [112, с. 273]. З іншого боку, проблемою може бути низька роздільна здатність у пристрої відстеження, який фіксує базову реальність, як для OST, так і для VST-рішень, що призводить до неточного чи нечіткого розпізнавання чи відображення базової реальності.
Обмеження ПО/ПЗ: рівень чорного	— Рівень чорного у звичайних проєкторах буде залежати від загального освітлення навколишнього середовища. — Низький динамічний діапазон у звичайних проєкторах, низький рівень чорного та світло від середовища ускладнюють відображення темних кольорів. Як зазначає О. Бімбер [112, с. 273], рівень чорного від проєктора робить поверхню екрана видимою, навіть у абсолютно темній кімнаті.	— Цей недолік може компенсуватися локальним контрастом у дизайні. Темні ділянки, оточені більш яскравими, будуть здаватися набагато темнішими, ніж є насправді.
Обмеження ПО/ПЗ: фокусування	— Обмежена глибина фокусування та змога лише однієї точки фокусу заважає звичайним проєкторам працювати з надзвичайно вигнутими поверхнями. — Лазерні проєктори здатні фокусуватися на непласких поверхнях, але надто дорогі для індивідуального використання.	— Використання кількох проєкторів [112, с. 273]. Однак, складність налаштування та калібрування проєкторів збільшується з кожним проєктором, а досягнення геометричного калібрування забезпечити легше, ніж рівність кольорів між проєкторами.

Продовження таблиці Д.5.1.

1	2	3
Обчислення: зіставлення проекцій	— Кожна поверхня має освітлюватись одним проєктором, інакше можливе збільшення інтенсивності освітлення в місцях перекриття променів.	— Метод затухання та взаємного перекриття допомагає балансувати вклад кожного проєктора [113, с. 60].
Обчислення: підготовка проекції	— Накладання на викривлену поверхню потребує попередньої корекції зображення.	— Плaskі екрани потребують афінної (паралельної) позаосьової трансформації проекції, а криволінійні — криволінійного викривлення зображення [113, с. 14].
Обчислення: ефекти поверхонь	— Ефекти поверхонь, що залежать від перегляду, як-от рефлекси, в ідеалі мають генеруватися для заданого розташування користувача [113, с. 47].	— Для обчислення інтерактивного текстуровання об'єкта, обчислення BRDF (моделі розрахунку матеріалу об'єкта) поділяється на: — залежне від поточної точки огляду, дзеркальне; — незалежне від точки огляду, дифузне та насколишне.
Обчислення: затінення	— Обчислення затінення, теж поділяється на залежне та незалежне від точки перегляду.	Такий реалістичний підхід до обчислень не використовується для обчислень у реальному часі (надто витратно), хоча алгоритми фізично коректного обчислення освітлення та рефлексивності є: Boivin et al. [119], Yu et al. [414], Loscos et al. [255], Gibson and Murta [182].
OST SAR		
Переваги	— Легке та стабільніше калібрування [113, с. 8]; — зображення краще зберігає своє позиціонування, відсутнє миготіння, тремтіння тощо; — до результуючого зображення можна переміщуватися ближче чи далі, хоча позиція відносно згенерованого об'єкта впливає на сприйняття.	

Продовження таблиці Д.5.1.

1	2	3
Обчислення: оклюзія	— Правильний ефект оклюзії між реальними та віртуальними об'єктами, тобто перекриття. Світло, яке відбивається від поверхонь реальних об'єктів, заважає відображенню оптично накладеної графіки, створюючи «напівпрозорі привиди» [113, с. 56] замість повноцінного злиття з середовищем.	— Застосовувати лазерні проєктори замість лампових, оскільки тоді легше контролювати ситуацію; — використовувати темне оточення, світло від якого буде відбиватись у меншій мірі [111]; — застосовувати спеціальну оптику, як у проєкті ELMO від Kiyokawa та ін. [240]; — об'єкти можуть покриватися спеціальним ретро-рефлексивним матеріалом, щоб забезпечити стереоскопічне відображення та, навіть, декількох одночасних глядачів, що переглядають 3D-зображення [205]; — вибірково освітлювати тільки ті зони, на які не накладається графіка [293]; — навпаки використовувати проєктор як доповнюючий ліхтарик [287], який створює ефект тіні від віртуальних об'єктів на реальних поверхнях.
OST AR		
Обмеження ПО/ПЗ: зона відображення	— Через обмежену площину прозорого екрана можуть виникати неприродно обрізані зображення, так званий ефект «window violation» [113, с. 9].	— Контроль меж екрана та графіки.
Взаємодія	— OST перешкоджають прямій взаємодії з віртуальними та реальними об'єктами, що розташовується позаду оптики.	— Є виключення, коли прозорий екран невеликий та розміщений у горизонтальній площині, що дає змогу одержати доступ до об'єктів під ним [342].
Обмеження ПО/ПЗ: поляризація	— Не всі прозорі матеріали екранів зберігають поляризацію, необхідну для пасивного стереоскопічного ефекту.	— Потребують нейтралізації оптичних дефектів — рефлексів та рефракції.

Продовження таблиці Д.5.1.

1	2	3
Обчислення: оклюзія	— Не створюють взаємної оклюзії реального та віртуального середовища (як і системи прямої проєкції). Як результат, занадто яскраві реальні поверхні роблять темні віртуальні об'єкти невидимими або напівпрозорими [113, с. 44].	— Використання нейтральних поверхонь; — зменшення впливу реального освітлення.
Обчислення: освітлення	— Непослідовні ефекти затінення та тіні через те, що реальне середовище освітлюється фізичними джерелами світла, а віртуальне на основі синтетичних джерел світла [113, с. 61]. Віртуальні джерела світла мають характеристики відмінні від реальних: розташування, колір, напрямок, інтенсивність тощо.	— Нейтралізація впливу реального освітлення завдяки використанню відеопроєкторів [113, с. 61]; — заміна реальних джерел світла віртуальними (імітованими).

Д.6. Поняття інтеракції

Взаємодія походить від англійського *interaction*, яке зі свого боку від лат. *inter-* та *act*, що буквально означає взаємну дію. За визначенням кембриджського словника: 1. це різновид дії, яка відбувається, коли два чи більше об'єкти мають вплив один на одного. 2. Розмовна діяльність або спільні дії з іншими людьми або те, як це відбувається [393]. За визначенням словника Меріам-Вебстер: спільна або взаємна дія чи вплив [209]. У літературі цей термін можна зустріти і як українське слово «взаємодія», і як транслітероване — «інтеракція».

Напрями взаємодії вивчають із погляду різних галузей та дисциплін. Найбільш відомі: «Людина-Комп'ютер», «Людина-Людина», «Людина-Інформація», «Людина-Артефакт», «Людина-Документ», «Людина-Робот», «Машина-Машина».

Взаємодія «Людина-Комп'ютер»³ (англ. *Human-computer interaction, HCI*), (синоніми: людино-машинна взаємодія, людино-комп'ютерна взаємодія) — полідисциплінарний науковий напрям. Ця дисципліна займається методологією і розвитком проєктування інтерфейсів та теорією взаємодії з інтерфейсами. Акцентує більшу увагу на користувачах обчислювальних пристроїв, ніж інших артефактів та є основою для більш вузьких напрямів. Основним завданням досліджень дизайнерів у галузі людино-комп'ютерної взаємодії є поліпшення взаємодії між людиною і комп'ютером, роблячи інтерфейси більш зручними і сприйнятливими до потреб людей. Хоча здебільшого увага таких досліджень спрямована саме на користувачів, у їхній фокус потрапляють і люди, що не провадять пряму діяльність із комп'ютером, але мають вплив на взаємодію або зазнають наслідків від роботи останнього. Відчувається сучасна екологічна та гуманістична спрямованість розвитку продуктів HCI.

³ Необхідно зробити додатковий наголос, що комп'ютер у цьому контексті уособлює будь-які обчислювальні пристрої (планшети, смартфони тощо), придатні для взаємодії.

Взаємодія «Людина-Людина» (Human-Human interaction, HHI).

Взаємодія «Людина-Людина» вивчається з боку психології, соціології, педагогіки, дизайну, інформаційних технологій. Розглядається як безпосередня взаємодія, так і як опосередкована, яка дає змогу людям співпрацювати в будь-який час та в будь-якому місці. Вона тісно переплітається з HCI, але робить наголос на взаємодії між людьми.

Взаємодія «Людина-Інформація» (Human-Information interaction, HII).

Взаємодія «Людина-Інформація» досліджується з погляду того, як людина використовує і опрацьовує інформацію та які когнітивні процеси за такої умови відбуваються. Найбільше уваги приділяють цьому напрямку інформаційні науки, когнітивні, семіотика та інші.

Взаємодія «Людина-Артефакт» (Human to artifact communication, HAI).

Взаємодія «Людина-Артефакт» розглядається культурологією, естетикою, дизайном, ергономікою, психологією, комп'ютерними науками тощо. Хоча артефакт позначає ширше за змістом поняття, ніж електронний пристрій, коли йдеться про інтерактивну поведінку артефакту, розглядають найчастіше функціональні, естетичні та кінестетичні властивості електронного пристрою.

Взаємодія «Людина-Документ» (Human-Document Interaction, HDI).

Взаємодія «Людина-Документ» [229] розглядається з боку використання паперових документів у поєднанні з додатковими цифровими функціями в змішаній реальності.

Взаємодія «Людина-робот» (Human-Robot interaction, HRI). Взаємодія «Людина-робот» акцентує вивчення на людських, соціальних та організаційних аспектах відносин із роботами.

Взаємодія «Машина-Машина» (Machine-Machine Interaction, MMI).

Взаємодія «Машина-Машина» досліджує інтерфейси та методи обміну даними між пристроями та мережами пристроїв.

Подібний розподіл за напрямками в дизайні взаємодії є дуже умовним і лише акцентує увагу на певних аспектах вивчення, у той час як розроблення реальних систем передбачає комплексний підхід. Є також відмінність між

інтерактивним дизайном (interactive design) та *дизайном взаємодії* (interaction design). Перший позначає дизайн, що містить елементи, з якими можна взаємодіяти, другий — розроблення механік, сценаріїв та репрезентацій взаємодії. Подібне розмежування теж покликане на зміну точки фокусу в дизайні, що на практиці може поєднувати обидва напрями.

Визначення взаємодії (та інтерактивності) у науковій літературі так чи інакше стосуються певного зі згаданих вище напрямів, зрідка охоплюючи всі. Так чи інакше, усі визначення взаємодії виділяють її двосторонній вплив:

— *HHI*.⁴ Л. К. Гейхман визначає взаємодію, як одне з втілень відносин між людьми, що в процесі вирішення спільних завдань, впливаючи друг на друга й доповнюючи одне одного, разом ці завдання успішно вирішують. Водночас відбуваються зміни й у кожному із суб'єктів, і в тих об'єктах, на які спрямована взаємодія [24, с. 136].

— *HCI*. Хай Нин Лян, Пол С. Парсонс, Сянь Чи Ву та Камран Седиг зазначають діалогічність процесу взаємодії користувача з репрезентацією через людино-комп'ютерний інтерфейс [251, с. 4]. Взаємодія дає змогу користувачам трансформувати, маніпулювати та переміщуватися крізь різні елементи та особливості репрезентацій (представлень).

— *III*. Інтеракція стосується діалогу, який відбувається між актором та інформацією через посередництво CAST⁵[302, с. 3].

Часто на рівні зі взаємодією, у значенні «взаємних дій» чи «спілкування діями», використовують комунікацію та спілкування як синоніми. Комунікація – міждисциплінарне поняття. У психології, взаємодія не тотожна комунікації, а є лише однією зі сторін процесу спілкування – комунікативної, інтерактивної, перцептивної, емоційної. Однак, цей поділ умовний і в реальному спілкуванні не можна виокремити й залишити лише одну зі сторін, бо кожна проявляється під час процесу спілкування більшою чи меншою мірою.

⁴ Тут і далі використовуються аббревіатури назв напрямів взаємодії.

⁵ Cognitive activity support tools, CAST. Інструменти підтримки когнітивної діяльності.

В інших галузях присутні обидва погляди. Комунікація здебільшого розглядається саме як односторонній процес (передача повідомлення), рідше як симетричний процес (взаємодія, обмін, участь) [34]. Щоб перейти від «дії» (action) до «взаємодії» (interaction) має виникнути взаємний обмін та спільне «знання», коли інформацію здобуває й реципієнт про систему й система про реципієнта та його дії. К. Мертен зазначає, що [людська] взаємодія – це як спрощене спілкування без часового та фактичного вимірів [278, с. 162]. Він розділяє поняття комунікації на три виміри: – соціальний вимір: спілкування є процес взаємодії; – фактологічний вимір: спілкування – це взаємодія діями; – часовий вимір: спілкування є процес структурогенезу.

З погляду мистецтва, автор теж спілкується з глядачем через свій твір. У традиційному мистецтві це проявляється переважно в отриманні повідомлень глядачем та декодуванні сенсу, тож характер сприйняття розумовий. Некласичне ж мистецтво може запрошувати до виконання реальних дій, коли твір формується або трансформується в процесі взаємодії, утворюючи водночас нові смисли та форму діалогу між автором та діячем.

На важливий аспект відмінності взаємодії з комп'ютером від людської взаємодії звертає увагу професор Рольф Шульмайстер (Rolf Schulmeister). Зазвичай дії можна скасувати, повторити або розпочати нову спробу й усе, що було зроблено до цього, не буде мати впливу на поточний хід подій. Така взаємодія «вільна від суджень і соціальних наслідків» [339, с. 43], і це відрізняє її від людської взаємодії [маючи на увазі спілкування].

Із цього огляду видно, що спілкування та комунікація можуть бути зведені до взаємодії, коли йдеться про взаємодію із системою загалом, демонстрацію діалогічності процесу та обміну змістами, а не про деякі фактичні дії. І, хоча справжнє спілкування – багатшаровий конструкт, і деякі його сторони притаманні лише людському спілкуванню, його використання в спрощеному розумінні можливе й в інших контекстах.

Взаємодію, як і спілкування, розрізняють (табл. А.24) за формою, засобом, роллю, аудиторією, специфікою, напрямом, масштабом, метою,

суб'єктом/об'єктом⁶. Мета взаємодії дає змогу визначити контекст для розгляду. Навіть коли спілкування відбувається з людьми, а його базова мета — це отримання чи передача інформації цінної самої по-собі, людина є інструментом отримання такої інформації. В іншому разі важливим є встановлення відносин з Іншим, його погляди тощо, навіть коли спілкування опосередковане. Одна із помилок, можливих у дизайні взаємодії — зосередитися на проміжному рівні, інтерфейсі, і не враховувати її кінцеву мету. Взаємодія з комп'ютером не самоціль, він виступає посередником для доступу до інформації (знання, послуги, розваги) чи до людини. Взаємодія не може бути зведена лише до взаємодії між користувачем та комп'ютером, бо також важливо як між собою в цей момент взаємодіють люди, та як програми дають змогу їм співпрацювати [265; 295, с. 29; 296]. Однак, людино-комп'ютерна взаємодія все ж стає тим середовищем, яке об'єднує та забезпечує можливість функціонування інших видів взаємодії в цифрових продуктах, і, зокрема, у системах доповненої реальності.

Сама доповнена реальність стає тим середовищем, у якому відбувається багатовимірна взаємодія, і яке передбачає «інтеракцію» (використаємо це слово, щоб додатково наголосити на двосторонньому процесі взаємовпливу) з людиною або комунікативним агентом, з інтерфейсом, з інформацією.

Д.7. Когнітивні процеси та людський фактор в AR-системах

Потік інформації між людиною та комп'ютером можна описати як цикл взаємодії, який постійно повторюється в процесі роботи. Рада Рой виділяє чотири компоненти моделі «Взаємодія людини з комп'ютером»: *людина, комп'ютер, робоче середовище та машинне середовище* [319, с. 12]. У цій моделі присутні два основні потоки інформації та управління: з робочого

⁶ Цифрова система спілкування, що спілкується з людиною мовою чи системою символів, сигналів, яку людина розуміє, але сама не являється людиною: штучний інтелект, автоматизовані системи спілкування, чат-боти, розумні роботи тощо.

середовища та з машинного середовища, а також розуміння завдання, яке людина виконує за допомогою комп'ютера. Перший потік відбувається з робочого середовища, де користувач має виконати завдання. Воно задає контекст та визначає чинники (ціну помилки, важливість часу, критерії успішного виконання). Користувач когнітивно обробляє інформацію про завдання і, як результат, з'являється намір, який призводить до дій з інтерфейсом. Людська дія викликає в комп'ютера якусь відповідну поведінку та може виникнути продукт цієї поведінки [319, с. 12]. Другий потік — з машинного середовища. Комп'ютер отримує дані від цього середовища, трансформує та обробляє їх у придатну до виводу форму. Користувач декодує показану інформацію, інтерпретує її та відповідає на неї згідно до робочого середовища (середовища завдання) [319, с. 12].

Завдання та середовища уособлюють різні вимоги та нав'язують різні обмеження щодо інтерфейсу користувача. Вони потребують різних способів виконання, залежно від складності, різної кількості кроків та прийнятих рішень. Відіграє роль, і те, чи виконують користувачі структуровані чи не структуровані завдання. Перші — мають визначений порядок дій та вимоги, останні — спрямовані на невизначений порядок дій та можливість «вільного серфінгу». На підхід до подання даних користувачу впливає і те, чи середовище насичене інформацією або присутній інформаційний дефіцит [319, с. 12]. Наочно проблема переобтяженості AR-інтерфейсу елементами та загалом інформацією, що оточує, влучно висвітлена в концепт-роліках Кейтчі Матсуди (Keiichi Matsuda), які демонструють можливе майбутнє та є одним із напрямів досліджень [235] для дизайнерів доповнених світів.

Під час циклу взаємодії користувач сприймає інформацію, кодує та передає її в різних формах, виконуючи дії на основі обробленої інформації, та отримує зворотний зв'язок щодо своїх дій та повертається в початок циклу. Первинні умови, у яких опиняються користувачі, можуть суттєво відрізнятись, залежно від їхніх природних особливостей та набутих знань та навичок [319, с. 13]. У той час як ідеальні знання містять інформацію про завдання та про те,

як працює система, неідеальні містять неправдиву інформацію, яка створює помилки або зайві дії [99]. Сприйняття та перетворення інформації потребує часу та зусиль і теж може призводити до помилок. Як зазначає Д. Бовман [124, с. 75], час та кількість помилок під час роботи з інтерфейсом — два основні джерела визначення його продуктивності.

У процесі сприйняття та перетворення інформації можна виділити три важливі чинники: сприйняття, пізнання та ергономіку [124, с. 75]. Подразники відчуються та сприймаються — їм надається змістовна інтерпретація на основі спогадів про минулий досвід. У відповідь на те, що сприймається, будуть обрані та виконані певні дії. Оперативна короткочасна пам'ять використовується для зберігання невеликої кількості необхідної інформації для виконання поточних маніпуляцій. Це означає, що варто не примушувати користувача все пам'ятати, а краще наводити підказки, які спрямують його до рішення. Робоча пам'ять має обмежену ємність і сильно залежить від ресурсів уваги, у той час як довготривала пам'ять величезна і зберігає інформацію про світ, концепції та процедури незалежно від впливу уваги.

Увага визначає, як користувачі використовують пошук та орієнтуються в просторово-часовому просторі. Розуміння цього допомагає дизайнерам спрямувати її на специфічну інформацію в інформаційному просторі. М. Познер та С. Бойс (M. Posner, S. Boies) [315] виділяють три компоненти уваги: орієнтування на сенсорні події, виявлення сигналів для цілеспрямованої обробки та підтримання пильності або стану обізнаності. Вона може приймати різні форми: вибіркова, зфокусована, розподілена. Концептуально — «увага це процес вибору» [124, с. 77] і передбачає три розумові операції: відключення уваги від поточного місця, переміщення уваги в нове місце та повторне її залучення в новому місці для підтримки обробки в цьому місці [316] за [124, с. 77].

Із практичної думки це означає, що дизайнери мають оцінювати, скільки уваги та зосередженості потребує те чи інше завдання. Наприклад, використання довгих вкладених категорій або ланцюжків меню для

переміщення від точки А в точку Б потребують неабияких когнітивних зусиль. Для полегшення вибору можуть бути застосовані різноманітні панелі, палітри та набори інструментів з одним, максимум двома рівнями вкладеності. Перекладення роботи на довгострокову пам'ять практично втілюється у використанні знайомих місць розташування меню, кнопок, елементів управління, тобто у використанні очевидних, звичних, вивчених інструментів.

Також, варто пам'ятати, що увага в одному сенсорному каналі залучає увагу в інших каналах [149], у процесі чого, несподівані повідомлення по одному з каналів, можуть призвести до втрати та переключення уваги в іншому каналі й до так званої сліпоти до змін [355]. Одним зі способів покращити ефективність роботи із системою є зменшення кількості відволікань та перемикань фокусу.

Процеси прийняття рішень знаходяться в центрі обробки інформації і залежать від збору, організації та об'єднання інформації з різних джерел. Вони можуть покладатися на раціональні та статистичні дані, евристичні моделі, людську поведінку й експерименти в ситуаціях, наближених до реальності. Поведінка відповідає за стратегії прийняття рішень, що сформовані досвідом, культурою, переконаннями, звичками, соціальними нормами та відношенням до ситуації, емоційним станом. Вона може бути наслідком рефлексів на стимули. Рефлекси передбачають постійну реакцію на стимули, у той час як звикання — процес, під час якого організм знижує свою реакцію або навіть перестає реагувати на стимул після певної кількості повторів. Це використовується для лікування фобій із використанням VR чи AR. Поведінка також залежить від оцінки або знецінення майбутніх результатів та наслідків, а також динамічної неузгодженості, яка суперечить логіці та приводить до ефекту прийняття різних виборів у схожих умовах [360].

Навички дають змогу користувачам робити точніші та швидші відповіді на стимули, і набуваються повтором подібних дій. Вважається, що навички зберігаються як недеklarативні знання в довготривалій пам'яті [228]. Вони

пов'язані з процесами прийняття рішень, пам'яттю та руховими процесами. У процесі набуття навичок користувач проходить шлях від свідомого виконання інструкцій до асоціативного виконання, і згодом до швидкого і точного автономного виконання. Тренування навичок може бути основним фокусом для тривимірного інтерфейсу, наприклад, у сфері навчання та таких інструментах, як симулятори.

Прийняття рішень — це когнітивний процес вищого рівня, який може включати «глибше мислення» тоді, як вибір дій — це більш автоматичний процес нижчого рівня, який включає лише просте пізнання [124, с. 80]. Швидке та точне виконання дій потребує створення для цього відповідних умов, а саме, природної сумісності стимулу та реакції [171], об'єднання однотипних завдань та зменшення кількості перемикачів між діями, зменшення невизначеності та упереджень [337]. Одним зі способів оцінити виконання рухових дій є закон Фітца (Fitts), який описує час, необхідний для здійснення цілеспрямованих рухів до цільового місця [170].

Для того, щоб сприймати та інтерпретувати інформацію про простір у тривимірних інтерфейсах та AR-інтерфейсах, люди покладаються на набір підказок у різних сенсорних каналах (табл. А.34). Розуміння просторової структури тривимірної сцени, а саме глибини, допомагає користувачеві взаємодіяти з програмою, особливо під час виконання завдань 3D-вибору, маніпуляцій і навігації. Однак, якщо підказки суперечливі, це може призводити до помилок інтерпретації та небажаних ілюзій. Вважається, що кіберхвороба може бути спричинена невідповідністю між візуальними та вестибулярними ознаками. Хоча найбільш гостро вона поширена у віртуальній реальності, у доповненій реальності із використанням НМД вона теж присутня. Вона може виникати через велику кількість рухомих об'єктів, швидкість їхнього руху або невідповідні анімації та ефекти. Поєднання візуальних та слухових сигналів полегшує просторове сприйняття та зменшує плутанину. Сигнали з різних каналів впливають один на одного і дають змогу

отримати додаткові підказки, наприклад, об'єкт справді далеко, чи він просто тихо видає звуки.

Соматосенсорна система сприймає шкірні та підшкірні відчуття для усвідомлення зовнішньої стимуляції, механічні відчуття в суглобах та м'язах для усвідомлення статичного й динамічного положення тіла (відносне розташування голови, тулуба, кінцівок і кінцевих ефєкторів) [248]. Ці відчуття, також відомі як тактильний зворотний зв'язок, надають людині інформацію про геометрію, жорсткість, вагу та інерцію.

Людське тіло має різну чутливу роздільну здатність у різних ділянках, тому деякі частини, наприклад, кінчики пальців, є більш чутливими за інші. Наприклад, часова частота оновлення стимулу, яку людина все ще може відчувати на певних ділянках тіла, може досягати 1000 Гц [270]. Чутливість, яка ще називається тактильною гостротою, відрізняється у кожної людини. Ефект вібрації часто використовують у вібротактильних інтерфейсах завдяки тому, що люди сприймають текстуру як продукт вібрації [124, с. 97]. Більшість тактильних підказок людина отримує завдяки тиску на шкіру та деформації, причому діапазон впливу може бути досить великим, завдяки чому можна відчутти різноманітні властивості об'єктів, включно із жорсткістю або пластичністю, тертям, текстурою і пружністю. Гібсон [181] виділив три категорії різноманітних за відчуттям впливів:

- Короткочасні дії: тиск, поштовх, ляпас, поплескування, постукування, укол;
- Тривалі дії без переміщення: вібрація, розтягування, розминання, щипання;
- Тривалі дії з переміщенням: дряпання, шкрябання, тертя, ковзання, розчісування, кочення.

Окрім тактильних сигналів, люди також можуть розпізнавати теплові сигнали та біль. Усі ці активні та пасивні сигнали дають змогу людині сприймати простір та знаходять своє відображення в різних тактильних інтерфейсах.

При розробці 3D-інтерфейсів часто виникає ситуація, коли певний сенсорний канал не можна використати через технічні або користувацькі обмеження. Наприклад, занадто шумне оточення, відсутність пристрою для тактильного зворотного зв'язку або яскраве світло можуть завадити чіткому сприйняттю звуку, дотику або зображення на екрані. У такому разі використовуються методи сенсорної заміни або комбінації каналів.

Сенсорна заміна — це перенесення відсутньої інформації на інший сенсорний канал. Цей процес найчастіше застосовується під час розробки інтерфейсів для людей з обмеженими можливостями. Заміна може відбуватися, як між різними каналами, так і в межах одного каналу. Наприклад, заміна безлічі рецепторів соматичної системи на вібротактильну імітацію тактильного дотику або силового зворотного зв'язку [242; 271].

Сенсорна заміна базується на пластичності мозку. Згідно з дослідженням С. Леная та колег (Lenay) [250], під час заміни сенсорних каналів змінюється не тільки рівень рецепції, а й весь цикл обробки інформації: центральна нервова система повинна навчитися новому способу сприйняття. Наприклад, заміна зорової інформації на слухову для незрячих вимагає від них навчитися «бачити на слух» та створити нову когнітивну модель світу. Отже, під час обміну сенсорними каналами варто розглядати метафору комунікації та вплив нового каналу на інтерпретацію інформації. Прикладом сенсорної заміни може бути проєкт «SoftAR» [318], який досліджує можливості інтерактивно викривляти зображення, якого торкається користувач, для створення в нього відчуття м'якості чи пружності поверхні (іл. Б.4.1.10).

Інший спосіб використання різних сенсорних каналів — створення мультисенсорних інтерфейсів, які комбінують різні канали. Вони провокують появу різних крос-модальних ефектів, а саме: зміщення, збагачення чи перенесення [124, с. 97]. Зміщення виникає, коли стимули від двох або більше сенсорних систем можуть взаємодіяти та впливати один на одного, що призводить до зміненого або навіть неправильного сприйняття. Збагачення

відбувається, коли стимул від однієї сенсорної системи може підсилити сприйняття іншої сенсорної системи. І нарешті, може відбуватися перенесення, коли стимуляція однієї сенсорної системи може спричинити сприйняття в іншій системі [161; 349].

Взаємодія з простором та побудова його ментальної моделі є ключовим аспектом взаємодії користувача за AR-інтерфейсами. Вона будується на знаннях, які залежать від репрезентацій. Репрезентація — це фізичний стан, який символізує об'єкт, подію або концепцію, та має бути сконструйований навмисно і нести інформацію [360] за [124, с. 108]. Репрезентації можуть кодувати інформацію в різних форматах, візуальних образах та інших модальних символах. Зчитування репрезентацій покладається, зокрема, на знання про категорії, які зберігаються в довгостроковій пам'яті. Причому, це може бути, як неявне пригадування на рівні навичок та звичок, так і згадування, що потребує явних зусиль та повторення певних кроків для відтворення фактів чи подій. Пригадування має дуже високу асоціативність та може активуватися впливом різних сигналів та контексту. Водночас воно може бути неправильним, спотвореним, заблокованим або навіть не активуватися через перевантаження кількості протилежних сигналів [227].

Користувачі зазвичай не люблять різких змін в інтерфейсі, через те, що втрачають можливість використовувати набуті знання та кроки для роботи, навіть якщо попередні вироблені алгоритми роботи програють в оптимальності оновленому інтерфейсу. Яскравим прикладом того, що навіть великі компанії роблять помилки, є провал у впровадженні поштової системи «Inbox-mail» від компанії «Google» замість «Gmail», інтерфейс якого відрізнявся набагато сильніше від комфортної кількості змін. Компанії довелося змінити стратегію та робити дуже непомітні та обережні зміни.

У процесі усвідомлення ситуації, користувачі створюють модель поточного стану середовища обсягом його значення та прогнозування його статусу в найближчому майбутньому [158]. У AR-інтерфейсі це на пряму впливає на те, як користувачі взаємодіють з об'єктами навколо, як

орієнтуються в просторі, знаходять та прокладають ментальні та реальні маршрути до цілі.

Стратегії пошуку та параметри руху впливають на ефективність отримання просторових знань. Ці чинники впливають не тільки на ефективність побудови когнітивної мапи, але й на якісно інші види просторових знань, які набуваються: знання щодо орієнтирів та візуальних характеристик середовища, а також порівняльне оцінювання щодо конфігурації, топології, відносного розташування та відстані.

Сприйняття оточення відбувається на егоцентричному або екзоцентричному рівнях. Егоцентричний рівень означає сприйняття від першої особи. Людина відчуває себе в центрі простору і використовує, як системи відліку, точки тіла: окоцентрична (вузлова точка ока), ретиноцентрична (сітківка), головоцентрична (зосереджена виключно на голові), бодіцентрична (тулуб) і пропріоцептивна (тіло) підсистема. У такому разі всі знання щодо відстані, орієнтації, положення, руху об'єктів пов'язані з положеннями очей, голови, тіла тощо.

В екзоцентричній системі відліку інформація сприймається відносно третьої особи, а орієнтація чи позиція користувача не впливають на екзоцентричні атрибути. Положення, орієнтація та рух об'єктів визначаються в зовнішніх щодо тіла координатах через форму, орієнтацію та рухи об'єктів відносно простору та інших об'єктів. Огляд від третьої особи використовують для панорамного обльоту чи огляду з висоти, наприклад, під час перегляду навігаційної мапи.

Виконання завдань потребує від користувача певного когнітивного та фізичного зусилля. Це навантаження може бути предметом виміру та аналізу з метою покращення працездатності, зниження тиску та кількості помилок. На виконання завдань впливають зовнішні чинники, що визначаються завданням, яке виконується, його складністю, пріоритетом та ситуаційними обставинами, і внутрішні, які характеризуються увагою та наявними ресурсами для обробки інформації.

На працездатність також впливають навички та здібності користувача й те, як він розподіляє доступні розумові ресурси. Згідно з дослідженнями [405], перцептивні та когнітивні завдання використовують інші ресурси, ніж ті, які використовуються для вибору та виконання дії. Просторова діяльність використовує інші ресурси, ніж вербальна діяльність. Слухове сприйняття використовує інші ресурси, ніж візуальне сприйняття. Вимірювання розміру зорових каналів дає змогу розрізнити фокальне бачення (де ресурси застосовуються для розпізнавання об'єктів або сприйняття) та периферійне бачення (для орієнтації та руху). За цими вимірами можна визначити, які ресурси використовуються на різних етапах обробки інформації.

Фізична ергономіка теж потребує уваги під час роботи з AR-системами. Вона залежить від анатомічних можливостей різних частин людського тіла, які визначають, як і наскільки добре можна виконати конкретне завдання та наскільки комфортним є його виконання. Ізометричне навантаження на м'язи виникає під час тримання в руках важкого пристрою, наприклад, планшету, коли довжина м'яза залишається постійною, незважаючи на створену напругу. Чим довше тримається предмет та чим далі він від точки рівноваги, тим більше навантаження викликає таке тримання. Це означає, що сесія, упродовж якої людина має взаємодіяти із AR за допомогою портативних пристроїв, має враховувати, через який час почне виникати втома та дискомфорт.

Ізотонічне скорочення м'язів виникає тоді, коли м'яз змінює свою довжину і створює рух. За ізотонічних скорочень напруга в м'язі залишається постійною, а довжина м'яза змінюється. Причому, у процесі руху певні м'язи скорочуються, а інші подовжуються. Втома виникає під час надмірного задіявання м'язів у короткий період часу, наприклад, швидке багатоповторне натискання на кнопки пристрою введення, або в процесі довгої роботи, наприклад, яка вимагає багато переміщень, присідань.

Деякі завдання можна виконати лише однією частиною тіла, у той час як інші дають змогу пустити в дію декілька частин, що дає змогу розподілити роботу. Як приклад, деякі AR-вікторини в соціальних мережах, які

використовують камеру для фіксації відповідей, дають змогу замість натискання кнопок нахилити тіло або голову в сторону обраної відповіді.

Управління може потребувати різної точності, швидкості, свободи руху, направленості, тривалості тощо, і залежить від завдання та анатомічних можливостей людського тіла [124, с. 121]. Важливе як положення окремих частин, так і поза загалом. Вона впливає на виконання завдання та комфорт, тому потрібно оцінити, чи потрібно стояти, сидіти, ходити чи лежати під час взаємодії. Поза має прямий зв'язок із руками, одними із провідних засобів для маніпуляцій. Вони можуть виконувати як дрібномоторні, так і грубі рухи, а залежно від форми інструменту, варіювати силу та точність дій [335; 389]. Інші частини тіла, зокрема ступні чи ноги, теж можуть застосовуватись як для переміщення, так і для заміни рук у деяких процесах. Поєднання зручної пози та роботи рук визначає, як довго користувач зможе працювати із системою.

Багато стаціонарних стендів, інтерактивних стін та дошок, які мають тактильні інтерфейси, потерпають від того, що впродовж певного часу виникає втома плечей та рук. Так званий «*синдром руки горили*» з'являється тоді, коли користувачам потрібно працювати в незручній позі рук без підтримки впродовж тривалого часу. На цей вид втоми впливає висота та відстань рук відносно тіла. Чим далі та вище руки, тим менше часу користувачі можуть комфортно взаємодіяти [124, с. 129]. «Рука горили» була побічним ефектом використання вертикально орієнтованого сенсорного екрана або світлового пера. У періоди тривалого використання руки користувачів починали відчувати втому та/або дискомфорт. Цей ефект сприяв занепаду введення даних через сенсорний екран, незважаючи на його початкову популярність у 1980-х роках [185; 26].

Часто час витривалості користувача можна подвоїти або потроїти, опустивши руки або наблизивши їх до тіла на 10 сантиметрів [124, с. 129]. Типовими ознаками втоми є зміна пози, опускання рук і кистей або повторне захоплення пристрою введення. Наростання втоми збільшує і психічний стрес, що може призводити до помилок під час виконання завдання та збільшення

потрібного часу [98] та навіть відмови від виконання. Виміряти втому рук і побічний ефект руки горили можна кількісно, використовуючи методику під назвою «Витривалість споживання» [201] — систему відстеження скелета на основі камери.

Комфорт — стан легкості, який може включати відсутність болю [124, с. 130]. Щодо фізичної ергономіки, комфорт користувача зазвичай стосується прийняття і утримання зручної пози упродовж потенційно тривалого періоду часу, або зручного тримання певного пристрою. Останній може включати як фізичний комфорт, так і такі чинники дизайну, як текстура поверхні або форма пристроїв. Для оцінки комфорту зазвичай залучають опитування, анкетування, виміри продуктивності та кількості помилок, відеоспостереження та фізичні датчики.

Д.8. Техніки взаємодії в AR-інтерфейсах

У «класичних» комп'ютерних системах процеси взаємодії вже добре відпрацьовані та вивчені вздовж і впоперек, але в доповненій реальності, де відбувається взаємодія в тривимірному просторі ці дослідження все ще на початковій стадії. З одного боку, люди взаємодіють із тривимірним простором усе своє життя. Однак, форма та властивості багатьох артефактів, з якими вони взаємодіють, відточувалися віками, щоб бути зручними та ефективними в користуванні, за посередництва наявного людського інтерфейсу (тіла).

Взаємодія у віртуальному просторі, хоч і схожа чимось на реальну, але має свої обмеження та особливості, до яких треба пристосовуватись: переміщення в реальному просторі, рухи всім тілом, незвичні інструменти та пристрої для взаємодії, нові візуальні підказки та метафори. 3D-взаємодія також відрізняється від взаємодії в тривимірних іграх для ПК чи консолей, незважаючи на схоже тривимірне середовище. Настільні комп'ютерні ігри мають уже давно відпрацьовані пристрої та техніки взаємодії, які дають змогу зосередити свою увагу на інших питаннях, у той час як взаємодія в доповненій реальності ще є полем для експериментів та випробувань.

У таблиці табл. А.35 зібрані основні техніки взаємодії в доповненій реальності. Двовірні інтерфейси для взаємодії використовують такі добре відомі підходи, як кліки та перетаскування, а в разі тактильних інтерфейсів, також дотик, змахування (swipe), щипок (pinch) тощо. Використання двовірних панелей у доповненій реальності цілком оправдане, особливо коли йдеться про керування налаштуваннями системи, чи опосередковане керування параметрами об'єктів або точне введення. З іншого боку, використання лише 3D-репрезентацій недостатнє для створення 3D-взаємодії і користувачі повинні мати різні способи виконання дій у 3D-просторі. Їхня особливість у тому, що вони намагаються вписати об'єкти та елементи управління в контекст та простір (табл. А.36).

Як уже згадувалось, взаємодія може відбуватись, як за допомогою віртуальних, так матеріальних інтерфейсів різного ступеня фізичної присутності: матеріальних інтерфейсів, матеріальних AR-інтерфейсів, тактильно доповнених AR-інтерфейсів (іл. А.3). Відповідно, використання реальних об'єктів у доповненій реальності набуває досить різних форм (табл. А.37):

- поєднання поверхонь та елементів управління (іл. Б.2.1.1);
- використання об'єктів для орієнтації в просторі та способу введення;
- використання об'єктів-маркерів для введення об'єктів у сцену та надання інструкцій;
- використання об'єктів для програмування віртуального середовища.

У невеличкому експерименті, зробленому Анною Фусте Ллейша (Anna Fuste Lleixa), Джудіт Аморес Фернандес і Девідом Ха разом із друзями в «Google Creative Lab» за допомогою «Vuforia» та «Unity» у 2017 році, представлена експериментальна розробка паперових кубів-маркерів, які дають змогу управляти віртуальною сценою. Кожна сторона куба відповідає за певні об'єкти або дії, які мають бути виконані, а їхні комбінації створюють основу для варіативності та експериментів. У цьому проєкті, користувач має змогу керувати натовпом людей-паличок, змушуючи їх стрибати, повертатися,

зупинятися або діяти на свій розсуд. Така взаємодія є гарною основою для настільних доповнених ігор.

Гру, яка вигідно застосовує фізичні об'єкти для побудови віртуальної арени продемонструвала компанія «Nintendo», яка, разом зі студією «Velan», випустила гру-перегони в доповненій реальності до 35-річчя франшизи «Super Mario» (іл. Б.3.1.4, іл. Б.3.1.5). Завдяки використанню спеціальних табличок, конусів та інших предметів із комплекту, гравець має змогу будувати власні треки, які стають основою для гри. У комплекті йдуть іграшкові машинки, оснащені камерами, що зчитують інформацію з простору та передають її на ігрову консоль «Nintendo Switch», щоб доповнити гру актуальними елементами, суперниками, ефектами, ігровими об'єктами та монетками, поки реальна машинка буде їздити треком. Завдяки AR, ігрове середовище наповнюється різним тематичним оформленням, у той час як реальні предмети пропонують максимально зрозумілий та природній процес побудови ігрової сцени та управління нею.

Іспанська інтерактивна дитяча книжка «Чудові машини» (Marvelous Machines) студії «Hidden Worlds», видана у 2017 році, містить 30 сторінок, де кожна сторінка є своєю власною пригодою в мобільному застосунку. У книжці є можливість взаємодії з різними автомобілями, стеження за їхньою роботою, а кожна сторінка має різноманітні секрети, які можна знайти після виконання послідовності дій (іл. Б.3.1.6). У цьому прикладі книжка стає інструментом контролю, за допомогою якого можна управляти ракурсом та активувати сцени. Деякі дії залежать навіть від нахилу книги, або, як на ілюстрації, можна натиснути цифрові кнопки, що активують різні сценарії анімацій.

Розмальовки з технологією доповненої реальності американської студії «Disney Research» 2015 року дають змогу зафарбовувати фрагменти та перетворювати їх за допомогою мобільного пристрою на індивідуально оформлені тривимірні створіння зі стилізованих ілюстрацій персонажів Уолта Діснея (іл. Б.3.1.7). Графічне рішення представлене заготовленими контурами

персонажів, а колірне рішення створює сам користувач, тому воно гнучке й підлаштовується під кожну особистість. Малюнок виявляється, відстежується і відео потік доповнюється анімованою 3D-версією фрагменту, текстурованого відповідно до намальованого. Малюнки стають способом створення та введення текстур.

Грегорі Лассер (Grégory Lasserre) та Анаїс мет ден Анкст (Anaïs met den Ancst) під творчим псевдонімом «Scenocosme» створили візуально-звукову інтерактивну інсталяцію «Метаморфія» (Metamorphu), яка, з моменту створення у 2013 році, побувала на багатьох виставках. Інсталяція поєднує еластичну напівпрозору вуаль, відеопроєкцію, віртуальні абстрактні образи та звукові ефекти, щоб створити ілюзію спотвореної реальності (іл. Б.3.1.8). Кожна зона взаємодії на тканині пов'язана з різними звуковими ефектами («звучними речовинами»), які проявляються, коли глядач натискає на неї рукою, подібно до музичної партитури. Жести дають змогу змінювати сценарії візуальних і звукових комбінацій у реальному часі, що розвиваються відповідно до місця і глибини контакту й накладаються на відображення глядача в дзеркалі, а аналізувати деформації дає змогу 3D-камера за вуаллю.

Фізичні об'єкти один зі зрозумілих та простих способів керувати системою. Він відрізняється не тільки кращим зануренням об'єктів керування в контекст, а й нерідко максимально доступною свободою руху, на якій базується тривимірна (просторова) взаємодія. Ідеальна система такої взаємодії має відстежувати шість ступенів свободи руху, так звані 6-DOF (degree of freedom) (іл. А.4), тобто здатна отримати інформацію про абсолютне позиціонування (x, y, z) та орієнтацію (поворот, тангаж, крен) та фіксувати рух. Число біля DOF це якраз показник того, скільки ступенів можна контролювати одночасно за допомогою одного руху. Не всі засоби взаємодії дають повну свободу, а в багатьох випадках навіть спеціально обмежують її для покращення зручності введення, зокрема маніпулятор «миша» (2-DOF), який не потребує відстеження осі z чи орієнтації.

Застосування пристроїв для виконання взаємодії має свої переваги, а саме: збільшена точність маніпулювання, стандартизація, вимірювання руху чи положення рук користувача (трекери руху та миші ізоморфного керування), вимірювання докладеної сили (джойстики пружного чи ізометричного керування) тощо.

Техніки взаємодії розподіляють залежно від класу завдань, які виконують користувачі у віртуальному просторі: техніки вибору та маніпулювання об'єктами, техніки навігації, техніки управління системою (табл. А.35). Вибір певної техніки передбачає також вирішення завдання її візуального представлення.

Є два підходи до технік вибору та маніпулювання. *Ізоморфічний* передбачає сувору геометричну однозначну відповідність між рухами (зазвичай рук) у фізичному та віртуальному світі, а *неізоморфічний* дає змогу використовувати неможливі в реальності дії та інструменти, маніпулювати масштабом середовища, витягувати руки на великі відстані для створення покращеної реальності для взаємодії [124, с. 400]. Залежно від методу взаємодії та обладнання, виділяють такі базові метафори, як хапання (буквальне, за допомогою рукавичок або курком джойстика), указування (пальцем або віртуальною указкою), маніпуляції з поверхнею, непряме маніпулювання (за допомогою 2D чи 3D меню). Маніпуляція може передбачати дії, які люди виконують у реальному світі — вибір, торкання, вказування або захоплення, переміщення та обертання об'єктів, а також неможливі в реальності, наприклад, масштабування об'єкта. Окрім перелічених недеформуючих дій, можливі також і деформуючі дії, що змінюють форму об'єкта. Кожна з метафор формує фундаментальну ментальну модель техніки — перцептивний прояв того, що користувачі можуть зробити, використовуючи методи (дозволи), і чого вони не можуть зробити (обмеження). Окремі техніки можна розглядати в ролі різних реалізацій цих основних метафор.

Для того, щоб візуально підтримати взаємодію використовуються спеціальні графічні об'єкти, що розміщуються на екрані навколо або поряд із цільовими, які називаються 3D-гізмо або маніпулятори (табл. А.36). Їхній зовнішній вигляд підказує можливі дії під час маніпуляції та демонструє візуальні підказки щодо абсолютних чи відносних змін. До таких об'єктів належать рамки та решітки навколо об'єктів, ручки, за які можна тягнути, віртуальні сфери, що допомагають обертати об'єкти тощо.

Пряме маніпулювання є найбільш природнім та звичним. Метафора хапання може будуватися на базі рук чи пальців. Найпростіший варіант такої техніки вибору — зіставлення віртуальної руки з рухами реальної. Однак, є проблема вибору об'єктів за межами досяжності, яку вирішують у 3D-взаємодії, і на поміч приходять такі техніки, як «Go-Go» [317], така собі гумова рука та її покращені варіанти, спрямовані на вдосконалення алгоритмів вибору цілі: «Бульбашковий курсор» [188] для захвату найближчої цілі, PRISM [173] для варіювання швидкості руху віртуальної руки для точності вибору, «Крюк» [298] для захвату рухомих об'єктів, «Intent-Driven Selection» [308] для покращення вибору пальцями тощо.

Вказування цілі може відбуватися за допомогою використання віртуальних інструментів, побудованих на базі метафор: віртуального променя (вектора), який визначає напрямок вказівки; рибальської катушки, яка забезпечує керування довжиною віртуального променя; рамки вибору, яка допомагає маніпулювати 2D-проекціями об'єктів на віртуальній площині перед користувачем, як в інтерактивних столах чи дошках. Обирати можна не тільки об'єкт, а й деякий об'єм у просторі. Такі техніки побудовані на поєднанні задавання вектору напрямку та розміру об'єму для захоплення, висловлені в таких метафорах, як «ліхтарик», «розмір діафрагми фотоапарату» та «радіус сфери», які позначають способи вибору та форму захвату.

Використання сенсорних дисплеїв дає змогу робити вибір та маніпуляції жестами на поверхні екрана, а мультисенсорні дисплеї роблять можливими такі багатоточкові дії, як обертання чи перетаскування, використовуючи два

чи більше пальців, що дає змогу одночасне задання радіусу, кута оберту тощо. Також мультисенсорні екрани дають змогу виконувати й інші маніпуляції, що побудовані на двовірних проєкціях тривимірних об'єктів на площину екрана: стиснення чи розведення пальців, техніку «пустих тіней», «повітряної кулі», «штопору», «трикутного курсору» тощо.

Непрямі методи взаємодії дають змогу маніпулювати об'єктами на будь-якій відстані, не перекривають цільовий об'єкт вказівниками чи пальцями, обмежують кількість одночасних дій, що може зменшити кількість помилок та випадкових рухів, які можуть виникнути в процесі маніпуляції чи вибору, підвищують точність керування параметрами. Виділяють три підходи [124, с. 434] до непрямих методів взаємодії: *простір керування*, *проксі* (посередник) та *віджет*.

Техніки *окремого простору керування* відокремлюють керування від відображення. Для вводу можна застосовувати окремі екрани чи панелі, або працювати у виділеній зоні на основному дисплеї (іл. А.5 (а)). Один із цікавих підходів до непрямой взаємодії — це використання віртуальної поверхні для маніпуляцій на непласких поверхнях [297], який спрощує розміщення об'єктів на криволінійній поверхні без проблем стикування чи заглиблення в поверхню.

Проксі дають змогу взаємодіяти з репрезентативними копіями об'єктів і переносити ці маніпуляції на оригінальні об'єкти, наприклад, техніки «Світу в мініатюрі» та «Вуду». *Техніка «Вуду»* [311] пропонує використовувати для маніпуляцій копію обраного об'єкта в зручному масштабі (іл. А.5 (b)), зміни якого призведуть до змін оригіналу. *Техніка «Світу в мініатюрі»* (World-in-miniature, WIM) [367] надає користувачу зменшену в масштабі модель віртуального простору, якою можна маніпулювати окремо від основної (іл. А.5 (c)). Це може бути свого роду мапа для навігації та загального огляду простору або майданчик для маніпулювання. Для ефективної роботи зі зменшеною копією величезного простору може знадобитися деградація деяких деталей чи спрощене відображення.

Віджети — це елементи керування, розміщені в 3D-сцені з об'єктами, якими маніпулюють. Вони можуть мати різну форму та наповнення, яким користувач може безпосередньо керувати (іл. А.5 (d)). Бувають контекстуально пов'язані з об'єктами або можуть впливати на те, які об'єкти відображаються. Вони подібні до двомірних панелей, але знаходяться в просторі й допомагають вносити зміни чи маніпулювати об'єктами. Звичайні віджети видимі весь час, а контекстно-залежні стають видимі, коли виділяють якийсь об'єкт.

Використання двох рук одночасно дає змогу вводити більш складні техніки для маніпулювання об'єктами, які передбачають симетрично-синхронні, симетрично-асинхронні, асиметрично-синхронні чи асиметрично-асинхронні дії [385]. Наприклад, техніки «шпіндель» [267] для маніпулювання із центром прив'язки між двома руками або «гнучкий промінь» [283] для вказування на частково закриті об'єкти, використовуючи контроль положення, довжину та кривизну сплайна Безьє.

Техніки навігації. Навігація передбачає орієнтацію в просторі, пошук шляху та переміщення до цілі (табл. А.35, Техніки навігації). Залежно від завдання, переміщення в просторі може бути досліджуваним, коли немає конкретної мети, або цільовим, коли мета є, яке ще поділяється на пошук шляху до мети та слідування відомим шляхом. Кожен із варіантів може потребувати окремого набору підказок для користувача, зазвичай візуальних.

Отримання знань про навколишнє середовище та формування когнітивної мапи простору є важливим кроком під час навігації застосунком. Це потребує створення візуально різноманітного середовища, яке містить відмінні за формою та контуром елементи, що можуть стати орієнтирами. У багатьох 3D-ігрових середовищах дослідження невідомих просторів є важливою частиною розважальної цінності гри [124, с. 478], що може стати ключовим і під час подорожі доповненим простором. У той самий час, ефективне виконання завдань у знайомому середовищі та підтримка легкого пошуку шляху до цілі (елемента в просторі, об'єкта тощо) може стати

основним фокусом створення AR-середовища. Такі середовища можуть включати в себе етап планування маршруту: розміщення маркерів у ключових місцях у середовищі, малювання на тривимірній чи двовимірній мапі тощо.

Пошукові завдання передбачають подорож до певної мети або цільового місця в навколишньому середовищі й мають такі характеристики, як відстань, яку треба подолати, кривизна або повороти на шляху, необхідна кількість DOF для руху, наявність додаткових завдань під час подорожі [124, с. 478]. Для полегшення завдань із пошуку використовуються такі ж засоби, як і в реальному світі: наповнене відзнаками, за яке може зачепитись око, середовище, наявність орієнтирів, використання карт, компасів, схем, вказівників, стежок чи еталонів. Така візуально невелика деталь, як позначення поточного розташування (позначки «Ви тут») може значно покращити досвід роботи із системою. Але, на відміну від реальності, ці інструменти не обов'язково мають імітувати реальні об'єкти й можуть бути їхніми покращеними версіями, а в певних випадках, і взагалі, пропонувати методи швидкого переміщення без подорожі.

Переміщення в доповненій реальності відбувається синхронно із реальною та зазвичай співвідноситься одне з одним. Однак, занурені середовища та різні фактори використання (мало місця, велика відстань, яку треба подолати) можуть потребувати застосування масштабованого переміщення, перенаправленої ходьби або імітації переміщення. Масштабована ходьба передбачає пропорційне збільшення швидкості руху до цілі, залежно від руху користувача [215], а перенаправлена коригує рух людини, зберігаючи ілюзію руху вперед. Ф. Стейніке (Steinicke) та колеги [364] визначили, що користувачі можуть повертати тіло на 49% більше або на 20% менше ніж візуально відображений поворот, переміщуватися на 14% далі або 26% ближче, ніж показано у віртуальному переміщенні без дискомфорту та вестибулярно-візуального конфлікту.

Ілюзія переміщення без виконання відповідних рухів може викликати побічні ефекти подібні до кібертошноти, тому намагаються або створити

статичне середовище, або дати можливість рухатись. Створити ілюзію руху та адаптуватися допомагають платформи, авто, велосипеди тощо. Наприклад, велосипеди та велосипедо-подібні установки, які насправді залишаються зафіксовані, дають змогу користувачу крутити педалі та забезпечують додатковий фізичний відгук на зміну візуального представлення.

Окрім горизонтальної подорожі, можлива також і вертикальна. Хоча цей вид подорожі складно природно імітувати, щоб не викликати побічних ефектів, є дві техніки, які максимально виключають показ рухомого простору та полегшують переміщення: техніка ручної взаємодії з «віртуальною драбиною» [358; 373] та техніка автоматичного вертикального переміщення «ліфт», — які можуть відчуватись реалістичними та природними.

Питання управління та контролю системи теж неодмінно виникає на вищих рівнях інтерактивності та свободи дій користувача. Зазвичай ці процеси відбуваються переважно через графічні меню, що репрезентують команди та віртуальні інструменти, призначені для виконання певної функції, а також голосові команди та жести.

Однак, недостатньо просто запозичити звичайні двомірні меню з комп'ютерного інтерфейсу. Вони потребують переосмислення у зв'язку з новими засобами вводу та форматами відображення, які використовує AR. Наприклад, наголовні пристрої можуть використовувати точку-курсор для управління через рухи головою, а проєкційні дисплеї потребують значно більшої активної площі для активації вибору та корекції масштабу елементів, з урахуванням розмірів проєкції та її від відстані до користувача.

Введення символічної інформації теж потребує адаптації. На відміну від комп'ютерних систем, де введення великих обсягів тексту потребує використання фізичної або екранної клавіатури, введення символів у доповненій реальності носить епізодичний характер (хоча й це може змінитися з популяризацією та ширшим застосуванням AR-окулярів) і для нього використовують спрощені меню вибору, введення жестами в повітрі або спеціалізовані пристрої введення, типу відстежування ручки.

На елементи контролю в інтерфейсі теж має вплив людський фактор: наскільки великим чи малим є загальний розмір меню, що впливає на необхідність виконувати широкі, розмахисті чи деталізовані й точні рухи; наскільки зручним для читання та перегляду меню є розмір тексту, чи відповідає він віковим особливостям; наскільки добре видно об'єкт, характеристики його прозорості; наскільки багато елементів на екрані та чи відбувається перекриття активного меню іншими елементами.

Кількість та глибина вкладеності категорій пов'язані з кількістю когнітивних зусиль, потрібних для побудови розуміння структури системи. Відповідно, має значення те, яким чином влаштовані переключення між блоками налаштувань та переходи між категоріями. Поміж ергономічних факторів є вплив пози, хвату та рухів під час роботи з елементами керування. Свої обмеження накладає система, наприклад, врахування фізичного розміщення, розміру дисплею, його технічних характеристик (яскравості та світимості), зовнішнього оточення (шум, навколишнє освітлення тощо).

Найпростішими елементами управління є кнопки та перемикачі. Вони можуть бути як самостійними елементами управління, так і входити до складу більш складних блоків. В інтерфейсі можуть бути представлені в цифровій формі: на екрані, як частина HUD, елемент вікна чи поряд з об'єктами у просторі. А також, можуть бути фізично присутні поряд з екраном, як у портативних консолях, чи як окремих приладів, специфічних джойстиків, а також, як звичайних чи спеціальних фізичних об'єктів, що відстежуються. Їхній зовнішній вигляд може варіюватися наявністю піктограм, тексту, фону, рамки та таких стилістичних елементів, як тіні, бліки, текстури.

Невелика кількість кнопок добре підходить для проєктів публічних систем, якими користуються новачки. Такі системи дають змогу швидко визначити доступні дії та почати роботу. Такий підхід застосовується в розважальних парках атракціонів, банкоматах, гральних автоматах. Комбінації кнопок можуть мати нові функції, як у ігрових консолях, де

невелика кількість кнопок та певний час для освоєння створюють умови для швидкого та варіативного вводу.

Щоб кнопки стали зручним інструментом, їхні функції мають бути відомі та зрозумілі, а зовнішній вигляд, розмір та розташування відповідати контексту. Розміщення кнопок із найбільш популярними командами в легкодоступному місці одна із частих практик у дизайні інтерфейсу. Але, коли кнопок стає забагато, зручність їхнього використання знижується, однотипні елементи починають змішуватись, і тоді варто або скоротити їхню кількість або пустити в дію принцип групування, що допоможе зменшити кількість об'єктів, які беруть участь у когнітивному відборі. Підсумовуючи вищесказане, можна проголосити, що погіршення зручності використання кнопок можливе через використання неочевидних функцій, невдале розташування та використання незрозумілих візуальних кодів.

Графічні меню в AR-системах представлені як адаптовані двомірні меню, 1-DOF меню та 3D-віджетів [124]. Двомірні меню, наприклад, розкриті, роздвіжні, плаваючі, впливаючі, панелі інструментів тощо, які в багатьох випадках є зручним способом управління навіть у тривимірних системах, бо дають змогу розмістити велику кількість елементів і мають звичний вигляд. Однак, вони також знижують відчуття присутності та перекривають основний простір.

У наголовних дисплеях, *2D меню* можуть прикріплюватися до положення голови, щоб залишатися перед полем зору глядача, або розміщуватись у просторі, що забезпечує паралельний огляд декількох панелей меню одночасно. Такі меню, також можуть кріпитися до рук із контролерами в них або до спеціального об'єкта, наприклад, планшетки.

Просторові меню з одним ступенем свободи (1-DOF) можуть кріпитися до рук [252; 347], як браслети чи годинник, де вибір відбувається через прокручування меню до потрапляння потрібного пункту в зону вибору, або прив'язуватися до пальців [310], коли на кожний палець назначається свій

пункт меню. Вони можуть мати декілька рівнів, але в кожний момент часу доступний лише один рівень для вибору.

Найбільш різноманітна за формами та підходами категорія — *3D-віджети*. Зокрема гізмо та маніпулятори, які дають змогу управляти об'єктами, відносяться до категорії контекстно-залежних 3D-віджетів. У доповненій реальності, роль віджетів на себе часто беруть фізичні об'єкти-маркери, як у прикладі з «Paper Cubes», про який ішлося вище.

Під час дизайну інтерфейсу, головними завданнями після визначення способу взаємодії, стають розміщення, репрезентація та структура елементів. Розміщення вбачає розв'язання таких питань, як перекриття об'єктів та кількість одночасно розміщених елементів чи меню управління. Зважаючи на те, що насамперед візуальний простір використовується для розміщення основного контенту, допоміжні елементи та елементи управління повинні мінімізувати свою візуальну присутність, або зникати після використання.

Методи вибору об'єктів різноманітні, але незалежно від обраної техніки та методу, процес вибору має бути візуально підтриманий, а вибраний елемент однозначно ідентифікований. Для цього використовуються такі техніки, як кодування за кольором чи формою, кольорові заливки, підсвічування, тіні, рамки, контури, масштаб або їхнього поєднання.

Для того, щоб полегшити вибір елементів із набору, вони мають бути упорядковані структурно та візуально. Структура передбачає стратегічне розміщення, групування елементів, візуальне виділення ієрархії та зв'язків [127]. Візуальна репрезентація включає використання різних кольорів, форм, поверхонь, текстур, розмірів, позицій, текстів та символів для розрізнення елементів. Відображення в AR може залежати від навколишніх умов та проблем видимості й потребує більш насичених кольорів, зміни колірному тону та більших розмірів, щоб підвищити видимість і розбірливість [174].

Підсумовуючи, можна сказати, що інтерфейси доповненої реальності, можуть поєднувати в собі різні підходи до взаємодії, комбінуючи двовимірні та тривимірні елементи, двовимірні та тривимірні техніки взаємодії, відповідно

до забезпечення бажаного рівня інтерактивності та діапазону доступних можливостей. У виборі техніки варто зважати на завдання, зручність, необхідну точність, потребу в позиціонуванні, комфортну відстань до об'єктів, розмір об'єктів майбутнього маніпулювання, точність захвату, насиченість середовища об'єктами тощо. Завдання, що не вимагають повноцінної тривимірності маніпуляцій, цілком можна забезпечити двомірними техніками. Доцільним буде й розроблення кількох методів навігації для різних типів завдань, а виконання найбільш поширених має вимагати найменше зусиль.

Додаток Е

Список публікацій здобувача

СПИСОК НАУКОВИХ ПРАЦЬ, В ЯКИХ ОПУБЛІКОВАНІ
ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Фоміна К. О. Ключові характеристики доповненої реальності. *Art and Design*. 2021. Вип. 3. С. 82–95. DOI: [10.30857/2617-0272.2021.3.8](https://doi.org/10.30857/2617-0272.2021.3.8).
2. Фоміна К. О. Conceptual Metaphors in Augmented Reality Projects. *Art and Design*. 2023. Вип. 1 (21). Р. 34–44. DOI: [10.30857/2617-0272.2023.1.3](https://doi.org/10.30857/2617-0272.2023.1.3).
3. Фоміна К. О. Характеристики доповненого простору як інтерфейсу взаємодії з доповненою реальністю. *Актуальні питання гуманітарних наук: міжвузівський збірник наукових праць молодих вчених Дрогобицького державного педагогічного університету імені Івана Франка*. 2023. Вип. 65. С. 59–66. DOI: [10.24919/2308-4863/65-3-9](https://doi.org/10.24919/2308-4863/65-3-9).
4. Фоміна К. О., Іваненко Т. О. Аналіз рівнів інтерактивності та взаємодії для проєктування інтерфейсів дизайн-продуктів. *ХУДПРОМ*. 2023. Вип. 2. С. 17–30. DOI: [10.33625/hudprom2023.02.017](https://doi.org/10.33625/hudprom2023.02.017).

ПУБЛІКАЦІЇ, ЯКІ ЗАСВІДЧУЮТЬ
АПРОБАЦІЮ МАТЕРІАЛІВ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Фоміна К. О. Аналіз дизайну та досвіду взаємодії AR гри-розповіді «На схід від скелястих гір». *«Україна та Європа. Культура в глобальних викликах сьогодення»*: матеріали Міжнародної наукової конференції, Київ, 20–21 вересня 2023 року. Київ, 2023. С. 146–149.
2. Фоміна К. О. The Experience of Using Augmented Reality in Spatial Art. *ПЕРШІ ТАРАНУШЕНКІВСЬКІ ЧИТАННЯ*: збірник матеріалів Всеукраїнської наукової конференції, 14–15 квітня 2023 р. Харків: ХДАДМ, 2023. С. 118–120.
3. Фоміна К. О. Using Levels of Interactivity for Analysis of Augmented Reality Projects. *«Актуальні проблеми сучасного дизайну»*: матеріали V

міжнародної науково-практичної конференції, 27 квітня 2023 р. Київ: КНУТД, 2023. С. 25-27.

4. Фоміна К. О. Challenges in the design of augmented reality systems. *Десяті Платонівські читання: тези доповідей Міжнародної наукової конференції*, Київ, 2022 р. Львів-Торунь: Liha-Pres, 2022. С. 239–240. DOI: [10.36059/978-966-397-301-2-111](https://doi.org/10.36059/978-966-397-301-2-111).

5. Фоміна К. О. Щодо термінів доповнена реальність та дизайн доповненої реальності. *Практичні та теоретичні питання розвитку науки та освіти: матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції*, м. Львів, 29-30 квітня 2022 року. Львів: Львівський науковий форум, 2022. С. 27–30.

6. Фоміна К. О. Сюжетні засоби анімації в проєктах із доповненою реальністю (на прикладі «Знайдення» з проєкту «Автопортрет з яблуком»). *Міжнародна науково-практична конференція «Синтез візуальних мистецтв крізь сторіччя: діалоги про вищу художню освіту Харкова», присвячена 100-річчю заснування вищої художньої школи Харкова: збірник статей*. Харків: ХДАДМ, 2021. С. 15–17.

7. Фоміна К. О. Водяні екрани, інтерфейси та доповнена реальність. *Перспективи розвитку сучасної науки та освіти: матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції* м. Львів, 25-26 вересня 2021 року. Львів: Львівський науковий форум, 2021. С. 15–17.

8. Опалєв М. Л., Фоміна К. О. Використання простору в дизайні доповненої реальності для творів живопису і графіки. *International scientific and practical conference «Cultural studies and art criticism: things in common and development prospects»*. Venice: Izdevniecida «Baltija Publishing», 2020. С. 163–167. DOI: [10.30525/978-9934-26-004-9-111](https://doi.org/10.30525/978-9934-26-004-9-111).

9. Фоміна К. О. Потенціал використання віртуальної та доповненої реальності у роботі дизайнерів. *Всеукраїнська наукова конференція професорсько-викладацького складу і студентів ХДАДМ за підсумками роботи 2019/2020 навчального року: збірник статей*. Харків: ХДАДМ, 2020. Т. 15. С. 48–50.

ПУБЛІКАЦІЇ, ЯКІ ДОДАТКОВО ВІДОБРАЖАЮТЬ
НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Фоміна К. О. Застосування технології доповненої реальності у вивченні геометрії. *Сучасні проблеми геометричного моделювання*. 2020. Вип. 19. С. 163–178. DOI: 10.33842/22195203/2020/19/163/178.
2. Фоміна К. О. Доповнена реальність, як дидактичний матеріал у вивченні геометрії. *XXII Міжнародна науково-практична конференція, 2-5 червня 2020 р.*: збірник тез. Мелітополь: Мелітопольський державний педагогічний університет ім. Б. Хмельницького, 2020. С. 33.

Додаток Ж

Апробація результатів дослідження

Харківська державна академія дизайну і мистецтв (ХДАДМ) вул. Мистецтв, 8 Харків, 61002, Україна тел. (057) 706-04-04 тел./факс (057) 706-15-60		Kharkiv State Academy of Design and Arts (KSADA) vul. Mystetstv, 8, Kharkiv, 61002, Ukraine tel. +38(057) 706-04-04 tel/fax +38(057) 706-15-60
ХАРКІВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ДИЗАЙНУ І МИСТЕЦТВ		
E-mail: academy@ksada.edu.ua http://www.ksada.org Код ЄДРПОУ 02071145		
№ _____ від " ____ " _____ 2023 р. На № _____ від " ____ " _____ 2023 р.		
Довідка про впровадження результатів дисертаційної роботи Фоміної К.О. за темою: «Дизайн систем доповненої реальності – типологія інтерфейсів і принципи проєктування», що подана на здобуття ступеня кандидата мистецтвознавства зі спеціальності 022 Дизайн		
Ми, комісія у складі: декан факультету «Дизайн», кандидат мистецтвознавства, професор Сбітнева Н.Ф., зав. кафедри мультимедійного дизайну кандидат мистецтвознавства, доцент Опалєв М.Л. підтверджуємо, що матеріали і результати дисертації Фоміної К.О. за темою: «Дизайн систем доповненої реальності – типологія інтерфейсів і принципи проєктування», а саме класифікація об'єктів доповненої реальності, типологія інтерактивних засобів дизайну та інші питання, дотичні до теми дослідження, було впроваджено в навчальну програму дисципліни «Інтерактивне проєктування» кафедри «Мультимедійний дизайн» Харківської державної академії дизайну і мистецтв.		
Голова комісії: декан ф-ту «Дизайн», канд. мист., професор  Сбітнева Н.Ф. Член комісії: зав. кафедри «Мультимедійний дизайн», канд. мист., доцент  Опалєв М.Л. 		