

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

**Факультет електроніки**

(повна назва інституту/факультету)

**Кафедра акустичних та мультимедійних електронних систем**

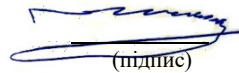
(повна назва кафедри)

“На правах рукопису”

УДК 004.422.81

“До захисту допущено”

Завідувач кафедри

  
(підпис)

С.А. Найда  
(ініціали, прізвище)

“ ” \_\_\_\_\_ 2021 р.

## Магістерська дисертація

спеціальність 171 Електроніка  
(код і назва спеціальності)


на тему: “Дослідження цифрових імерсивних інструментів для культурно-мистецьких заходів”

Виконала: студентка II курсу, групи ДВ-91мн  
(шифр групи)

Умярова Катерина Юріївна  
(прізвище, ім'я, по батькові)

  
(підпис)

Науковий керівник професор, д.т.н., Власюк Г.Г.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

  
(підпис)

Рецензент заст.нач.каф. ЗІТ та ІБ, к.т.н., Войтко О.В.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

  
(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент



\_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2021 р.

**Національний технічний університет України  
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”**

Інститут (факультет) Факультет електроніки  
(повна назва)

Кафедра кафедри акустичних та мультимедійних електронних систем  
(повна назва)

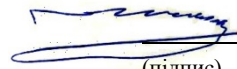
Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою

Спеціальність (освітня програма) 171 Електроніка

(Електронні системи мультимедіа та засоби Інтернету речей)  
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри



С. А. Найда  
(ініціали, прізвище)

“ ” травня 2021 р.

**ЗАВДАННЯ  
на магістерську дисертацію студенту**

Умяровій Катерині Юріївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації “Дослідження цифрових імерсивних інструментів для культурно-мистецьких заходів”  
науковий керівник дисертації Власюк Ганна Григоріївна, професор, д.т.н.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
затверджені наказом по університету від “15” березня 2021 р. № 835-с.
2. Строк подання студентом дисертації 06.05.2021 р.
3. Об'єкт дослідження: методи впровадження цифрових імерсивних інструментів при організації культурно-мистецьких заходів.
4. Предмет дослідження (Початкові дані – для магістерської дисертації за освітньо-науковою програмою): дослідження механізму підвищення рівня залученості відвідувачів культурно-мистецьких заходів при впровадженні цифрових імерсивних технологій.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1) Огляд літературних джерел; 2) Конструювання обладнання до проекту Google Cardboard; 3) Встановити перелік необхідних до закупівлі деталей для конструювання проекту Google Cardboard; 4) Розробити застосунок Google Cardboard VR у середовищі Unity; 5) Провести тестування; 6) Відвідати центр, що спеціалізується на використанні технологій віртуальної реальності у гейм-індустрії для порівняння підсумків роботи над обладнанням.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 1) 53 рис, 18 табл., 1 презентація, 16 слайдів.

Перелік публікацій: 1) Формування соціального інтелекту у випускників вищого навчального закладу як вимога ринку праці // Міжнародна науково-практична конференція «Scientific practice: Modern and classical research methods», 2021 р., С.21-23.

7. Дата видачі завдання 01.02.2021 р.

#### Календарний план

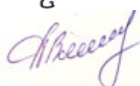
№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Написання першого розділу: Імерсивність та імерсивне середовище	20.02.2021	Виконано
2	Написання другого розділу: Технологічні аспекти застосування імерсивних технологій для культурно-мистецьких заходів	27.02.2021	Виконано
3	Складання математичної моделі	10.03.2021	Виконано
4	Реалізація проекту Google Cardboard	24.03.2021	Виконано
5	Розробка застосунку Google Cardboard VR у Unity	08.04.2021	Виконано
6	Розробка стартап-проекту	22.04.2021	Виконано
7	Оформлення пояснювальної записки та підготовка презентації для доповіді	06.05.2021	Виконано

Студент



К.Ю. Умярова

Науковий керівник



Г.Г. Власюк

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 118 с., 53 рис., 19 табл., 1 дод., 15 джерел  
ІМЕРСИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ, КУЛЬТУРНО-МАСОВІ ЗАХОДИ,  
ВІРТУАЛЬНА РЕАЛЬНІСТЬ, ЗМІШАНА РЕАЛЬНІСТЬ, ДОПОВНЕНА  
РЕАЛЬНІСТЬ, UNITY, GOOGLE CARDBOARD

### **Актуальність дослідження.**

Традиція організації урочистих заходів супроводжує людство з часів його появи. Людям завжди було властиво збиратися і влаштовувати урочистості з нагоди різних подій, будь то язичницькі танці біля багаття, коронація нового владики або гучне сільське гуляння.

При цьому, у пошуках засобу для більшої виразності за межами мови відбувається відмова від лінійності оповідання та від вербального. Цей аспект є істотним для VR, тому що сприйняття відбувається через органи почуттів і мову тіла. Сьогодні цю властивість повсюдно використовують на культурно-мистецьких заходах і позначають її як інтерактивність.

Процес масової діджиталізації, що почався в XXI столітті, допоміг сформуватися імерсивним технологіям і досягти певного рівня зрілості. З настанням цього етапу розвитку, словосполучення «віртуальна реальність» втрачає своє історичне філософське значення і стає позначенням технології. Сформувалися стійкі області застосування VR: візуалізація наукових даних, проектування і будівництво, архітектура, візуалізація Big Data, медицина, освіта, мистецтво, розваги, культурно-масові заходи та ін. Потенціал застосування цих технологій несе в собі багатий філософський, культурологічний і психологічний досвід.

Обрана тема є актуальною, оскільки внаслідок збільшення інтерактивності шляхом впровадження цифрових імерсивних інструментів відбувається підвищення рівня залученості відвідувачів культурно-мистецьких заходів, а зібраний власноруч шолом віртуальної реальності

Google Cardboard із використанням програмного забезпечення розширює можливості імерсивного використання, підвищує інформативність та розширює області використання пристрою.

**Метою дослідження** є аналіз наявних пристроїв, що дозволяють використовувати імерсивні технології, а також конструювання шолому віртуальної реальності Google Cardboard та розробка відповідного мобільного застосунку, що дозволить досягти високого рівня занурення у віртуальну реальність без великих фінансових витрат.

**Об'єкт дослідження** – апаратне та програмне забезпечення, що застосовується для роботи з цифровими імерсивними технологіями

**Предмет дослідження** – дослідження механізму підвищення рівня залученості відвідувачів культурно-мистецьких заходів при впровадженні цифрових імерсивних технологій.

**Методи дослідження** – аналіз апаратного та програмного забезпечення, що застосовується для роботи з цифровими імерсивними технологіями.

**Наукова новизна отриманих результатів:** розглядається виготовлення шолому віртуальної реальності Google Cardboard з можливістю використання імерсивних технологій для культурно-мистецьких заходів, а також розробка і подальше використання відповідного застосунку.

**Практичне значення одержаних результатів:** запропоновано технологію виготовлення шолому віртуальної реальності Google Cardboard, розроблено додаток для подальшого використання.

**Апробація результатів дисертації:** Доповідь на Міжнародній науково-практичній конференції «Scientific practice: Modern and classical research methods», 2021 р.; доповідь на Конференції молодих вчених Української військово-медичної академії (м.Київ, 21-22 травня 2021); report at the Conference of Young Scientists of the Ukrainian Military Medical Academy (Kyiv, May 21-22, 2021).

## ABSTRACT

Master's thesis: 118 p., fig. 53, tabl. 19, refer. 15, 1 appendix.

IMMERSIVE TECHNOLOGIES, CULTURAL AND MASS EVENTS,  
VIRTUAL REALITY, MIXED REALITY, augmented REALITY, UNITY,  
GOOGLE CARDBO

Relevance of research.

The tradition of organizing events has accompanied mankind since its inception. People have always used to gather and hold celebrations on the occasion of various events, be it pagan dances by the fire, the coronation of a new bishop or a loud village celebration.

At the same time, in search of a means for greater expressiveness outside the language, there is a rejection of the linearity of the story and the verbal. This aspect is essential for VR because perception occurs through the senses and body language. Today, this property is widely used in cultural and artistic events and is referred to as interactivity.

The process of mass digitalization, which began in the XXI century, has helped to form immersive technologies and reach a certain level of maturity. With the onset of this stage of development, the phrase «virtual reality» loses its historical philosophical significance and becomes a symbol of technology. Stable areas of application of VR have been formed: visualization of scientific data, design and construction, architecture, visualization of Big Data, medicine, education, art, entertainment, cultural events, etc. The potential application of these technologies carries a wealth of philosophical, cultural and psychological experiences.

The chosen topic is relevant because the increase in interactivity through the introduction of digital immersive tools increases the level of involvement of visitors to cultural and artistic events, and the self-assembled Google Cardboard virtual reality helmet with software expands the possibilities of immersive use, increases information and expands the device.

The aim of the study is to analyze the existing devices that allow the use of immersive technologies, as well as the design of a virtual reality helmet Google Cardboard and the development of appropriate mobile applications that will achieve a high level of immersion in virtual reality without large financial costs.

The object of research is hardware and software used to work with digital immersive technologies

The subject of the research is the study of the mechanism of increasing the level of involvement of visitors of cultural and artistic events in the introduction of digital immersive technologies.

Research methods - analysis of hardware and software used to work with digital immersive technologies.

Scientific novelty of the obtained results: the production of a Google Cardboard virtual reality helmet with the possibility of using immersive technologies for cultural and artistic events, as well as the development and further use of the appropriate application is considered.

Practical significance of the obtained results: the technology of making a Google Cardboard virtual reality helmet is proposed, an application for further use is developed.

Approbation of dissertation results: Report at the international scientific-practical conference «Scientific practice: Modern and classical research methods», 2021

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ</b> .....	11
<b>ВСТУП</b> .....	12
<b>1. ІМЕРСИВНІСТЬ ТА ІМЕРСИВНЕ СЕРЕДОВИЩЕ</b> .....	13
1.1. Визначення імерсивності .....	13
1.2. Прояви імерсивності в різних сферах.....	13
1.2.1. Імерсивність в культурі .....	13
1.2.2. Імерсивність в психології.....	14
1.2.3. Імерсивність в освіті .....	15
1.3. Імерсивне середовище та його компоненти .....	15
1.3.1 Апаратні технології для стимуляції органів зору .....	15
1.3.2 Апаратні технології для стимуляції органів слуху .....	20
1.3.3 Апаратні технології для стимуляції органів тактильних відчуттів.....	24
1.3.4 Апаратні технології для стимуляції органів нюху.....	28
1.3.5 Апаратні технології, що надають можливість взаємодіяти і спілкуватися з віртуальним середовищем .....	29
Висновки до розділу 1 .....	33
<b>2. ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ІМЕРСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ КУЛЬТУРНО-МИСТЕЦЬКИХ ЗАХОДІВ</b> .....	34
2.1. Передумови для появи імерсивних технологій в сфері культури і мистецтва .....	34
2.1.1. Використання імерсивних технологій в музеях.....	36
2.1.2. Використання імерсивних технологій в івент-індустрії.....	39
2.2. Технологічні характеристики пристроїв .....	41
2.2.1. Технологічні характеристики VR-пристроїв.....	41
2.2.2 Технологічні характеристики AR-пристроїв.....	48
2.2.3 Технологічні характеристики MR-пристроїв .....	53
Висновки до розділу 2.....	58



3. РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЕКТУ GOOGLE CARDBOARD .....	59
3.1. Особливості пристрою Google Cardboard .....	59
3.2. Постановка задачі до моделювання.....	60
3.3. Підготовка обладнання для конструювання Google Cardboard .....	61
3.3.1 Смартфон.....	61
3.3.2 Шаблон VR-окулярів.....	62
3.3.3 Необхідні матеріали.....	62
3.3.3 Лінзи .....	63
3.3. Технологія конструювання Google Cardboard.....	65
3.4. Використання Google Cardboard .....	68
3.5 Доступні програмні можливості VR-шолома .....	69
3.5.1 Перегляд 3D відео.....	69
3.5.2 Андроїд-додатки для Durovis Dive і подібних систем.....	69
Висновки до розділу 3.....	70
4. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ .....	72
4.1 Формулювання проблеми .....	72
4.2 Формулювання математичної моделі.....	73
4.3 Розв'язок поставленої математичної моделі .....	75
4.4 Перевірка адекватності моделі, проведення ідентифікації моделі ..	78
Висновки до розділу 4.....	79
5. РОЗРОБКА ЗАСТОСУНКУ GOOGLE CARDBOARD VR У UNITY ...	80
5.1 Необхідне програмне та апаратне забезпечення.....	80
5.2 Підготовка Android SDK та Java SE SDK.....	80
5.3 Створення проекту для Google Cardboard у середовищі Unity. ....	84
5.4 Налаштування взаємодії з Cardboard.....	87
5.5 Тестування VR-застосунку .....	93
5.6 Адаптація застосунку для пристрою Android .....	95
Висновки до розділу.....	95

6. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ ЗА ТЕМОЮ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ.....	96
6.1 Опис ідеї проекту онлайн програми .....	96
6.2 Технологічний аудит ідеї проекту .....	98
6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту .....	99
6.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	103
6.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту .....	104
ВИСНОВКИ .....	107
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	109

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ**

ПК	–	Персональний комп'ютер
AR	–	Доповнена реальність (англ. Artificial Reality)
ASR	–	Автоматичне розпізнавання мови
HMD	–	Наголовний дисплей (англ. Head-mounted display)
MR	–	Змішана реальність (англ. Mixed Reality)
ODT	–	Всенаправлена бігова доріжка
SDDS	–	Sony Dynamic Digital Sound
VR	–	Віртуальна реальність (англ. Virtual Reality)

## ВСТУП

Глобалізація інформаційного простору і процес масової діджиталізації, що почалися в XXI столітті, призвели світ до переосмислення способів виробництва і подачі контенту, породивши в індустрії нові явища. Стрімке поширення технологій і новітні технічні пристосування, Інтернет, доступний з різноманітних носіїв, надають можливість по-різному працювати з інформацією [1].

Концертно-мистецькі та культурологічні заходи, творчі програми та проекти – культурні індустрії, як і багато інших сфер нашого життя, впевнено звертається до високотехнологічних мультимедіа-рішень для проведення заходів на якісно новому рівні. Зараз вже нікого не здивуєш звичайними розвагами та конкурсами. Видовищність – напевно, так можна охарактеризувати тренд в сучасних заходах [2].

Трансформація інформаційного суспільства породила феномен «кліпового мислення» ( «кліпове мислення являє собою форму буденної свідомості», що мислить монтажно і «віддає перевагу нетекстовій, образній інформації ...» і не здатне до «сприйняття тривалої лінійної послідовності - однорідної і одностильної інформації, в тому числі книжкового тексту». Зі зміненими стандартами поведінки і споживання інформації, повинна змінитися форма подачі матеріалу, щоб відповідати сучасним стандартам.

Імерсивні технології для культурно-мистецьких заходів виникають в результаті наступних течій [3, 4]:

- Фонове сприйняття інформації відходить на другий план;
- Технології змінюють структуру споживання інформації;
- Роль відвідувача/користувача стає активною;
- Боротьба за залучення і утримання уваги;
- Можливість транслювати те, що в реальності може бути небезпечно;
- Можливість транслювати те, що в реальності неможливо;
- Можливість транслювати те, що дорого коштує в реальності;
- Можливість транслювати те, що рідко зустрічається і складно зловити.

# 1. ІМЕРСИВНІСТЬ ТА ІМЕРСИВНЕ СЕРЕДОВИЩЕ

## 1.1. Визначення імерсивності

Імерсивність (від англ. Immersive - «створює ефект присутності, занурення») - це спосіб сприйняття, що визначає фактор зміни свідомості, в сучасному світі є важливим і частим об'єктом вивчення [5]. Різні приклади ефекту занурення ми спостерігаємо в кіно, театралізованих виставах, постійній взаємодії з віртуальним співтовариством, за допомогою ПК. Важливо відзначити, що певні рівні імерсивного сприйняття досягалися в літературі і живопису з моменту їх зародження. Саме глибина сприйняття зумовлювала успіх творів мистецтва. Предметом вивчення психології є питання, на яке поки що ніхто не почув відповіді - де знаходиться та межа людської свідомості, яка відокремлює абсолютну реальність та ту, що моделюється [6, 7, 8].

Розглядаючи поняття імерсивності, його зазвичай визначають як занурення в певні, штучно сформовані умови. Феномен занурення досить широко досліджений в різних джерелах. Основний акцент в контексті проблеми, що розглядається, зроблений на технологічні чинники моделювання свідомості за допомогою візуалізації штучного оточення. Історія феномена, що розглядається, починає відлік з моменту перших спроб відтворення навколишньої дійсності за допомогою малюнка, музики і т. д. Важливо відзначити, що завжди сприйняття не було однозначним, на когось вплив відзначається з великим ефектом, на когось з меншим [9, 10].

## 1.2. Прояви імерсивності в різних сферах

### 1.2.1. Імерсивність в культурі

Існує велика кількість прикладів впровадження імерсивності в культуру, в основному, західну. «Secret cinema» (в перекладі з англ. Секретний кінотеатр) в Лондоні пропонує поринути у віртуальну реальність і обіцяє повне стирання

кордонів між реальним і віртуальним світом. «Sleep No More» (в перекладі з англ. Сну більше немає) в Нью-Йорку - це імерсивний театр, куди приходять люди, щоб на деякий час зануритися в реальність, що моделюється. Сучасні технологічні рішення дозволяють активізувати внутрішнє сприйняття навколишнього простору, що дає можливість формування чуттєвого сприйняття і створення внутрішнього відчуття включеності (вживання) в реалізований процес [11, 12].

Ефект імерсивності активно застосовується в кіно, театрі, живописі, індустрії розваг. Віртуалізація свідомості дозволяє активізувати розумові процеси і визначає можливість загострення сприйняття [13]. Імерсивне сприйняття представляє особливий інтерес з точки зору психології. Почуття присутності є важливим аспектом переживань людини, що взаємодіє з віртуальним середовищем. Почуття присутності проявляється у відчутті перенесення у віртуальне середовище і реальності взаємодії з розташованими в віртуальному середовищі об'єктами. Почуття присутності можна визначити як сприйняття безпосередньої взаємодії з віртуальним середовищем без усвідомлення того, що це середовище штучно змодельоване технологією [14, 15, 16]. Це не впливає прямо на ефективність роботи з віртуальним оточенням, але обумовлює її якість, зокрема, може впливати на виникнення технологічних залежностей.

### **1.2.2. Імерсивність в психології**

Сприйняття почуття присутності зумовлене великою кількістю чинників, які можуть бути диференційовані як технологічні і психологічні. Технологічні фактори - це особливості технології, які визначають, якою мірою віртуальне середовище є реалістичним [17].

Особливу роль при оцінці внутрішнього сприйняття імерсивного оточення відіграють психологічні фактори. Психологічні чинники - це особливості користувача, які визначають, якою мірою користувач сприймає

віртуальне середовище як реальне. Психологічні чинники почуття присутності вкрай важливі, так як почуття присутності - це суб'єктивний феномен, що не можуть бути визначеним повністю технологічними особливостями систем пред'явлення віртуальної реальності.

### **1.2.3. Імерсивність в освіті**

У зарубіжній літературі фігурує поняття «Immersive learning» (immersive teaching, immersive education), що описує вивчення і консолідацію потенціалу так званих «віртуальних світів» в освітньому середовищі. Імерсивні технології мають на увазі трансформацію ролі педагога, виставляючи акцент на проектуванні багатомодального віртуального середовища, створенні сценаріїв занурення. За останні кілька років «імерсивність» в сфері освіти була визнана потужним і ефективним інструментом підтримки навчання [18-27].

Імерсивний підхід в освіті осмислюється як стратегія пізнання, а також сукупність прийомів, способів інтерактивного продуктивної взаємодії суб'єктів освітнього процесу з метою розвитку і саморозвитку особистості студента в умовах штучно створеного віртуального оточення, яке здатне комплексно впливати на його сенсорні модальності [28-32].

## **1.3. Імерсивне середовище та його компоненти**

Повністю імерсивне, реалістичне середовище буде складатися з декількох компонентів. Наступні апаратні технології розроблені для стимуляції одного або декількох з п'яти органів чуття для створення реальних відчуттів [33, 34].

### **1.3.1 Апаратні технології для стимуляції органів зору**

#### **1.3.1.1 3D дисплей**

Стереодисплей (також 3D - дисплей) являє собою пристрій відображення, що здатний передати сприйняття глибини до глядача за допомогою стереоскопічного ефекту для бінокулярного зору.

Основна техніка стереодисплеїв полягає в поданні зміщених зображень, які відображаються окремо для лівого і правого ока. Обидва цих двомірних офсетних зображення потім об'єднуються в мозку, щоб створити відчуття глибини тривимірного зображення. Хоча термін «3D» використовується повсюдно, важливо відзначити, що сприйняття подвійних 2D-зображень помітно відрізняється від відображення зображення в трьох вимірах. Найбільш помітною відмінністю від реальних 3D-дисплеїв є те, що рухи голови і очей спостерігача не збільшують інформацію про відображувані тривимірні об'єкти. Наприклад, голографічні дисплеї не мають таких обмежень. Подібно до того, як при відтворенні звуку неможливо відтворити повне тривимірне звукове поле тільки за допомогою двох стереофонічних динаміків, також було б перебільшенням називати подвійні двомірні зображення «тривимірними». Точний термін «стереоскопічний» є більш громіздким, ніж не зовсім коректний «3D», який закріпився після багатьох десятиліть незаперечного зловживання. Слід зазначити, що хоча більшість стереоскопічних дисплеїв не кваліфікуються як справжні 3D-дисплеї, всі справжні 3D-дисплеї також є стереоскопічними дисплеями, оскільки вони також характеризуються більш низьким критерієм [35, 36].

### **1.3.1.2 Проекція на повний купол**

Повністю купольне відеопроєкційне середовище відноситься до підвидів імерсійних купольних відеопроєкційних середовищ. Купол, горизонтальний або похилий, заповнений комп'ютерною анімацією в реальному часі (інтерактивною) або попередньо візуалізованою (лінійною), зображеннями в режимі реального часу або складовою середовища. Незважаючи на те, що сучасні технології з'явилися на початку-середині 1990-х років, повнокупольні середовища еволюціонували під впливом безлічі факторів, включаючи імерсійні мистецтво і розповіді історій, з технологічним корінням в куполоподібній архітектурі, планетаріях, середовищах з багатопроєкторними фільмами, моделюванні польоту і віртуальній реальності. Спочатку для



рухомих повнокупольних зображень використовували ширококутні лінзи, як для 35-, так і для 70-міліметрової плівки, але висока ціна і незручний характер плівки не дозволили досягти значного прогресу; крім того, такі формати плівки, як Omnimax, не покривали повністю обидві стерадіани поверхні купола, залишаючи частину купола порожньою (хоча через розташування сидінь цю частину купола не було видно більшій частині глядачів). Більш пізні підходи до повнокупольного зображення використовували системи монохроматичної векторної графіки, що проектується через об'єктив «риб'яче око». В сучасних конфігураціях використовуються растрові відеопроєктори, як окремо, так і згруповані разом, щоб повністю покрити поверхню купола кольоровими зображеннями і анімацією [37-40].

Повноцінна відеопроєкція може використовувати різні типи технологій в двох типових форматах: системи з одним і кількома проєкторами. Окремий проєктор(-и) може керуватися безліччю джерел відеосигналу, зазвичай подаючи матеріал, що візуалізується, в режимі реального часу або у режимі попереднього рендерингу. Кінцевим результатом є відеозображення, яке покриває всю куполоподібну проєкційну поверхню, створюючи імерсійне враження, що заповнює поле зору глядача.

### **1.3.1.3 Шолом віртуальної реальності**

Наголовний дисплей (англ. Head-mounted display) або шолом віртуальної реальності являє собою пристрій, який можна надягти на голову, та має дисплей і оптичні лінзи (одна у монокулярному HMD або дві для кожного ока у бінокулярному HMD). Блоки відображення мініатюрні і можуть включати електронно-променеві трубки (ЕПТ), рідкокристалічні дисплеї (ЖК-дисплеї), рідкі кристали на кремнії (LCos) або органічні світловипромінюючі діоди (OLED). Деякі виробники використовують кілька мікродісплеїв для збільшення загальної роздільної здатності і поля зору [41, 42].

HMD розрізняються тим, чи можуть вони відображати тільки комп'ютерні зображення (CGI), або тільки живі зображення з фізичного світу, або їх комбінацію. Більшість HMD можуть відображати тільки зображення, створене комп'ютером, іноді воно називається віртуальним зображенням. Деякі HMD дозволяють накладати CGI на реальне зображення. Іноді це називають доповненою реальністю (AR) або змішаної реальністю (MR). Комбінування зображення реального світу з комп'ютерною графікою може бути виконано шляхом проектування комп'ютерної графіки через дзеркало, що частково відображає її, і безпосередній перегляд реального світу. Цей метод часто називають оптичним просвічуванням. Комбінування реального світу з CGI також може бути виконане в електронному вигляді шляхом змішування відео з камери з CGI в електронному вигляді.

#### **1.3.1.4 Голографія**

Голографія - це наука і практика створення голограм. Голограма, також відома як голограф, (від грецького «повний опис» або «цільне зображення») являє собою запис інтерференційної картини, яка використовує дифракцію, аби відтворити 3D світлове поле, в результаті чого у зображенні зберігаються глибина, паралакс і інші властивості вихідної сцени.

Голограма – це фотографічний запис світлового поля, а не зображення, яке було сформоване лінзою. Голографічний носій, наприклад об'єкт, створений за допомогою голографічного процесу (який може називатися голограмою), зазвичай незрозумілий при перегляді в розсіяному навколишньому світлі. Це кодування світлового поля як інтерференційного паттерну варіацій непрозорості, щільності або профілю поверхні фотографічного носія. При відповідному освітленні інтерференційна картина дифрагує світло до точного відтворення вихідного світлового поля, а об'єкти, що знаходяться в ньому, демонструють візуальні ознаки глибини, такі як паралакс і перспектива, які реалістично змінюються з різними кутами огляду.



Рисунок 1.1 – Дві фотографії однієї голограми, зроблені з різних точок огляду

Тобто вид зображення під різними кутами є об'єктом, що розглядається під однаковими кутами. У цьому сенсі голограми не володіють ілюзією глибини, але є дійсно тривимірним зображеннями [43].

У чистому вигляді голографії потрібне лазерне світло для освітлення об'єкта і для перегляду готової голограми. По всій записаній сцені можливо відтворити мікроскопічний рівень деталізації. У реальній практиці зазвичай, однак, великі компроміси в якості зображення полягають в тому, щоб усунути необхідність в лазерному висвітленні для перегляду голограми, а в деяких випадках і для її створення.

Голографічна портретна зйомка часто вдається до неголографічної проміжної процедури візуалізації, щоб уникнути використання небезпечних потужних імпульсних лазерів, які можуть знадобитися для оптичного

«заморожування» рухомих об'єктів настільки точно, наскільки цього вимагає процес голографічного запису, вкрай нетерпимий до руху. Голограми тепер також можуть бути повністю згенеровані комп'ютером, що дозволяє показувати об'єкти або сцени, яких ніколи не існувало.

Голографія відрізняється від лентикулярних і інших більш ранніх технологій автостереоскопічних 3D-відображень, які можуть давати зовні схожі результати, але засновані на візуалізації за допомогою звичайних лінз. Зображення, що вимагають допомоги спеціальних окулярів або іншої проміжної оптики, сценічні ілюзії, такі як Привид Пеппера і інші, що збивають з пантелику або здаються чарівними зображеннями, часто неправильно називаються голограмами [44, 45]. Денніс Габор винайшов голографію в 1947 році, і пізніше отримав Нобелівську премію за свої зусилля [46].

### **1.3.2 Апаратні технології для стимуляції органів слуху**

#### **1.3.2.1 3D-звукові ефекти**

3D-звукові ефекти – це підгрупа загальних звукових ефектів, що керують звуком, який програється стереодинаміками, гучномовцями об'ємного звуку, масивами гучномовців або навушниками. Це часто пов'язане з віртуальним розміщенням джерел звуку в будь-якому місці тривимірного простору, у тому числі ззаду, вище або нижче слухача. Обробка тривимірного звуку – це згортання звукових хвиль в просторовій площині з використанням додаткових функцій. Це явище дозволяє змінювати звукові хвилі (з використанням фільтрів HRTF і методів фільтрації перехресних завад) для імітації натуральних звукових хвиль, які виходять з будь-якої точки у тривимірному просторі. Це дозволяє перехитрити мозок людини, використовуючи вуха та слухові нерви, роблячи вигляд, що при прослуховуванні звуків різні звуки виходять із джерел, що розміщені у різних тривимірних точках, навіть якщо звуки лунають лише з двох динаміків (на відміну від об'ємного звуку) [47].

Подібний підхід дозволяє підвищувати цікавість музикальних композицій, які звучать в абсолютно новій якості, тим самим збільшуючи цінність такого продукту для споживача. Слухач може отримувати звук навіть із звичайних стереофонічних навушників, що не заважатиме створенню ілюзії того, що джерело звукового сигналу абсолютно в іншому місці. На рисунку 1.2 зображується модель попередньої обробки звукового сигналу для досягнення необхідного ефекту, завдяки чому вдається змусити мозок слухача думати, що джерело звуку знаходиться насправді не там, де воно розміщене в даний момент, а у точці, спеціально визначеній при створенні запису звуку.

сприйняття розташування джерела звуку

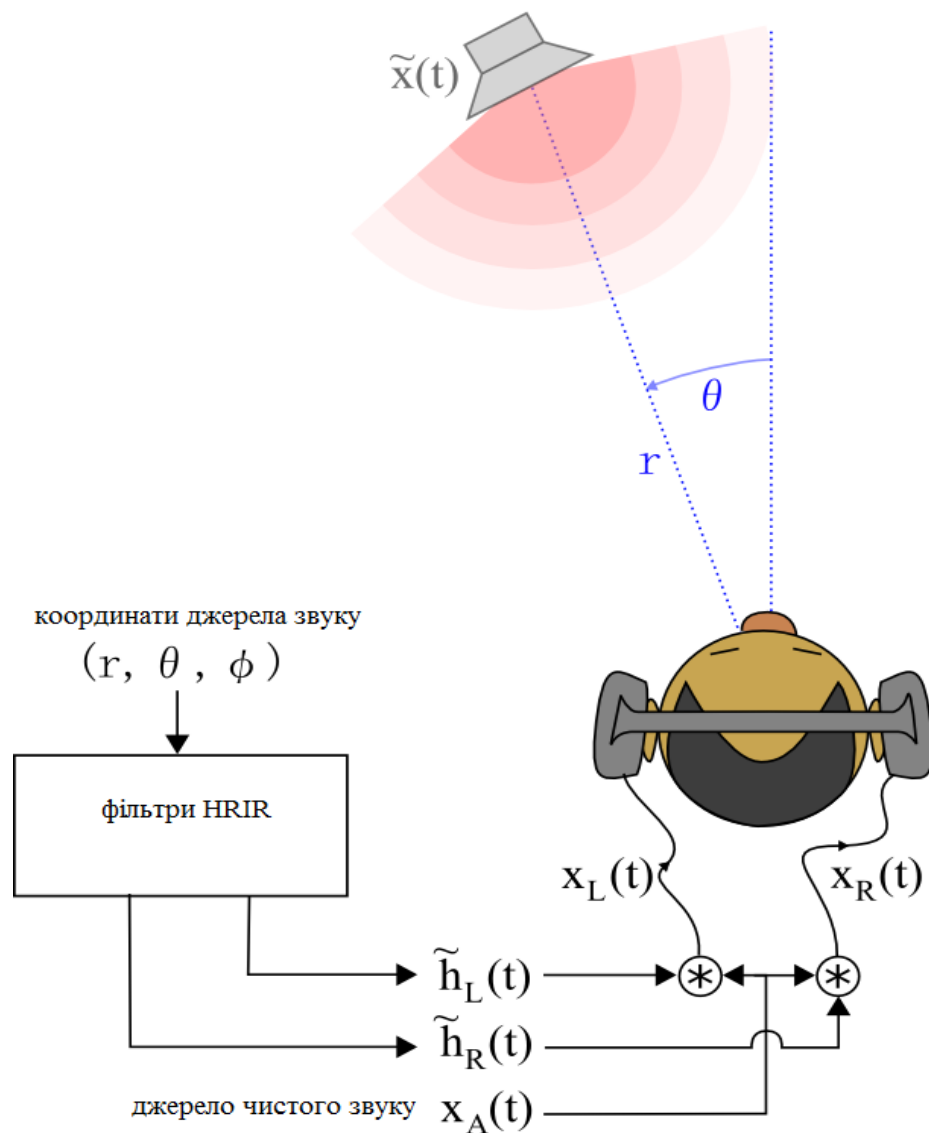


Рисунок 1.2 – Модель сприйняття звуку слухачем

Використання функції визначення положення голови у просторі дозволяє відслідковувати зміну звуку на шляху від джерела до слухача, включаючи відбиття звуку від стін та стелі. Ці функції включають локалізацію джерела звуку позаду, над і під слухачем. Деякі технології обробки 3D звуку також перетворюють бінауральні записи в стереозаписи. MorrowSoundTrue3D дозволяє конвертувати бінауральні, стерео, 5.1 і інші формати в 8.1 одно- та багатозоний 3D-звук в режимі реального часу. Ефекти 3D Positional Audio вперше з'явилися в 1990-х роках на ПК та ігрових консолях [48]. Також техніка 3D-звуку використовувалась в музикальних відео і музикальне відео у стилістиці відеоігор та кліпах із таким оформленням. Дослідний проект Audioscape надає музикантам середовище для створення та рендерингу тривимірного аудіовізуального контенту в режимі реального часу, що підходить для застосунків виконання в режимі реального часу.

#### **1.3.2.2 Аудіо з високою роздільною здатністю**

Аудіо з високою роздільною здатністю (аудіо високої якості або HD-аудіо) – термін для аудіофайлів частотою дискретизації більше ніж 44,1 кГц або глибиною кодування звуку від 16 біт . Зазвичай це відноситься до частот дискретизації 96 або 192 кГц. Але існують також записи 44,1 кГц / 24 біти, 48 кГц / 24 біти та 88,2 кГц / 24 біти, які відносяться до HD Audio. Дослідження технологій звуку високої якості почалось в кінці 1980-х років, а аудіоконтент високої роздільної здатності з'явився на споживчому ринку в 1996 році.

Формати файлів, що здатні зберігати аудіо високої якості, це FLAC , ALAC , WAV , AIFF та DSD , а також формат, що використовує Super Audio Compact Discs (SACD).

#### **1.3.2.3 Об'ємне звучання**

Об'ємний звук – це метод підвищення точності і глибини звука за рахунок використання декількох аудіоканалів із динаміків, оточуючих слухача (

канали об'ємного звучання ). Вперше його примінили в кінотеатрах. До появи об'ємного звуку в звукових системах кінотеатра зазвичай було три «екранних канали» звука, що відтворювались на трьох гучномовцях (лівий, центральний і правий), які були розташовані перед аудиторією. Об'ємний звук додає один або декілька каналів від гучномовців збоку або позаду слухача, які можуть створювати враження звуку, що йде з будь-якого горизонтального напрямку (на рівні землі) навколо слухача [49, 50].

Формати об'ємного звуку розрізняються за способом відтворення та запису, а також по кількості і розміщенню додаткових каналів. Найбільш розповсюджений об'ємний звук стандарту ITU 5.1, для нього необхідно 6 динаміків: Центр (C), перед слухачем; Лівий (L) и Правий (R), під кутом  $60^\circ$ ; Лівий об'ємний звук (LS) і правий об'ємний звук (RS) під кутами  $100\text{--}120^\circ$ ; та сабвуфер, положення якого не критично. Оточуючий звук зазвичай має зону для слухача (зону найкращого сприйняття), де звукові ефекти працюють найкраще, та надає слухачу фіксовану або пряму перспективу звукового поля в цьому місці.

Цей метод покращує сприйняття просторового звучання за рахунок використання локалізації звуку: здатності слухача визначити місцеположення або джерело звуку по напрямленню і відстані. Цього досягають за рахунок використання декількох дискретних аудіоканалів, направлених на канал гучномовців.

Комерційні носії об'ємного звуку включають відеокасети, DVD і трансляції SDTV, закодовані як стиснуті Dolby Digital та DTS, а також звук. Інші комерційні формати включають конкуруючі варіанти DVD-Audio (DVD-A) та Super Audio CD (SACD), а також MP3 Surround. Формати оточуючого звуку Cinema 5.1 включають Dolby Digital та DTS. Sony Dynamic Digital Sound (SDDS) – це восьмиканальна конфігурація кінотеатру, що включає 5 незалежних аудіоканалів на передній панелі з двома незалежними каналами об'ємного звучання та канал низькочастотних ефектів. Традиційна

конфігурація гучномовців об'ємного звучання 7.1 включає два додаткових тилових гучномовця і традиційну конфігурацію 5.1, в загальній складності три передніх канали та чотири канали об'ємного звучання, щоб створити охоплення звукового поля у 360 °.

Більшість записів об'ємного звуку створюються кінокомпаніями або виробниками відеоігор; однак деякі споживацькі відеокамери мають такі можливості або вбудованими, або у якості додаткової опції. Технології об'ємного звучання також можуть використовуватись в музиці для створення нових методів художнього вираження. Після провалу квадрофонічного звуку в 1970-х роках, з 1999 року, багатоканальна музика стала поступово повертатись на ринок за допомогою форматів SACD та DVD-Audio. Деякі AV-ресивери, стереофонічні системи та комп'ютерні звукові карти включають вбудовані процесори цифрових сигналів або цифрові аудіопроектори для імітації об'ємного звуку із стереофонічного джерела.

В 1967 році рок - група Pink Floyd провела перший в історії концерт з об'ємним звуком, де група дебютувала з квадрофонічною акустичною системою [51]. Створений ними пристрій керування, координатор азимута, тепер знаходиться в лондонському Музеї Вікторії і Альберта як частина їх галереї Theatre Collections.

### **1.3.3 Апаратні технології для стимуляції органів тактильних відчуттів**

#### **1.3.3.1 Тактильна технологія**

Тактильна технологія, також відома як кінестетична комунікація або 3D-дотик, та, що може створювати відчуття дотику, прикладання до користувача сили, вібрації або руху. Ці технології можуть використовуватись для створення віртуальних об'єктів в комп'ютерному моделюванні, для керування віртуальними об'єктами і для покращення технології дистанційного керування машинами і пристроями (телероботика) [52]. До списку тактильних пристроїв



входять тактильні датчики, що вимірюють силу, яку прикладає користувач до інтерфейсу. Слово *haptic*, з грецької: *ἁπτικός* (*haptikos*), означає «тактильне, те що відноситься до відчуття». Звичайні прості тактильні пристрої створюють у вигляді гральних контролерів, рулів та джойстиків. Тактильна технологія полегшує дослідження того, як працюють людські відчуття, дозволяючи створювати керуємі тактильні віртуальні об'єкти. Більшість дослідників виділяють три сенсорні системи, які пов'язані з відчуттям людини: шкірну, кінестетичну та тактильну. Всі сприйняття, що пов'язані зі шкірною та кінестетичною чутливістю, називають тактичним сприйняттям. Такі відчуття можна розділити на активні та пасивні, а термін «тактильний» часто асоціюється з дотиком для спілкування або розпізнавання об'єктів [53-55].



Рисунок 1.3 – Головний дисплей 1980-х років та провідні рукавички в дослідному центрі NASA Ames Research Center.

Одне з перших застосувань тактильної технології було у великих літаках, які використовували системи сервомеханізму для управління поверхностями

керування положенням. В більш легких літаках без сервосистем, коли літак наближався до звалювання, аеродинамічні удари (вібрації) відчувались в органах керування пілота. Це було корисним попередженням про небезпечні польотні умови.

Сервосистеми мають тенденцію бути односторонніми, тобто зовнішні сили, що аеродинамічно прикладаються до рульових поверхонь, не сприймаються органами керування, що призводить до відсутності цієї важливої сенсорної підказки. Для рішення цієї проблеми відсутні нормальні сили моделюються за допомогою пружин та грузів. Вимірюється кут атаки, і по мірі наближення до критичної точки звалювання вмикається стряхувач палиці, який імітує реакцію більш простої системи керування. В якості альтернативи можна виміряти сервопідсилення і направити сигнал в сервосистему керування, також відому як зворотній зв'язок по підсиленню. Силовий зворотній зв'язок було реалізовано експериментально в деяких екскаваторах і він виявився корисним при виїмці змішаних матеріалів, таких як велике каміння, залите мулом або глиною. Це дозволяє оператору «відчувати» і обходити перешкоди, непомітні за допомогою звичайних інструментів [56,57].

У 1960-х Пол Бах-і-Ріта розробив систему в якості аналогу заміни зору, використовуючи набір металевих стрижнів розмірами 20x20 см, які можна вільно підіймати і опускати, створюючи тактильні точки, аналогічні пікселям екрану [58]. Люди, що користувались цим приладом, могли ідентифікувати зображення по малюнку точок, що доторкались до них. Перший в США патент на тактильний телефон було видано Томасу Д. Шеннону в 1973 році. Рання система тактильного зв'язку людини з машиною була побудована А. Майклом Ноллом з Bell Telephone Laboratories, Inc. на початку 1970-х років, і був виданий патент на його винахід у 1975 році.

У 1994 році було розроблено жилет Aura Interactor . Жилет – це носимий пристрій зі зворотнім зв'язком по підсиленню, яке контролює звуковий сигнал і використовує технологію електромагнітного привода для зміни басових

звукових хвиль у вібрації, які можуть представляти такі дії, як удар ногою або рух. Жилет підключається до аудіовиходу стереосистеми, телевізора або відеомагнітофона, і аудіосигнал програється через динамік, вбудований в жилет.

У 1995 році Томас Месі розробив систему PHANTOM (Personal Haptic iNterface Mechanism). Він використовував наперстки на кінцях комп'ютеризованих рук, в які можна було вставляти пальці людини, дозволяючи їм «відчути» об'єкт на екрані комп'ютера. У 1995 році норвежець Гейр Йенсен описав тактильний пристрій наручних годинників з механізмом дотику до шкіри, назване Tap-in. Наручні годинники мають підключатись до мобільного телефона через Bluetooth, а шаблони частоти натискання дозволяють користувачу відповісти на дзвінок [59, 60].

У 2015 році були представлені Apple Watch. Вони використовують датчик дотику до шкіри для доставки повідомлень та попереджень з мобільного телефона володаря годинника. В більшості електронних пристроїв, що пропонують зворотній тактильний зв'язок, використовуються вібрації, і в великій кількості застосовується привід з ексцентриковим грузом, що повертається (ERM), що складається з неурівноваженого груза, закріпленого на якорі двигуна. Коли він повертається, рух цієї нерівномірної маси змушує привід і під'єднаний пристрій трястись.

Деякі більш нові пристрої, такі як MacBook і iPhone від Apple, обладнані «Taptic Engine», здійснюють свої коливання за допомогою лінійного резонансного приводу (LRA), що переміщає масу в зворотному напрямку за допомогою магнітної звукової котушки, подібно до того, як коливання змінного електричного струму приводять у рух конус гучномовця. LRA здатні реагувати швидше, ніж ERM, і, таким чином, можуть передавати більш точні тактильні коливання. Пьезоелектронні прилади також використовуються для створення вібрацій та забезпечують навіть більш точний рух, ніж LRA, з меншим рівнем шуму та при менших розмірах, але вимагають більш високої напруги, ніж ERM

та LRA. Деякі пристрої використовують двигуни для керування рухом предмета, який тримає користувач. Зазвичай використовується в автомобільних відеоіграх і симуляторах, які повертають автомобільне рулеве колесо для імітації сил, що виникають при проходженні поворота на реальному транспортному засобі.

В 2007 році Novint випустила Falcon, перший користувацький пристрій з тривимірним сенсорним екраном і тривимірним силовим зворотнім зв'язком високої роздільної здатності. Це дозволило імітувати тактильні об'єкти, різноманітні текстури, віддачу, імпульс та фізичну присутність об'єктів в іграх. Повітряні вихрові кільця являють собою повітряні кишені в формі пончика, що складаються з концентрованих поривів повітря. Сфокусовані повітряні вихори можуть задути свічку чи поворухнути лист паперу з відстані в кілька метрів. І Microsoft Research (AirWave), і Disney Research (AIREAL) використовували повітряні вихори для безконтактного тактильного зворотного зв'язку [61].

Сфокусовані ультразвукові промені можна використовувати для створення локального відчуття тиску на палець, не торкаючись будь-якого фізичного об'єкта. Фокус, що створює відчуття тиску, створюється шляхом індивідуального управління фазою і інтенсивністю кожного перетворювача в масиві ультразвукових перетворювачів. Ці промені також можна використовувати для створення відчуттів вібрації і дати користувачам можливість відчувати віртуальні тривимірні об'єкти.

### **1.3.4 Апаратні технології для стимуляції органів нюху**

#### **1.3.4.1 Машинний нюх**

Машинний нюх - це автоматизована симуляція нюху. Це новий додаток в сучасній інженерії, який включає використання роботів або інших автоматизованих систем для аналізу хімічних речовин, що переносяться по повітрю. Такий апарат часто називають електронним носом. Розвиток машинного нюху ускладнюється тим фактом, що електронні носові пристрої на

сьогоднішній день реагують на обмежену кількість хімікатів, в той час як запахи виробляються унікальними наборами (потенційно багаточисельних) одорантів.

Технологія, хоча вона все ще перебуває на ранніх стадіях розробки, обіцяє безліч можливостей, таких як: контроль якості в харчовій промисловості, виявлення і діагностика в медицині, виявлення наркотиків, вибухових та інших небезпечних або незаконних речовин, реагування на стихійні лиха та моніторинг навколишнього середовища . Один з типів пропонованих машинних технологій нюху - це прилади з матрицями газових датчиків, здатні виявляти, ідентифікувати і вимірювати леткі сполуки.

Проте, одним з найважливіших елементів в розробці цих інструментів є аналіз загальної картини запахів, і вдалий дизайн системи аналізу шаблону для машинного нюху вимагає ретельного розгляду різних питань, пов'язаних з обробкою багатовимірних даних: сигнал-препроцесування особливості взяття зразків, функція вибору, класифікація, регресія, кластеризація і перевірка. Ще одна проблема в поточних дослідженнях нюху машин - це необхідність передбачити або оцінити реакцію сенсора на ароматичні суміші. Деякі проблеми розпізнавання образів в машинному нюху, такі як класифікація запахів і локалізація запахів, можуть бути вирішені за допомогою ядерних методів часових рядів.

### **1.3.5 Апаратні технології, що надають можливість взаємодіяти і спілкуватися з віртуальним середовищем**

#### **1.3.5.1 Інтерфейс мозок - комп'ютер**

Інтерфейс мозок-комп'ютер ( BCI ), іноді так званий інтерфейс нейронного управління (NCI), розум-машинний інтерфейс (MMI), прямий нейронний інтерфейс (DNI), або інтерфейс мозок-машина (IMT), прямий маршрут зв'язку між відкритим або закритим мозком і зовнішнім пристроєм. BCI часто спрямовані на дослідження, картування, допомогу у посиленні або

відновленні когнітивних або сенсомоторних функцій людини. Дослідження ВСІ почалися в 1970-х роках в Каліфорнійському університеті в Лос-Анджелесі (UCLA) в рамках гранту Національного наукового фонду, за яким послідував контракт з DARPA

У статтях, опублікованих після цього дослідження, також вперше в науковій літературі з'явився вираз «інтерфейс мозок-комп'ютер» [62-64]. Завдяки пластичності кори головного мозку сигнали від імплантованих протезів можуть після адаптації оброблятися мозком як природний датчик або ефекторні канали. Після декількох років експериментів на тварин в середині 1990-х років з'явилися перші нейропротези, імплантовані людям. Недавні дослідження взаємодії людини і комп'ютера з застосуванням машинного навчання зі статистичними тимчасовими характеристиками, витягнутими з лобової кори, дані ЕЕГ мозкових хвиль показали високий рівень успіху в класифікації психічних станів (розслаблене, нейтральне, зосереджене), психічних емоційних станів (негативний, нейтральний, позитивний) і таламокортикальної аритмії.

### **1.3.5.2 Розпізнавання жестів**

Розпізнавання жестів - це тема в комп'ютерних науках і мовних технологіях, мета якої - інтерпретувати людські жести за допомогою математичних алгоритмів. Це розділ комп'ютерного зору. Жести можуть бути викликані будь-яким рухом або станом тіла, але зазвичай виходять від обличчя або руки. Поточні здобутки в цій області включають розпізнавання емоцій по обличчю і розпізнаванню жестів рук. Користувачі можуть використовувати прості жести для управління пристроями або взаємодії з ними, не торкаючись їх фізично. Багато методів були розроблені з використанням камер і алгоритмів комп'ютерного зору для інтерпретації мови жестів [65-67].

Однак ідентифікація і розпізнавання пози, ходи, проксемики і людської поведінки також є предметом методів розпізнавання жестів. Розпізнавання

жестів можна розглядати як спосіб для комп'ютерів почати розуміти мову людського тіла, тим самим створюючи більш багатий міст між машинами і людьми, ніж примітивні текстові інтерфейси або навіть графічні інтерфейси користувача (графічні інтерфейси), які як і раніше обмежують більшу частину введення з клавіатури і миші і взаємодіють природно без будь-яких механічних пристроїв. Використовуючи концепцію розпізнавання жестів, можна вказати пальцем, в цей момент він буде переміщатися відповідним чином. Це може зробити звичайний метод введення на пристроях надлишковим.

### **1.3.5.3 Всенаправлена бігова доріжка**

Всенаправлена бігова доріжка (ODT) являє собою механічний пристрій, схожий на типову бігову доріжку, що дозволяє людині виконувати рухи в будь-якому напрямку, що дозволяє рух на 360. Здатність рухатися в будь-якому напрямку, як ці бігові доріжки відрізняються від своїх основних колег (які дозволяють тільки рух в одному напрямі). Всеспрямовані бігові доріжки використовуються в імерсійних реалізаціях віртуального середовища, щоб забезпечити вільне переміщення у віртуальному просторі. Переваги об'єднання ODT з імерсійні віртуальним середовищем включають природний навігаційний рух користувача системи всередині системи з одночасним наданням контекстних підказок, що імітують фізичний перехід через віртуальну місцевість; перетворення імерсійні навігаційних завдань з ручних (миша, джойстик) на уявні прив'язки всього тіла (ноги); поліпшення занурення за рахунок відчуття всього тіла, яке починається з підошов ступенів і закінчується на верхівці голови; полегшення тактильного взаємодії всього тіла.

### **1.3.5.4 Розпізнавання мовлення**

Розпізнавання мовлення є міждисциплінарною галуззю інформатики та комп'ютерної лінгвістики, яка розробляє методики і технології, які дозволяють визнання і переклад розмовної мови в текст за допомогою комп'ютерів. Це

також відома як автоматичне розпізнавання мови (ASR), комп'ютерне розпізнавання мови або перетворення мови в текст (STT). Він включає в себе знання і дослідження в галузі інформатики, лінгвістики та комп'ютерної інженерії. Деякі системи розпізнавання мови вимагають «навчання» (також званого «заповнення»), коли системі має бути повідомлений певний текст або ізольована лексика. Система аналізує конкретний голос людини і використовує його для точного налаштування розпізнавання мови цієї людини, що призводить до підвищення точності [68].

Системи, в яких не використовується навчання, називаються системами, незалежними від мовця. Системи, що використовують навчання, називаються «залежними від мовця». Додатки для розпізнавання мови включають голосові інтерфейси, такі як голосовий набір (наприклад, «подзвонити додому»), маршрутизація викликів (наприклад, «Я хочу зробити збірний виклик»), управління домашніми пристроями, ключові слова пошуку (наприклад, знайти подкаст, в якому вказані певні слова, що були вимовлені), просте введення необхідних даних (наприклад, введення номера кредитної картки), підготовка структурованих документів (наприклад, радіологічного звіту), визначення характеристик мовця, перетворення мови в текст (наприклад, текстові процесори або електронні листи) і запис звуку (зазвичай називається прямим голосовим уведенням).

Термін «розпізнавання голосу» або «ідентифікація мовця» відноситься до ідентифікації людини, а не до того, що він говорить. Розпізнавання голосу може спростити завдання перекладу мови в системах, які були навчені голосу конкретної людини, або його можна використовувати для автентифікації або перевірки особистості говорить в рамках процесу безпеки. З технологічної точки зору, розпізнавання мови має довгу історію з кількома хвилями великих інновацій. Зовсім нещодавно в цій області з'явилися досягнення в галузі глибокого навчання і великих даних. Про успіхи свідчить не тільки зростання кількості наукових робіт, опублікованих в цій області, але, що більш важливо,



глобальне впровадження в галузі різних методів глибокого навчання при розробці і розгортанні систем розпізнавання мови.

### **Висновки до розділу 1**

Сформоване визначення імерсивності. Розглянуто історію та особливості феномену. Проведено огляд проявів імерсивності у різних сферах.

Сформовано поняття про імерсивне середовище. Розглянуто та досліджено його компоненти, у тому числі проведено класифікацію відповідно до органів сприйняття людини.

## **2. ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ІМЕРСИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ КУЛЬТУРНО-МИСТЕЦЬКИХ ЗАХОДІВ**

### **2.1. Передумови для появи імерсивних технологій в сфері культури і мистецтва**

Процес масової діджиталізації, що почався в ХХІ столітті, допоміг сформуватися імерсивним технологіям і досягти певного рівня зрілості. З настанням цього етапу розвитку, словосполучення «віртуальна реальність» втрачає своє історичне філософське значення і стає позначенням технології. Сформувалися стійкі області застосування VR: візуалізація наукових даних, проектування і будівництво, архітектура, візуалізація Big Data, медицина, освіта, мистецтво, розваги, культурно-масові заходи та ін. Потенціал застосування цих технологій несе в собі багатий філософський, культурологічний і психологічний досвід.

Передумовами для виникнення такого досвіду історично вважається театр. Історія європейського театру складає близько 25 століть. Перед театром стоїть завдання – створювати особливе середовище, де може і повинне відбуватися сприйняття і завершення сенсів, ідеї яких прийшли в театр з реального життя. Розуміння сенсу є філософською задачею, яку не можна отримати в готовому вигляді. Для даного процесу важлива часова складова, необхідність постійної присутності, залучення розумових ресурсів і відтворення. Підводячи підсумки, театр, з точки зору інструментарію по осягненню сенсів, відтворює простір і час, можливо протилежний реальному і емпіричному, але одночасно і суміжний з ним. Осягнення нескінченних сенсів, з філософської точки зору, можна порівняти тільки з поетичним або божественним одкровеннями. Дотримуючись такого погляду на осягнення сенсів, ми можемо розглядати VR як одну з технік мистецтва для осягнення реальності, що володіє подібним набором інструментарію з театром. Тут реальність людського буття потребує іншої реальності, яка доповнює і

розширює її. Ранній зв'язок між театральною естетикою і комп'ютерними технологіями був сформульований тезисно. На цьому явищі сконцентрував свою увагу на початку ХХ століття Антонен Арто. Маніфести та статті Арто, що випередили час, сьогодні читаються як артикуляції художніх інтенцій і потенціалів становлення нової технології [69].

Якщо відштовхуватися від того, що театр – самостійна і повноправна реальність, в чомусь подібна реальності сновидінь, то центральне положення в естетичній концепції Арто полягає в тому, що основне завдання театру – створювати особливу реальність. Невловимий, але справжній світ, дотичний з реальним, тобто досвід, отриманий в цьому світі можна порівняти з реальним, на думку Арто. Концепція схожа з сучасним визначенням віртуальної реальності. Арто часто використовує слово *virtues*: «... театр відноситься до мистецтв потенційних (*virtues*), які бачать свою мету в природі власного реального буття». Поняття *virtus* вживається в якості одного з еквівалентів грецького поняття *δυναμις* («можливість», «потенційно», «потенція»). Антонен Арто вживав словосполучення «віртуальна реальність» задовго до Джейрона Ланье, якому належить заслуга в популяризації словосполучення «віртуальна реальність» в кінці 80-х років ХХ століття (стосовно до театру, але в значенні, концептуально близькому до того, що поширене сьогодні) [70].

У пошуках засобу для більшої виразності за межами мови відбувається відмова від лінійності оповідання та від вербального. Цей аспект є істотним для VR, тому що сприйняття відбувається через органи почуттів і мову тіла. Також в маніфестах Арто можна вловити вимогу про встановлення зв'язку між актором і глядачем – принципово новий чуттєвий канал комунікації для залучення глядача в уявлення. Сьогодні цю властивість повсюдно використовують на культурно-мистецьких заходах і позначають її як інтерактивність. Вплив інтерактивності поширюється в обидві сторони: як спектакль має вплив на глядача, так і реакція публіки впливає на гру акторів і трансформує її в залежності від настрою залу. Арто в своїх роздумах доходить

до того, що стирає межі між залом і сценою. Він пропонує єдиний театральний простір. Театр, де можливо довести взаємодію до межі, де кульмінацією буде включення тіла глядача в театральний процес.

Концепцію, вибудовану на основі твору Арто «Театр і його Двійник» можна розглядати як модель, щоб зробити припущення про конвергентні процеси, які відбуваються між театром і віртуальною реальністю. До кінця ХХ століття VR-технології потрапляють на сцену театру. У 1995 році нова технологія дозволила отримати новий рівень якості вистави. Вистава за п'єсою Елмера Райса «Лічильна машина» (The Adding Machine) із застосуванням VR-технологій, не дивлячись на обмеження рівня техніки, викликала фурор. Театральні експерименти наблизили суспільство до вироблення нових художніх форм у сфері образотворчих мистецтв і на крок наблизили появу культурно-мистецьких заходів з застосуванням імерсивних технологій, задавши тенденцію до інтерактивності, яка на сьогоднішній день притаманна всім сучасним мистецьким платформам.

### **2.1.1. Використання імерсивних технологій в музеях**

#### **2.1.1.1 Дослідницькі музеї**

Оскільки дослідницькі музеї не є публічними, їх завдання полягає в науковій роботі. У таких музеях технології доповненої, змішаної і віртуальної реальності можуть здійснювати накопичення джерел знань і їх введення в загальнокультурний і науковий обіг.

Ці технології, у порівнянні зі звичайними цифровими зображеннями, сприяють куди більш детальному знайомству з музейними предметами, що може надавати музейним працівникам величезні можливості в їх обробці, передачі і вивченні. Крім детального знайомства, технології змішаної і віртуальної реальності роблять можливим інтерактивне звернення до музейних об'єктів. Наприклад, накладення невидимих в реальності шарів на оцифроване зображення і робота з ними.

### 2.1.1.2 Учбові музеї

Оскільки завданням навчальних музеїв, організованих, як правило, при освітніх закладах і відомствах, є забезпечення наочності процесу навчання і підготовки фахівців, AR-, MR-, VR-технології можуть зробити великий внесок у цей процес [71, 72].



Рисунок 2.1 – Застосування імерсивних технологій в учбовому музеї

Доповнена реальність може супроводити вивчення складного наукового матеріалу, вміщуючи більший обсяг доступної і зрозумілої інформації в меншу кількість часу, ніж якби ця технологія не була б задіяна [73-75].

Змішана реальність може допомогти не просто в теоретичному дослідженні теми, а й у вивченні матеріалу на власному досвіді і набутті практичних навичок, оскільки ця технологія має на увазі двосторонню взаємодію користувача з цифровою інформацією [76, 77].

Віртуальна реальність може вдосконалити проведення практичних занять, занурюючи потенційних користувачів в оточення і умови, необхідні для тієї сфери, в якій організований конкретний науковий музей [78-80].

### **2.1.1.3 Просвітницькі музеї**

Мабуть, на сьогоднішній день найбільшого поширення набули саме технології доповненої, змішаної і віртуальної реальності для просвітницьких (масових) музеїв.

Доповнена, змішана і віртуальна реальність в просвітницьких музеях вирішують одразу декілька задач. Створюючи певний контекст для експонатів, вони дають можливість комплексного ознайомлення з музейними предметами. Крім того, досягається дуже високий ступінь комунікації відвідувача і експоната, залишається місце для інтерактиву.

Доповнена реальність є дуже зручним інструментом для більш глибокого знайомства з виставковими експонатами. Останнім часом популярними стали додатки-гіди, створені на базі технології доповненої реальності.

Запровадження змішаної реальності в просвітницькі музеї сприяє ще більшому інтерактиву відвідувача з експонатом. У 2013 році в Паризькому Луврі була організована виставка, присвячена старовинній меблевій фабриці. За допомогою технології Kinect відвідувачі могли детально розглянути дуже складне і незавершене творіння цієї фабрики, що складається з безлічі елементів.

Віртуальна реальність, в порівнянні з доповненою і змішаною, може крім іншого бути самостійним твором, новою формою мистецтва, що відкриває величезний потенціал перед сучасними художниками.

У співпраці компанії Дісней і Музею Сальвадора Далі був створений 3D-тур «Dreams of Dalí: 360° VR Experience», що дозволяє опинитися всередині роботи художника і зробити прогулянку по ній [81].



Рисунок 2.2 – 3D-тур «Dreams of Dalí: 360° VR Experience»

Крім того, численні музеї роблять доступними такі ж 3D-тури по своїм експозиційним залах [82-85].

### **2.1.2. Використання імерсивних технологій в івент-індустрії**

Традиція організації заходів супроводжує людство з часів його появи. Людям завжди було властиво збиратися і влаштовувати урочистості з нагоди різних подій, будь то язичницькі танці біля багаття, коронація нового владика або гучне сільське гуляння.

Як окрема професія, event-планування утвердилося на початку 20 століття, коли заможні люди почали наймати для організації весіль, балів або світських прийомів спеціальних координаторів. Згодом, розвиток комунікаційних і транспортних технологій сприяв появі наукових конференцій та інших суспільно-значущих конвенцій, в зв'язку з чим, послуги event-агентств стали затребувані ще більше.

З появою телебачення популярність промисловості зросла до неймовірних висот і зайняла почесне місце поряд з такими сферами, як маркетинг, реклама, PR та дизайн.

Всесвітньо відомі бренди все частіше інтегрують складні і дорогі технології для презентації нових продуктів, щоб викликати емоції у наймолодшої і «просунутої» частини аудиторії.

Технологія на основі нейромереж вирішує відразу два завдання: рахує кількість учасників події і розпізнає їх емоції.

Надійних способів порахувати аудиторію сьогодні у організаторів масових заходів немає. Особливо якщо мова йде про фестивалі, де публіка постійно переміщається з одного майданчика на інший. Кращим рішенням може стати комп'ютерний зір. Розставлені по майданчику відеолічильники фіксують кожного відвідувача як унікального. Це означає, що як часто б він не міняв локацію, система все одно вважатиме його один раз.

Комп'ютерний зір дозволяє піти далі і порахувати не тільки кількість відвідувачів, а й їхні емоції. Програма аналізує міміку відвідувачів, і ми можемо точно сказати, скільки разів за вечір вони відчули радість, смуток або, наприклад, здивування.

Отримати річний доступ до однієї з програм, яка вміє аналізувати емоції, можна за \$ 25 000 (американський розробник). При цьому є набагато доступніші аналоги, для яких не потрібне спеціальне обладнання.

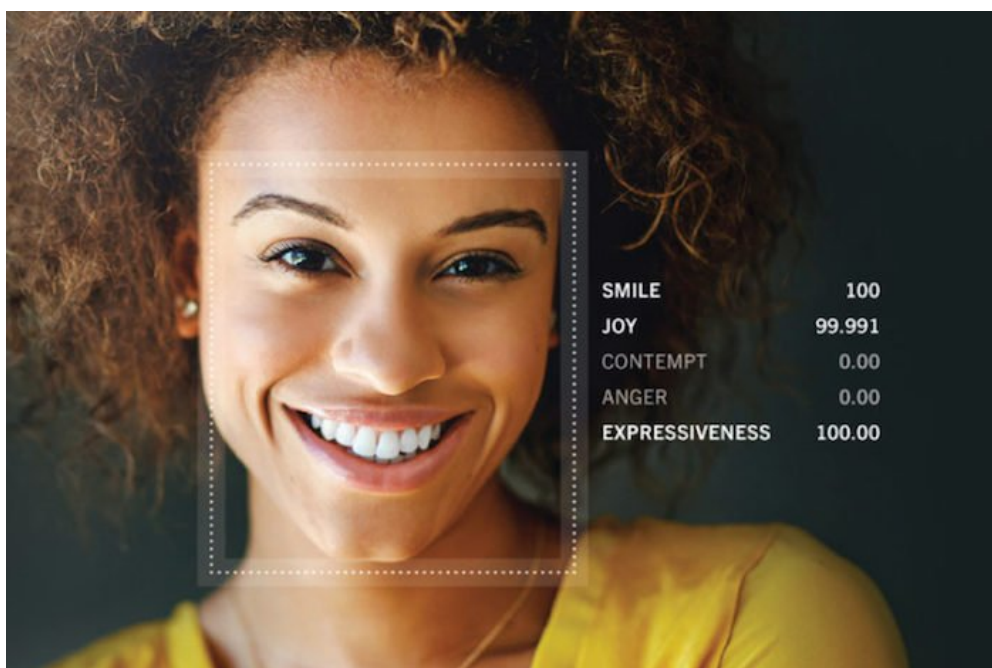


Рисунок 2.3 – Розпізнавання настрою



Голограма - ще одна технологія, яка набирає обертів в Україні. Справа в тому, що для створення якісної картинки потрібні прилади, які зводять воєдино кілька проєкцій, щоб транслювати безшовне 3D-зображення в прямому ефірі. Більш того - голограма повинна весь час перебувати в динаміці. Технічно зробити це дуже важко, особливо якщо ви хочете транслювати картинку в режимі 4К. І, звичайно, зажадає від організаторів колосальних витрат.

На сьогоднішній день існує не так багато рішень, які дозволяють створювати голограми на сцені (наприклад, сітка, на яку спеціальним чином наноситься проєкція). Але найцікавіші кейси це все-таки ті, де з'являється рухома голограма і переконливо говорить.

Один з останніх прикладів - прес-конференція Audi Cup 2017 року. Компанія вирішила не везти спікерів на зустріч, і показала їх голограми, які відповідали на запитання журналістів в реальному часі. Спікери сиділи на стільці, жестикулювали, посміхалися. Це було кольорове реалістичне об'ємне зображення високої якості.

Технологія може бути затребувана на всіх заходах, де мова йде про публічні виступи. Якщо потрібно вразити публіку, досить просто замінити головного спікера на його голограму або запросити на сцену Фредді Меркьюрі і Стіва Джобса. Також технологія може зацікавити бренди, у яких є свій персонаж. Його теж можна змусити з'явитися з повітря.

## **2.2. Технологічні характеристики пристроїв**

### **2.2.1. Технологічні характеристики VR-пристроїв**

Технологічна платформа імерсивних культурно-мистецьких заходів відрізняється посиленням середовища віртуальної реальності і глибини проникнення спостерігача через подолання просторово-часових бар'єрів між подією і зануренням в нього. Конвергентно-технологічна платформа об'єднує в собі математичні методи моделювання реальності і фізичні принципи. Відбувається передача зовнішнього досвіду спостерігача подій через спеціальні

технічні засоби, викликаючи інтегральний досвід. Таким чином, технологію відрізняє високий ступінь повноти переданої картини і високий рівень довіри до споживаної інформації. Тому що сам ефект іммерсії змінює сприйняття спостерігача власної позиції по відношенню до медіаобразу. Відбувається перетворення зовнішнього спостерігача у внутрішнього, це обумовлено рядом ефектів: відчуття присутності і безпосередньої участі в події. Ефект має різні рівні і досягається за допомогою спеціальних технічних систем, що використовуються в комплексі або окремо. Від різноманіття використовуваних технічних засобів і їх сукупності залежить якість ефекту занурення, його виразність і глибина.

Глибина занурення з технічної точки зору може бути описана наступними параметрами:

Позиційний трекінг. Він необхідний для точного визначення положення тіла в просторі, щоб перетворювати під нього віртуальні декорації. VR-системи широкого поширення використовують два типи трекінгу: «зовні всередину» і «зсередини назовні». Для типу трекінгу «зовні всередину» характерне використання декількох датчиків навколо користувача, які відстежують його положення в просторі і видозмінюють картину декорації, згідно із цим положенням. У другому випадку використовується одна камера навпаки, яка відстежує становище контрольних точок на тілі користувача, щоб згідно їх положенню в просторі поміняти декорації. Перший спосіб вважається найбільш точним.



Рисунок 2.4 - Позиційний трекінг «зовні всередину»

Ступінь свободи. Цей параметр відображає ступінь можливості переміщення користувача в просторі. Існують пристрої для VR зі ступенем свободи 3DoF і 6DoF. VR зі ступенем свободи 3DoF дають огляд на 360 градусів, щодо положення голови в просторі. Пристрої 6DoF мають весь функціонал пристроїв VR зі ступенем свободи 3DoF, а також дозволяють користувачеві не залишатися статичним: дивитися вгору і вниз, переміщатися вліво і вправо, вперед і назад.

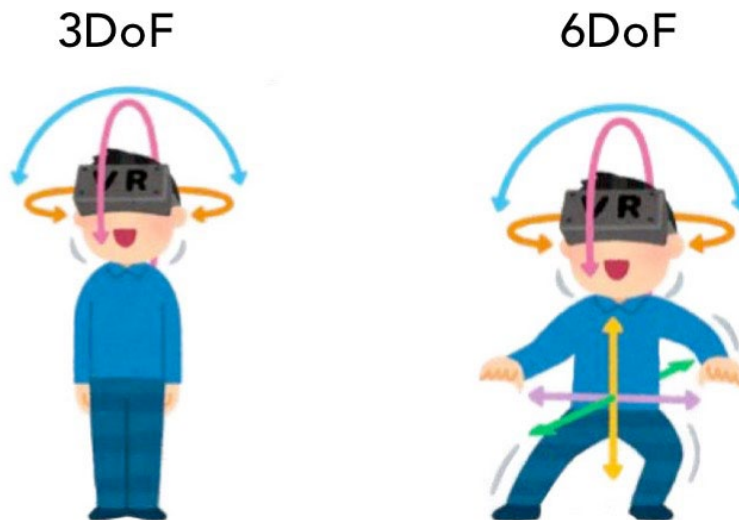


Рисунок 2.5 - Ступені свободи

Кут огляду. Наочно і інтуїтивно зрозуміло, що чим ширше кут огляду, тим краще якість картинки і занурення в створені декорації. Провівши аналіз сучасного стану ринку VR, було встановлено, що більшість пристроїв дають споживачеві кут огляду в 100 градусів, але існують просунуті моделі, кут огляду яких сягає до 200 градусів. Тут доречна статистична довідка: природний кут огляду людських очей становить 220 градусів.

Контролери. Технологічні пристосування, які користувач тримає в руках, щоб взаємодіяти з віртуальною реальністю, що оточує його. Контролери розвинулися від найпростіших моделей з однією кнопкою, для прямого впливу на об'єкт віртуальної реальності, при наведенні і натисканні. До більш просунутих моделей, які мають багато кнопок або трекпад, що розширює можливості взаємодії з віртуальним середовищем. Існують і більш просунуті варіанти взаємодії з віртуальною реальністю. У боротьбі за більш глибоке занурення японський бренд «Cerevo» розробив пару пластикових черевиків і рукавички «Taslim». Це перші в світі VR-аксесуари з тактильним зворотним зв'язком, завдяки яким відчуття занурення досягають апогею.



Рисунок 2.6 -Різні типи VR-контролерів

Звук. Найпоширеніші і прості пристрої для VR мають вбудовані динаміки, тому що це здешевлює процес виготовлення. По мірі зростання технологічної складності пристроїв і цінової категорії, з'являються вбудовані навушники. Для здійснення комунікації з іншими користувачами в систему вбудовується мікрофон.

Від фізичних характеристик залежить, наскільки комфортним і непомітним буде пристрій віртуальної реальності протягом тривалого часу. Цей параметр також важливий для визначення глибини занурення, як і технічні параметри, які впливають на якість картинки. Аспекти фізичного впливу шолома на користувача при тривалому часі використання ще не вивчені, тому невідомо, до яких ускладнень можуть привести нераціональні розміри і габарити пристрою.

Виділяють наступні фізичні характеристики пристроїв:

Розміри і вага. Вага пристрою визначає силу його фізичного впливу на користувача при тривалому носінні, тобто більше двох годин. Відповідно, чим легше пристрій, тим менше він буде впливати на голову, шию, плечовий пояс. Окремо користувачі відзначають вплив шолома на щоки і перенісся. Для фіксації ваги і рівномірного розподілу навантаження задіють регульовані ремені і дужки, які дозволяють закріпити пристрій на голові зручно.

Підкладка. Багато пристроїв мають оббивку зсередини, щоб зменшити тиск і тертя на голову при тривалому носінні. На сьогоднішній день існує великий діапазон VR-пристроїв з м'якою «дихаючою» оббивкою. Також підкладка може бути знімною або ні. Знімну прокладку при необхідності можна виймати і прати.

Охолодження. Електронні пристрої нагріваються при тривалому використанні, або при використанні ресурсоємних додатків з якісною графікою. VR-шолом нагрівається при роботі, а тому має систему вентиляції. Більш просунуті моделі мають вбудовані кулери, наприклад SonyPlayStation VR (CUH-ZVR2).

Сенсорна відповідність. Виробники приділяють особливу увагу сенсорній відповідності, тому що фізичний поворот голови користувача і подальше зміщення ракурсу камери в віртуальному світі відбуваються з невеликою різницею в часі, затримкою. Затримка виникає через такі технічні характеристики: позиційний трекінг і ступінь свободи. При тривалому використанні і в разі невисокої продуктивності системи дешевших аналогів це призводить до блювоти, нудоти, заколисування, запаморочення, головного болю та інших подібних ефектів «морської хвороби». Чим точніше пристрій підганяє віртуальні декорації під рухи користувача, тим менше ризик розвитку неприємних відчуттів.

Перераховані вище фізичні і технологічні характеристики дійсні не тільки для шоломів, але і для відеоокулярів. Слід розмежувати для себе поняття шолома і відеоокулярів. У випадку з окулярами ми також отримуємо 3D-зображення зі стереоскопічним ефектом. У більшості випадків, цей ефект досягається за рахунок поділу єдиного зображення, виведеного на OLED або LCD-дисплей, за допомогою системи лінз і діоптрій. Різниця полягає в функціоналі гаджетів, відеоокуляри призначені для перегляду відеоконтенту: ролики в форматі 360, кінофільми і т.д.

Розглянемо ступеня занурення в VR, в залежності від використовуваних пристосувань і способу подачі контенту.

Високий ступінь занурення: для досягнення такої міри занурення необхідний повноцінний шолом з оптимальною вагою, кутом огляду не менше 110 градусів і якісна сенсорна відповідність. Ці параметри необхідні для комфортного і тривалого використання шолома в режимі занурення без наслідків для здоров'я. Для відтворення глибокої віртуальної реальності також необхідний потужний комп'ютер, контролер і стереонавушники, якщо вони не вбудовані в шолом. Для високого ступеня занурення підійде OculusRift CV1.

Середній ступінь занурення досягається за допомогою ефекту стереоскопічного зору, якого можна досягти при наявності одного смартфона, що підтримує VR-додатки і відео у форматі 360. Ці технічні параметри смартфона необхідні для адекватної роботи в парі з пристроєм-приймачем, тобто з головною гарнітурою, куди вставляється смартфон на місце дисплея [86-88].

Низький ступінь занурення: для повсякденного занурення в мобільну середу VR буде досить тільки смартфона, який підтримує VR-додатки і відео у форматі 360 [89].

Вибір між цими технологіями занурення дає можливість певною мірою зрозуміти на етапі дослідної експлуатації існуючих технічних рішень, де буде знаходитися компроміс між повнотою фізичних відчуттів і доступністю обладнання для користувачів. Вже за середнього ступеня занурення спостерігається ефект впливу на споживача інформації, при якому у людини виникає глибший емоційний відгук від побаченого. Також збільшується час, проведений за переглядом такого контенту. Таким чином, при виборі оптимального співвідношення якості і вартості продукту, було встановлено, що середня ступінь занурення має найбільший потенціал для створення проектів в рамках імерсивних культурно-мистецьких заходів. На цій платформі можливе створення індивідуальних та групових проектів, які б охопили такі сфери як:

освіту, культурно-масові заходи, журналістику, медіадизайн, 3D-графіку і фотографію. Теоретично технології можуть бути сумісні з будь-якими предметами університетських або шкільних програм. Для розкриття потенціалу цих сфер в області VR необхідно дослідити роль педагога, журналіста або іншого творця контенту на базі даної платформи.

### **2.2.2 Технологічні характеристики AR-пристроїв**

Технології доповненої реальності (AR – augmented reality) відрізняються від технологій віртуальної реальності, але часто ці дві технології плутають. Технології доповненої реальності змішують віртуальну графіку з фізичною реальністю. Головна відмінність віртуальної реальності від доповненої полягає в тому, що в шоломі віртуальної реальності користувач повністю занурюється в штучно створену атмосферу. Таким чином, AR-пристрої виводять на дисплей для користувача фізичний світ, доповнений віртуальними об'єктами, тобто мають напівпрозорий інтерфейс, що дозволяє бачити те, що відбувається в реальному світі і на інтерактивному екрані. Згідно континууму «віртуальність-реальність», який Пол Мілгром і Фуміо Кісіно описали в 1994 році. Вони виділили простір між віртуальністю і реальністю, в якому розташовані доповнена реальність (ближче до реальності) і доповнена віртуальність (ближче до віртуальності). Для доповненої реальності обов'язкове додавання уявних об'єктів в якості допоміжної інформації [90].

При описі доповненої реальності як системи, найбільш зручно використовувати класифікацію, запропоновану Рональдом Азума:

- Поєднує реальне і віртуальне
- Взаємодіє в реальному часі
- Працює в 3D

На основі запропонованих класифікацій і визначень розглянемо більш детально, що включають в себе AR-Системи, які функції їм притаманні і які технічні характеристики необхідні для роботи в такому форматі.



AR-системи є прикладною технологією для смартфона, планшета, персонального комп'ютера, окулярів доповненої реальності. Як і у випадку з VR-системами вони мають чіткі технічні й фізичні характеристики.

Використання доповненої реальності також має кілька типів занурення, які залежать від пристроїв та цілей користувача. На основі класифікації типів занурення для VR-пристроїв, які виділив Благов Ю.В., була складена класифікація для AR-пристроїв. Тут не існує високого ступеня занурення, тому що користувач весь час залишається в контакті з реальним світом, завдяки напівпрозорому інтерфейсу.

Середній ступінь занурення досягається за допомогою використання окулярів доповненої реальності. Окуляри включають в себе наступні частини: невеликий системний блок, що містить в собі оперативну пам'ять і процесор, засіб зв'язку між системним блоком і самими окулярами (кабель, що з'єднує їх або бездротовий протокол зв'язку, наприклад Bluetooth), сама оправа для окулярів. Окуляри, як правило, не є автономними і вимагають підключення до комп'ютера або смартфона. На даний момент основними розробниками на ринку AR-пристроїв є: Google і їх розробки GoogleGlass, компанія Meta, ще одні окуляри для доповненої реальності AtheerOne представляє компанія AtheerLabs, доповнена реальність Microsoft представлена моделлю очок HoloLens, компанія SONY просуває на ринку SONY HMZ-T3, компанія Rokid займається розробкою популярних на китайському ринку AR-продуктів і співпрацює з Alibaba. Rokid в 2018 році випустила окуляри доповненої реальності RokidGlass.

Всі перераховані вище моделі дозволяють створювати віртуальні екрани для роботи за допомогою стін або інших плоских поверхонь. Функціонал окулярів дозволяє працювати з тривимірними візуальними об'єктами, робити фото та відео, створювати відеоконференції, працювати в пошукових системах. також окуляри розпізнають жести рук, а зображення, що проектується окулярами можна порівняти з ширококутним монітором.

На даний момент велика частина AR і VR-продуктів націлена на отримання ігрового досвіду, що є наслідком установок і трендів поточної спільноти розробників [91-93]. Недостатньо вивчений вплив окулярів на організм людини при тривалому використанні, але негативні аспекти технології не зупиняють пошук нових цілей і завдань застосування технології на ринку. AR-окуляри мають потенціал для розвитку на ринку охорони здоров'я: AR-сканер AccuVein, який виділяє в доповненій реальності вени пацієнта, розробка MedsightsTech для хірургів, які в реальному часі зможуть спостерігати внутрішні органи пацієнта під час операції, зорове пристрій VA-ST використовується людьми зі значною втратою зору. Пристрій моделює контури обличчя співрозмовника. Існують амбітні проекти в сферах: освіти, військової промисловості, маркетингу і технологій продажів для бізнесу, ігрової індустрії. Можливо застосувати технологію для імерсивних культурно-масових заходів, але для цього слід дотримуватися ряду умов: для занурення аудиторії в події і факти обов'язкове прив'язка до реального місця дислокації користувача. Для використання необхідний смартфон або планшет, що забезпечує низьку ступінь занурення.

Низька ступінь занурення: для повсякденного занурення в мобільну середу AR буде достатньо тільки смартфона або планшета, у який вбудовані сенсори - камера, гіроскоп і акселерометр. Пристрої, що задовольняють цій вимозі поділяють по застосуванню в них операційних систем: Android, IOS і ін. Для кожної операційної системи застосування AR-технологій продиктовано: додатками, браузером, або платформами доповненої реальності, які розробники створюють спеціально під певну систему.

Для операційної системи IOS Apple представила набір інструментів ARKit восени 2017 року, таким чином корпорація відкрила доступ до доповненої реальності мільйонам користувачів. Спеціаліст по роботі з доповненою реальністю Метт Майснікс в своєму блозі детально описує, як працює ARKit. Технічно ARKit - це система візуальної інерційної одометрії (BIO) з простим

виявленням 2D-площини. ВІО означає, що програмне забезпечення відстежує позицію користувача в просторі (позу 6dof) в режимі реального часу, тобто поза перераховується між кожним оновленням кадру на дисплеї, приблизно 30 раз в секунду. Ці розрахунки виконуються двічі, паралельно. Поза відстежується за допомогою камери шляхом зіставлення точки в реальному світі з пікселем на датчику камери в кожному кадрі. Поза також відстежується інерціальною системою (акселерометр і гіроскоп - разом зветься інерціальною одиницею вимірювання). Вихідні дані обох цих систем потім об'єднуються за допомогою фільтра Калмана, який визначає, яка з цих двох систем забезпечує найкращу оцінку «реальної» позиції, і публікує ці оновлення в вигляді оновлення через ARKit SDK. Система ВІО відстежує відстань, яку iPhone пройшов в просторі 6D. 6D означає 3D рух трьома площинами простору XYZ. ARKit, як і шолом віртуальної реальності, орієнтується в просторі за допомогою ступенів свободи. Він визначає положення і рух користувача за напрямками: вперед-назад, вгору-вниз, вліво-вправо і повороти навколо кожної з трьох осей. Цей параметр відображає ступінь можливості переміщення користувача в просторі. Існуючі пристрої Apple мають доступ до AR зі ступенем свободи 6DoF. Айфон використовує камеру, гіроскоп і акселерометр для проведення обчислень про становище в просторі. Візуальна система камери в поєднанні з гіроскопом і інерційною системою акселерометра працюють паралельно. Коли камері важко орієнтуватися на рівномірних однотонних площинах, акселерометр допомагає зрозуміти пристрою, в якому напрямку він рухається, в той час як інерціальна система постійно накопичує дані про помилку. Наступна важлива складова ARKit - визначення горизонтальних площин в кадрі для того, щоб віртуальні об'єкти не висіли в повітрі, а могли закріпитися на твердій поверхні. Таким чином, ARKit спростив процес написання мобільних AR-додатків - для тих розробників, які вже мали справу з 2D і 3D-графікою.

ARCore - аналогічний AR-інструментарій для телефонів і планшетів на базі Android. Інструментарій аналогічний технології Apple, з деякими недоліками від того, що в світі існує велика кількість різних пристроїв на базі операційної системи Android. Розробники ARCore продовжують розширювати список смартфонів, які підтримують технологію. ARCore 1.3 підтримують такі моделі смартфонів: OnePlus 5T і OnePlus 6, Honor 10, Huawei P20 і P20 Pro, XiaomiMi 8 і XiaomiMi 8 ExplorerEdition, BQ Aquaris X2, LG G6 на Android 8.0 і вище, LG G7 ThinQ, перше покоління Nokia 6 (2018) і Nokia 7 Plus, MotorolaMoto Z3 Play, SonyXperia XZ Premium, Xperia XZ1 і XperiaXZ1 Compact. Всі смартфони мають функціонувати на Android 7.0 або більш пізніх версіях ОС Android.

Також існує велика кількість браузерів, які є універсальними програмами для перегляду цифрового контенту, що доповнює фізичну реальність. Використання браузера в якості AR-додатку доступне відразу з декількох платформ мобільних операційних систем: Android, iOS, WindowsPhone і BlackBerry. Найбільш популярні і технічно грамотні браузери: Wikitude, Layar, blippAR, junaio, Aurasma, Acrossair, Yelp, Nokia Misto.

Представлені браузери виконують скоріше маркетингові функції і завдання, вони спрямовані на взаємодію з бізнесом. Однак існує ряд проектів, які розкривають потенціал AR-технологій для друкованої періодики. Це стало доступно завдяки широкому поширенню браузерів на Заході.

Вивчивши можливості, які надає середній і низький ступінь занурення доповненої реальності, було встановлено, що низький ступінь занурення вже здатен інтегруватися в культурно-мистецькі заходи. Це наочно демонструють вже існуючі локальні та зарубіжні проекти. Вже при мобільному ступені занурення спостерігається ефект впливу на споживача інформації, при якому у людини виникає глибший емоційний відгук від побаченого. Також збільшується час, проведений за переглядом такого контенту. Таким чином, при виборі оптимального співвідношення якості вартості продукту, було

встановлено, що мобільна ступінь занурення має найбільший потенціал для створення проєктів в рамках імерсивної журналістики. Цьому сприяє ряд факторів: велика кількість користувачів смартфонів і планшетів, технічні характеристики яких дозволяють використовувати AR-додатки і браузері, постійно розширюється список цих смартфонів, доступна ціна на ці моделі. На цій платформі можливе створення індивідуальних та групових проєктів, які б охопили такі сфери як: освіту, культурно-мистецькі заходи, журналістику, медіадизайн, 3D-графіку і фотографію. Теоретично технології можуть бути сумісні з будь-якими предметами університетських або шкільних програм. Для розкриття потенціалу цих сфер в області AR необхідно дослідити роль педагога, журналіста чи іншого творця контенту на базі даної платформи. Детально вивчити наявні проєкти, проаналізувати плюси і мінуси таких матеріалів, зробити висновки про ефективність використання ресурсів AR для імерсивних культурно-мистецьких заходів. Технології доповненої реальності є тим інструментом, який дозволяє представляти контент по-різному, в залежності від користувача. Тут прихований потенціал для імерсивних культурно-масових заходів, який здатний задіяти більшу аудиторію.

### **2.2.3 Технологічні характеристики MR-пристроїв**

Змішана реальність (MR - Mixed Reality) являє собою особливу технологію занурення у віртуальний простір. Вона створює і розширює простір сприйняття для людини.

Виділяють кілька підходів до створення пристроїв змішаної реальності, які за своєю суттю нагадують шоломи віртуальної реальності. Запит на розробку цих шоломів надходить в основному від розробників, або гігантів ринку віртуальної реальності, тому арсенал розробок не такий різноманітний, як у випадку з технологіями віртуальної і доповненої реальності. Готовий продукт на споживчому ринку існує в рамках розробок на платформі

WindowsMixedReality. Розробки в цьому напрямку вели: Microsoft, MAGICLEAP і Intel.

Окуляри доповненої реальності MAGIC LEAP знаходяться в стадії розробки і, за словами розробників, мають широкий функціонал: окуляри здатні розрізняти поверхні і об'єкти реального світу, що якісно відрізняє їх від AR-технологій, яким важко орієнтуватися на монотонних поверхнях. MagicLeapOne обчислює і залишає в пам'яті пристрою розташування стін, підлоги та інших об'єктів, з якими може взаємодіяти пристрій, завдяки чому користувач може «закріплювати» цифрові елементи в просторі.



Рисунок 2.7 - MagicLeap One

MagicLeap One підключаються до невеликого круглого комп'ютера, продуктивність і мобільність якого заслуговує на увагу. За технічними характеристиками потужність комп'ютера порівнянна з ігровими ПК. Управління здійснюється голосом, жестами, положенням голови і навіть напрямком погляду. На даний момент демо-версія управління являє собою віртуальною жінку, яка з'являється прямо зі стіни. До набору змішаної реальності додається контролер з кнопками і сенсорною поверхнею, в чому ми знаходимо чергову схожість з VR-шоломами. Ще одна схожість з VR-шоломами - відображення віртуальних об'єктів тільки в обмеженій області перед очима.

На офіційній сторінці розробники анонсують області, в яких може бути отриманий досвід за допомогою окулярів доповненої реальності. Пристрій може бути використано для ігор, онлайн-покупок, відображення екранів з інформацією, віртуальних зустрічей, творчості та навчання.

Microsoft протягом декількох років розробляє платформу змішаної реальності WindowsMixedReality. Платформа позиціонує себе як частину операційної системи Windows 10. За даними розробників, вона забезпечує віртуальний досвід в змішаній реальності з сумісними шоломами. В компанії розраховують, що з розвитком віртуальності користувачам буде потрібна загальна платформа. WindowsMixedReality стає стимулом для популяризації VR. Для порталу змішаної реальності використовується віртуальний будинок на березі океану, який розробники назвали CliffHouse. На порталі доступні такі можливості: дивитися фільми на великому екрані, створювати об'єкти, грати в спеціально розроблені ігри, спілкуватися в Skype, відкривати 2D додатки, подорожувати по музеям і містам, побувати в космосі і т.д. Партнери компанії надали свої гарнітури, основні технічні та фізичні параметри яких також збігаються з параметрами шоломів віртуальної реальності. Розглянемо одну з них за технічними характеристиками. LenovoExplorer розроблені для операційної системи сумісного ПК - Windows 10 FallCreatorUpdate, мають дисплей з розмірами:  $2 \times 2,89$  « і роздільну здатність:  $2880 \times 1440$ . До пристрою вставлені лінзи: FOV  $110^\circ$ . Датчики, за допомогою яких шолом розуміє своє місце розташування у просторі: 2 камери реєстрації руху Inside-out (вже знайома нам позиційна система VR-шолома), датчик наближення, гіроскоп і акселерометр (використовують AR-системи), магнітометр. Вага пристрою становить 380 г. З відмінностей, в мануалі по використанню шолома зустрічаємо вимоги до ігрової зоні. Для порталу це кімната від  $3,5 \times 3,5$  м.

Контролери переміщення: контролер Xbox, клавіатура і миша, система голосового управління Cortana.



Рисунок 2.8 - CliffHouse

#### **2.2.4 Технологічні аспекти відео в форматі 360 градусів**

Відео в форматі 360 градусів відносяться до форматів віртуальної реальності, які за допомогою спеціальних камер і склейки дозволяють отримати круговий огляд. Відео в цьому форматі поділяють на моноскопічне і стереоскопічне.

До моноскопічного відносять відеозаписи на Google'sStreetView або 360 плеєрах, таких як YouTube 360 і Facebook. Технологія є 2D рендерингом справжніх зйомок в форматі 360. Видно простір навколо, але немає відчуття занурення в 3D світ.

Стереоскопічне відео є елементом віртуальної реальності. Такі відео необхідно переглядати в шоломах віртуальної реальності. Тут присутній ефект занурення і відчуття світу в 3D - з глибиною і 360-градусним оглядом.

Аналіз ринку камер, які дозволяють знімати в форматі 360 градусів показав, що навіть професійні камери не захоплюють всі 360 градусів. Наприклад, 360Fly і Kodak'sPixpro SP360 захоплюють близько 240 градусів. Для того, щоб отримати усі 360 градусів, відео повинно бути або заповнене графікою або зняте спеціальним чином, тобто дві камери встановлюються одну до одної впритул «спина до спини».



Різниця в ціні між камерами пояснюється їх властивостями і технічним наповненням – більш дешеві камери пропонують нижчу роздільну здатність. Для дорогих камер характерна повна оптимізація під потреби користувачів. Найчастіше, це взаємодія з сервісом StreetView. Wi-Fi-зв'язок стандарту 4G дозволяє здійснювати прямі трансляції панорамного контенту з роздільною здатністю 4K в соціальні мережі без використання комп'ютера, такий параметр оптимізації скорочує час на створення і завантаження контенту. Камери оснащені високошвидкісною пам'яттю UFS з великим об'ємом, якого всередньому досить для 3,5 годинної відеозйомки. Високопродуктивний процесор разом з власною операційною системою на базі Android дозволяють виконувати моніторинг, зшивання, попередній перегляд і налаштування параметрів зйомки в режимі реального часу без необхідності підключатися до смартфона або планшета.

Соціальні мережі популяризували цей формат і підштовхнули платформи до розвитку і автоматизації при завантаженнях такого формату. Технології пройшли шлях від повторного створення за допомогою комп'ютерного програмного забезпечення до сферичних камер, які дозволяють захопити кут огляду в 360 градусів. Виробництво VR-контенту стає швидше і простіше при створенні запису, зробленого за допомогою сферичних камер, але для цього потрібно стандартне редагування і зшивання. Виходить відеоролик в форматі 360 градусів, який публікується на YouTube, Facebook або у власному програвачі видавця, який підтримує формат 360 градусів. З ростом популярності цього формату функція завантаження стала автоматичною.

Із зростанням потреби аудиторії в імерсивному форматі, почали з'являтися заходи, що готові надавати такий контент.

## Висновки до розділу 2

Розглянуто технологічні аспекти застосування імерсивних технологій для культурно-мистецьких заходів. Досліджено передумови для появи імерсивних технологій в сфері культури і мистецтва.

Иммерсивні технології для культурно-масових заходів виникають в результаті наступних течій:

- Фонове сприйняття інформації відходить на другий план;
- Технології змінюють структуру споживання інформації;
- Роль користувача стає активною;
- Боротьба за залучення і утримання уваги;
- Можливість транслювати те, що в реальності може бути небезпечно;
- Можливість транслювати те, що в реальності неможливо;
- Можливість транслювати те, що дорого побачити в реальності;
- Можливість транслювати те, що рідко зустрічається і складно зловити.

Незважаючи на те, що технології доповненої, змішаної і віртуальної реальності мають величезний потенціал у сфері музейної діяльності, на сьогоднішній день вони ще не отримали достатнього поширення. Цей факт можна пов'язати з необхідністю спеціального технічного обладнання та програмного забезпечення, до яких не так легко отримати доступ, як хотілося б. Проте, вже зараз багато музеїв розуміють, який потужний інструмент вдають із себе ці технології, і впроваджують їх у свої експозиції. Ця сфера розвивається вкрай стрімко, так що вже через кілька років звична концепція музею може дуже сильно змінитися, поступаючись новим формам і методам взаємодії користувача і експоната.

### **3. РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЕКТУ GOOGLE CARDBOARD**

#### **3.1. Особливості пристрою Google Cardboard**

Ринок віртуальної і доповненої реальності представлений безліччю пристроїв. Серед окулярів віртуальної реальності нижчої цінової категорії хочеться виділити велику популярність Google Cardboard 2.0 - бюджетний, але якісний пристрій для отримання досвіду занурення у віртуальну реальність [95-97].

Для повноцінної роботи Cardboard необхідний смартфон. Cardboard сумісний з пристроями на Android і iOS.

Однак в силу деяких причин Google випускає оновлення своїх сервісів Cardboard для iOS з невеликою затримкою.

Завдяки продуманій конструкції Google Cardboard складається в невелику коробочку, яка трохи перевищує розміри футляра для окулярів. У плані мобільності Cardboard на голову вище всіх своїх конкурентів, а дешевизна пристрою визначає його доступність.

Користувач може регулювати напрямок руху в грі за допомогою повороту або нахилу голови.

Google Cardboard V1 - перша версія очок віртуальної реальності від компанії Google. Цей пристрій складніше зібрати, він не підтримує смартфони з великою діагоналлю дисплея.

Перша версія Cardboard цілком підійде для використання в менш інтерактивних додатках (віртуальні тури і перегляд відео).

Важить пристрій трохи менше свого більш сучасного аналога. А ось лінзи в Cardboard V1 помітно гірші - 25 мм, кут огляду - 90 градусів.

Google Cardboard 2.0 - остання версія пристрою. Фахівці з Google поліпшили ергономіку, і Google Cardboard 2.0 підтримує телефони нестандартних розмірів.



Рисунок 3.1 – Порівняння версій Google Cardboard

Крім цього, інженери спростили процес складання очок віртуальної реальності. Однак сам матеріал пристрою – щільний картон – добре вбирає піт. Це може стати серйозною причиною для дискомфорту під час тривалого використання пристрою. Це робить пристрій ідеальним варіантом для тих, хто хоче вперше випробувати пристрій віртуальної реальності.

Вага Cardboard безпосередньо залежить від використовуваного смартфона (саме картонне пристрій майже не відчувається на голові). Для збірки також знадобляться лінзи, які розширюють кути огляду до 100 градусів.

### **3.2. Постановка задачі до моделювання**

В основі пристрою будь-яких очок віртуальної реальності лежить головна умова стереоскопії - демонстрація окремих зображень для кожного ока. Це реалізується завдяки установці смартфона перед очима на певній відстані. За допомогою лінз, погляд фокусується на екрані телефону, а перегородка закриває сусіднє зображення від лівого і правого ока.



Рисунок 3.2 – Компоненти окулярів віртуальної реальності для смартфона

Проект являє собою симуляцію віртуальної реальності за допомогою шолому, зібраного за спеціальною схемою з картону, оптичних лінз, а також вкладеного в нього смартфона на операційній системі Android або iOS із попередньо встановленим програмним забезпеченням. Шолом можна зібрати самостійно в домашніх умовах або купити готовий варіант безпосередньо на сайті експеримента.

### **3.3. Підготовка обладнання для конструювання Google Cardboard**

#### **3.3.1 Смартфон**

Найголовніше - це телефон, тому що він виступає в якості екрану. Операційна система повинна бути Android або iOS. Що стосується розмірів екрану - діагональ повинна бути в діапазоні від 5 до 6,5 дюймів. Ще однією важливою умовою є продуктивність смартфона і наявність датчиків руху. Вони дозволяють відстежувати стан голови під час перегляду відео контенту. Мінімальні та оптимальні параметри телефону вказані в таблиці.

Таблиця 3.1 – Мінімальні та оптимальні параметри телефону

Параметри телефону	Оптимальна сумісність з VR	Нормальна сумісність з VR
Діагональ екрану	5 – 5.7 дюймів	4 – 5.7 дюймів
Роздільна здатність екрану	1080x1920 і вище	720x1280
Процесор	Quad-core 1,6 GHz	Потребується тестування
Датчики	Акселерометр, Гіроскоп	Акселерометр, Гіроскоп

### 3.3.2 Шаблон VR-окулярів

Усі шаблони для друку знаходяться у вільному доступі на офіційному сайті Google Cardboard. На сайті також доступні технічні креслення окремих елементів пристрою. Шаблони необхідно роздрукувати на принтері.

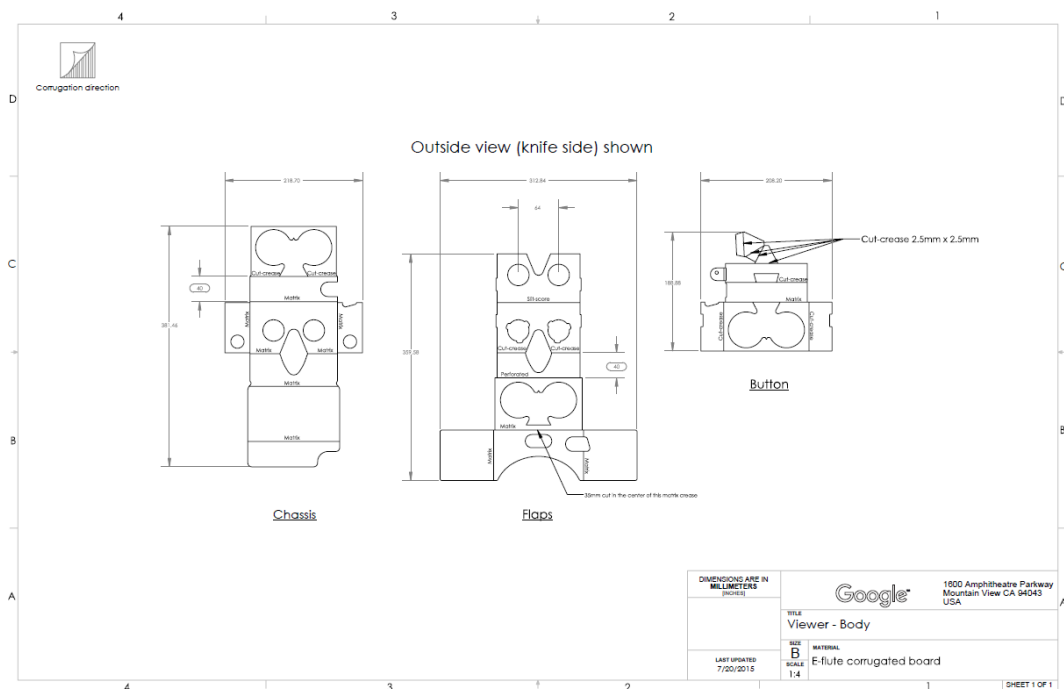


Рисунок 3.3 – Креслення Google Cardboard

### 3.3.3 Необхідні матеріали

Якщо робити вр окуляри для смартфона своїми руками, потрібно визначитися з матеріалом. Він повинен бути досить жорстким, але в той же час добре гнутися. Найбільше підходить щільний картон товщиною 1-2 міліметра. Картону повинно вистачати для наклейки трьох аркушів формату А4.

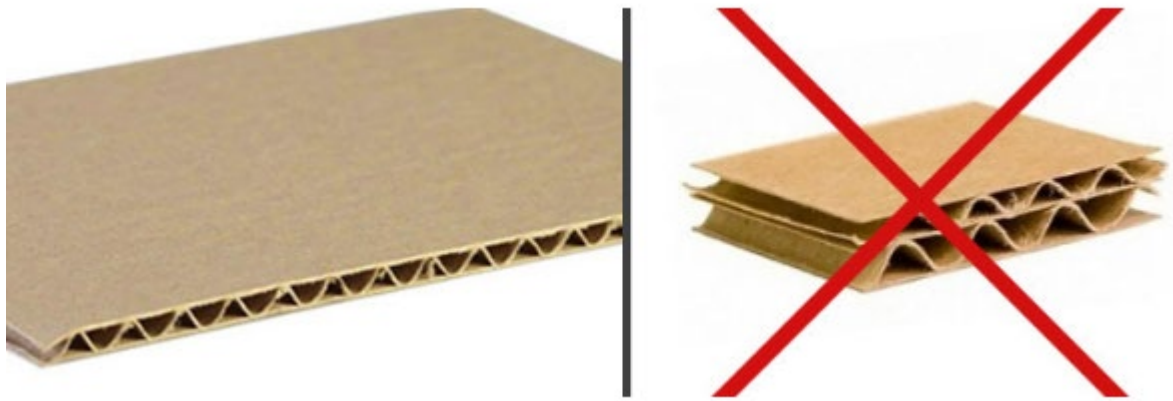


Рисунок 3.4 - Картон для збірки корпусу очок

Картон можна замінити листом жорсткого пластика.

У якості інструменту для вирізання можна використовувати звичайні ножиці. Але найкраще скористатися канцелярським ножом. За допомогою ножа і лінійки різати картон набагато легше, а розріз вийде значно рівніше.

Деякі частини віртуальних очок потрібно буде скріпити між собою. Для надійності було прийняте рішення використовувати клей-олівець та термоклей.

### **3.3.3 Лінзи**

Найскладніший елемент в конструкції - це, звичайно, лінзи. Без лінз око не здатне сфокусуватися на зображенні поблизу, тому саме лінзи є необхідним елементом конструкції.

Потрібно пам'ятати, що у лінзи робоча область з мінімальними спотвореннями знаходиться в центрі, а з віддаленням від нього, якість зображення стрімко падає, тому діаметр лінзи повинен бути достатнім, щоб покривати без спотворень різницю у відстанях між очима і центрами половинок кадру, але при цьому не перевищувати певної межі, щоб лінзи можна було зрушити один з одним ближче або розсунути подалі, але так, щоб погляд проходив близько до центральної області лінзи. Схематично це зображено на малюнку нижче.

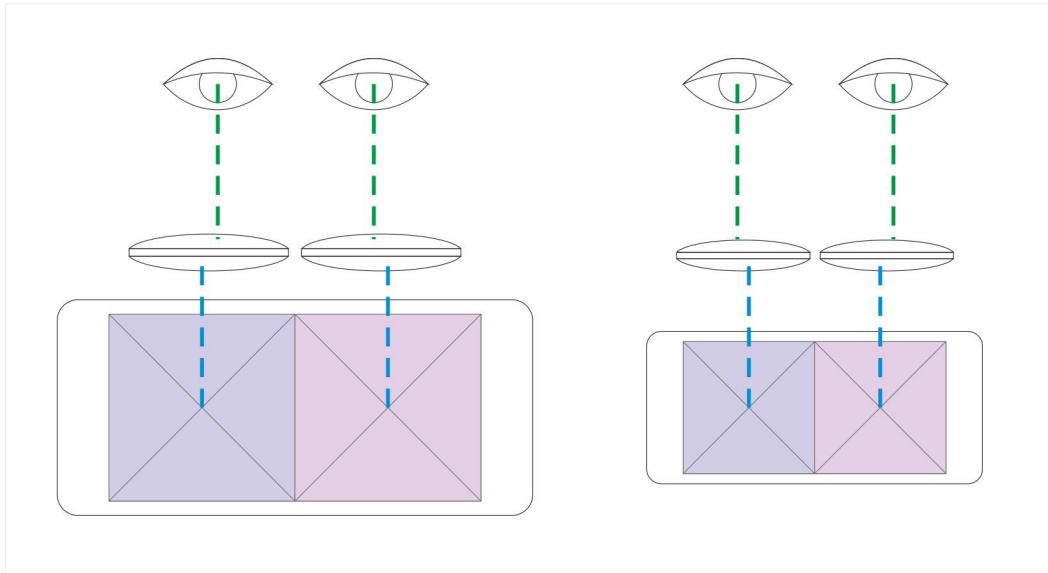


Рисунок 3.5 – Схематичне зображення лінз

Лінзи було замовлено на сайті Aliexpress із врахуванням технічних характеристик смартфона, що буде використовуватись для роботи з Google Cardboard.



Рисунок 3.6 – Лінзи, що отримано поштою



### 3.3. Технологія конструювання Google Cardboard

В першу чергу потрібно надрукувати креслення Google Cardboard. Для друку потрібен папір формату А4, а саме три листа.

Далі роздруковані ескізи наклеюються на картон, тому найкраще використовувати самоклеючі листи. Але якщо таких немає, можна скористатися будь-яким клеєм для паперу.

З отриманого шаблону для окулярів віртуальної реальності необхідно вирізати всі деталі. Найзручніший спосіб - канцелярський ніж і лінійка. Прикладаючи лінійку до країв, необхідно щільно притискати її до картону і вирізати відрізок за відрізком.



Рисунок 3.7 – Вирізання деталей

Це дуже кропітка робота, тому що потрібно вирізати багато дрібних деталей і отворів. У деяких випадках все ж буде потрібне застосування невеликих ножиць.

В результаті з трьох частин шаблону отримується набір необхідних деталей для зборки корпусу очок.



Рисунок 3.8 – Деталі для збірки корпусу

Тепер можна приступати до збірки корпусу окулярів. Лінзи необхідно помістити в одну з деталей так, щоб вони були надійно закріплені, та зафіксувати деталями з двох боків.

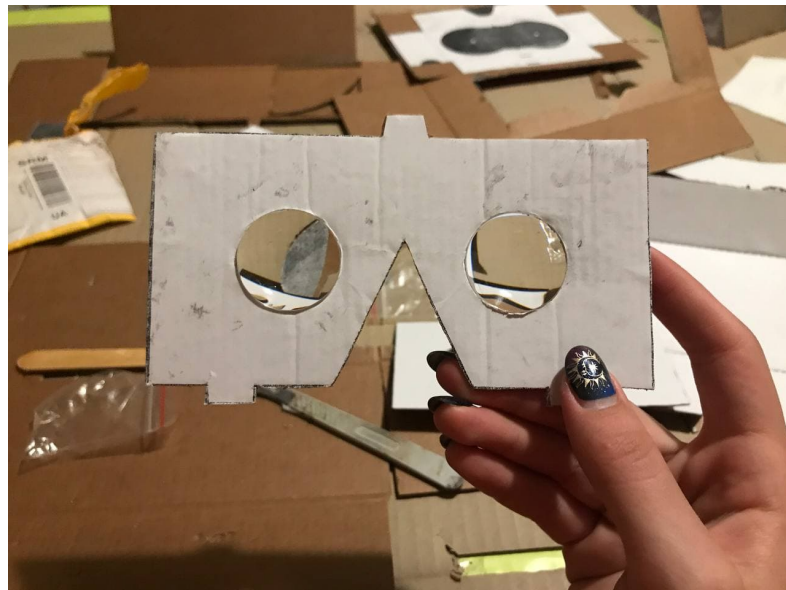


Рисунок 3.9 – Установка лінз

Усі деталі скріплюються між собою за допомогою клею. Використання термоклею значно укріплює конструкцію.



Рисунок 3.10 – Використання термоклею

На останньому етапі збірки необхідно прикласти смартфон до окулярів та загнути кришку відсіка відповідно до товщини телефона. Фіксація телефона може виконуватись за допомогою текстильних ліпучок.



Рисунок 3.11 – Фінальний етап збірки

### **3.4. Використання Google Cardboard**

Програми та файли для перевірки працездатності

1. MX Player 1.7.28 - безкоштовний плеєр, який дозволяє програвати необхідні файли з потрібним співвідношенням сторін, і кодек до нього, в залежності від типу процесора

2. Будь-які 3D відеофайли, записані в режимі side-by-side, це можуть бути фільми, передачі і що завгодно ще, також можна знайти SBS HD на відкритих майданчиках.

3. Плеєр Go Show в безкоштовному режимі показує 3D мультфільм Elephant Dream

4. SBS-Player - може відтворювати будь-які звичайні відеофайли так, що вони будуть відображатися в режимі SBS. Тут не видно 3D-ефект, але можливо настроїти фокусування і зміщення лінз.

### 3.5 Доступні програмні можливості VR-шолома

#### 3.5.1 Перегляд 3D відео

Найперше, що спадає на думку - це перегляд фільмів в 3D. Це - дуже проста і зрозуміла точка входу в віртуальну реальність. Перегляд 3D кінофільмів в вийшов шоломі - дуже цікаве і веселе заняття [98-99].

Для перегляду фільмів в такому вигляді, вам буде потрібно безкоштовний плеєр MX Player з встановленим кодеком під потрібний процесор, ну і власне, відеофайл. Плеєр має можливість налаштувати співвідношення сторін відтвореного відео, що вкрай корисно для SBS файлів, які в іншому випадку розтягуються по вертикалі на весь екран.

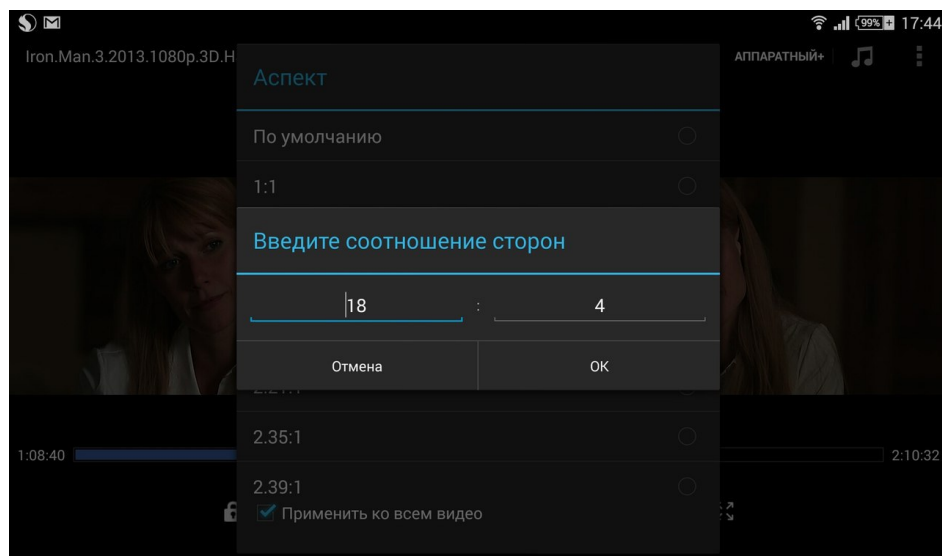


Рисунок 3.12 – Перегляд 3D кінофільму

#### 3.5.2 Андроїд-додатки для Durovis Dive і подібних систем

Для комфортного занурення у віртуальну реальність буде потрібно джойстик, або будь-який інший контролер, наприклад бездротова клавіатура. Наприклад, відмінно працює контролер Genius MaxFire G-12U, підключений до смартфона через перехідник з microUSB на USB [95, 96].





Рисунок 3.13 - Genius MaxFire G-12U

Будуть потрібні і навушники, тому як занурення у віртуальні реальності без звуку буде неповним.

Головна особливість досвіду - це трекінг руху голови. Це зовсім нове і незвідане поле для відчуттів, і до появи шолома багато користувачів нічого подібного не відчували з часів пригод зі скалолазами в горах, прогулянок по дну океанів і ночівель в лісі.

Також можливе підключення до комп'ютера в якості VR-пристрою, для чого необхідно вивести зображення з відеокарти комп'ютера, одночасно передавши трекінг голови, тобто дані гіроскопа і акселерометра в комп'ютер.

### **Висновки до розділу 3**

У другому розділі було проаналізовано будову та можливості пристрою Google Cardboard, що являє собою симуляцію віртуальної реальності за допомогою шолому, зібраного за спеціальною схемою з картону, оптичних лінз та застібки-липучки, а також вкладеного в нього смартфона на операційній

системі Android або iOS із попередньо встановленим програмним забезпеченням.

Організовано закупівлю необхідних деталей для конструювання проекту Google Cardboard (лінзи з певними характеристиками).

Шолом можна зібрати самостійно в домашніх умовах або купити готовий варіант безпосередньо на сайті експеримента.

Креслення передбачає всі найменші деталі, з урахуванням яких пристрої віртуальної реальності зможуть задовольнити потреби будь-якого користувача.

## 4. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ

### 4.1 Формулювання проблеми

Механізм маніпуляції тривимірними об'єктами змішаної реальності з використанням жестових методів введення. Переваги можливості маніпуляції об'єктами .

Об'єкт в змішаній реальності візуалізується в положенні над зображенням-маркером (рис.1). При цьому лицьова сторона об'єкта відповідає лицьовій стороні маркера.

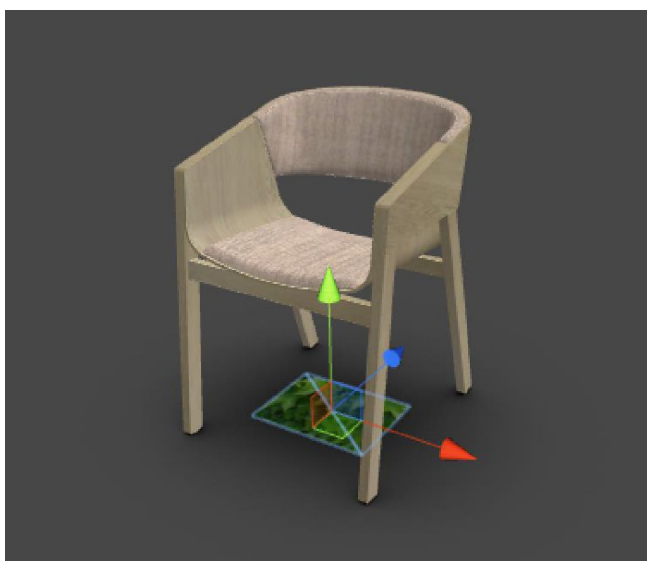


Рис. 4.1 - Розташування об'єкта над маркером

Для того, щоб візуалізувати об'єкт в іншому становищі, користувачеві необхідно пересунути зображення-маркер відповідним чином. Це істотно погіршує взаємодію. Наприклад, користувач відповідно до інструкції може покласти маркер на підлогу і відійти від нього на відстань до 2-5 метрів. Може виявитися, що модель необхідно посунути на невелику відстань або повернути (напр., якщо маркер і, відповідно, модель повернені до користувача не тою стороною, що необхідно). У цій ситуації користувачу необхідно пройти 2-5 метрів до маркера, змінити його положення і



пройти назад. Найкритичнішим є те, що користувачеві доведеться відірватись від роботи з графічним інтерфейсом, що підвищить когнітивне навантаження і ще більше збільшить час, необхідний на операцію переміщення об'єкта.

Для вирішення даної проблеми було розроблено інтерфейс маніпуляції об'єктів в просторі.

Іншою перевагою імплементації функції переміщення об'єктів є можливість збільшення дистанції до об'єкта, компенсуючи недостатню дистанцію розпізнавання маркера. Маркер може бути розпізнаний на невеликій відстані, а об'єкт потім переміщений на більш віддалену відстань, як показано на рисунку 2.

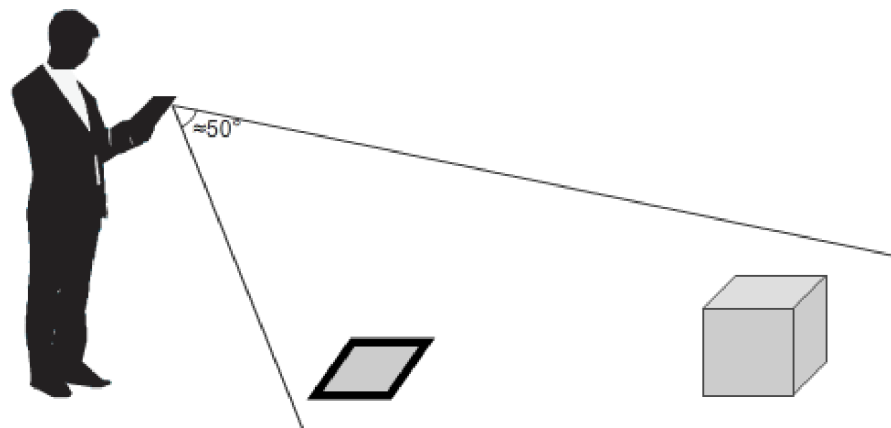


Рис. 4.2 - Збільшення дистанції візуалізації об'єкта за рахунок зсуву відносно маркера

#### 4.2 Формулювання математичної моделі

Координати точок об'єкта при повороті, переміщенні і зміні масштабу об'єкта в загальному випадку змінюються у відповідності з наступною формулою:

$$\begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} = M \cdot \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \end{bmatrix},$$

де  $X_0, Y_0, Z_0$  - початкові координати точки об'єкта,

$X_1, Y_1, Z_1$  - кінцеві координати точки об'єкта,

$M$  - коефіцієнт зміни масштабу,

матриця  $\|a_{mn}\|$  - матриця перетворення повороту, елементи якої виражаються через кути повороту навколо трьох просторових осей,

$\vec{r} = (r_1, r_2, r_3)$  - вектор переміщення об'єкта.

В задачі розстановки віртуальних меблів користувачеві не потрібен повноцінний інтерфейс маніпуляції тривимірними об'єктами з шістьма ступенями свободи. Задача переміщення меблів є двомірною. І таким чином в даному випадку інтерфейс може бути спрощений. Переміщення меблів здійснюється в межах площини підлоги приміщення, по осях  $X$  і  $Z$ . Обертання здійснюється навколо своєї осі  $Y$  (рис. 1).

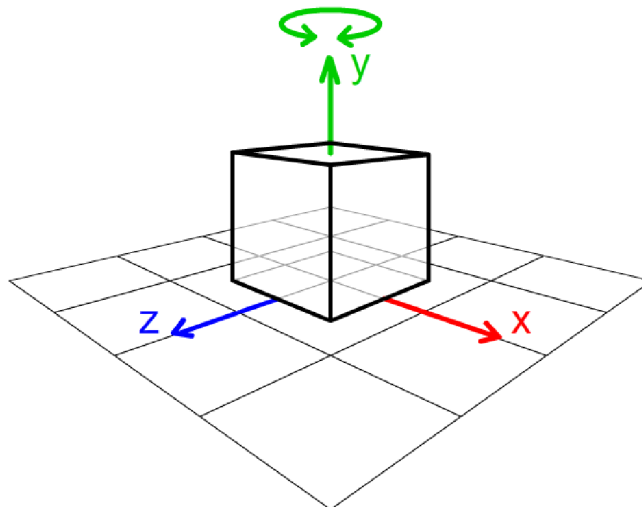


Рис. 4.3 - Осі переміщення об'єкта ( $X$ ,  $Z$ ) і вісь обертання ( $Y$ )

У разі переміщення і обертання об'єкта в площині  $XZ$  без зміни масштабу наведена вище формула спрощується: координата  $Y$  залишається незмінною, а координати  $X$  і  $Z$  змінюються відповідно до виразу

$$\begin{bmatrix} Z_1 \\ X_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} Z_0 \\ X_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} r_3 \\ r_1 \end{bmatrix},$$

де  $\varphi$  - кут повороту об'єкта навколо осі  $Y$ .

### 4.3 Розв'язок поставленої математичної моделі

Для реалізації інтерфейсу маніпуляції об'єктами були розглянуті варіанти використання кнопок і різних інших екранних елементів управління (напр., «ползунків»). Однак більш ефективним рішенням виявилось використання жестових методів введення.

Сенсорні екрани сучасних мобільних пристроїв в більшості оснащені функцією розпізнавання декількох торкань одночасно (так звана функція «мультитач»). Таким чином є можливість призначити один жест (просте торкання і переміщення одного пальця) для переміщення об'єкта (трансляцію координат), а інший (торкання одночасно двома пальцями) - для обертання (рис. 4.4).

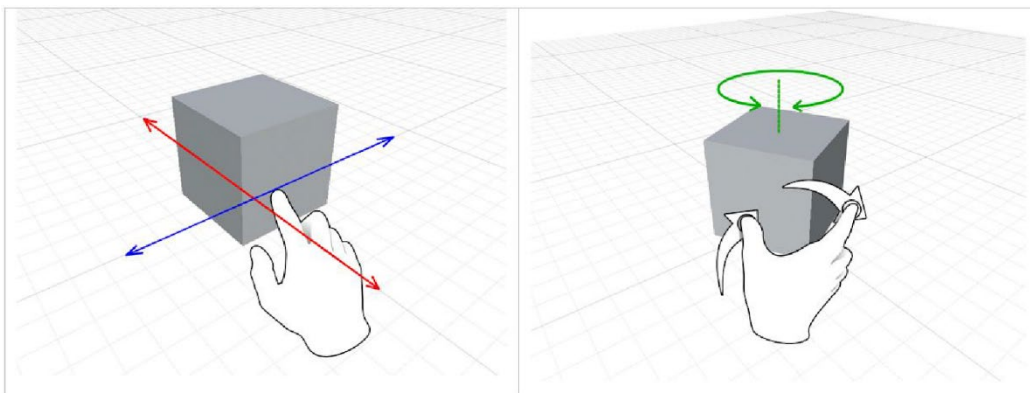


Рис. 4.4 - Використання жесту «дотик і переміщення одного пальця» для переміщення об'єкта та жесту «торкання одночасно двома пальцями» для обертання.

#### Алгоритм реалізації маніпуляції жестовими методами

Був розроблений алгоритм, що обробляє введення з сенсорного екрану (Рис. 2). При виявленні торкання екрану проводиться перевірка, чи відбулось потраплення в область віртуального об'єкта. Для цього застосовується метод «кидання променів», або рейкастинг (англ. ray casting — кидання променів).

Віртуальний промінь надходить від точки дотику користувачем сенсорного екрану, що знаходиться на площині екрану, знайденої за допомогою віртуальної камери Unity. У разі перетину променем об'єкта, повертається позитивний результат. При наявності на сцені декількох віртуальних об'єктів, необхідно визначити, з якими з них відбувається взаємодія.

При виявленні більше, ніж одного дотику на одному об'єкті розпізнається режим обертання. Кут, на який потрібно повернути об'єкт, визначається шляхом вимірювання кута обертання прямої, проведеної через дві точки дотику, у порівнянні з попереднім кадром. При виявленні більше двох торкань на об'єкті, обробляються тільки два перших.

Важливо зауважити, що в запропонованій реалізації при режимі обертання режим переміщення залишається активним. Тобто можливо, обертаючи об'єкт дотиком двох пальців, одночасно переміщати його, переміщаючи пальці відповідно. Відстежується трансляція середньої точки між двома дотиками. Неформальні випробування показали, що більшість користувачів позитивно оцінили такий варіант, вважаючи за краще використовувати дотик двома пальцями для переміщення і обертання одночасно, і рідко користуються режимом переміщення одним дотиком в чистому вигляді.

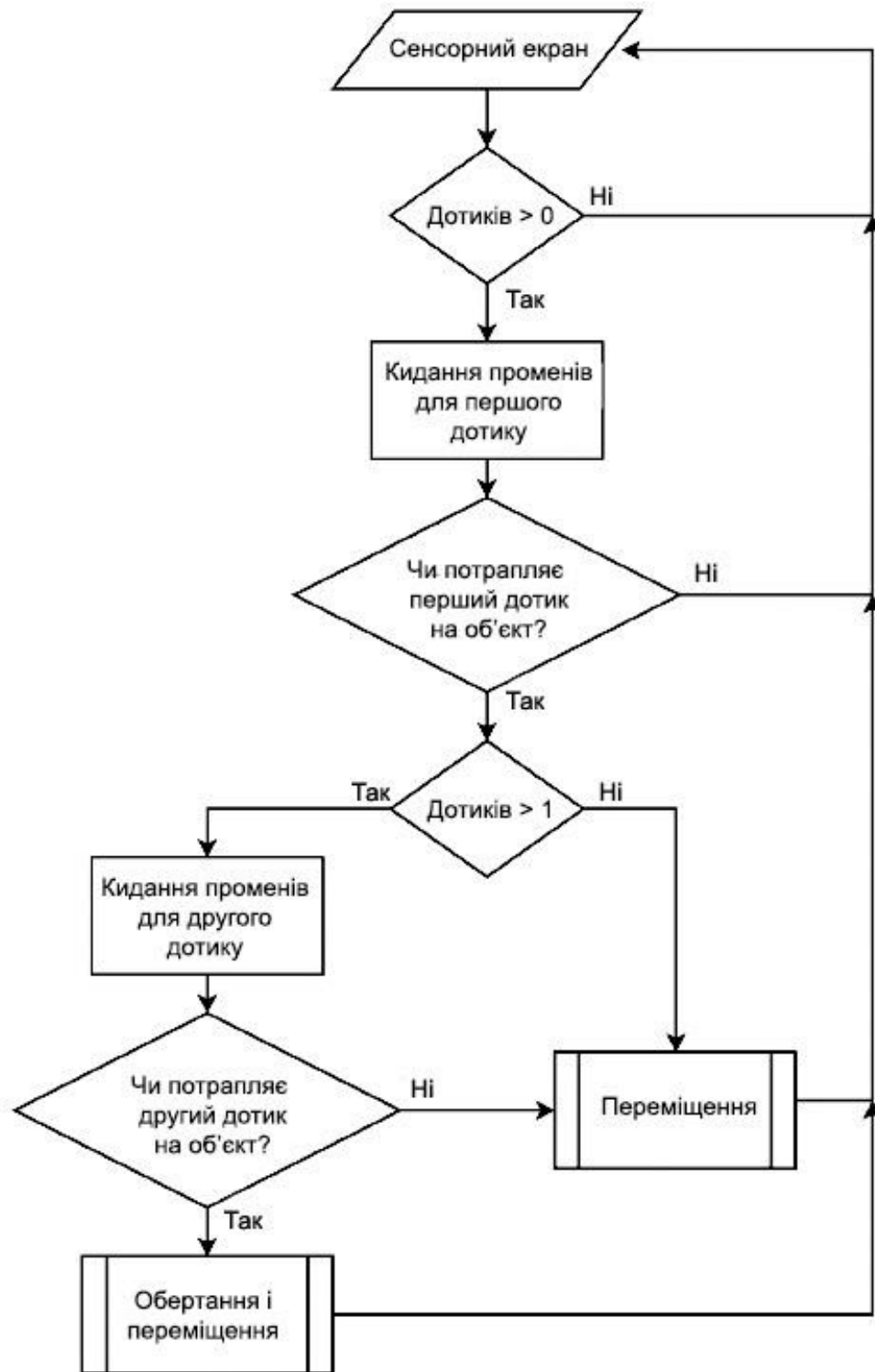


Рис. 4.5 - Блок-схема алгоритму маніпуляції об'єктами

#### **4.4 Перевірка адекватності моделі, проведення ідентифікації моделі**

Система комп'ютерної графіки в загальному випадку може синтезувати зображення, відповідне тільки одному зображенню з сітківки, тобто система здатна відтворити лише умови монокулярного спостереження.

Об'ємність зображення, просторове положення об'єктів при цьому сприймаються на синтезованому зображенні завдяки лінійній перспективі, затулянню одних об'єктів іншими, характеру тіней і зміні тону (або колірних відтінків) по полю зображення.

Істотне значення для сприйняття обсягу і простору має попередній досвід спостереження, завдяки якому спостерігач мимоволі «добудовує» об'ємну структуру сцени, що спостерігається.

Таким чином, синтезоване комп'ютерне зображення може відповідати оригіналу при візуальному спостереженні тільки на психофізичному рівні. Максимальне наближення до оригіналу при цьому можна забезпечити, якщо математична модель сцени і програма обробки точно передають умови освітлення, геометричну форму об'єктів та їх взаємне положення.

Об'єкт в доповненій реальності візуалізується в положенні над зображенням-маркером. При цьому лицьова сторона об'єкта відповідає лицьовій стороні маркера.

У випадку, коли модель необхідно посунути на невелику відстань, або повернути, використання спеціального інтерфейсу маніпуляції об'єктів в просторі є більш оптимальним рішенням, ніж пересування маркера вручну.

Розроблений механізм маніпулювання об'єктами для вирішення задачі розстановки меблів має наступні переваги:

Взаємодію при візуалізації об'єктів засобами доповненої реальності покращено функцією переміщення і обертання.

Імплементация функції маніпуляції об'єктами може частково компенсувати недоліки технологій трекінгу і збільшити дистанцію до об'єктів, що візуалізуються.

У порівнянні з використанням елементів графічного інтерфейсу (кнопок або «повзунків») запропонований механізм є більш природним для користувача.

Наведена математична модель маніпуляції є адекватною, адже вона відповідає наявним експериментальним даним.

Вибір більш складної моделі не призведе до поліпшення її властивостей прогнозування: існуюча модель достатня.

При збільшенні кількості експериментальних даних може статися так, що модель втратить адекватність і виникне необхідність її ускладнення.

#### **Висновки до розділу 4**

Сформульована проблема, яка досліджується в магістерській дисертації.

Формулювання проблеми відповідає вимогам концептуальної моделі.

Представлена математична модель з обґрунтуванням, яка описує процеси концептуальної моделі.

Представлений розв'язок поставленої математичної моделі

Отримані результати розв'язку математичної моделі піддані процедурі ідентифікації, підтверджена адекватність моделі.

## **5. РОЗРОБКА ЗАСТОСУНКУ GOOGLE CARDBOARD VR У UNITY**

На сьогоднішній день Unity є одним із найпопулярніших варіантів для створення додатків віртуальної реальності. Google Cardboard - чудовий вибір для початку роботи, який є досить бюджетним і доступним для самостійної збірки. Для використання такого додатку окрім Google Cardboard достатньо мати смартфон, який наразі є майже у кожної людини.

### **5.1 Необхідне програмне та апаратне забезпечення**

Unity - рекомендується принаймні v4.5. У процесі розробки використовувалась версія Unity v5 Pro.

Операційна система Windows

Cardboard SDK (Software Development Kit) для Unity – необхідний пакет із засобів розробки, утиліт і документації для коректного створення програми для платформи.

Java SE SDK - необхідний для встановлення Android SDK.

Android SDK - SDK для розробки програми під платформу Android.

Гарнітура Google Cardboard, збірку якої детально описано у попередньому розділі магістерської роботи.

Пристрій Android, який потрібно помістити в цю гарнітуру

### **5.2 Підготовка Android SDK та Java SE SDK**

Для того, щоб створити мобільний додаток для Android, знадобиться Android SDK, що працює в системі. Щоб розпочати процес Android SDK, спочатку потрібно встановити Java SE SDK. Завантажити пакет розробки Java можна на сторінці завантаження Java SE.



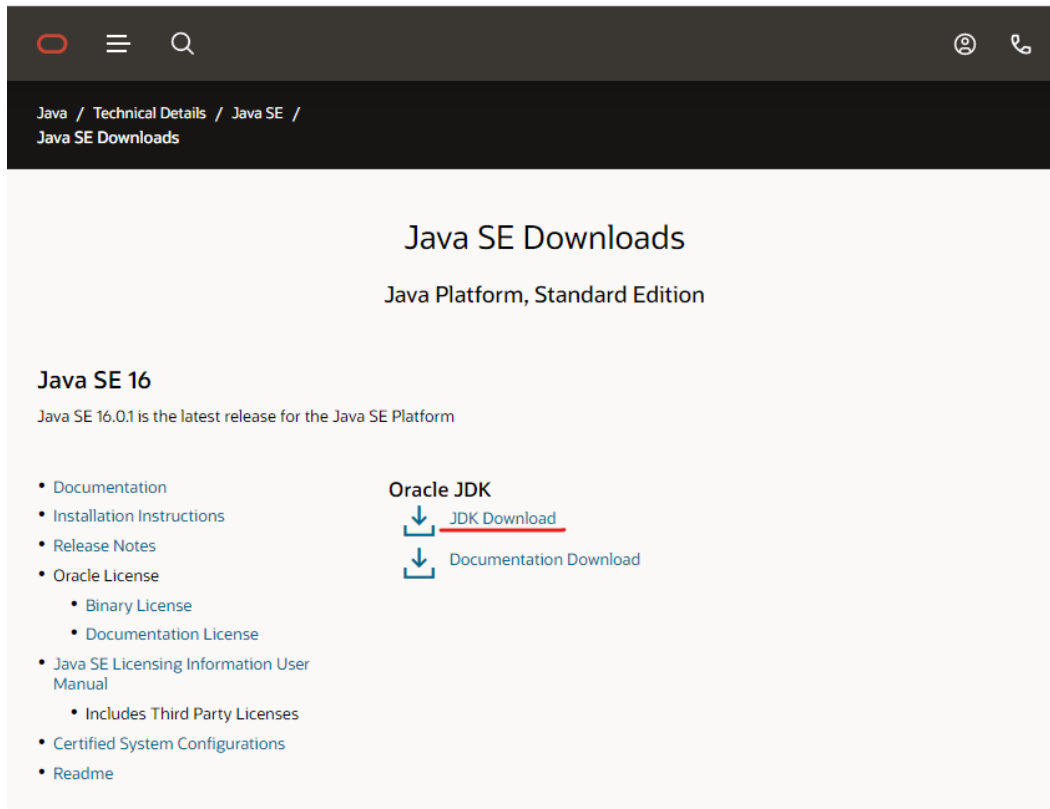


Рис. 5.1 – Сторінка завантаження Java SE

Після завантаження необхідно провести типовий процес встановлення.

Схожим чином проводиться завантаження та встановлення Android SDK. Для розробки додатку на офіційному сайті необхідно обрати варіант «Лише інструменти SDK», що задовільняє достатній мінімум вимог. До завантаження також доступний цілий пакет Android Studio, якщо у майбутньому плануються більш масштабні розробки програмного забезпечення для Android.

На сторінці також необхідно обрати версію для своєї операційної системи.

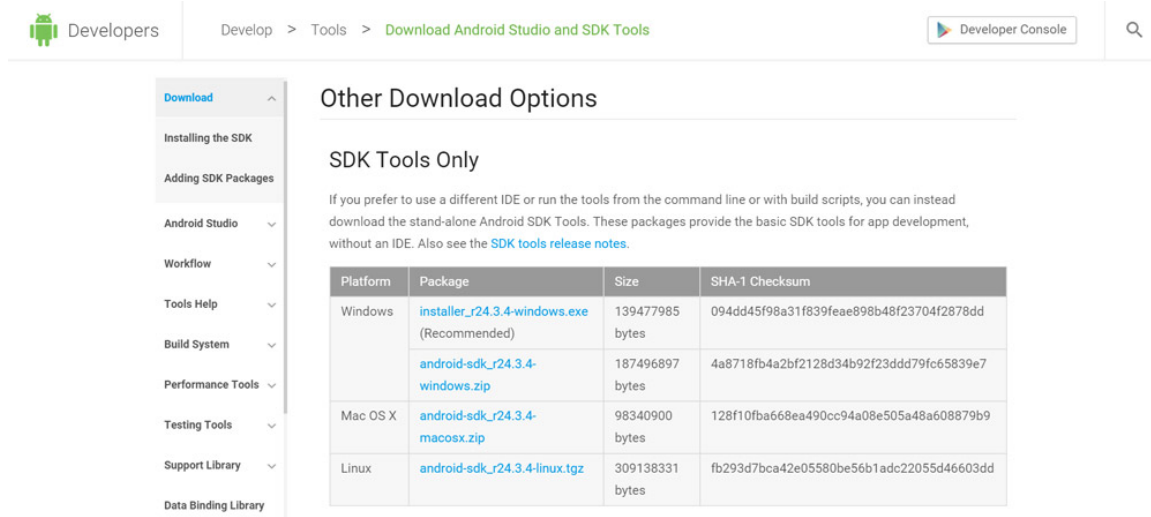


Рис. 5.2 – Сторінка завантаження Android SDK

Для встановлення SDK у систему достатньо дотримуватись стандартної процедури.

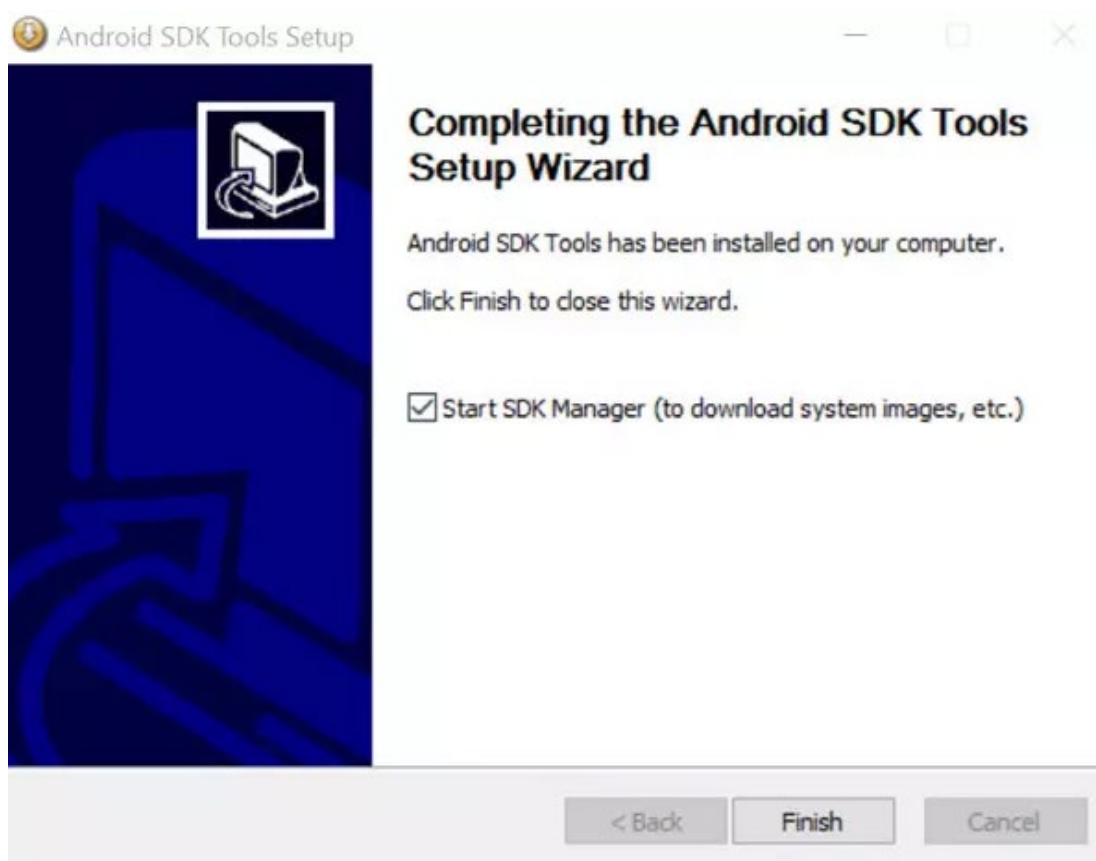


Рис. 5.3 – Встановлення Android SDK

Після завершення інсталяції запуститься диспетчер SDK, якщо відповідний пункт було обрано в меню. Необхідні налаштування проводяться шляхом відмітки відповідних прапорців у віконцях.

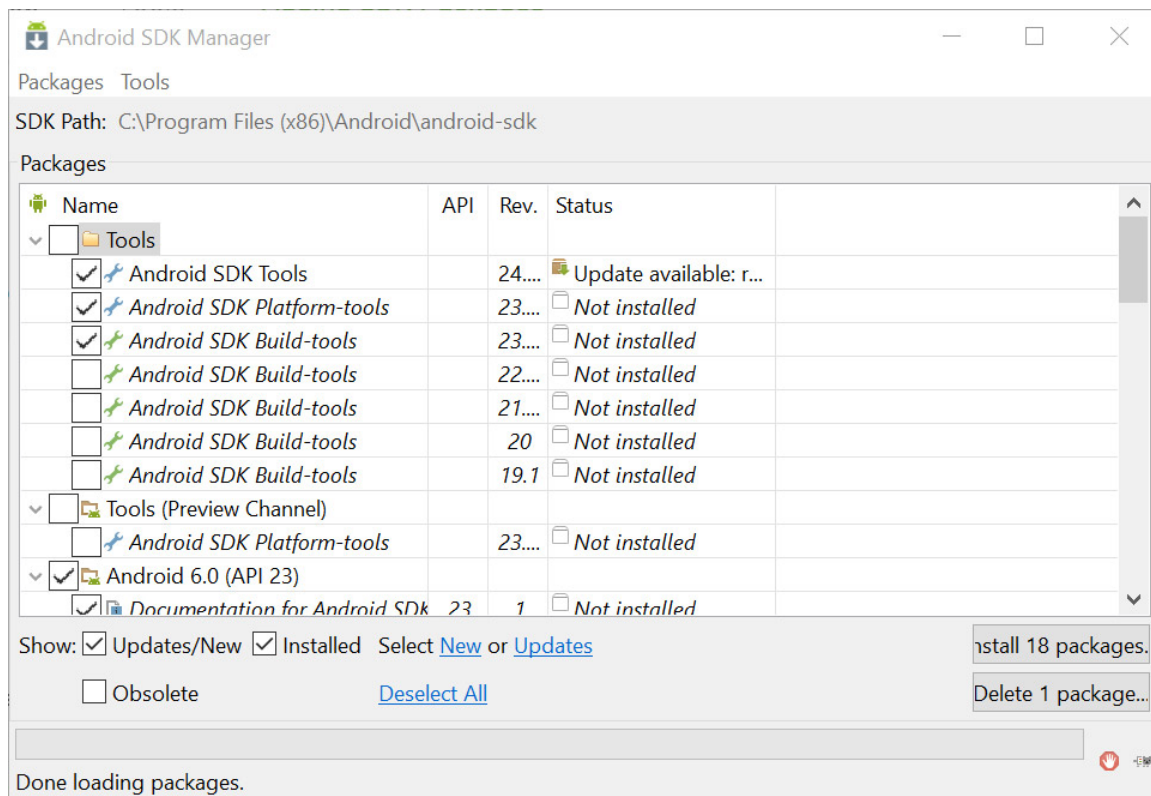


Рис. 5.4 – Диспетчер Android SDK

У розділі «інструменти» мають бути активними пункти Android SDK Tools, Android SDK Platform-tools та Android SDK Build-tools (тільки остання версія).

У розділі «Android API» мають бути активними пункти SDK Platform, A system image (потрібен для емуляції системи Android на персональному комп'ютері) та Google API, що дозволить використовувати будь-які API Google разом із додатком.

Перш ніж почати інсталяцію, необхідно прийняти ліцензію.

### 5.3 Створення проекту для Google Cardboard у середовищі Unity.

Перед початком проекту Unity потрібно завантажити файл Cardboard SDK For Unity .unitypackage.

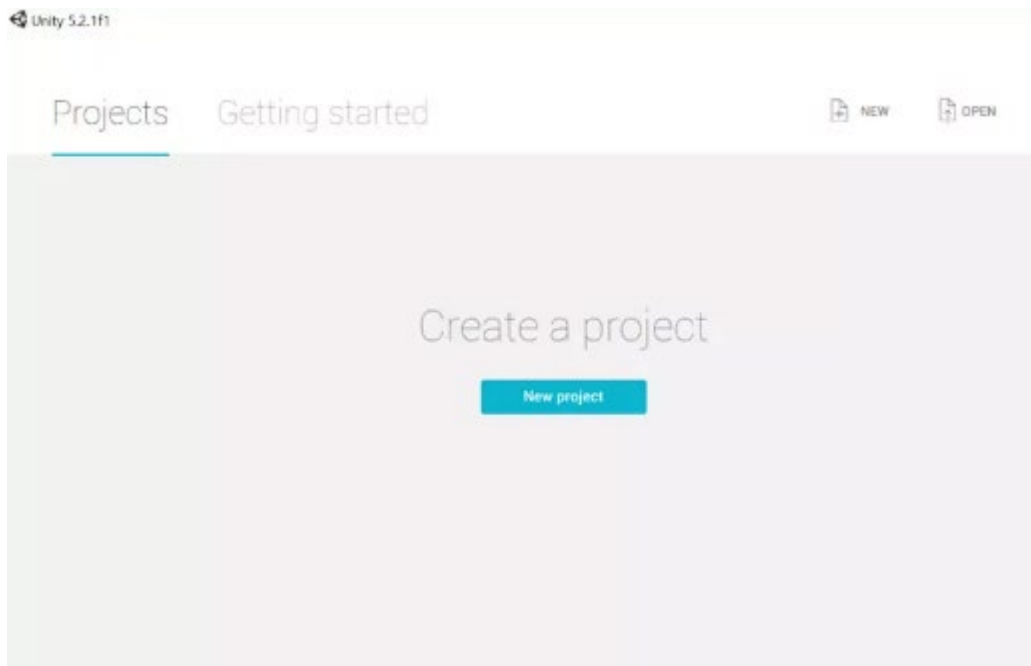


Рис. 5.5 – Середовище Unity

Перший крок – створення нового проекту. Для цього необхідно натиснути «New Project», далі обрати опцію 3D, обрати назву та розташування проекту.

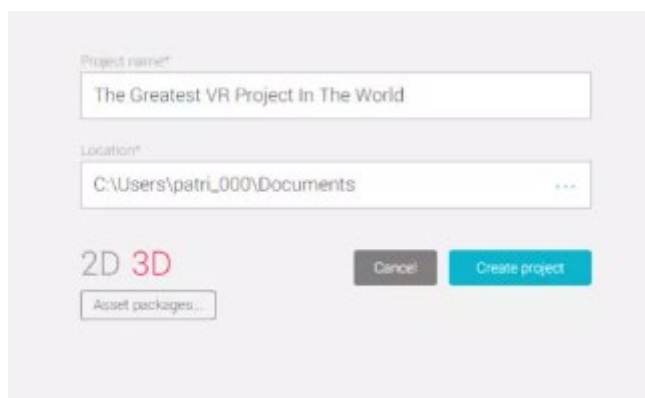


Рис. 5.6 – Середовище Unity

Далі завантажений файл Cardboard SDK .unitypackage треба імпортувати у середовище через меню Assets.

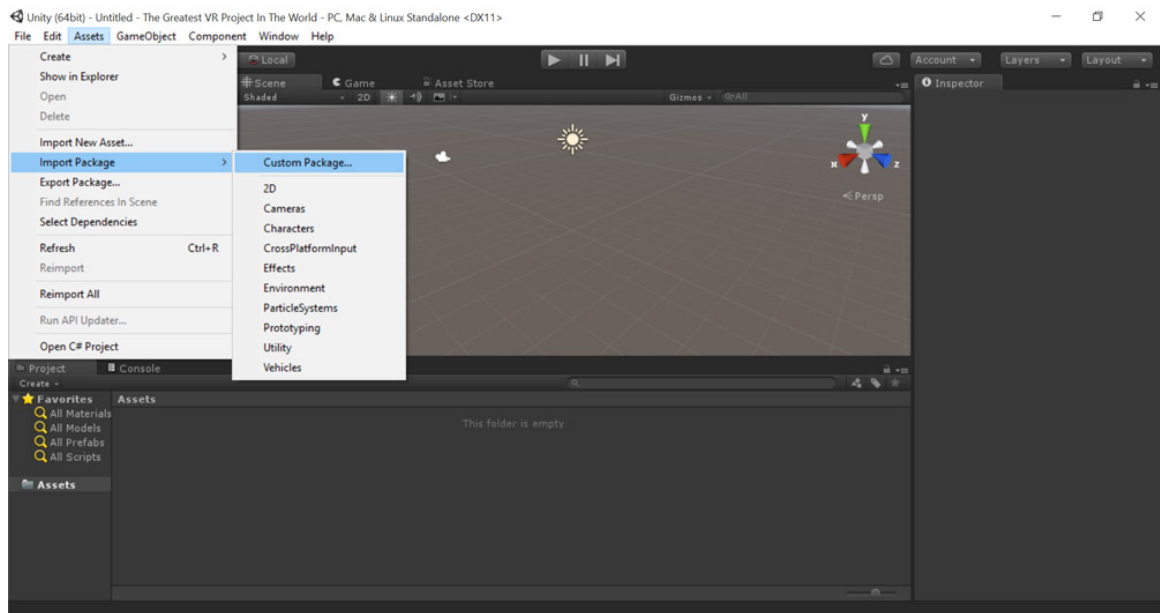


Рис. 5.7 – Імпорт Cardboard SDK .unitypackage

При успішному імпорті в теці “Cardboard” з’являються нові файли, що розділено на підпапки “Editor”, “Prefabs”, “Resources” та “Scripts”.

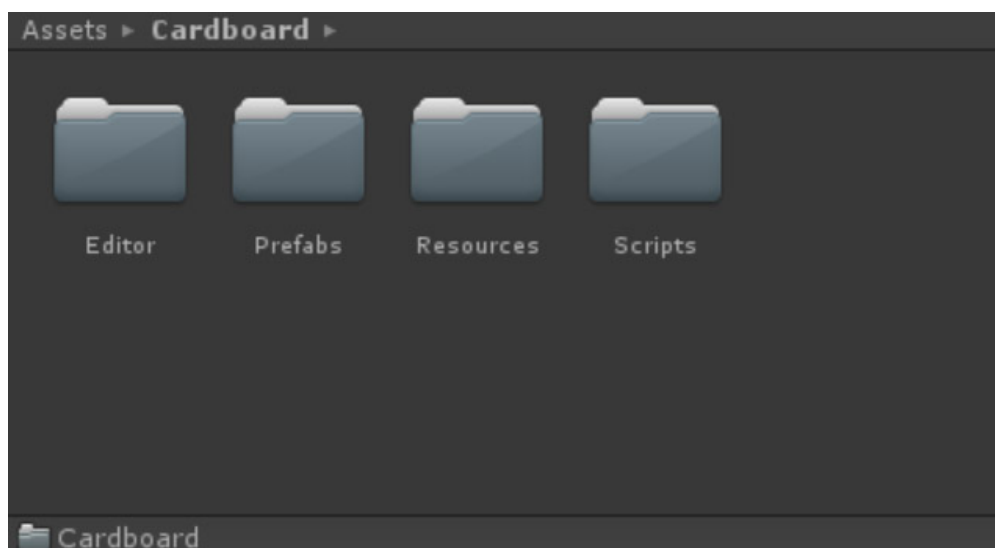


Рис. 5.8 – Вміст теки “Cardboard”

Всередині теки “Prefabs” знаходиться збірний пакет “CardboardMain.prefab”. Пакет перетягується на сцену і піднімається на 2 на осі Y (інакше користувач відчує, що він крихітний або надзвичайно низький).

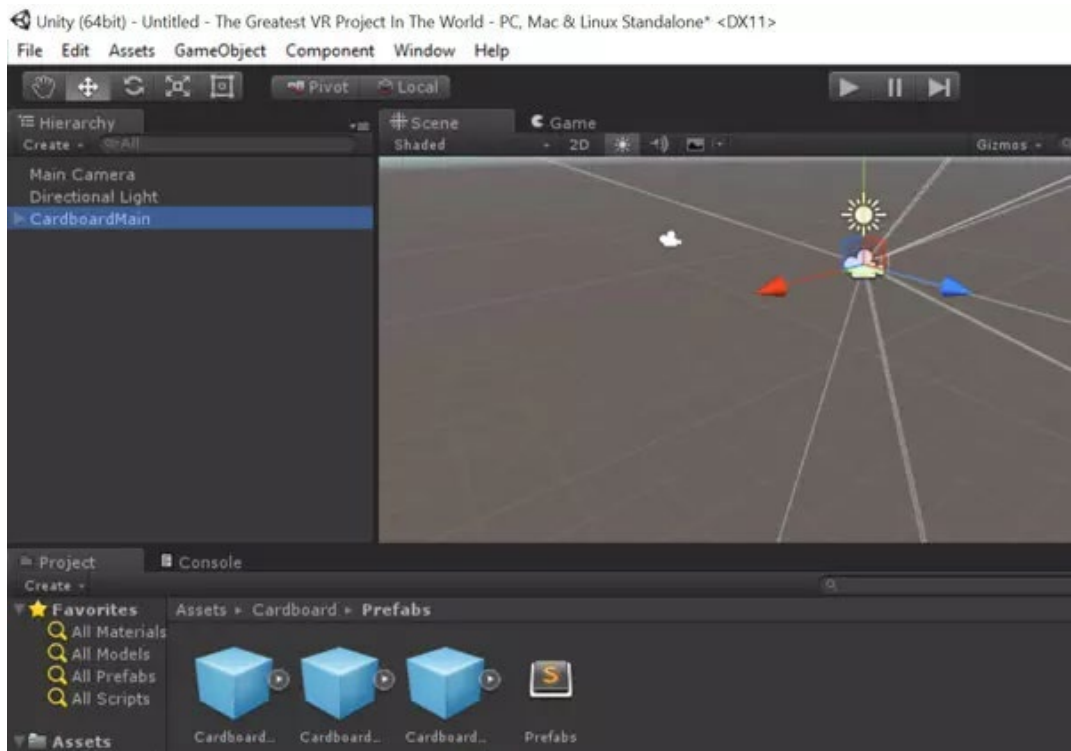


Рис. 5.9 – Налаштування висоти

В панелі «CardboardMain» знаходиться «Основна камера». Це дві камери в стереоскопічному стилі, які працюють в унісон, щоб відобразити сцену в віртуальній реальності при перегляді через гарнітуру Google Cardboard. У об'єкті «Основна камера» додається компонент «Physics Raycaster», щоб мати можливість взаємодіяти з елементами, дивлячись на них.

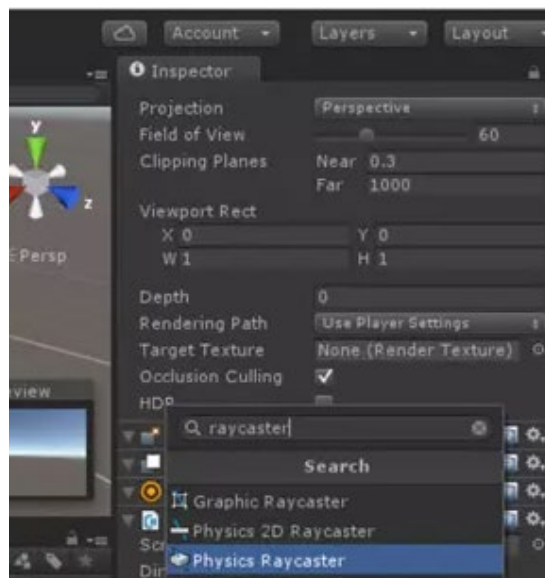


Рис. 5.10 – Пошук компоненту «Physics Raycaster»

Щоб відображати піктограму, коли користувач дивиться на об'єкт, необхідно імпортувати відповідний спрайт. Всередині “CardboardMain” в об'єкті “Head” створюється порожній ігровий об'єкт, куди перетягується файл піктограми.

В офіційному магазині Unity можна знайти велику кількість потрібних файлів для роботи (у тому числі безкоштовних).

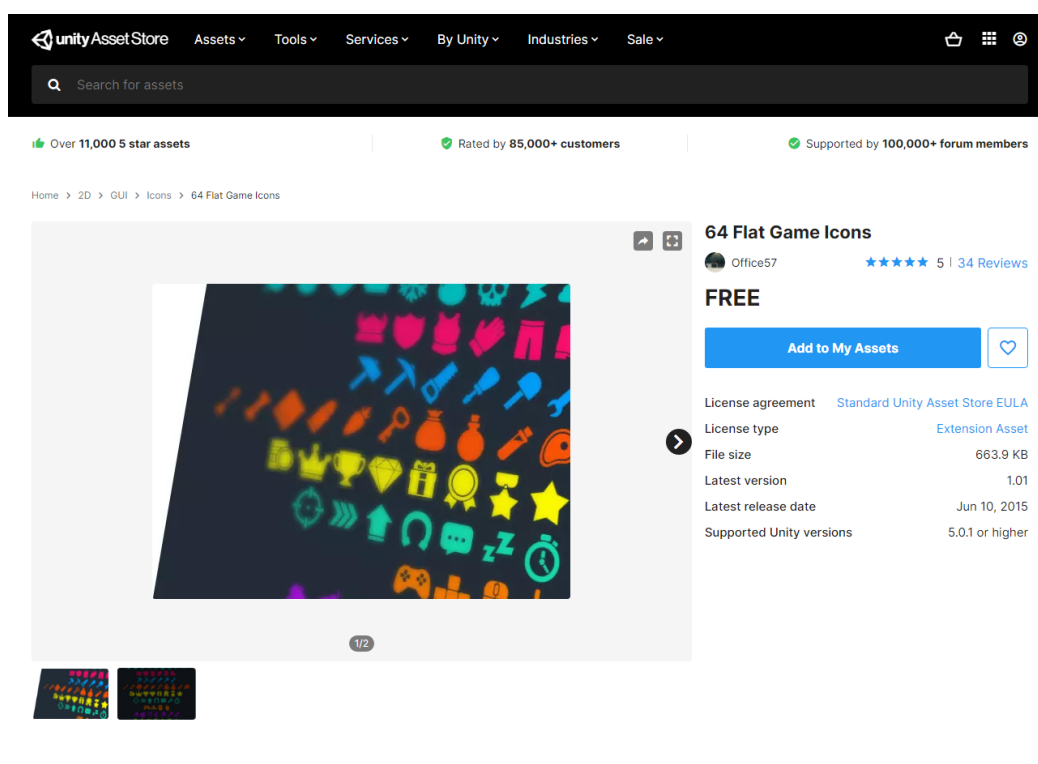


Рис. 5.11 – Варіант безкоштовного набору спрайтів в офіційному магазині Unity Asset Store.

## 5.4 Налаштування взаємодії з Cardboard

Після налаштування камери у сцену необхідно додати об'єкти для взаємодії. Сферичні карти, що наявні у офіційному магазині Unity, чудово підходять для створення реалістичного вигляду сферичного неба.

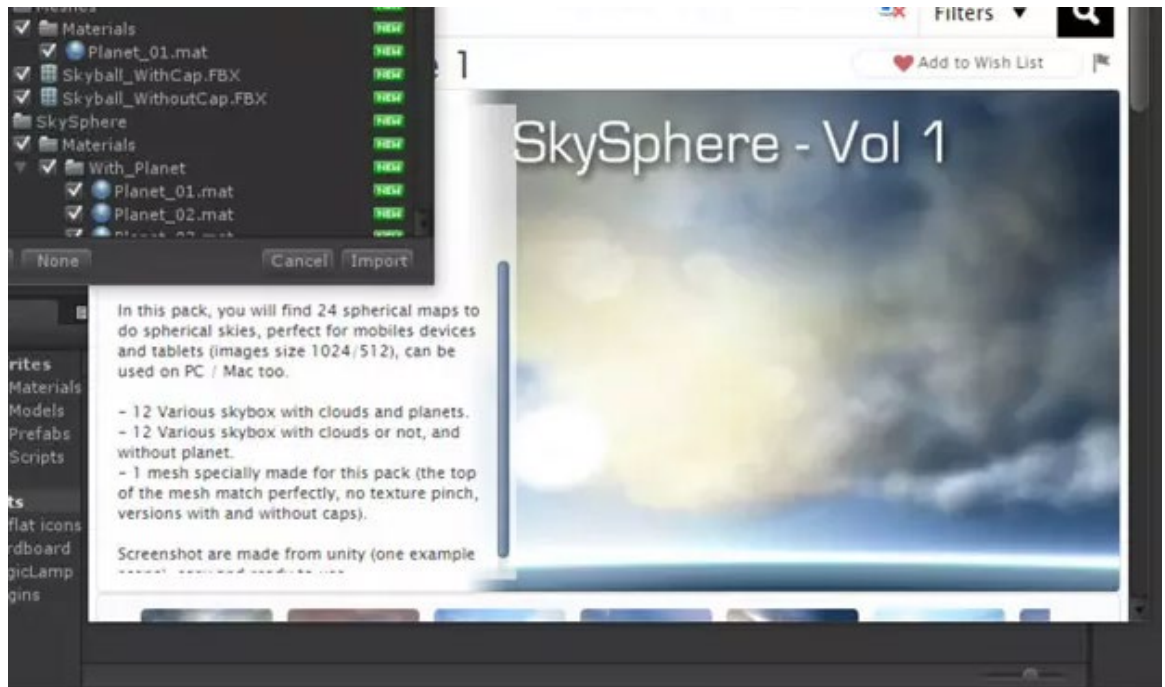


Рис. 5.12 – Імпорт сферичної карти неба

Також необхідно обрати та завантажити 3D-об'єкт, що буде знаходитись всередині сцени – наприклад, чарівна лампа.

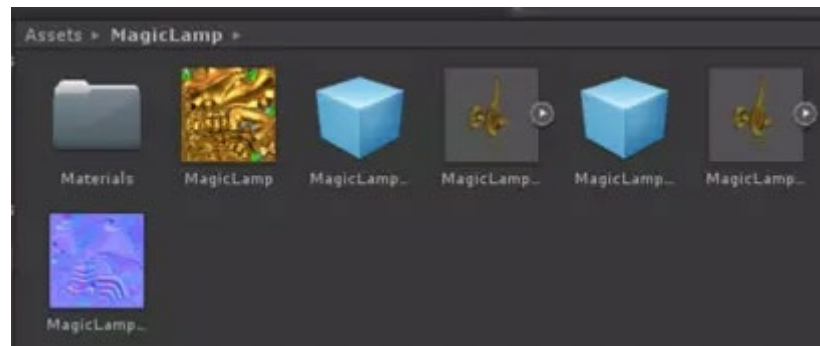


Рис. 5.13 – Імпорт 3D-об'єкта

Усі об'єкти, що знаходяться всередині сцени, мають бути збалансованими за розміром. Розмір та положення налаштовуються у спеціальному меню.





Рис. 5.14 – Налаштування розміру та положення об'єкта

Таким же чином налаштовується положення небесної сфери.

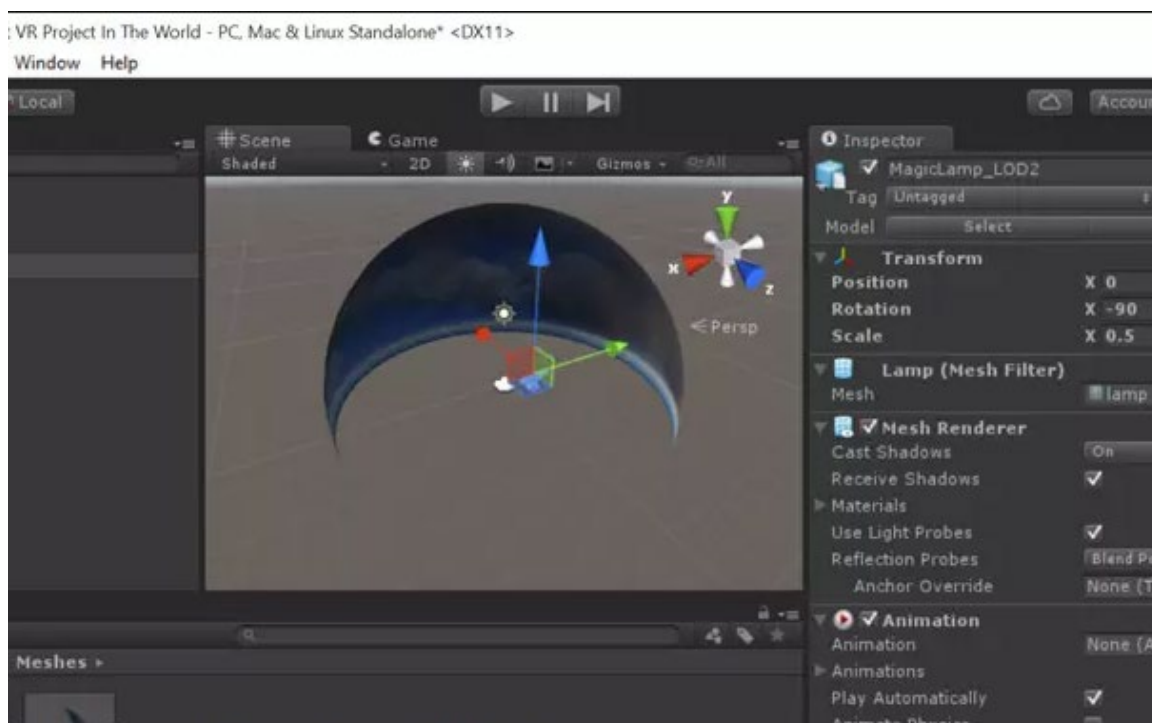


Рис. 5.15 – Налаштування параметрів сферичної карти неба

Для взаємодії з Cardboard SDK для цього об'єкта знадобиться певний код. Початкова частина функціональності буде зосереджена навколо того, щоб

викликати події, коли користувач дивиться на лампу, а потім відводить погляд. Щоразу, коли користувач відводить погляд від лампи, небо змінює текстуру.

Наступна складова додатку полягає у взаємодії із об'єктом чарівної лампи. Для цього необхідно додати компонент, що буде слугувати як „Тригер подій”: у меню “Add New Event Type” з розділу “Event Trigger” обирається “PointerExit”. Об'єкт лампи при цьому має бути активним.

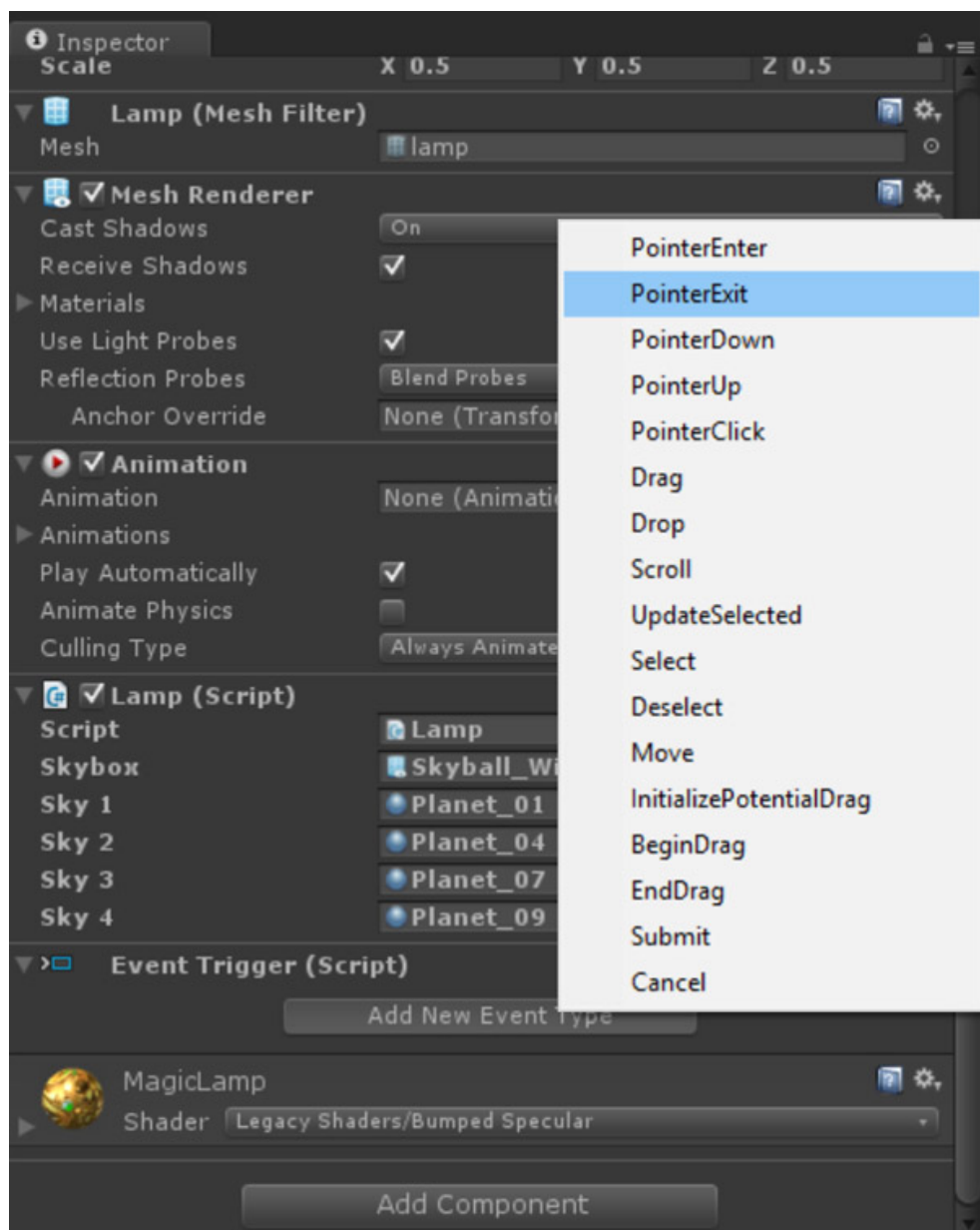


Рис. 5.16 – Вибір типу події

Це дозволяє отримати доступ до функцій лампи як до можливих реакцій. Для того, щоб тригер подій працював, у сцені необхідно створити “Event System”.

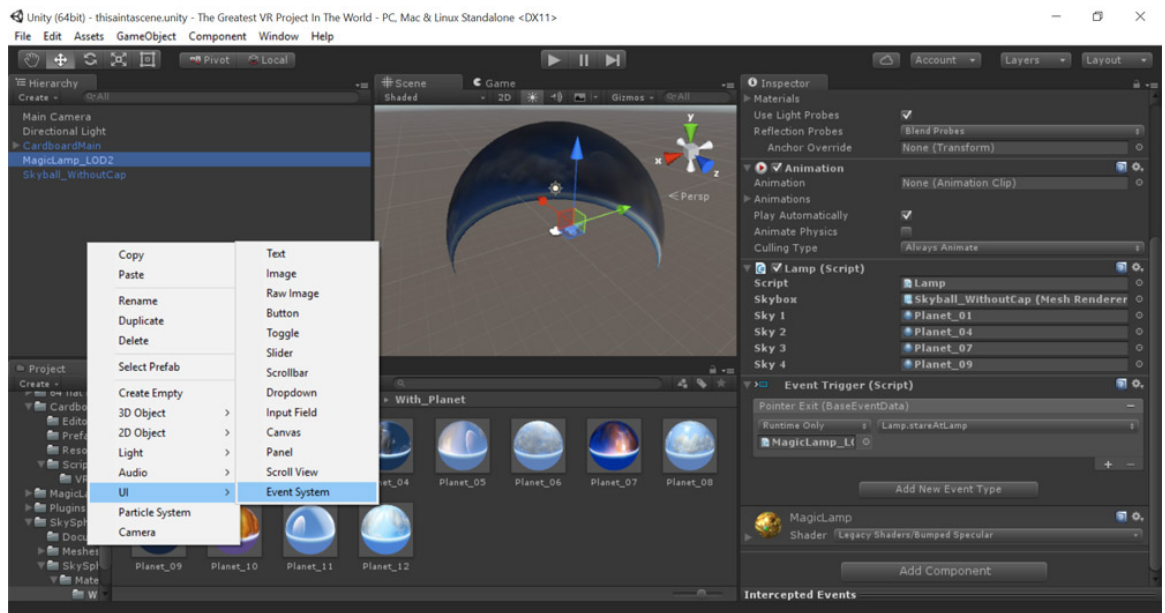


Рис. 5.17 – Додавання системи подій

Основним важливим компонентом є “Gaze Input Module” (модуль вводу для погляду) від Cardboard SDK. Він додається шляхом натискання “Add Component” та вибору скрипта GazeInputModule.

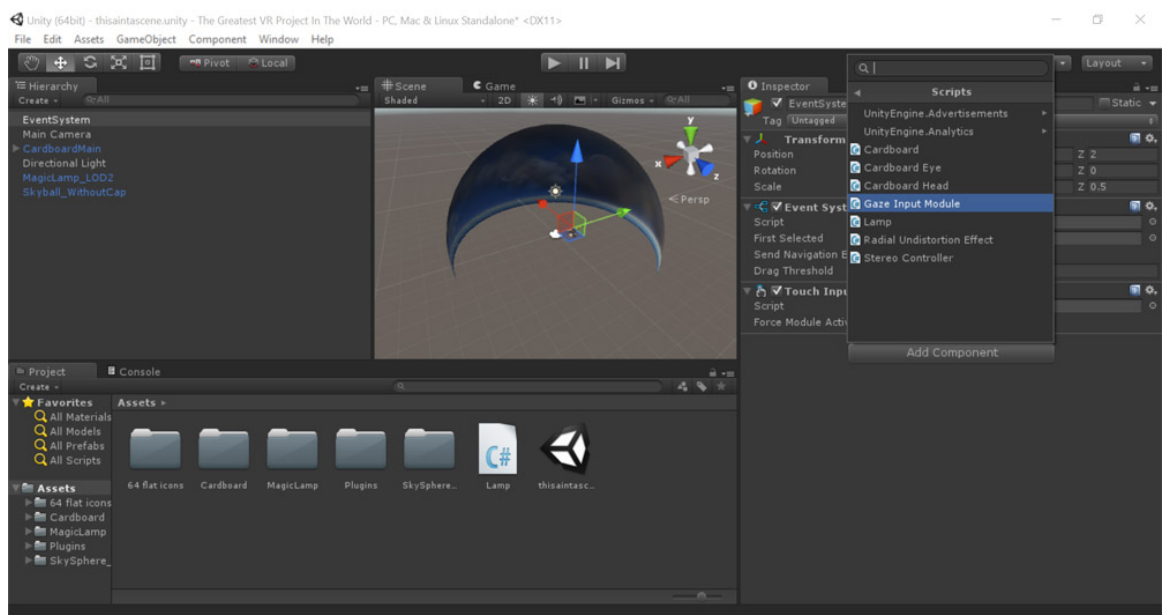


Рис. 5.18 – Додавання GazeInputModule

Необхідно визначити цільовий спрайт, який буде активним при використанні GazeInputModule та погляді на об'єкт. До лампи також необхідно додати сферичний колайдер, який використовується для запуску події. Він додається шляхом натискання “Add Component” та вибором елементу “Sphere Collider”.

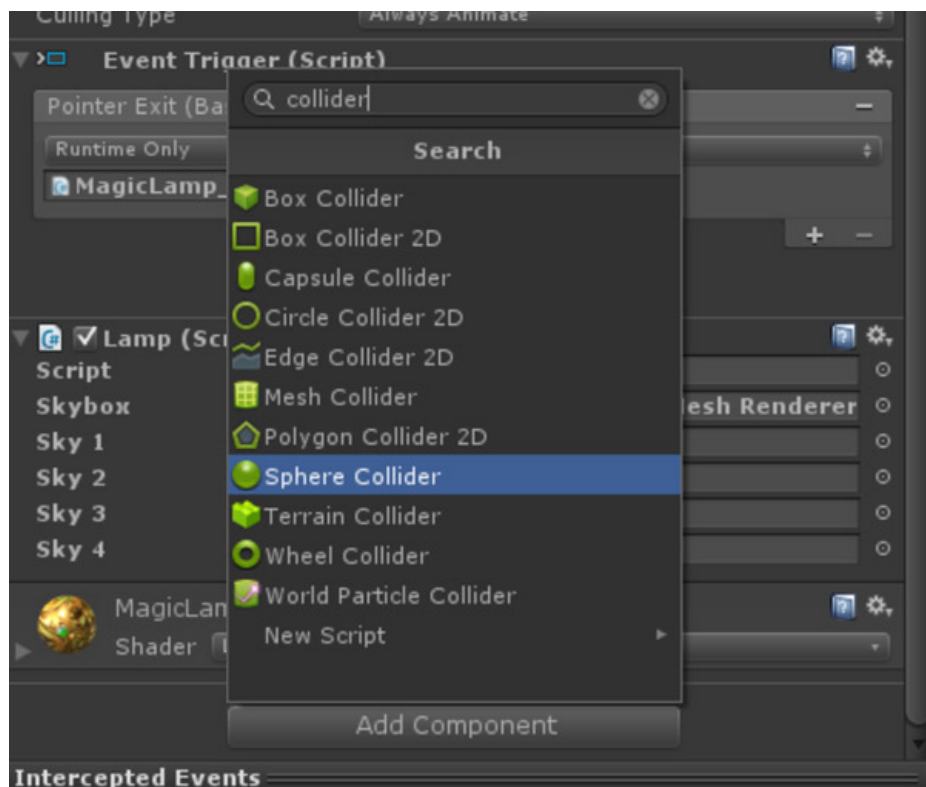


Рис. 5.19 – Додавання Sphere Collider

За необхідності положення та радіус сферичного колайдера регулюється так, щоб зелена сфера навколо лампи повністю охоплювала її форму.

Перед тестуванням застосунку до сцени додається площина у якості «підлоги», яка має розміщуватись на координатах  $\{x: 0, y: 0, z: 0\}$ .

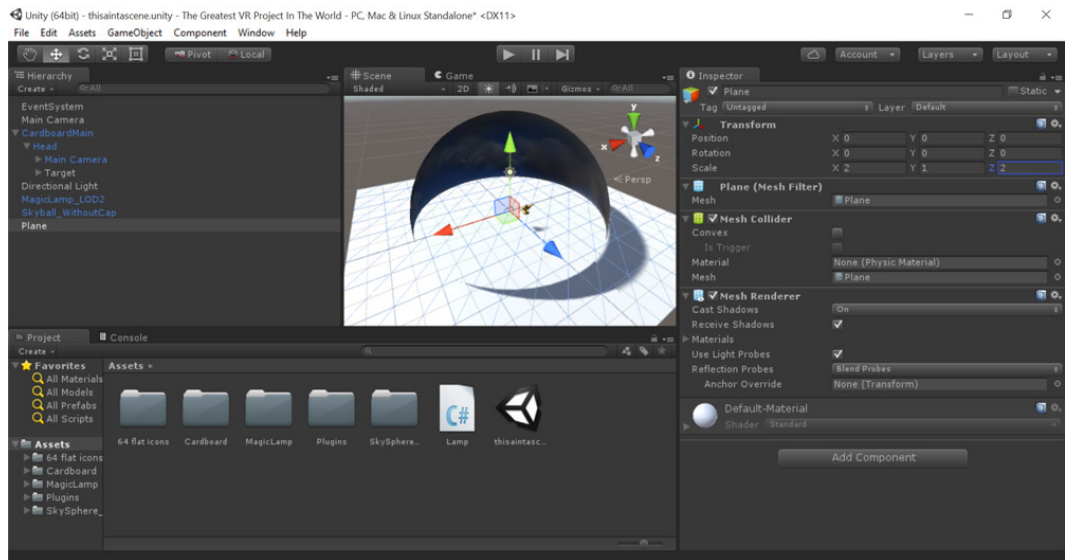


Рис. 5.20 – Додавання об'єкту "Plane"

## 5.5 Тестування VR-застосунку

Тестування – обов'язковий етап в розробці кожного мобільного застосунку. Щоб розпочати тестування додатку, у верхній частині вікна натискається кнопка Play. Режим тестування має елементи управління для імітації використання Google Cardboard. Таким чином, утримуючи клавішу Alt, за допомогою руху миші можна імітувати огляд тривимірного простору, а утримуючи клавішу Shift можна імітувати нахил голови.

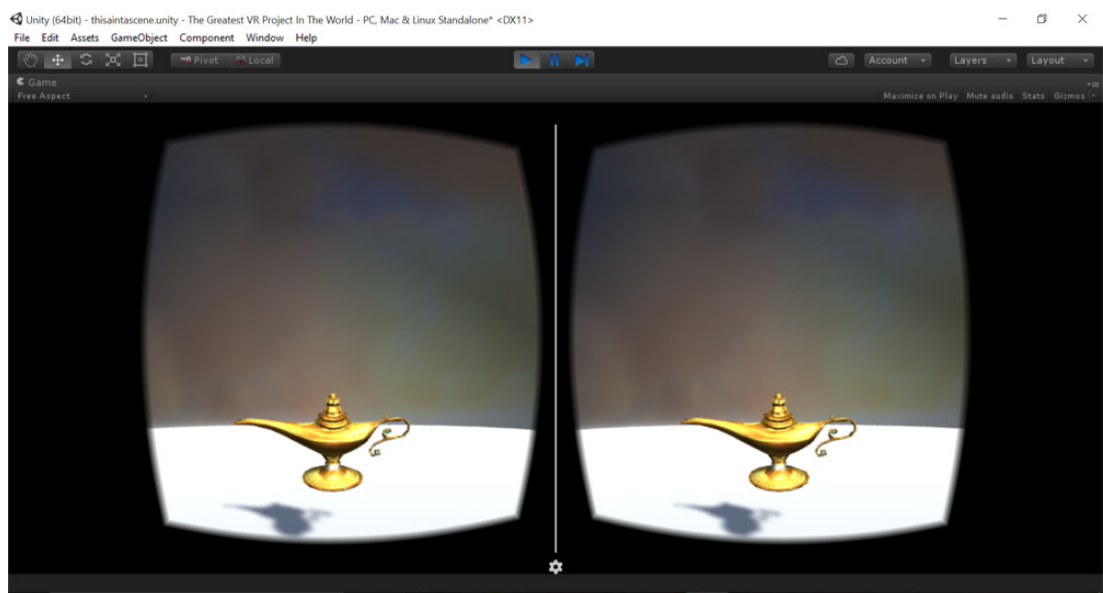


Рис. 5.21 – Режим тестування

При погляді на лампу, на екрані з'являється підтверджуюча піктограма.

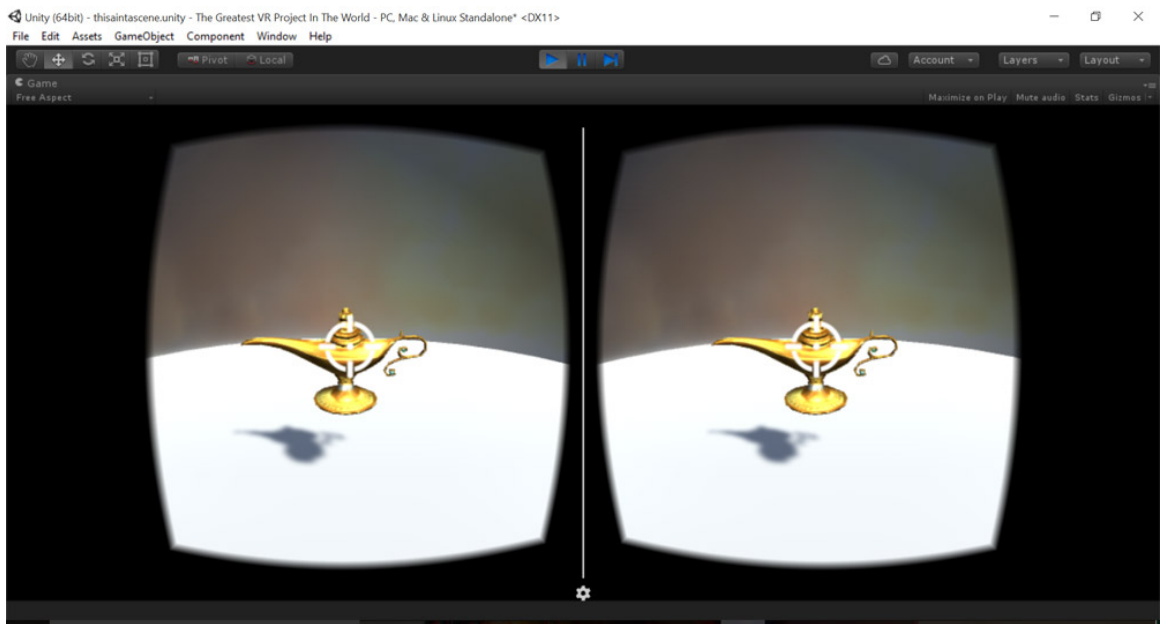


Рис. 5.22 – Піктограма, що виступає індикатором погляду  
Якщо відвести погляд, текстура неба змінюється «магічним чином».

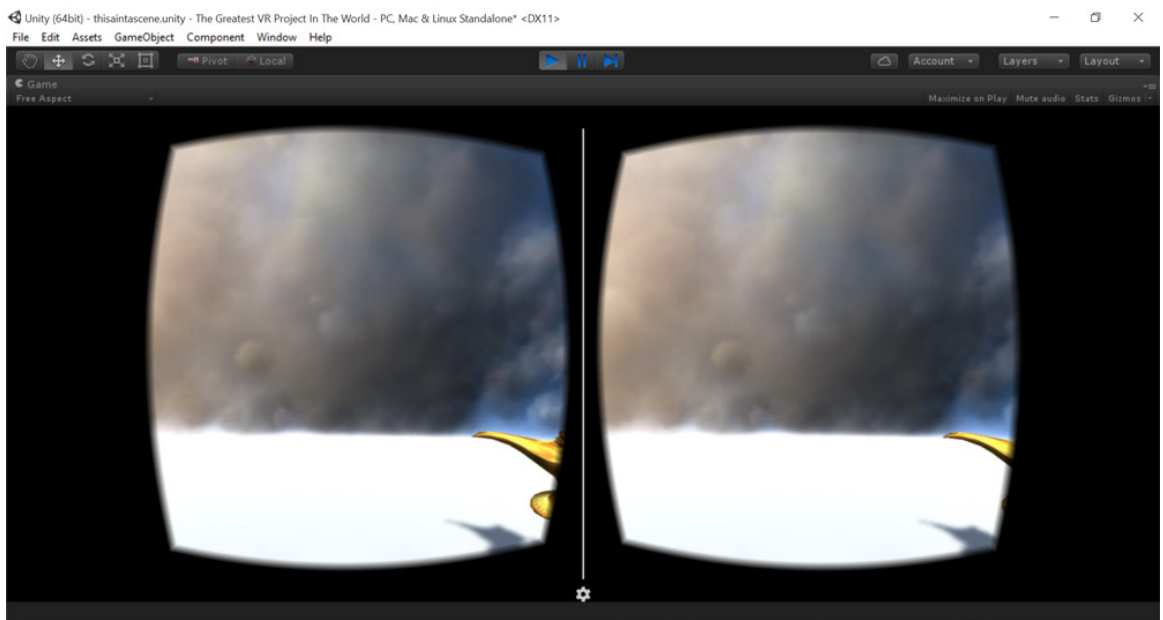


Рис. 5.23 – Зміна текстури неба при відведенні погляду



## 5.6 Адаптація застосунку для пристрою Android

Аби використовувати застосунок на смартфоні у гарнітурі Google Cardboard, необхідно виконати деякі налаштування – роздільну здатність пристрою, орієнтацію екрану за замовчуванням, назву програми.

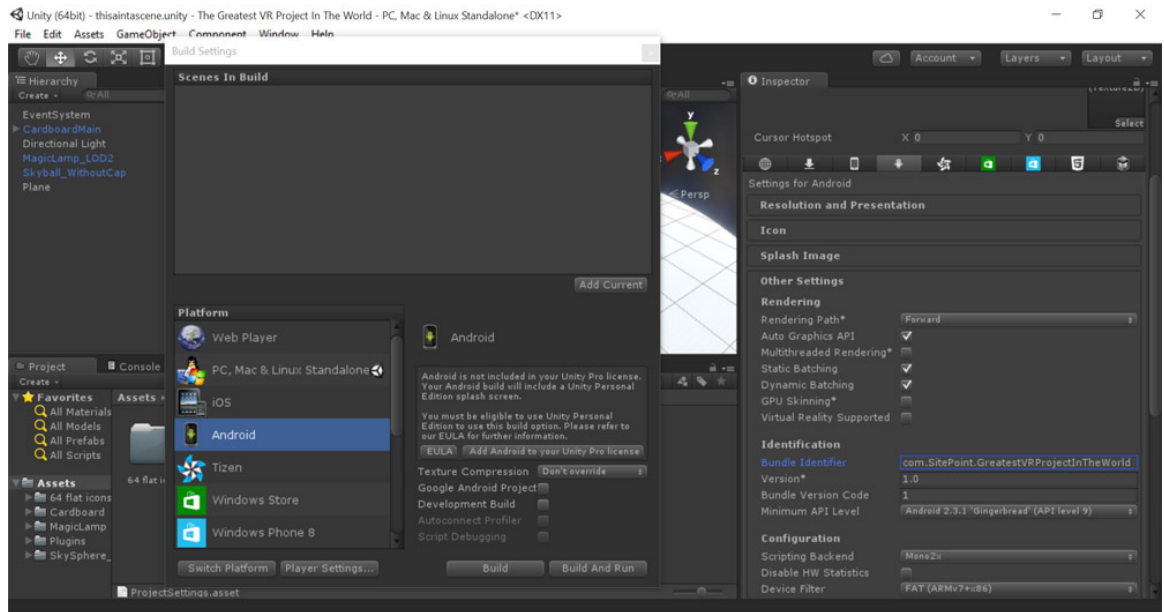


Рис. 5.24 – Налаштування застосунку

Останній крок – підключення смартфона Android через USB до комп'ютера та збереження арк-файлу. Застосунок з'явиться на смартфоні. Тоді можна від'єднати пристрій від комп'ютера і вкласти у Google Cardboard для занурення у VR-простір.

### Висновки до розділу

Було розроблено застосунок віртуальної реальності у середовищі Unity для проекту Google Cardboard. Досліджено необхідне програмне та апаратне забезпечення. Застосунок адаптовано під використання на смартфоні за допомогою Android Android SDK та Java SE SDK.

Проведенно тестування.

## 6. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ ЗА ТЕМОЮ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

### 6.1 Опис ідеї проекту онлайн програми

В даній дисертації розглядається виготовлення картборду з можливістю використання імерсійних технологій для культурно-мистецьких заходів. Для реалізації стартапу буде використано ідею зборки картборду з використанням програмного забезпечення [название], що розроблялось в роботі [работа]. Такий підхід дозволяє створити унікальний, економічно доцільний продукт з додатковою вартістю для споживача.

Фізичною частиною проекту виступає зібраний картборд, який із використанням програмного забезпечення розширює можливості імерсійного використання, підвищує інформативність та розширює області використання пристрою. Користувач отримує переваги у вигляді додаткового навчального та розважального елементів без збільшення затрат. Прямих конкурентів пристрій не має, оскільки розроблене програмне забезпечення є унікальним. Із непрямих конкурентів – шоломи віртуальної реальності, ціна яких разом із програмним комплексом значно вища.

Таблиця 6.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Використання картборду із програмним забезпеченням для створення унікального досвіду користувача	1. Проведення культурних заходів	Збільшення форм та видовищності перформансів
	2. Освітній процес	Підвищення якості освіти, можливість проводити навчання дистанційно
	3. Розширення можливостей людей з особливими потребами	Покращення якості життя осіб з інвалідністю

Опис до таблиці 4.2:

W – слабка сторона;

N – нейтральна сторона;

S – сильна сторона.



Таблиця 6.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	товари/концепції конкурентів			W	N	S
		Google Glass 3.0	Oculus Quest 2 64GB	BOBO VR Z6			
1	Наявність програмного забезпечення	-	-	-			+
2	Ціна	54000 грн.	14000 грн.	1600 грн.			+
3	Наявність навушників	+	Як додаткова опція	-		+	
4	Доступність активних ігор	+	+	Низька зручність		+	
5	Можливість розробки сторонніх додатків	-	Доступна обмежена кількість	-		+	

З отриманих в результаті аналізу даних зрозуміло, що існуючі моделі конкурентів значно дорожчі і не обладують необхідним для використання програмним забезпеченням, хоча і мають більшу кількість інтерактивних програм та можливість використовувати навушники.

Отже, треба вірно сформулювати цільову аудиторію, для того, щоб не конкурувати з іншими постачальниками у сегментах, де в них більше сильних сторін, проте перемагати їх у своїй частині ринку – наприклад, завдяки значно нижчій ціні виріб може буди широко застосований в місцях, які не можуть дозволити собі використання продукції конкурентів з більшого цінового діапазону. Таким чином, вдасться уникнути зайвого розподілу аудиторії потенціальних споживачів, оскільки не буде створюватись більша кількість пропозиції з однотипним товаром на ринку, і можна зусередитись на розвитку позитивних сторін продукції.

## 6.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 6.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Програмне забезпечення з імерсивністю	XR додаток, мобільний застосунок	Наявна	Доступна
2	Фізичний картборд	Google Cardboard, BitKit VR	Наявна	Доступна
3	Можливість інтеграції програмних засобів та платформи	Google VR	Наявна	Доступна, потребує допрацювання

З наведеної вище інформації стає зрозуміло, що сучасний рівень розвитку технологій дозволяє реалізувати основну ідею стартапу без додаткових витрат на розробку та втілення перспективних рішень, а також не ризикуючи отримати можливі негативні результати проведених досліджень. Це дозволяє зробити висновки про низьку ризиковість проекту та високу імовірність повернення стартових інвестицій та капіталовкладень у виробництво тестового зразку.

Проте існує необхідність допрацювання існуючого програмного комплексу для кращої його інтеграції з запропонованою технічною моделлю, що дозволить збільшити інтерактивність та розширити сферу застосування, а також уникнути можливих помилок при використанні стороннього програмного забезпечення. Подібні допрацювання хоча і потребують затрати певного часу, проте є цілком реалістичні з погляду реалізації, тому варто включити їх у план реалізації проекту, щоб йому вдалось досягти максимального комерційного успіху.

### 6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Таблиця 6.4 – Попередня характеристика потенційного ринку

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Ринок стрімко зростає
3	Приблизний обсяг ринку, грн./рік	34800000
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Відсутні
5	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	49%

По отриманим даним можна зрозуміти, що, не дивлячись на невелику кількість проданих одиниць продукції, загальна сума продажів на рік завдяки високій вартості одиниці продукції, значна. Також постійне зростання обсягів ринку дозволяє зазначити високі перспективи появи нових клієнтів при заході на ринок.

Таблиця 6.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Можливості дистанційно відвідувати визначні місця та культурні заходи	Будь-яка людина у період карантину	Різні вікові групи можуть користуватись виробом різний проміжок часу	- доступна ціна - надійність - простота - зручність - швидкість
Необхідність проводити дистанційне навчання	Керівництво шкіл, ВУЗів, підприємств	Для різних галузей потрібна відмінна навчальна програма	- доступна ціна - надійність - індивідуальні вимоги
Неприспособаність міського середовища для людей з інвалідністю	Державні органи, які займаються опікою над людьми з особливими потребами	Необхідна доставка та підтримка	- доступна ціна - надійність - навчання користувача

Можна зробити висновок, що у виробі є декілька потенційних груп споживачів, кожна з яких вирішує різну проблему. Проте в цих груп також є спільні запити, одним із яких є низька ціна на готову продукцію, і цю вимогу необхідно задовільнити, але без зниження якості чи надійності виробу, оскільки це також є одними з ключових вимог майже кожної групи потенційних споживачів.

*Таблиця 6.6 – Фактори загроз*

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Поява нових місць, з якими не можлива взаємодія за допомогою пристрою	У випадку незаповненості певної ніші на ринку вона буде швидко зайнята конкурентами	Постійне оновлення бази доступних локацій
2	Низька зацікавленість клієнтів	Пристрій не містить великої кількості мультимедійних розширень, щоб конкурувати з сучасними компютерами чи ігровими приставками	Більше звертати увагу клієнта на можливості інтерактивної взаємодії з оточуючим середовищем, якої позбавлені непрямі конкуренти
3	Конкуренція з боку інших VR-пристроїв	Розподіл ринку між декількома основними гравцями та зміна долі участі кожного з них на різних етапах під впливом об'єктивних обставин	Сприяти зростанню ринку та лояльності існуючих клієнтів

У кожній ідеї існують слабкі та сильні сторони, проте проведений завчасно аналіз потенційних ризиків дозволяє уникнути непередбачених обставин та завчасно підготувати план дій на випадок потенційно небезпечної ситуації. У майбутньому це дозволяє проходити незначні складні обставини з запасом міцності та швидко позбавлятися їх негативного впливу на компанію та дохідність ведення бізнесу.

Таблиця 6.7 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1.Монополія	Інноваційний тип послуг	Стандартизація має завжди бути на високому рівні
2.Локальний	Відсутність єдиного національного постачальника послуг	Окремий підхід до кожної локальної ділянки
3.Міжгалузева	Конкуренція з іншими галузями	Необхідність співробітництва в окремих сегментах ринку
4.Товарно-видова	Вбудовані модулі обробки схожі, які реалізовані програмно	За необхідності, використання кодів подібного типу
5.Цінова	Можливість заощадити за допомогою діагностики потреб користувача на початковому етапі планування	Гнучка політика цін
6.Марочна	Кожна діагностика має бути стандартизованою	Отримання монополії над стандартом синхронізації

Таблиця 6.8 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Доступний ціновий показник	Можливість витратити мінімум власних ресурсів
2	Підтримка інтерактивних виставок, музеїв	Гейміфікація звичайних речей збільшує їх цінність
3	Компактність та надійність	Зручно брати з собою для користування, а також зберігати
4	Доступність для людей з особливими потребами	Використання для підвищення якості життя користувачів з особливими потребами

Таблиця 6.9 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін запропонованої ідеї

№	Фактор конкурентно-спроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні							
			-3	-2	-1	0	1	2	3	
1	Доступний ціновий показник	19	+							
2	Підтримка інтерактивних виставок, музеїв	18				+				
3	Компактність та надійність	17					+			
4	Доступність для людей з особливими потребами	20	+							

На основі наведеної вище інформації можна зробити висновок, що серед обраних факторів конкурентноспроможності немає жодного, в якому б можна було помітити істотне відставання, проте частина з них навпаки йдуть далеко попереду конкурентів.

Таблиця 6.10 – SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: надання послуг людям з обмеженими можливостями, доступний ціновий показник	Слабкі сторони: недостатня кількість мультимедійного контенту
Можливості: Використання для гейміфікації креативних просторів та місць	Загрози: конкуренція з більш технологічними виробами

## 6.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Таблиця 6.11 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Керівники підприємств, шкіл, ВУЗів	Середня	Високий	Високий	Середня
2	Люди з особливими потребами	Високий	Високий	Високий	Середня
3	Керівники креативних просторів	Високий	Середній	Середній	Середня

Які цільові групи обрано: керівники креативних просторів, люди з особливими потребами

З цього аналізу стає зрозуміло, що найбільш зацікавленою потенційною аудиторією для продукту є керівники креативних просторів та люди з особливими потребами

Таблиця 6.12 - Визначення базової стратегії розвитку

№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Синергічне об'єднання з великою мережею з реалізації чи виробництва креативного контенту	Розширення кількості споживачів	Розробка власних програмних продуктів	Стратегія диференціації
2	Дешевизна проекту	Зменшення власних витрат на обладнання, виробництво, зберігання та дистрибуцію	Виробництво великих партій продукції	Стратегія лідерства по витратах

Таблиця 6.13 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№	Чи є проект «першоходом» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Ні	Ринок постійно зростає, а отже нові користувачі регулярно з'являються	Ні, буде пропонувати нові, кращі рішення	Стратегія виклику лідера

Таблиця 6.14 – Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Доступна ціна	Стратегія лідерства по витратах	Синхронізованість	Доступність, широка розповсюдженість, універсальність
2	Робота з широким набором інструментів	Стратегія диференціації	Широкий спектр застосування	Універсальність, інклюзивність, широкий набір можливостей та контенту

### 6.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Таблиця 6.15 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Великий вибір контенту	Велика база інформації, в тому числі і унікальної	Робота з постачальниками контенту
2	Доступність	Раціональне використання коштів	Нижча ціна
3	Інклюзія	Можливість задовольнити потреби людей з інвалідністю у навчанні та розвагах без значних затрат на такі дії	Розширення кола клієнтів

Таблиця 6.16 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Доступний та якісний, підтримує інклюзію та інтерактивність від постачальників		
II. Товар у	Властивості/характеристики:	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор



реальному виконанні	1) Вартість обслуговування, 2) Кількість елементів 3) Строк безвідмовної праці 4) Технологічна собівартість товару	1) М 2) М 3) М 4) М	1)Е 2) Пр 3)Нд 4)Тх
	Якість: держстандарт якості, низька собівартість значно здешевшує ремонт		
III. Товар із підкріпленням	До продажу – розробка програмного забезпечення та додаткового контенту Після продажу – постійне отовлення інформації від креаторів та власників закладів		

Таблиця 6.17 – Визначення меж встановлення ціни

№	Рівень цін на товари замітники	Рівень цін на товари аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	Від 2000 грн.	Від 14000 грн.	Середній	Н.2000 грн. В.14000 грн.

Завдяки порівнянню ціни виробця із прямими і непрямими конкурентами було встановлено межі цін, в яких необхідно тримати продукт для того, щоб була можливість конкурувати з іншими учасниками ринку на максимально вигідних умовах.

Таблиця 6.18 – Концепція маркетингових комунікацій

№	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Зацікавленість в доступному і якісному продукті із широким спектром мультимедійних можливостей	Мережеві ресурси, реклама у місцях відвідування	Розширення і гейміфікація досвіду	Донести інформацію про існування продукту до максимально широкого кола споживачів	Представлення товару як нової технології у сфері розваг
2	Зацікавленість у доступності імерсивних технологій споживачам з особливими потребами	Мережеві ресурси, комюніті	Наявність механізмів для роботи з людьми з інвалідністю	Збільшення аудиторії шляхом залучення тих, кого раніше було неможливо залучити	Створення нових можливостей
3	Необхідне	Бізнес-	Можливість	Якісна освіта	Підвищення

існування якісного т доступного інструменту для якісної онлайн-освіти як у школах, так і на промислових виробництвах	форуми, середовище	проводити навчання за доступною ціною	покращує показники для керівного складу	результатів бізнесу завдяки якосній освіті для працівників
--	--------------------	---------------------------------------	---	--

## Висновки розділу 6

У цьому розділі розроблено приклад економічної оцінки із обґрунтуванням проекту пристрою на основі картборду, що дозволить проводити імерсійні покази інформації для навчання, розваг та розширення можливостей людей з інвалідністю. Запропонована форма оцінки рентабельності, трудомісткості створюваного проекту, проведено розрахунок витрат, що необхідні для розробки, реалізації та впровадження проекту.

З отриманих результатів стає очевидно, що проект по своїй суті є перспективним, оскільки орієнтується на широкі групи населення, від незахищених людей з особливими фізичними потребами, до керівного складу підприємств, шкіл та ВУЗів. Конкурентоздатність продукту обумовлює те, що він значно обходить конкурентів по декільком важливим показникам, таким, наприклад, як ціна виробу. Також, серед бар'єрів для входження на ринок варто зазначити наявність великої кількості товарів-замінників, проте жоден з них не може виконувати роль запропонованого у проекті технічного пристрою із застосуванням сучасних імерсійних технологій.

Доцільна подальша імплементація запропонованого проекту, вона є повністю обґрунтованою та економічно правильною. Рентабельність дозволяє проекту швидко вийти на самоокупність, а зацікавленість потенційних груп клієнтів та їх постійне зростання створює дуже сприятливі умови для реалізації та подальшого розвитку проекту.

## ВИСНОВКИ

У процесі виконання магістерської роботи проведено аналіз наявних пристроїв, що дозволяють використовувати імерсивні технології, а також сформовано технологію конструювання шолому віртуальної реальності Google Cardboard та розроблено відповідний мобільний застосунок, що дозволяє досягти високого рівня занурення у віртуальну реальність без великих фінансових витрат.

Проведено огляд проявів імерсивності у різних сферах.

Сформовано поняття про імерсивне середовище. Розглянуто та досліджено його компоненти, у тому числі проведено класифікацію відповідно до органів сприйняття людини.

Розглянуто технологічні аспекти застосування імерсивних технологій для культурно-мистецьких заходів.

Представлено та виконано розв'язок математичної моделі з обґрунтуванням.

Проаналізовано будову та можливості пристрою Google Cardboard, що являє собою симуляцію віртуальної реальності за допомогою шолому, зібраного за спеціальною схемою з картону, оптичних лінз та застібки-липучки, а також вкладеного в нього смартфона на операційній системі Android або iOS із попередньо встановленим програмним забезпеченням.

Було розроблено застосунок віртуальної реальності у середовищі Unity для проекту Google Cardboard, який адаптовано під використання на смартфоні за допомогою Android SDK та Java SE SDK.

Розроблено стартап-проект та підтверджено перспективність, оскільки проект орієнтується на широкі групи населення, від незахищених людей з особливими фізичними потребами, до керівного складу підприємств, шкіл та ВУЗів. Конкурентоздатність продукту обумовлює те, що він значно обходить конкурентів по декільком важливим показникам, таким, наприклад, як ціна виробу. Також, серед бар'єрів для входження на ринок варто зазначити

наявність великої кількості товарів-замінників, проте жоден з них не може виконувати роль запропонованого у проекті технічного пристрою із застосуванням сучасних імерсійних технологій.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Yang, X., Lin, L., Cheng, P., Yang, X., Ren, Y., and Huang, Y. (2018). Examining creativity through a virtual reality support system. *Educ. Technol. Res. Dev.* 66, 1231–1254. doi: 10.1007/s11423-018-9604-z.
2. Yildirim, G., Elban, M., and Yildirim, S. (2018). Analysis of use of virtual reality technologies in history education: a case study. *Asian J. Educ. Train.* 4, 62–69. doi: 10.20448/journal.522.2018.42.62.69.
3. Dede, C. (2009). Immersive interfaces for engagement and learning. *Science* 323, 66–69. doi: 10.1126/science.1167311
4. Wang, C., Li, H., and Kho, S. Y. (2018). VR-embedded BIM immersive system for QS engineering education. *Comput. Appl. Eng. Educ.* 26, 626–641. doi: 10.1002/cae.21915.
5. Cambridge Advanced Learner's Dictionary & Thesaurus © Cambridge University Press. <https://dictionary.cambridge.org/ru/.../immersive>.
6. Бакин М.В. Иммерсивные технологии в развитии социальной эмпатии и образования / Научно-исследовательский журнал, Выпуск № 10(100) Октябрь 2020, Педагогические Науки. <https://research-journal.org/pedagogy/immersivnye-texnologii-v-razvitii-socialnoj-empatii-i-obrazovaniya>.
7. Иммерсивные технологии в образовании и искусстве [Электронный ресурс] : URL: <https://cocodobrando.com/vr> (дата звернення: 12.09.2020)
8. Авербух Н. В. Психологические аспекты феномена присутствия в виртуальной среде / Н. В. Авербух // Вопросы психологии. 2010.
9. Bockholt N. VR, AR, MR and what does immersion actually mean? / N. Bockholt // *Cross-media, Global, Media & Entertainment, Technology, Industry Perspectives*, 2017.
10. Applications of Head-Mounted Displays for Virtual Reality in Adult Physical Rehabilitation: A Scoping Review /David Saldana, Meghan Neureither, Allie Schmiesing, Esther Jahng, Lynn Kysh, Shawn C. Roll, and Sook-

Lei Liew// Am J Occup Ther. 2020 Sep-Oct; 74(5): 7405205060p1–7405205060p15.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7430729/>

11. Sirakaya M. Trends in educational AR studies: a systematic review / M. Sirakaya, D. A. Sirakaya // Malaysian Online Journal of Educational Technology, vol. 6, no. 2, 2018

12. O'Hare, G.M., Campbell, A.G., Stafford, J.W. and Aiken, R., 2005, October. NeXuS: Behavioural realism in mixed reality scenarios through virtual sensing. In 18th Annual Conference on Computer Animation and Social Agents (CASA 2005), Hong Kong, China, October 17--25, 2005.

13. Tieri G, Morone G, Paolucci S, Iosa M. Virtual reality in cognitive and motor rehabilitation: facts, fiction and fallacies. Expert Rev Med Devices. 2018;15(2):107–17.

14. Campbell, A.G., Stafford, J.W., Holz, T. and O'Hare, G.M., 2014. Why, when and how to use augmented reality agents (AuRAs). Virtual Reality, 18(2), pp.139--159.

15. De Souza e Silva, Adriana; Sutko, Daniel M. Digital Cityscapes: merging digital and urban playspaces (англ.). — New York: Peter Lang Publishing, Inc, 2009.

16. J. van Kokswijk, Hum@n, Telecoms & Internet as Interface to Interreality (Bergboek, The Netherlands, 2003).

17. Авербух Н.В. (2019). Психологические аспекты феномена присутствия в виртуальной среде / ResearchGate, August 2019. – p.105-113.

18. Aebersold, M. (2018). Simulation-based learning: no longer a novelty in undergraduate education. Online J. Issues Nurs. 23:1. doi: 10.3912/OJIN.Vol23No02PPT39/

19. Akçayir, M., and Akçayir, G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: a systematic review of the literature. Educ. Res. Rev. 20, 1–11. doi: 10.1016/j.edurev.2016.11.002

20. Al-Azawi, R., and Shakkah, M. S. (2018). "Embedding augmented and virtual reality in educational learning method: present and future," in Paper presented at the Information and Communication Systems (ICICS), 2018 9th International Conference on (Irbid), 218–222. doi: 10.1109/IACS.2018.8355470
21. Alhalabi, W. S. (2016). Virtual reality systems enhance students' achievements in engineering education. *Behav. Inform. Technol.* 35, 919–925. doi: 10.1080/0144929X.2016.1212931
22. Becker, S. A., Cummins, M., Davis, A., Freeman, A., Hall, C. G., and Ananthanarayanan, V. (2017). *NMC Horizon Report: 2017 Higher Education Edition*, The New Media Consortium, 1–60.
23. Lee, E. A., and Wong, K. W. (2008). *A Review of Using Virtual Reality for Learning*. *Transactions on edutainment I*. Berlin: Springer, 231–241.
24. Champney, R. K., Stanney, K. M., Milham, L., Carroll, M. B., and Cohn, J. V. (2017). An examination of virtual environment training fidelity on training effectiveness. *Int. J. Learn. Technol.* 12, 42–65. doi: 10.1504/IJLT.2017.083997
25. Liu, D., Dede, C., Huang, R., and Richards, J. (2017b). *Virtual, Augmented, and Mixed Realities in Education*. Dublin: Springer.
26. Moro, C., Štromberga, Z., Raikos, A., and Stirling, A. (2017). The effectiveness of virtual and augmented reality in health sciences and medical anatomy. *Anat. Sci. Educ.* 10, 549–559. doi: 10.1002/ase.1696
27. Marsh R, Hao X, Xu D, Wang Z, Duan Y, Liu J, et al. A virtual reality-based FMRI study of reward-based spatial learning. *Neuropsychologia*. 2010;48(10):2912–21.
28. Concannon BJ, Esmail S and Roduta Roberts M (2019) Head-Mounted Display Virtual Reality in Post-secondary Education and Skill Training. *Front. Educ.* 4:80. doi: 10.3389/feduc.2019.00080
29. ZhangHuiHead-mounted display-based intuitive virtual reality training system for the mining industry <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.05.005>  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095268617303439>

30. Harry Veron, P. J. Hezel, and David A. Southard «Head-mounted displays for virtual reality», Proc. SPIE 2218, Helmet- and Head-Mounted Displays and Symbology Design Requirements, (10 June 1994); <https://doi.org/10.1117/12.177384>
31. Nick Babich. How VR In Education Will Change How We Learn And Teach / Sep 19, 2019 .- <https://xd.adobe.com/ideas/principles/emerging-technology/virtual-reality-will-change-learn-teach/>
32. Ange Anderson. Virtual Reality, Augmented Reality and Artificial Intelligence in Special Education/ Published March 28, 2019 by Routledge - 124 p.
33. Liarakapis, F., Petridis, P., Lister, P. F., and White, M. (2002). Multimedia augmented reality interface for e-learning (MARIE). World Trans. Eng. Technol. Educ. 1, 173–176.
34. Newton, S., and Lowe, R. (2015). “Situational elearning with immersive technologies,” in Paper Presented at the 8th International Structural Engineering and Construction Conference: Implementing Innovative Ideas in Structural Engineering and Project Management, ISEC (Sydney), 3–12.
35. Технологии XXI века. Стереодисплей. 2021. <https://tehnology21vek.ucoz.ru/index/stereodisplej/0-21>
36. Freina, L., and Ott, M. (2015). “A literature review on immersive virtual reality in education: State of the art and perspectives,” in eLearning and Software for Education, Bucharest, 1.
37. Ахметшарипов Р.Д., Кугуракова В.В., Хафизов М.Р. Реализация интерактивного приложения на полнокупольном экране. Russian Digital Libraries Journal. 2016. V. 19. No 3. – с.166-179.
38. Paul Bourke. Edge blending using commodity projectors. 2004. URL: [http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/texture\\_colour/edgeblend/](http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke/texture_colour/edgeblend/).
39. Paul Bourke. FAQ: Spherical mirror projection for hemispherical dome projection. URL: <http://paulbourke.net/dome/faq.html>.
40. Digital domes: theaters without borders / ACM SIGGRAPH 2015.



41. Robinett, W., and Rolland, J. P. (1992). A computational model for the stereoscopic optics of a head-mounted display. *Presence* 1, 45–62.
42. Jensen, L., and Konradsen, F. (2018). A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Educ. Inform. Technol.* 23, 1515–1529. doi: 10.1007/s10639-017-9676-0
43. Белкин А. С. Голография как педагогический метод моделирования образовательных объектов / А.С. Белкин, И.Д. Возженикова // Пайдея, 2004. № 3. С. 6–11.
44. «Pepper's Ghost» Illusion. Ghost Theory.com (12 October 2009). Дата обращения: 2 августа 2015.
45. ↑ Secord, J. A. Quick and Magical Shaper of Science. *Science*. American Association for the Advancement of Science (6 September 2002). Дата обращения: 15 августа 2012.
46. Д. Габор. «Голография (1948—1971 гг.)». Нобелевская лекция // *Успехи физических наук*, том 109, выпуск 1, январь 1973
47. Сергей Асмаков. Позиционируемый 3D-звук: иллюзия пространства. *КомпьютерПресс* 8'2003. <https://compress.ru/article.aspx?id=11606>
48. The 3D Audio and Applied Acoustics (3D3A) Laboratory at Princeton University. <http://www.princeton.edu/3D3A>
49. Алдошина И. А. Многоканальные пространственные системы. Рекомендации международных стандартов ; <https://web.archive.org/web/20080207072940/http://www.show-master.ru/archive/33/86.shtml>
50. Алдошина И. А. Пространственные системы синтеза волнового поля — Wave Field Synthesis. [http://www.show-master.ru/categories/252prostranstvennyye\\_sistemy\\_sinteza\\_volnovogo\\_polya\\_wave\\_field\\_synthesis.html](http://www.show-master.ru/categories/252prostranstvennyye_sistemy_sinteza_volnovogo_polya_wave_field_synthesis.html)
51. Коноплев Сергей. Pink Floyd: Архитекторы звука. [https://www.beatles.ru/books/articles.asp?article\\_id=1153](https://www.beatles.ru/books/articles.asp?article_id=1153).

52. Ястребова А. А., Выборнова А. И., Киричек Р. В. Обзор концепции тактильного интернета и технологий для его реализации // Информационные технологии и телекоммуникации. 2016. Том 4. № 4. С. 89–96.
53. Meryem S., Adnan A., Mischa D. The 5G-Enabled Tactile Internet: Applications, Requirements, and Architecture // IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC). 2016. pp. 1–6.
54. Martin M., Mahfuzulhoq C., Bhaskar P., Dung P. The Tactile Internet: Vision, Recent Progress, and Open Challenges // IEEE Communications Magazine. 2016. Vol. 54. pp. 138–145.
55. Changyang S., Chenyang Y. Energy Efficient Design for Tactile Internet // IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC). 2016. pp. 1–6.
56. Deschamps L., Rovira K., Lenay C., Gapenne O. The Conception Of A Tactile Internet: From Analysing The Use Of A Perceptual Supplementation Device (Tactos) To The Elaboration Of The Intertact Project // Conference & Workshop on Assistive Technologies for Vision & Hearing Impairments (CVHI). 2009. pp. 1–7.
57. Ateya A. A., Vybornova A., Kiricheck R., Koucheryavy A. Multilevel Cloud Based Tactile Internet System // Proc. of 19th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT) 2017. pp. 105–110.
58. Денис Тулинов Кожей чувствую Архивная копия от 2 февраля 2017 на Wayback Machine // Наука и технологии РФ, 29.10.10
59. Чувардас, В.Г.; Міліу, АН; Хаталіс, М.К. (2008). «Тактильні дисплеї: огляд та останні досягнення» (PDF) . Дисплеї. **29**(3): 185–194. CiteSeerX 10.1.1.180.3710 . doi : 10.1016 / j.displa.2007.07.003 .
60. Роблес-де-Ла-Торре Г. Принципи тактичного сприйняття у віртуальних середовищах. In Grunwald M (Ed.), Human Haptic Perception , Birkhäuser Verlag, 2008 .
61. Rajinder Sodhi, Ivan Poupyrev, Matthew Glisson, Ali Israr/ AIREAL: Interactive Tactile Experiences in Free Air. SIGGRAPH '13, July 21 - 25 2013,

Anaheim, CA, USA. <http://www.ivanpoupyrev.com/e-library/2013/AIREAL-SIGGRAPH2013.pdf/>

62. Miyawaki Y., Decoding the Mind's Eye — Visual Image Reconstruction from Human Brain Activity using a Combination of Multiscale Local Image Decoders, *Neuron* (Elsevier, Cell Press) 60 (5) (10 December 2008): 915—929,

63. Savelyev A. V. Neurotechnogenesis – is socio-technological strategy and future philosophy of technology // The XXII World Congress of Philosophy, Seoul, Korea. — 2008. — № 48 section. — С. 1057. (недоступная ссылка)

64. Vidal J., Toward Direct Brain-Computer Communication, in *Annual Review of Biophysics and Bioengineering*, L.J. Mullins, Ed., Annual Reviews, Inc., Palo Alto, Vol. 2, 1973, pp. 157—180.

65. Aggarwal J.K. Human Motion Analysis: A Review / Aggarwal J.K. and Q Cai. // *Computer Vision and Image Understanding* 73. –1999. – № 3. – P. 428-440.

66. Абакумов В.Г. Застосування жестів рук при людино-машинному інтерфейсі / В.Г. Абакумов, О.Ю. Ломакіна, О.Б. Яровенко // *Електроніка и связь. – Тематический выпуск: Электроника и нанотехнологии. – 2011.*

67. Ломакіна О.Ю. Аналіз роботи систем розпізнавання жестів / «Штучний інтелект» 4'2011. – с. 193-202.

68. Автоматичне розпізнавання, розуміння та синтез мовленнєвих сигналів в Україні / Т.К. Вінцюк, М.М. Сажок, Р.А. Селюх, Д.Я. Федорин, О.А. Юхименко, В.В. Робейко // *Управляющие системы и машины. — 2018. — № 6. — С. 7–24.*

69. Virtual reality. [https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual\\_reality](https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_reality)

70. Арто А. Театр и его двойник: Манифесты. Драматургия. Лекции. *Философия театра / Сост. и вст. ст. В. И. Максимова, Комм. В. И. Максимова и А. Ю. Зубкова. СПб.; М.: Симпозиум, 2000. 443 с.*

71. Лысикова Н. П., Полякова О. А. // *Образование в современном мире. Сб. науч. ст. / под ред. проф. Ю. Г. Голуба. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 2016. Вып. 11. С. 29-34.*

72. Тимчина В., Тимчина Н. Моделювання сучасних уроків засобами віртуальних музеїв / Нова педагогічна думка. 2017. № 1 (89). – с. 36-38.
73. Иванова А. Технологии виртуальной и дополненной реальности: возможности и препятствия применения // Стратегические решения и риск-менеджмент. — 2018. — Вып. 3 (108). — ISSN 2618-947X.
74. R. Azuma, A Survey of Augmented Reality Presence: Teleoperators and Virtual Environments, pp. 355—385, August 1997.
75. 8 предсказаний Роберта Скоубла о будущем AR/VR-технологий (рус.), Rusbase. Дата обращения 27 января 2018. <https://rb.ru/story/ar-vr-predictions>.
76. Microsoft's Windows Mixed Reality: everything you need to know, The Verge. Дата обращения 28 декабря 2017. <https://www.theverge.com/2017/10/17/16487936/microsoft-windows-mixed-reality-vr-headsets-guide-pricing-features>
77. SteamVR games available in Windows Mixed Reality on November 15th, The Verge. Дата обращения 28 декабря 2017. <https://www.theverge.com/2017/11/9/16627664/steamvr-games-available-in-windows-mixed-reality-on-november-15th>
78. Psotka, Joseph (1 November 1995). «Immersive training systems: Virtual reality and education and training». *Instructional Science*. **23** (5): 405–431. doi:10.1007/BF00896880. S2CID 60705937.
79. Faisal, Aldo (2017). «Computer science: Visionary of virtual reality». *Nature*. **551** (7680): 298–299. Bibcode:2017Natur.551..298F. doi:10.1038/551298a.
80. Delaney, Ben (2017). *Virtual Reality 1.0 -- The 90s: The Birth of VR*. CyberEdge Information Services. p. 40. ISBN 978-1513617039.
81. Dreams of dalí in virtual reality. January 1, 2016 – March 15, 2020. <https://thedali.org/exhibit/dreams-of-dali-in-virtual-reality>.

82. Google запустив 3D-тури музеями України просто неба. <https://www.ukrinform.ua/rubric-technology/2268816-google-zapustiv-3dturi-muzeami-ukraini-prosto-neba.html>
83. Шість художніх музеїв України, які можна відвідати не виходячи з дому! <https://lowcost.ua/ua-art-museum>
84. 14 віртуальних музеїв світу <https://moemisto.ua/km/blog/14-virtualnih-muzeviv-svitu-799.html>
85. Топ-10 найкращих віртуальних екскурсій у світі. <https://www.unian.ua/tourism/lifehacking/10922612-top-10-naykrashchih-virtualnih-ekskursiy-u-sviti.html/>
86. Harrington, C. M., Kavanagh, D. O., Wright Ballester, G., Wright Ballester, A., Dicker, P., Traynor, O., et al. (2018). 360 degrees operative videos: a randomised cross-over study evaluating attentiveness and information retention. *J. Surg. Educ.* 75, 993–1000. doi: 10.1016/j.jsurg.2017.10.010
87. Johnson, C. D. L. (2018). Using virtual reality and 360-degree video in the religious studies classroom: an experiment. *Teach. Theol. Religion* 21, 228–241. doi: 10.1111/teth.12446
88. Thompson, L. J., Krienke, B., Ferguson, R. B., and Luck, J. D. (2018). Using 360-degree video for immersive learner engagement. *J. Extens.* 56, 22–22. Available online at: <https://eric.ed.gov/?id=EJ119215> (accessed July 31, 2019).
89. Cochrane, T. (2016). Mobile VR in education: from the fringe to the mainstream. *Int. J. Mobile Blended Learn.* 8, 44–60. doi: 10.4018/IJMBL.2016100104
90. De Paolis, L. T., Bourdot, P., and Mongelli, A. (2017). “Augmented reality, virtual reality, and computer graphics,” in 4th International Conference, AVR 2017, Ugento, June 12–15, 2017, Proceedings Springer.
91. Parong, J., and Mayer, R. E. (2018). Learning science in immersive virtual reality. *J. Educ. Psychol.* 110, 785–797. doi: 10.1037/edu0000241

92. Suh, A., and Prophet, J. (2018). The state of immersive technology research: a literature analysis. *Comput. Hum. Behav.* 86, 77–90. doi: 10.1016/j.chb.2018.04.019
93. Kozhevnikov, M., Gurlitt, J., and Kozhevnikov, M. (2013). Learning relative motion concepts in immersive and non-immersive virtual environments. *J. Sci. Educ. Technol.* 22, 952–962. doi: 10.1007/s10956-013-9441-0
94. Robinett, W., and Rolland, J. P. (1992). A computational model for the stereoscopic optics of a head-mounted display. *Presence* 1, 45–62.
95. Google Cardboard URL: <https://arvr.google.com/cardboard/>
96. Собираем за один вечер Virtual Reality шлем своими руками, с HD изображением и трекингом головы URL: <https://habr.com/ru/post/228501/>
97. Как сделать Google Cardboard своими руками? URL: <https://4apk.ru/faq/apps/kak-sdelat-google-cardboard-svoimi-rukami.html>
98. Трапезон К.О., Власюк Г.Г., Батіна О.А. Технічні засоби виробництва мультимедійного контенту. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 101 с.;
99. Романюк М.І. Технічне забезпечення кінотеатрів та інформаційно-розважальних заходів: конспект лекцій. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 155 с.