

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА
ШЕВЧЕНКА**

Факультет інформаційних технологій

Кафедра технологій управління

Освітньо-наукова програма «Управління проектами»

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

на тему:

“Дослідження процесів створення інноваційної системи управління розподіленими командами з використанням мета-всесвітів для координації ІТ-проекту”

Студента 2-го курсу групи УП-22

Науковий керівник:

к.т.н., доцент

(науковий ступінь, вчене звання)

Іллі ТАЮРСЬКОГО

(прізвище, ім'я)

Олександр ТІМІНСЬКИЙ

(прізвище, ім'я)

(підпис студента)

(дата)

(підпис)

Попередній захист:

(Висновок: «До захисту в Екзаменаційній комісії»)

Завідувач кафедри

технологій управління, проф. _____

Віктор МОРОЗОВ

(підпис)

(прізвище, ім'я)

(дата)

Київ – 2025

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА**

Факультет інформаційних технологій

Кафедра технологій управління

Освітній рівень Магістр

Спеціальність 122 Комп'ютерні науки

Освітньо-наукова програма Управління проектами

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
професор Віктор
МОРОЗОВ

“27” листопада 2024 року

**ЗАВДАННЯ
НА ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

Студент: Таюрський Ілля

Група: УП-22

1. Тема кваліфікаційної роботи

“Дослідження процесів створення інноваційної системи управління розподіленими командами з використанням мета-всесвітів для координації IT-проєкту”

Затверджена протоколом № 5 від “26” листопада 2024 року.

2. Строк подання студентом готової роботи - “19” травня 2025 р.

3. Цільова установка та вихідні дані до роботи: аналіз підходів, методів і засобів управління проектами з метою успішного виконання поставлених завдань; досягнення запланованих результатів у визначені терміни та в межах наявних ресурсів і бюджету.

4. Зміст роботи:

Аналіз сучасних технологій XR та методів управління розподіленими IT-командами, формування дерева проблем, цілей і рішень, побудова логіко-структурної схеми, аналіз ринку та конкурентного середовища, вибір методології управління (Scrum, Kanban, Hybrid), створення бізнес-моделі (BMC) та паспорту проєкту, розробка організаційної структури (OBS), WBS-структури, життєвого циклу проєкту, побудова архітектури XR-системи, UX/UI-прототипування, проєктування логічної та концептуальної моделі БД, побудова математичної моделі координації, оцінка ризиків, визначення KPI, створення фінансової моделі, побудова діаграми Ганта та реалізація MVP XR-рішення з описом основних сценаріїв використання.

5. Перелік графічного матеріалу (слайдів):

Актуальність теми та цілі проєкту, дерево проблем, дерево цілей, дерево рішень, логіко-структурна схема проєкту, паспорт проєкту та бізнес-модель (Business Model Canvas), організаційна структура команди (OBS), WBS-структура, життєвий цикл XR-проєкту, концептуальна та логічна модель XR-системи, архітектура системи та модулі MVP, UX/UI-прототипи інтерфейсу,

діаграма Ганта, roadmap релізів, Cash Flow, графік фінансового плану, точка безбитковості, матриця ризиків і плани реагування, SWOT-аналіз проєкту, система КРІ та методи оцінки ефективності, висновки.

6. Календарний план виконання роботи:

№ з/п	Назва частин роботи	Виконання роботи
1	Аналіз літературних джерел, пов'язаних з темою дослідження.	16.12.24-20.12.24
2	Збір та систематизація інформації, необхідної для проведення дослідження.	21.12.24-27.12.24
3	Формування детального плану кваліфікаційної роботи.	28.12.24-03.01.25
4	Створення структури дипломної роботи та її узгодження з науковим керівником.	04.01.25-04.02.25
5	Підготовка розділу 1 «ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ТА ЖИТТЄЗДАТНОСТІ ПРОЄКТУ»	05.02.25-24.02.25
6	Підготовка розділу 2 «РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЄКТУ»	25.02.25-13.03.25
7	Підготовка розділу 3 «ОРГАНІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ПРОЄКТОМ РОЗРОБКИ МОБІЛЬНОГО ЗАСТОСУНКУ ЗА МЕТОДОЛОГІЄЮ SCRUM»	14.03.25-07.04.25
8	Підготовка розділу 4 «РОЗРОБКА АРХІТЕКТУРИ ТА ДИЗАЙНУ ПРОЄКТУ»	08.04.25-18.04.25
9	Оформлення кваліфікаційної роботи	21.04.25-02.05.25
10	Передача кваліфікаційної роботи науковому керівникові	03.05.25
11	Передача кваліфікаційної роботи рецензенту на рецензування	06.05.25
12	Попередній захист кваліфікаційної роботи	12.05.25-15.05.25
13	Передача кваліфікаційної роботи для перевірки на плагіат	16.06.25-22.05.25
14	Захист кваліфікаційної роботи	26.05.25-28.05.25

Дата видачі завдання “27” листопада 2024 р.

Керівник роботи

к.т.н., доцент, Олександр ТІМІНСЬКИЙ
(посада, прізвище, ім'я)

Завдання прийняв до виконання студент групи УП-22

Ілля Таюрський
(прізвище, ім'я)

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	8
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЯСНЕНЬ	9
ВСТУП	11
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ УПРАВЛІННЯ РОЗПОДІЛЕНИМИ ІТ-КОМАНДАМИ В КОНТЕКСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТАВСЕСВІТІ	13
1.1 Сучасний стан технологій в управлінні розподіленими командами	13
1.1.1 Еволюція підходів до управління командами в ІТ	14
1.1.2 Переваги та недоліки розподілених форматів роботи	15
1.1.3 Інструменти підтримки віддаленої взаємодії.....	16
1.2 Аналіз концепцій мета-всесвіту та їх застосування в ІТ-проектах.....	19
1.2.1 Поняття та складові мета-всесвіту	21
1.2.2 Мета-всесвіт як нова парадигма управління	21
1.2.3 Технологічна база XR/VR/AR для побудови мета-всесвітів	23
1.2.4 Приклади використання метавсесвітів у бізнесі.....	26
1.2.5 Ринкова структура та економічні прогнози метавсесвітів.....	28
1.2.6 Порівняння метавсесвітів з класичними засобами цифрової взаємодії .	32
1.3 Постановка проблеми управління ІТ-проектами в умовах географічної децентралізації.....	33
1.3.1 Необхідність переходу до нових моделей комунікації.....	34
1.4 Аналіз наукових джерел і кейсів застосування XR/VR/AR у проєктній діяльності	34
1.5 Побудова дерев проєкту	37
1.5.1 Дерево проблем	37
1.5.2 Дерево цілей.....	38
1.5.3 Дерево рішень.....	40
1.6 Формулювання мети, задач дослідження, визначення вимог до системи координації.....	42

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ТА УПРАВЛІНСЬКОЇ СКЛАДОВОЇ ПРОЄКТУ	44
2.1 Аналіз інструментів і платформ для розробки систем XR/VR для проєктної взаємодії	44
2.1.1 Огляд основних платформ для розробки XR/VR-систем	45
2.1.2 Порівняння популярних інструментів: Unity, Unreal Engine, WebXR ...	46
2.1.3 Особливості вибору платформи для проєктів з розподіленими командами	48
2.2 Вибір методології управління проєктом: Scrum, Kanban, Waterfall, Hybrid	48
2.2.1 Оцінка ефективності Scrum та Kanban для управління розподіленими командами в XR/VR-проєктах.	50
2.2.2 Переваги та обмеження методології Waterfall в контексті XR/VR.....	52
2.2.3 Гібридні підходи: ScrumBan, Water-Scrum-Fall, їх адаптація під мультидисциплінарні команди.	53
2.3 Організаційна структура (OBS) та ролі в команді	56
2.3.1 Розробка структури організації для управління проєктами XR/VR.....	56
2.3.2 Визначення ролей і обов'язків в команді для управління проєктами ...	60
2.4 Розподіл завдань та WBS-структура	61
2.4.1 Структура WBS для XR/VR-платформи.....	61
2.4.2 Підходи до розподілу задач в умовах розподілених команд.....	65
2.5 Постановка метрик оцінки ефективності системи (KPI, ROI, CSAT, Productivity Rate)	68
2.6 Аналіз ринку та конкурентного середовища у сфері XR/VR-платформ для командної взаємодії	70
2.7 PEST-аналіз зовнішнього середовища для впровадження XR-системи....	73
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ІННОВАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ РОЗПОДІЛЕНИМИ КОМАНДАМИ.....	75
3.1 Опис проєкту: місія, цілі, стейкхолдери, очікувані результати	75
3.1.1 Визначення місії та стратегічних цілей системи координації.....	75
3.1.2 Аналіз ключових стейкхолдерів проєкту	76
3.1.3 Паспорт проєкту	79

3.1.4 Бізнес-модель концепції (Business Model Canvas).....	80
3.1.4.1 BPMN-аналіз проєкту XR-системи координації команд	81
3.1.4.2 Порівняльний аналіз BMC-конкурентів у сфері XR-платформ	83
3.2 Архітектура XR/VR-систем для розподілених команд	84
3.2.1 Принцип роботи системи (логіка обробки запитів)	85
3.2.2 Концептуальна модель XR-рішення	86
3.3 Розробка UX/UI інтерфейсу у VR-середовищах.....	89
3.4 Логічна і концептуальна модель БД.....	91
3.5 Побудова математичної моделі координації у віртуальному просторі.....	96
3.5.1 Створення математичної моделі для оптимізації роботи розподілених команд.....	97
3.5.2 Формулювання цільової функції та пояснення змінних	98
3.5.3 Оптимізаційна постановка задачі та її інтерпретація.....	99
3.6. Управління ризиками: категорії, матриця ризиків, плани реагування...	100
3.6.1 Аналіз ризиків у проєктах XR/VR для управління командами.....	100
3.6.2 Створення матриці ризиків та стратегій реагування на них.....	102
3.7 Забезпечення якості та метрики.....	105
3.8 Реалізація MVP у межах проєкту (з позиції студента-розробника).....	107
3.9. Розробка діаграми Ганта для проєктів у XR/VR-середовищах	111
РОЗДІЛ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЄКТУ ТА ОЦІНКА ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ	114
4.1. UX-прототип та візуалізація концепту	114
4.2. Реалізація MVP: технічні компоненти, стек технологій	115
4.3. Backlog і пріоритети MVP.....	122
4.4. Дорожня карта релізів та план масштабування	125
4.5 Економіка і фінанси проєкту XR-системи.....	127
4.6 Графік фінансового плану проєкту	134
4.7 SWOT-аналіз концептуальної системи	136
ВИСНОВКИ	140
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	142
ДОДАТКИ.....	148

Додаток А	148
Додаток Б	148
Додаток В	161

АНОТАЦІЯ

кваліфікаційної магістерської роботи на тему:

“Дослідження процесів створення інноваційної системи управління розподіленими командами з використанням мета-всесвітів для координації IT-проєкту”

Студент: Таюрський Ілля.

Науковий керівник: Тімінський Олександр Георгійович.

Рік захисту – 2025.

Темою даної роботи є “Дослідження процесів створення інноваційної системи управління розподіленими командами з використанням мета-всесвітів для координації IT-проєкту”.

Предметна область охоплює процеси управління цифровими проєктами, організації командної взаємодії, розробки XR-рішень та віртуальної колаборації.

Метою даної роботи є аналіз та проєктування концептуальної архітектури XR-системи, яка забезпечує ефективну координацію дій розподілених команд у режимі реального часу.

Мета проєкту полягає в створенні прототипу і концепції MVP XR-рішення, орієнтованого на використання у сфері управління IT-проєктами із залученням гнучких методологій (Scrum, Kanban) та імерсивного інтерфейсу.

Об'єктом дослідження є процес управління IT-проєктами в умовах географічно розподілених команд.

Предметом дослідження є процеси управління змістом, часом, вартістю проєкту створення інноваційної системи управління розподіленими командами з використанням мета-всесвітів для координації IT-проєктів, а також інформаційна система підтримки координації в XR-середовищі.

Наукова новизна полягає у розробці інтегрованої концепції XR-системи координації з поєднанням інструментів метавсесвітів, математичного моделювання взаємодії, UX-дизайну та методів управління проєктами.

Кваліфікаційна робота магістра складається зі вступу, основної частини, яка включає чотири розділи, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Робота включає 162 сторінки.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЯСНЕНЬ

- XR** – Extended Reality – розширена реальність, що охоплює VR, AR, MR.
- VR** – Virtual Reality – віртуальна реальність.
- AR** – Augmented Reality – доповнена реальність.
- MR** – Mixed Reality – змішана реальність.
- MVP** – Minimum Viable Product – мінімально життєздатний продукт.
- UI** – User Interface – інтерфейс користувача.
- UX** – User Experience – користувацький досвід.
- CI/CD** – Continuous Integration / Continuous Deployment – безперервна інтеграція та розгортання.
- API** – Application Programming Interface – інтерфейс прикладного програмування.
- SDK** – Software Development Kit – набір інструментів для розробки ПЗ.
- OBS** – Organizational Breakdown Structure – структура розподілу організаційних ролей.
- WBS** – Work Breakdown Structure – структура розподілу робіт.
- BMC** – Business Model Canvas – канва бізнес-моделі.
- BPMN** – Business Process Model and Notation – нотація моделювання бізнес-процесів.
- EPC** – Event-driven Process Chain – подійно-орієнтовані ланцюги процесів.
- KPI** – Key Performance Indicator – ключовий показник ефективності.
- ROI** – Return on Investment – рентабельність інвестицій.
- CSAT** – Customer Satisfaction Score – індекс задоволеності користувача.
- IDE** – Integrated Development Environment – інтегроване середовище розробки.
- SCRUM** – фреймворк гнучкого управління проєктами.
- KANBAN** – метод візуального управління завданнями.
- Gantt** – діаграма Ганта – інструмент календарного планування.
- PEST** – Political, Economic, Social, Technological – аналіз зовнішнього середовища.

SWOT – Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats – аналіз сильних і слабких сторін.

WebXR – вебтехнологія для доступу до XR через браузер.

Firebase – платформа Google для розробки веб і мобільних застосунків.

WebRTC – Web Real-Time Communication – технологія передачі медіа в реальному часі.

SFU – Selective Forwarding Unit – сервер вибіркової ретрансляції потоків.

MCU – Multipoint Control Unit – сервер злиття медіа-потоків у відеоконференціях.

ISO/IEC 25010 – стандарт якості програмного забезпечення.

WCAG 2.1 – Web Content Accessibility Guidelines – стандарти доступності веб-контенту.

ISO 9241-210 – стандарт ергономіки взаємодії з користувачем.

Jira, Trello, Asana, ClickUp – платформи управління завданнями.

Slack, MS Teams, Zoom, Google Meet – платформи цифрової командної комунікації.

Miro, Figma, Notion – інструменти спільної роботи над візуальним і текстовим контентом.

NFT – Non-Fungible Token – невзаємозамінний токен у блокчейн-мережі.

AI – Artificial Intelligence – штучний інтелект.

IoT – Internet of Things – інтернет речей.

R&D – Research and Development – дослідження та розробка.

PM – Project Management – управління проектами.

UX Research – дослідження користувацького досвіду.

Productivity Rate – показник продуктивності.

ВСТУП

У сучасному цифровому середовищі трансформація підходів до організації праці, управління командами та координації проєктів є необхідною відповіддю на глобальні виклики - від децентралізації до цифровізації бізнесу. Особливо актуальним це є для ІТ-сфери, де розподілена структура команд, асинхронна взаємодія та високий темп змін потребують нових методів організації спільної діяльності.

Розвиток технологій Extended Reality (XR), які включають віртуальну (VR), доповнену (AR) та змішану (MR) реальність, відкриває нові можливості для проєктної взаємодії в цифровому просторі. Концепція метавсесвітів - як інтерактивного, імерсивного середовища - дає змогу створювати віртуальні команди з ефектом присутності, де учасники можуть спільно працювати, планувати, тестувати і приймати рішення незалежно від фізичного місцезнаходження.

Об'єкт дослідження – процес управління ІТ-проєктами в умовах географічно розподілених команд.

Предмет дослідження – процеси управління змістом, часом, вартістю проєкту створення інноваційної системи управління розподіленими командами з використанням мета-всесвітів для координації ІТ-проєктів, а також інформаційна система підтримки координації в XR-середовищі.

Мета роботи - розробити концептуальну модель XR-системи управління розподіленими командами із використанням підходів метавсесвіту, що забезпечує ефективну цифрову взаємодію, візуалізацію процесів і підтримку прийняття рішень.

У роботі здійснено огляд сучасних XR/VR/AR-технологій, порівняння платформ (Unity, Unreal Engine, WebXR), аналіз інструментів цифрової комунікації та управління завданнями. Розглянуто методології Scrum, Kanban і гібридні моделі, побудовано організаційну (OBS) і функціональну структуру (WBS), сформовано бізнес-модель (BMC) та визначено ключові ролі в

команді. У ході дослідження розроблено концептуальну архітектуру системи, логічну модель бази даних, математичну модель координації та систему оцінки ефективності (KPI, ROI, CSAT).

Практична частина охоплює реалізацію гіпотетичного прототипу MVP, створення інтерфейсів (UX/UI), опис технічного стеку, визначення сценаріїв використання, фінансову модель проєкту (Cash Flow, точка беззбитковості), ризики та дорожню карту масштабування. Оцінено конкурентне середовище та побудовано SWOT-аналіз концепції.

Результати дослідження можуть бути використані для створення реальних XR-рішень у сфері управління IT-проєктами, підтримки віртуальної колаборації, підвищення залученості команд та формування нових підходів до цифрового лідерства.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ УПРАВЛІННЯ РОЗПОДІЛЕНИМИ ІТ-КОМАНДАМИ В КОНТЕКСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ МЕТАВСЕСВІТІ

У сучасному цифровому суспільстві, де гнучкість, швидкість адаптації та географічна незалежність стають пріоритетними чинниками ефективності, розподілені ІТ-команди перетворилися на нову норму для технологічних компаній. Водночас, цифрова трансформація у сфері управління командною діяльністю стимулює появу нових парадигм, серед яких особливе місце займають метавсесвіти та XR-технології. Їх імерсивний потенціал, просторовий характер та високий рівень персоналізації створюють умови для формування абсолютно нових моделей взаємодії між учасниками проєктів.

1.1 Сучасний стан технологій в управлінні розподіленими командами

Станом на початок 2020-х років розподілена робота з екзотики перетворилася на основу функціонування багатьох організацій. Світові тенденції, зокрема різке прискорення переходу на дистанційну працю під час пандемії 2020 року, призвели до масової трансформації підходів до командної взаємодії.

Наведемо масштаб явища. Частка співробітників, що працюють дистанційно, у світі зросла з 13% у 2019 році до близько 27% у 2022 році [1], причому в технологічному секторі цей показник сягнув майже 68% [1]. Це означає, що для більшості ІТ-компаній - географічно розподілена команда, стала новою нормою, а не винятком. Відповідно, цифрова інфраструктура та практики управління пройшли стрімку еволюцію, аби забезпечити ефективність за таких умов.

Однією з ключових ознак сучасного етапу є перехід від культури присутності до культури орієнтованої на результат. Якщо раніше ефективність нерідко асоціювалася з фізичною присутністю працівників і прямим контролем, то нині акцент змістився на чітко визначені цілі, прозорі процеси та довіру. Команди, розкидані по різних часових поясах, активно застосовують

асинхронні підходи: наприклад, принцип *"follow-the-sun"* дозволяє проєкту виконуватися безперервно, коли учасники з різних регіонів передають естафету роботи цілодобово. У таких умовах виробилися нові практики - від детального документування і запису зустрічей до гнучкого графіку, що враховує індивідуальний пік продуктивності співробітників. Важливим аспектом стало й формування єдиного інформаційного простору команди. Усі учасники повинні мати рівний доступ до даних, незалежно від місця роботи. Це стимулювало розвиток корпоративних порталів, хмарних сховищ знань та регулярних синхронізацій, аби нівелювати ризики інформаційної ізоляції окремих членів колективу.

Динаміка змін також вимагала перегляду ролей керівників. Лідерство у розподіленому середовищі дедалі більше ґрунтується на менторстві та фасилітації, а не на директивному контролі. Менеджери впроваджують практики підтримки командного духу на відстані. Це від віртуальних неформальних зустрічей до програм онбордингу з наставниками для новачків. Це все робиться, щоб подолати психологічні бар'єри віддаленої роботи. Як наслідок, управлінські підходи були змушені еволюціонувати і стати гнучкішими.

1.1.1 Еволюція підходів до управління командами в ІТ

Протягом останніх десятиліть підходи до управління ІТ-командами зазнали суттєвих змін. Класичні "водоспадні" моделі проєктного менеджменту, які панували в 1980-90-х роках, передбачали жорстку ієрархію, централізоване планування та детальне довгострокове прогнозування. Такий підхід міг забезпечувати контроль, але часто страждав від низької гнучкості - будь-які зміни вимог спричиняли значні затримки. З розвитком ІТ-сектора та зростанням складності програмних продуктів стало очевидно, що традиційна модель не встигає за темпом змін бізнес-потреб. У відповідь на це на початку 2000-х років набули популярності гнучкі методології (Agile), які зробили акцент на адаптивності процесів та саморегуляції команд. Вже станом на 2022

рік близько 71% компаній у світі тією чи іншою мірою застосовують Agile-підходи. [2] Тобто більш ніж дві третини організацій визнали переваги інтерактивного та ітеративного стилю роботи. Це підтверджує, що Agile фактично став новим стандартом управління ІТ-проектами.

В умовах сучасних ІТ-команд еволюція не зупинилася на базових принципах Agile. Розробляються й упроваджуються гібридні моделі управління, котрі поєднують елементи гнучких і класичних підходів. Такий синтез виник через потребу адаптувати управління до різних типів проєктів і розподілених командних структур. Згідно з опитуваннями, частка використання гібридних методологій зростає з 20% у 2020 році до понад 31% у 2023 році [3] Наприклад, великі корпорації можуть комбінувати Scrum на рівні команд розробки із традиційним покроковим контролем ключових етапів (дизайн, інтеграція, тестування) на рівні програми чи портфолію. Паралельно набули поширення підходи, орієнтовані на самоорганізацію команд: роль менеджера трансформується у роль *scrum-мастера* чи *agile-коуча*, який спрямовує команду, усуває перешкоди, але не диктує кожен крок. Ця еволюція підходів особливо помітна при віддаленій роботі. Дистанційні команди потребують ще більшої довіри та прозорості. Практики, започатковані гнучкими методологіями (щоденні stand-up зустрічі, інкрементна розробка, ретроспективи), були адаптовані під онлайн-формат і стали критично важливими для підтримання синхронності команди на відстані. Таким чином, управління ІТ-проектами еволюціонувало від жорсткої регламентації до принципів гнучкості й колективної відповідальності, що дозволяє командам ефективніше реагувати на виклики сучасного розподіленого середовища.

1.1.2 Переваги та недоліки розподілених форматів роботи

Розподілена співпраця сьогодні є нормою в ІТ-сфері. Вона представлена трьома ключовими форматами: гібридним, повністю віддаленим і географічно розсіяним (розподіленим). Кожен має свої особливості, що впливають на ефективність і потребують різних підходів до управління.

Гібридна модель поєднує офлайн-співпрацю з дистанційною. Її переваги - збереження живого контакту, баланс між роботою і особистим життям, можливість гнучкого графіка. Водночас вона створює ризик інформаційної нерівності між офлайн- і онлайн-учасниками, що вирішується впровадженням принципу *remote-first* та уніфікацією процесів.

Повністю віддалена модель відкриває доступ до глобального ринку кадрів, скорочує витрати на офіси та сприяє самостійності працівників. Але вона загострює проблеми комунікації, мотивації та адаптації новачків. Для підтримки командного духу активно застосовуються цифрові ритуали: віртуальні кави-брейки, онбординг із наставниками, гейміфіковані формати зворотного зв'язку. Практика компаній GitLab, Automattic демонструє життєздатність цього формату навіть у масштабах великих організацій.

Розподілений формат акцентує саме на розсіяному складі команди по часових зонах і культурах. Його сила - масштабованість, адаптивність і можливість працювати цілодобово за принципом *follow-the-sun*. Основні виклики - синхронізація, культурні відмінності, чіткість у комунікації. Для вирішення застосовуються асинхронні формати роботи, спільні хаби знань, а також тренінги з міжкультурної взаємодії.

Незалежно від формату, ключовим чинником ефективності є гнучкість - здатність адаптуватися до змін у середовищі, структурувати роботу відповідно до цілей і забезпечити рівні умови для всіх учасників. Саме гнучкість формує основу стійкої, масштабованої та мотивованої віддаленої команди.

1.1.3 Інструменти підтримки віддаленої взаємодії

Для ефективної роботи розподілених ІТ-команд критично важливе використання спеціалізованих цифрових інструментів, що компенсують брак спільного фізичного простору. Умовно всі такі інструменти можна поділити на кілька категорій. Платформи управління проектами та завданнями, засоби комунікації, а також сервіси спільної роботи над контентом. Кожна з цих категорій відіграє свою роль у забезпеченні злагодженої віддаленої взаємодії.

Платформи управління завданнями. Сюди належать інструменти для планування та відстеження прогресу проєктів як-от Jira, Trello, Asana, ClickUp тощо. Вони дозволяють розподіленій команді мати єдиний "дашборд" проєкту. Кожен учасник бачить перелік своїх задач, статус виконання спринту чи етапу, може залишати коментарі і прикріплювати результати роботи.

Завдяки цьому досягається прозорість. Всі зацікавлені сторони, включно з замовниками, володіють актуальною інформацією про хід проєкту в реальному часі. Сучасні платформи часто підтримують методології Agile: наприклад, Jira оптимізована під беклоги та спринти Scrumfile-, Trello реалізує наочну Канбан-дошку для задач. Такі системи зазвичай інтегруються з інструментами розробки репозиторіями коду, CI/CD та календарями, що автоматизує багато аспектів координації.

Засоби комунікації. Постійний зв'язок - кровоносна система віддаленої команди. Основу складають корпоративні месенджери і відеоконференції: Slack, Microsoft Teams, Zoom, Google Meet та інші. Вони забезпечують як неформальне текстове спілкування так і проведення нарад у форматі відеозв'язку. Важливо, що такі інструменти підтримують як синхронне, так і асинхронне спілкування. Окрім дзвінків у реальному часі, співробітники можуть обмінюватися голосовими і відеоповідомленнями, залишати текстові статуси і оновлення, які колеги переглянуть у зручний момент. Це особливо корисно для команд у різних часових поясах.

Додатковий функціонал сучасних комунікаційних платформ включає можливість демонстрації екрану, спільного керування віддаленим комп'ютером, запису зустрічей та автоматичної транскрипції. Останнє дозволяє, наприклад, учаснику, що не зміг бути присутнім на дзвінку, швидко ознайомитися з його змістом. Вбудовані боти-асистенти можуть нагадувати про завдання, планувати зустрічі з урахуванням розкладів усіх учасників тощо. Правильно налаштована комунікаційна інфраструктура мінімізує ризик того, що хтось із членів команди "випаде" з інформаційного поля.

Сервіси спільної роботи над контентом. До цієї категорії відносять інструменти, що дозволяють колективно створювати і редагувати документи, дизайни, бази знань. Прикладом є хмарні офісні пакети: Google Docs, Microsoft Office 365, системи управління знаннями: Confluence, Notion або платформи для спільного дизайну: Figma, Miro. Вони виконують роль цифрового робочого простору, де команди можуть одночасно взаємодіяти з інформацією, а саме: редагувати текст, залишати примітки, коментувати дизайн-макети або схематику архітектури. Кожна правка зберігається з зазначенням автора і часу, що формує живий журнал змін і дозволяє легко відстежувати еволюцію матеріалів. Спільні документи знімають проблему версійності і спрощують онбординг. Новий співробітник може швидко ознайомитися з накопиченою документацією в централізованому репозиторії.

Для командної творчості дедалі частіше застосовуються онлайн-дошки на кшталт Miro або Mural, де учасники мозкового штурму віддалено додають нотатки-стікери, малюють схеми, упорядковують ідеї так, наче стоять разом перед реальною дошкою. Це стимулює залученість і дозволяє компенсувати відсутність фізичної співпраці при генерації ідей.

Варто зазначити, що сучасні рішення все частіше об'єднують декілька згаданих функцій в одному інтерфейсі. Наприклад, Microsoft Teams поєднує чат, відеодзвінки і сховище файлів, інтегроване з Office 365; платформи типу ClickUp намагаються охопити і задачі, і документообіг, і комунікації на одній платформі. Таке консолідування інструментів створює єдину цифрову екосистему, де проходить життя команди. Наступний крок еволюції - це поява імерсивних цифрових просторів, де співробітники можуть взаємодіяти не лише через екран комп'ютера, а і в віртуальній реальності. Вже зараз існують інноваційні рішення, що дозволяють проводити командні зустрічі у вигляді аватарів у тривимірному офісі чи спільно маніпулювати 3D-об'єктами.

1.2 Аналіз концепцій мета-всесвіту та їх застосування в ІТ-проектах

Концепція метавсесвіту стрімко увійшла в сучасний технологічний дискурс, пропонуючи бачення наступного етапу розвитку інтернету. Термін "*метавсесвіт*" (metaverse) вперше з'явився у науково-фантастичній літературі - його вигідав письменник Ніл Стівенсон у романі "Лавина" (Snow Crash, 1992). Де метавсесвіт поставав як наступна стадія еволюції інтернету, спільний віртуальний світ, що об'єднує фізичну та цифрову реальності [4].

Сьогодні під метавсесвітом розуміють універсальний віртуальний простір із зануренням у форматі 3D, який поєднує в собі численні взаємопов'язані цифрові світи. По суті, це концепція мережі інтерактивних середовищ, де користувачі через персоналізовані аватари можуть працювати, навчатися, спілкуватися та розважатися, відчуваючи ефект присутності, наближений до реального[5].

Важливо підкреслити, що метавсесвіт – не просто окремий застосунок чи гра, а радше "*платформна екосистема*", яка може об'єднати різні сервіси й досвіди. Хоча на практиці єдиний глобальний метавсесвіт поки що не реалізований, вже існують множинні його прототипи та складові: від віртуальних світів на кшталт Decentraland чи Horizon Worlds до корпоративних VR-платформ для спільної роботи.

Попри скепсис частини експертів, індустрія робить великі ставки на цю ідею – понад 90% провідних світових брендів вже розпочали підготовку до роботи в метавсесвітах або інвестують у відповідні технології [5]. Це свідчить про колосальний інтерес бізнесу до можливостей, які обіцяє новий формат цифрової взаємодії.

З точки зору управління ІТ-проектами, метавсесвіт відкриває якісно нові горизонти. Якщо традиційні інструменти, забезпечують тільки окремі аспекти співпраці - текстову, аудіовізуальну комунікацію чи спільні файли - то метавсесвіт здатний об'єднати все це в єдиному просторі.

Для розподілених команд це означає перехід від відчуття "люди по різних кутках світу на зв'язку" до відчуття "ми всі в одній цифровій кімнаті". Працівники отримують можливість буквального ефекту присутності: бачити колег у вигляді 3D-аватарів, жестикулювати, взаємодіяти з віртуальними об'єктами навколо. Це позитивно впливає на командну динаміку - як показують дослідження, імерсивність підсилює залученість і довіру. Наприклад, експеримент Стенфордського університету продемонстрував, що учасники, які співпрацювали у віртуальному середовищі, стилізованому під природу, відчували більший комфорт і натхнення, ніж ті, хто працював у типово офісному VR-інтер'єрі [6].

Застосування метавсесвітів в ІТ-проєктах вже відбувається у кількох напрямках.

По-перше, для внутрішньокорпоративної співпраці - створюються віртуальні офіси, де розподілені команди проводять щоденні наради, планування спринтів, мозкові штурми.

По-друге, для навчання та розвитку - у віртуальних середовищах моделюються кейси, що дозволяють співробітникам відпрацьовувати навички або знайомитися з новими інструментами у безпечному, контрольованому цифровому світі.

По-третє, для взаємодії з клієнтами та стейкхолдерами - презентації продуктів, демонстрації прототипів, навіть ярмарки вакансій тепер можна проводити у форматі віртуальних виставок чи шоурумів, що розширює охоплення аудиторії та знижує витрати на організацію фізичних заходів.

Важливо, що впровадження метавсесвіту не є самоціллю: його оцінюють за тим, наскільки він підсилює існуючі процеси або дозволяє вирішити проблеми, притаманні дистанційній роботі. Такі як брак неформального спілкування або складність командної творчості онлайн.

1.2.1 Поняття та складові мета-всесвіту

Концепція метавсесвіту охоплює взаємодію у віртуальному середовищі, яке імітує просторову реальність і забезпечує присутність, персоналізацію та інтерактивність. Для кращого розуміння цієї системи виділимо її ключові складові:

Таблиця 1.1

Ключові компоненти та приклади застосування

№	Компонент	Опис	Приклади/Призначення
1	Аватаризація	Цифрове представлення користувача у віртуальному просторі	Вираження емоцій, персоналізація, соціальна взаємодія
2	Тривимірне середовище	Просторове моделювання, що імітує фізичний простір	Spatial audio, віртуальні кімнати, симуляція відстаней
3	Інтерактивність у реальному часі	Можливість взаємодії з об'єктами, зміни яких синхронізуються для всіх учасників	Спільне редагування, презентації, робота з 3D-об'єктами
4	XR-інтерфейси (VR/AR/MR)	Технології, що забезпечують занурення або накладання цифрових об'єктів на реальність	VR-гарнітури, AR-окуляри, MR-додатки для медицини, дизайну тощо

Ці інтерфейси є воротами до метавсесвіту, формуючи імерсивний досвід, який не обмежується візуальним сприйняттям, а залучає рух, орієнтацію, взаємодію та емоції.

Отже, метавсесвіт - це не просто віртуальна кімната. Це багатофункціональне середовище, в якому технології ідентичності, простору, часу й сенсорної симуляції поєднуються в єдину платформу для командної роботи, навчання та спільної творчості.

1.2.2 Мета-всесвіт як нова парадигма управління

Запровадження метавсесвіту в контекст ІТ-команд не лише змінює інструменти співпраці, а й переформатовує самі принципи управління – фактично, створює *нову парадигму*. У традиційній офісній моделі менеджер

контролює присутність, координує зустрічі, слідкує за дисципліною, використовуючи безпосередній контакт. Натомість у віртуальному просторі акценти зміщуються: керівник стає радше архітектором цифрового середовища та фасилітатором процесів. Його завдання - спроектувати та підтримувати таке віртуальне робоче середовище, в якому команда максимально ефективно самоорганізується і співпрацює. Практично це означає, що менеджер опікується налаштуванням віртуальних "локацій" для різних видів роботи. Наприклад, окремі VR-кімнати для щоденних стендапів, брейнштурмінгу, неформального спілкування, стежить за тим, щоб усі учасники були ознайомлені з можливостями платформи, заохочує нові способи командної взаємодії. Відтак влада і контроль поступаються місцем служінню команді та підвищенню залученості. Хороший лідер у метавсесвіті створює умови, а не нав'язує дії.

Варто згадати і про зміну підходів до оцінювання роботи. У метавсесвіті ще більше розвиваються прив'язки до відпрацьованого часу або місця - на передній план виходять конкретні результати та досягнення. Керівники отримують можливість відстежувати прогрес проєкту буквально візуально: заглянувши у віртуальний робочий простір, можна побачити, які завдання візуалізовані як виконані, які прототипи вже зібрані на віртуальному стенді, як команда співпрацює. Це підсилює *data-driven* підходи в управлінні - рішення ухвалюються на основі наочних даних з цифрового середовища.

Таким чином, метавсесвіт як управлінська парадигма зміщує фокус з контролю і регламентів на середовище, взаємодію та гнучкість. Успішний менеджмент у цій новій реальності означає вміння створити цифрову атмосферу, де команда відчуває себе єдиним цілим, де творчість і ініціатива заохочуються завдяки багатшому інструментарію, а технологія слугує не бар'єром, а каталізатором співпраці. Поки що підприємства лише накопичують досвід у цьому напрямі, але перші результати - підвищення продуктивності, швидше вирішення проблем, вища залученість персоналу - свідчать про значний потенціал нового підходу.

1.2.3 Технологічна база XR/VR/AR для побудови мета-всесвітів

Технологічна база для створення метавсесвітів охоплює цілу низку взаємопов'язаних напрямів. У центрі цієї екосистеми знаходиться концепція XR (Extended Reality), яка включає віртуальну (VR), доповнену (AR) та змішану реальність (MR). Завдяки прогресу у сфері XR-пристроїв, зокрема VR-шоломів та AR-окулярів, користувачі можуть глибше занурюватися у цифрове середовище. Такі пристрої вже не потребують підключення до потужних комп'ютерів і оснащені сенсорами руху, тактильним зворотним зв'язком і просторовим звуком, що забезпечує ефект присутності. Вони виступають фізичними інтерфейсами доступу до метавсесвіту.

Невід'ємною складовою технологічної основи є графічні рушії, зокрема Unity та Unreal Engine, які дозволяють розробникам створювати високореалістичні 3D-середовища з точним моделюванням фізики, анімації та мережевої синхронізації. Ці інструменти застосовуються не лише у геймдеві, але й у корпоративному навчанні, архітектурному моделюванні, дизайні цифрових близнюків. Розробка стає ще доступнішою завдяки WebXR - браузерній технології, яка дозволяє запускати VR/AR-досвід без встановлення програм, що особливо зручно в корпоративних застосуваннях.

Іншим важливим елементом є інтеграція з IoT (Інтернетом речей). Завдяки сенсорам, що фіксують фізичні параметри в реальному світі, відбувається зв'язок між фізичними об'єктами та їх цифровими двійниками. Наприклад, температура, тиск або рух у цеху можуть миттєво відображатися у 3D-моделі віртуального простору, дозволяючи операторам контролювати обладнання віддалено в реальному часі. Такі сценарії реалізуються в концепціях "розумного виробництва" та індустриального метавсесвіту.

Питання безпеки, ідентифікації та управління цифровими активами вирішується через використання блокчейн-технологій. Розподілений реєстр дозволяє гарантувати автентичність дій і власності, забезпечує контроль

доступу до віртуальних середовищ через NFT-токени, а смарт-контракти - автоматизацію транзакцій у межах віртуального бізнес-середовища.

Штучний інтелект відіграє в метавсесвітах роль як функціонального ядра, так і комунікативного інтерфейсу. Він дозволяє реалізовувати віртуальних агентів, перекладачів, аналітичні інструменти й навіть генерацію динамічного контенту. AI-асистенти проводять інструктажі, аналізують поведінку користувачів, оптимізують завантаження систем і забезпечують природну мовну взаємодію між представниками різних країн у реальному часі.

Таблиця 1.2

Ключові технології для побудови метавсесвіту

№	Компонент технологічної бази	Короткий опис	Прикладне застосування
1	XR-пристрої (VR, AR, MR)	Фізичні інтерфейси доступу до віртуального середовища, оснащені сенсорами, звуком і візуалізацією	Віртуальні офіси, тренінги, імерсивна презентація
2	Графічні рушії (Unity, UE)	Інструменти для побудови 3D-середовищ із фізикою, анімацією, мережевою інтеграцією	Архітектура, віртуальні симуляції, навчальні простори
3	WebXR	Доступ до XR-досвіду напряду з браузера, без встановлення застосунків	Проведення зустрічей, огляд 3D-моделей за URL
4	ІоТ та цифрові двійники	Сенсори та пристрої, що передають фізичні дані до віртуального середовища	Контроль виробництва, моніторинг у реальному часі
5	Блокчейн, NFT, смарт-контракти	Забезпечення безпеки, ідентифікації та управління цифровими активами	Приватний доступ, ліцензування, віртуальні покупки
6	Штучний інтелект (AI)	Віртуальні агенти, аналітика, генерація контенту, голосові команди	Асистенти, перекладачі, навчальні системи, UX-покращення

Для повноцінного використання потенціалу метавсесвітів у бізнес-середовищі, зокрема у сфері управління розподіленими ІТ-командами, важливо не лише знати функції кожної з технологій, а й розуміти їх управлінський вплив. Нижче подано узагальнене порівняння ключових технологій за основними аспектами управління - координацією, комунікацією, плануванням, аналітикою та інтеграцією.

Вплив ключових технологій метавсесвітів на управління розподіленими командами

Технологія / компонент	Координація дій	Командна комунікація	Планування та контроль	Аналітика продуктивності	Інтеграція в середовище управління
XR-пристрої (VR/AR)	Високий – ефект присутності та просторової взаємодії	Високий – аватари, аудіо, мова тіла	Середній – можливість візуального супроводу	Низький – обмежена аналітика	Середня – через SDK/WebXR
Unity / Unreal Engine	Високий – створення повністю контрольованого простору	Середній – залежить від реалізації UI	Високий – моделювання робочих процесів	Середній – через власні логіки	Середній – плагіни, API
WebXR	Середній – просторовість обмежена браузером	Середній – доступ через Web, безбар'єрність	Середній – зручність MVP-реалізацій	Низький	Високий – легка інтеграція
ІоТ / цифрові двійники	Низький – пасивна функція	Низький	Високий – отримання даних із реального середовища	Середній – моніторинг	Низький – вимагає проміжних платформ
AI / ML	Середній – автоматизація та підтримка рішень	Середній – чат-боти, перекладачі	Високий – прогнози, адаптивність	Високий – поведінкові та KPI-аналізи	Середній – API, хмарні сервіси
Блокчейн / NFT / смарт-контракти	Низький	Низький	Середній – контроль прав і дій	Середній – лог транзакцій	Високий – безпека, ідентифікація, аудит

Таким чином, технологічна – база XR/VR/AR для створення метавсесвітів охоплює не лише апаратні пристрої та рушії візуалізації, а й інтелектуальні, комунікаційні та аналітичні компоненти. Саме синергія між XR-платформами, WebXR-доступом, штучним інтелектом, ІоТ та блокчейн-технологіями дозволяє реалізовувати ефективні, безпечні та масштабовані системи взаємодії. У контексті розподіленого управління - особливо в ІТ-командах - критичну роль відіграють ті компоненти, що забезпечують ефект

присутності, гнучкість доступу, підтримку прийняття рішень та інтеграцію з існуючими робочими процесами. Цей аналіз створює основу для формування архітектури подальших рішень, зокрема MVP XR-платформи у межах даного дослідження.

1.2.4 Приклади використання метавсесвітів у бізнесі

Впровадження метавсесвітів у бізнес-середовище поступово переходить від експериментальної фази до системного використання у щоденній операційній діяльності. Різні галузі адаптують імерсивні XR-технології відповідно до власних потреб - від корпоративної комунікації до ритейлу, освіти, охорони здоров'я, фінансів та державного управління.

Одним із найдинамічніших напрямів стали віртуальні офіси та зустрічі. Компанії Meta та Microsoft активно просувають VR-середовища для командної взаємодії. Зокрема, *Horizon Workrooms* дозволяє співробітникам брати участь у нарадах у вигляді аватарів, використовуючи VR-шоломи, переглядати презентації та співпрацювати в інтерактивних просторах. *Mesh for Teams* від Microsoft поєднує голографічні елементи з класичними відеозустрічами, відкриваючи шлях до гібридної взаємодії. Подібні формати вже застосовуються в окремих організаціях: наприклад, редакція *Hiroshima Television* проводить щоденні планерки у VR, розміщуючи учасників у тематичних зонах.

У ритейлі поширення набувають віртуальні шоуруми. *Nike* створила метавсесвіт *Nikeland* на платформі Roblox, де користувачі можуть взаємодіяти з віртуальними продуктами, заробляти бонуси й купувати товари - як у цифровій, так і у фізичній формі. *Tesla* й *Audi* тестують віртуальні демозали, в яких клієнти можуть змінювати параметри 3D-моделі авто, випробовувати її у VR, не виходячи з дому.

У банківській сфері виникають віртуальні відділення. Клієнт у вигляді аватара має змогу обговорити фінансові питання з менеджером у VR-просторі, переглянути документи у 3D-форматі та отримати консультації в

інтерактивному кабінеті. Такі формати підвищують інформативність обслуговування і краще відповідають потребам цифрового покоління.

В освітньому секторі та під час конференцій метавсесвіти стали відповіддю на потребу в інтерактивності. Замість класичних Zoom-сесій дедалі частіше застосовуються 3D-конференц-центри, в яких учасники можуть переміщуватись простором, слухати доповіді, ставити запитання у VR-кулуарах. Подібні рішення тестувалися на CES 2022, VivaTech, AltspaceVR тощо.

На додаток до прикладів, варто звернути увагу на загальносвітову динаміку ринку. За даними Statista (2023), глобальний обсяг доходів метавсесвітнього ринку зросте з приблизно 80 млрд дол. у 2022 році до понад 490 млрд дол. у 2030 році. Найбільший приріст очікується в сферах електронної комерції, геймінгу, освіти, фітнесу та віддаленої праці.

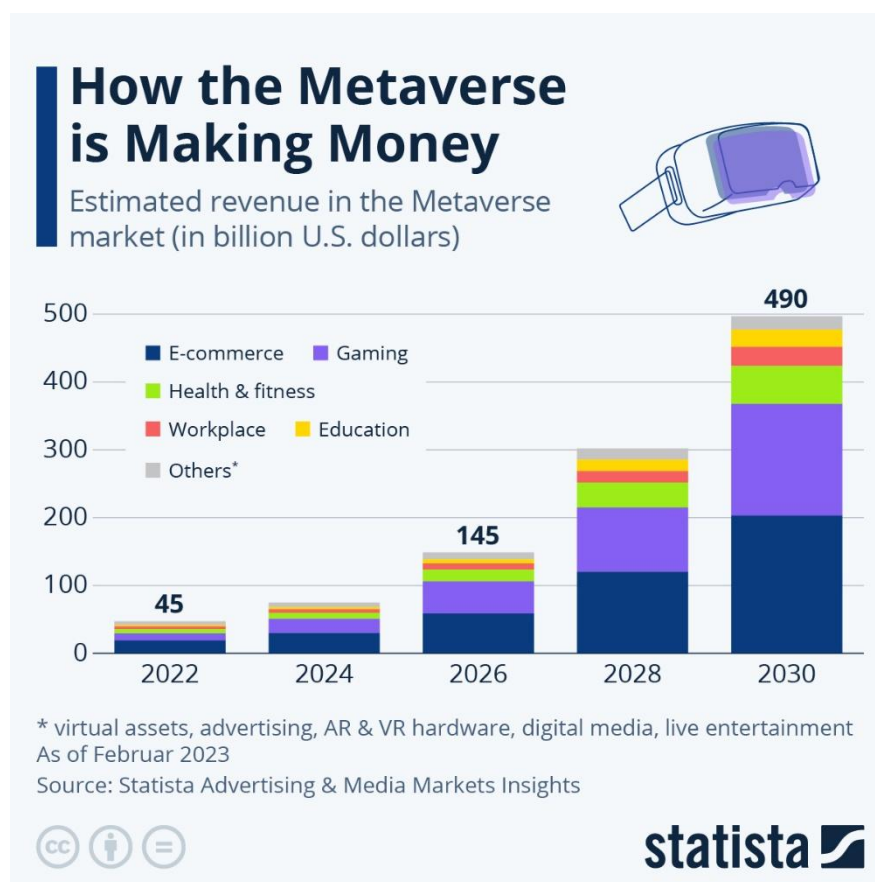


Рис. 1.1. Прогноз доходів ринку метавсесвітів за секторами у 2022–2030 рр

Джерело: Statista Advertising & Media Markets Insights, лютий 2023 р.

Галузеві приклади використання метавсесвітів

Галузь	Приклад застосування	Компанії / Платформи
Корпоративні зустрічі	Віртуальні наради, VR-простори	Meta (Horizon Workrooms), Microsoft Mesh
Медіа	Редакційна робота у VR	Hiroshima Television
Ритейл, e-commerce	Віртуальні шоуруми, інтерактивні покупки	Nike (Nikeland), Tesla, Audi
Банківські послуги	VR-консультації у віртуальних відділеннях	JPMorgan (експерименти), приватні банки
Освіта, конференції	3D-простори для подій і тренінгів	CES, VivaTech, AltspaceVR

У підсумку, корпоративні метавсесвіти вже не є винятком або технологічною грою. Вони стають новим інструментом для оптимізації процесів, підвищення залученості та реалізації нових бізнес-моделей.

1.2.5 Ринкова структура та економічні прогнози метавсесвітів

На основі звіту Statista Metaverse Outlook (2024), глобальний ринок метавсесвітів охоплює чотири ключові категорії: AR/VR-обладнання, XR-програмне забезпечення, цифрові активи та персоналізовані аватари. Очікується, що до 2030 року найдинамічніше зростання демонструватимуть саме digital assets, зважаючи на популярність NFT, цифрових товарів та інфраструктури Web3.

У регіональному розрізі домінують США, Китай та Південна Корея. Зокрема, частка американського ринку збережеться на рівні 35–40%, що пояснюється інноваційною активністю корпорацій Meta, Nvidia, Apple. У свою чергу, країни Азії демонструють стрімке зростання завдяки масовому впровадженню XR у повсякденне життя.

Ситуація в Україні. Незважаючи на складну соціально-економічну ситуацію, Україна зберігає високий потенціал розвитку XR-напрямів завдяки сильній IT-індустрії та зростаючому інтересу до віртуальних форматів роботи. Ринок AR/VR залишається на етапі становлення, однак окремі компанії вже інтегрують метавсесвіти для проведення подій, навчання або управління

командами. За наявності сприятливих умов (інвестицій, податкових стимулів, міжнародних грантів) Україна може стати регіональним хабом з розробки XR-рішень на аутсорсі для глобального ринку.

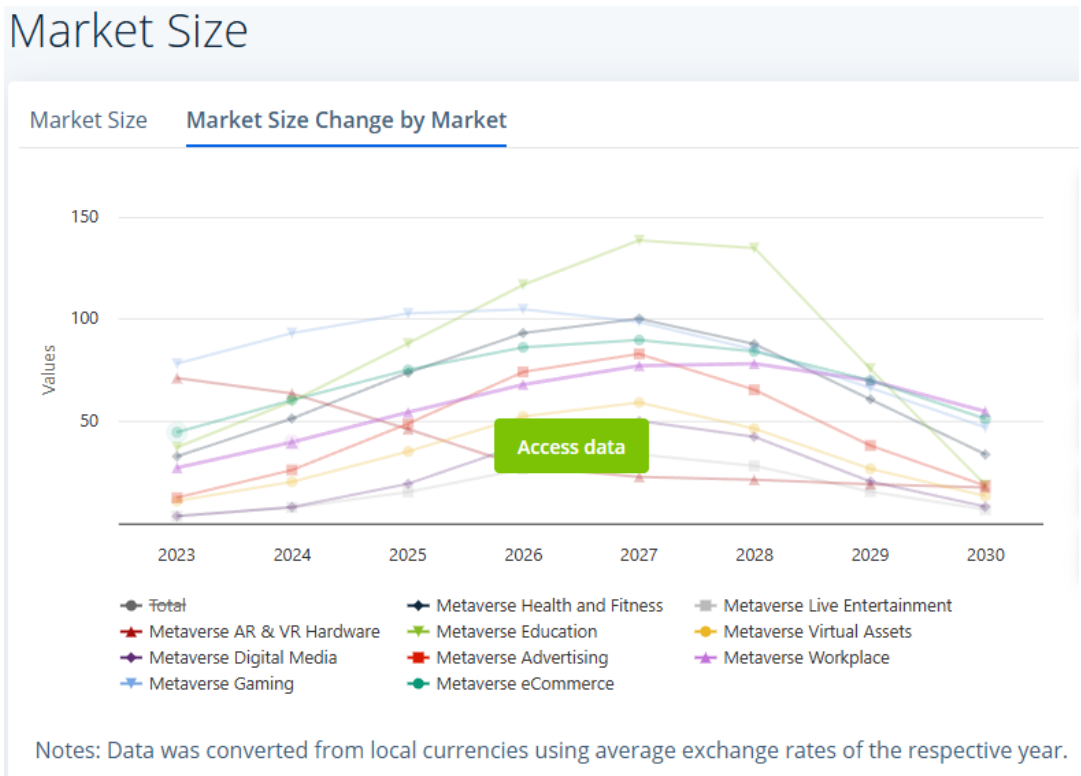


Рис. 1.2. Сукупний обсяг ринку метавсесвітів, 2022–2030

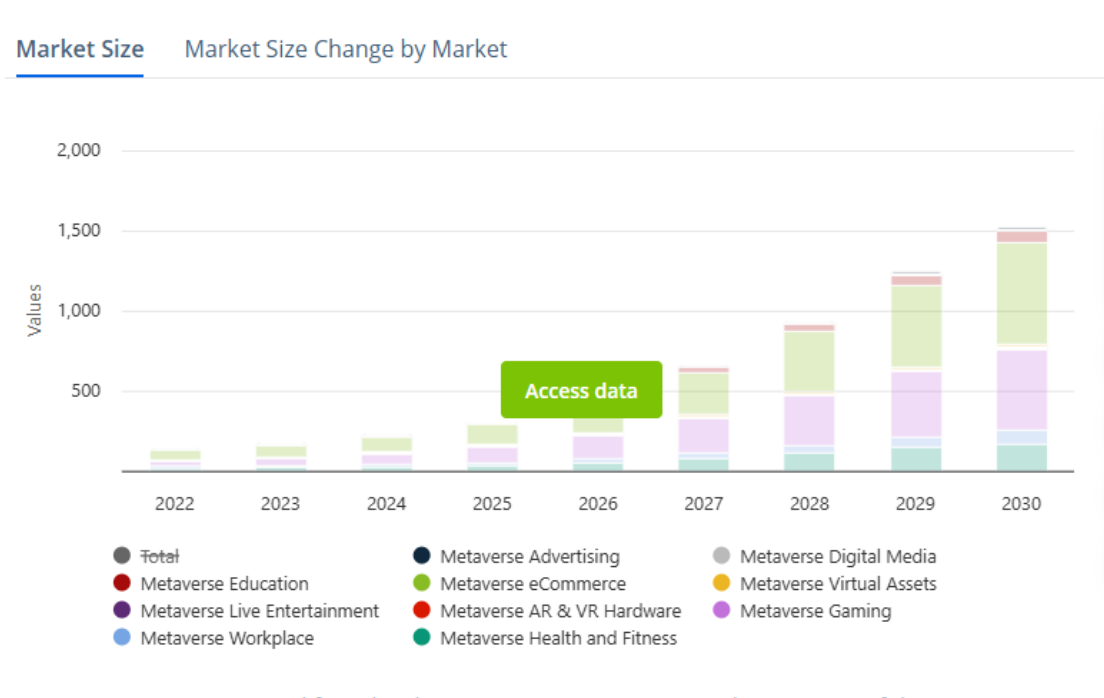


Рис.1.3. Структура ринку за категоріями 2022–2030

Average Market Size per User by Market

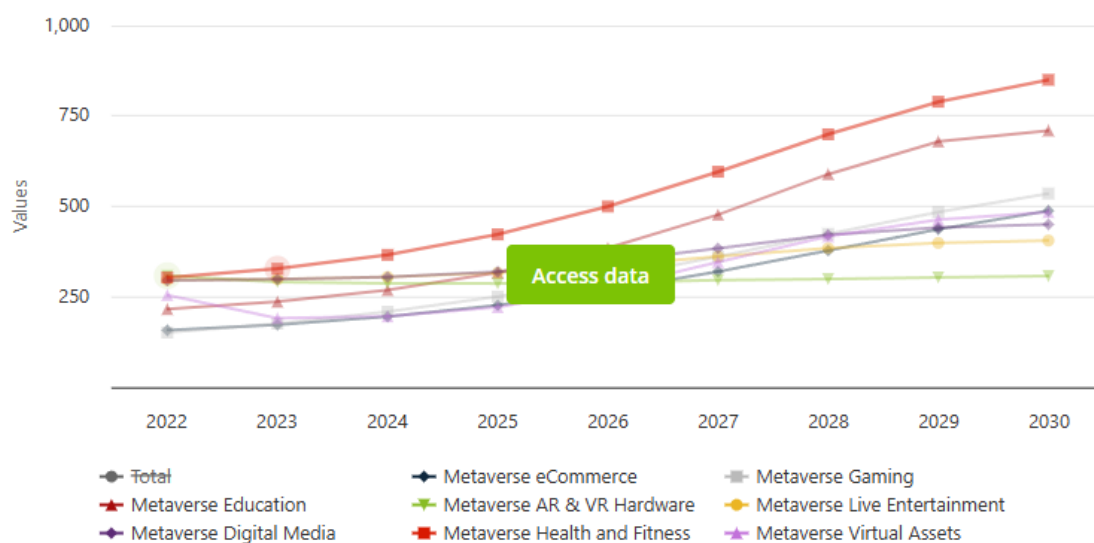
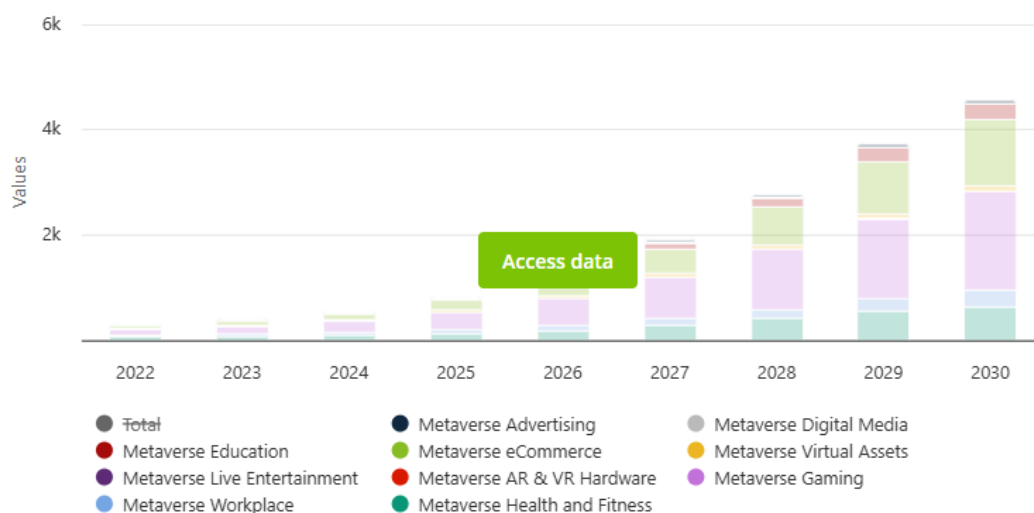


Рис.1.4. Динаміка середнього доходу з користувача у метавсесвіті (ARPU), 2021–2030

Market Size

Market Size Market Size Change by Market

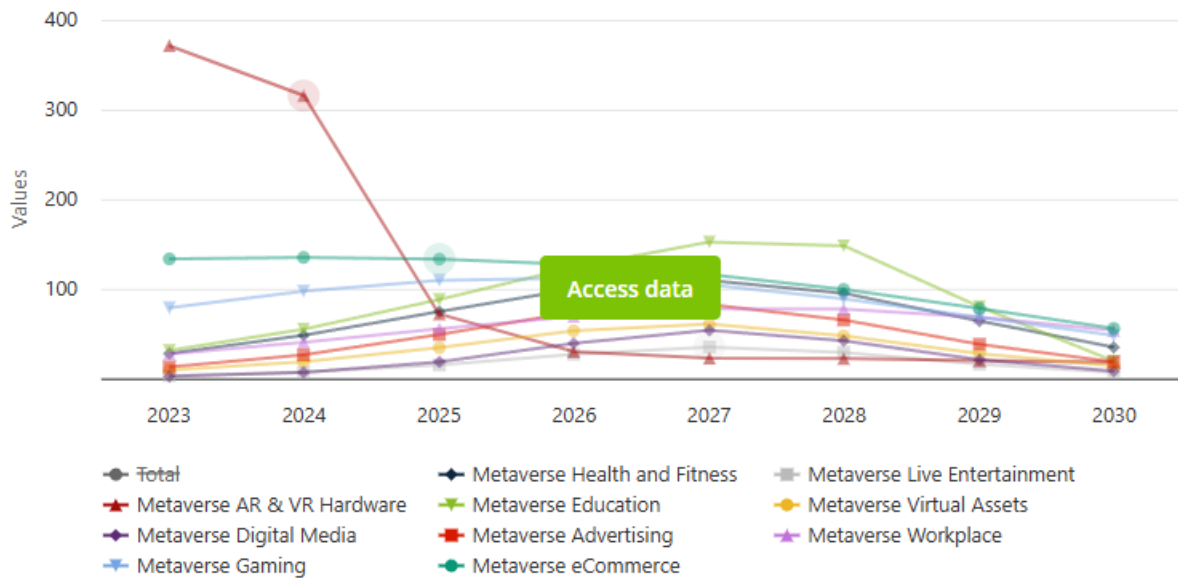


Notes: Data was converted from local currencies using average exchange rates of the respective year.

Рис. 1.5. Прогноз загального обсягу ринку метавсесвітів в Україні, 2022–2030

Market Size

Market Size Market Size Change by Market



Notes: Data was converted from local currencies using average exchange rates of the respective year.

Рис.1.6. Структура ринку метавсесвітів України за категоріями, 2023–2030

Джерело рисунків 1.2-1.6: Statista Metaverse Outlook, 2024.

Глобальний ринок метавсесвітів демонструє висхідну динаміку, із суттєвим зростанням у напрямках цифрових активів, e-commerce та XR-додатків. Український ринок, попри виклики, має всі передумови для інтеграції у цей тренд за рахунок гнучкості ІТ-сектору, високої кваліфікації розробників та відкритості до інновацій. У стратегічній перспективі метавсесвіти можуть стати одним із драйверів цифрової економіки країни, сприяючи розвитку нових форматів освіти, бізнесу та публічних сервісів в умовах віддаленої взаємодії. Це формує обґрунтовану потребу в дослідженні рішень, які поєднують XR-технології з інструментами управління ІТ-командами, що й стало основною метою даного проєкту.

1.2.6 Порівняння метавсесвітів з класичними засобами цифрової взаємодії

Для кращого розуміння переваг XR/метавсесвітів у командній взаємодії доцільно порівняти їх з традиційними цифровими інструментами - Zoom, Miro, Slack. Порівняння виконано за такими критеріями: глибина занурення, ефект присутності, комунікаційна ефективність, навчальна крива, бар'єри впровадження та масштабованість.

Таблиця 1.5

Метавсесвіт vs Zoom, Miro, Slack

Критерій	Метавсесвіт (XR)	Zoom	Miro	Slack
Ефект присутності	Високий (3D-простір, аватари)	Середній (відео)	Низький	Низький
Взаємодія	Імерсивна, в просторі	Візуальна, голосова	Дошки, наліпки, курсори	Текст, повідомлення, дзвінки
Гнучкість командної роботи	Просторова, ситуаційна	Послідовна, через спікерів	Паралельна, асинхронна	Асинхронна
Бар'єри входу	Середні/високі (навчання, обладнання)	Низькі	Низькі	Низькі
Навчання користувачів	Потрібен онбординг XR	Інтуїтивно	Інтуїтивно	Інтуїтивно
Масштабованість	Висока (при правильній архітектурі)	Висока	Висока	Висока
Приклад використання	ІТ-команди, дизайн, R&D	Мітинги, презентації	Воркшопи, мозкові штурми	Щоденна комунікація команд

Як видно з таблиці, метавсесвіти суттєво виграють за критерієм ефекту присутності та занурення, але потребують складнішого онбордингу і обладнання. Традиційні сервіси забезпечують швидкий доступ до базових функцій, але менш ефективні у створенні відчуття спільної присутності. Саме тому XR-платформи можуть служити логічним еволюційним кроком у розвитку засобів командної взаємодії.

1.3 Постановка проблеми управління IT-проектами в умовах географічної децентралізації

Управління IT-проектами у середовищі розподілених команд супроводжується специфічними викликами, які істотно впливають на організацію праці, забезпечення синхронності дій, комунікацію та мотивацію працівників. Одним з головних факторів є просторовий розрив між учасниками проєкту. Вони можуть перебувати в різних країнах, часових поясах, культурних контекстах, що ускладнює як формальну координацію, так і неформальну командну взаємодію.

При класичних централізованих моделях управління передбачається наявність спільного фізичного простору, регулярних нарад, швидкого обміну інформацією "на місці". Проте в розподілених командах такі механізми потребують цифрових аналогів, що, з одного боку, розширює можливості, а з іншого - вимагає ретельного продумування каналів взаємодії. Наявність інформаційних розривів, зниження відчуття командної єдності, втрата контексту завдань, зменшення соціального капіталу - це лише частина проблем, які виникають у таких умовах.

Ще однією проблемною площиною при управлінні розподіленими командами є зниження ефективності зворотного зв'язку. У звичайному офісному середовищі працівник може отримати оперативну реакцію керівника чи колеги в режимі реального часу. Натомість при дистанційній взаємодії фідбек часто затримується, або ж подається у формі, що не сприяє розвитку. Це породжує відчуття відірваності, неясності очікувань і може негативно впливати на мотивацію.

Крім того, децентралізоване середовище складніше контролювати в аспекті дотримання строків і стандартів якості. Якщо немає чітких метрик, контрольних точок або прозорого трекінгу прогресу, велика команда може легко втратити фокус або йти в різних напрямках. Для уникнення цього сучасні проєктні офіси дедалі частіше запроваджують цифрові системи

моніторингу ефективності, зокрема KPI-дашборди, інтегровані у системи управління задачами.

1.3.1 Необхідність переходу до нових моделей комунікації

Щоб подолати зазначені труднощі, команди змушені переходити до нових, більш гнучких та орієнтованих на людину моделей комунікації. Це включає: впровадження асинхронної взаємодії, використання візуалізацій замість текстових інструкцій, активне застосування гібридних інструментів.

Важливу роль також відіграє розвиток "комунікаційної грамотності" - вміння коротко і ясно формулювати думки, залишати зрозумілий фідбек, документувати ключові домовленості.

Сучасна модель комунікації у розподіленому середовищі потребує підвищеної чіткості та структурованості. Повідомлення мають бути зрозумілими, логічними, із зазначенням контексту, термінів і очікувань. Практикою стає створення "manual of communication" - внутрішніх гайдлайнів, які регламентують формати обговорень, стиль відповідей, таймінги фідбеку тощо.

Імерсивні технології, такі як метавсесвіти, відкривають нові горизонти: замість того, щоб переконструювати комунікацію під текстові чати, вони дозволяють моделювати ситуацію максимально наближену до фізичної взаємодії. Такий підхід не лише покращує розуміння, а й сприяє відновленню відчуття "спільної присутності", що позитивно позначається на мотивації і залученості команди.

1.4 Аналіз наукових джерел і кейсів застосування XR/VR/AR у проєктній діяльності

У сучасній науково-практичній літературі все активніше обговорюються питання застосування XR/VR/AR технологій у сфері управління проєктами, корпоративного навчання та організації колективної взаємодії. Дослідники

розглядають імерсивні технології як каталізатор трансформації традиційних бізнес-процесів, що дозволяє не лише компенсувати втрату фізичної присутності у розподілених командах, а й якісно змінити характер комунікації, візуалізації даних і передачі знань.

Публікації останніх років зосереджують увагу на кількох ключових аспектах:

- 1) використання XR для віддаленого управління командами у складних технічних проєктах;
- 2) моделювання бізнес-процесів у віртуальному середовищі для стратегічного планування;
- 3) реалізація навчальних і тренінгових програм із залученням віртуальної або доповненої реальності.

Згідно з аналітичним звітом компанії PwC, навчання з використанням VR дозволяє скоротити час засвоєння матеріалу на 30-40% порівняно з традиційними методами. Крім того, студенти віртуального середовища запам'ятовують на 275% більше інформації, ніж при перегляді відео або читанні тексту. Такі результати пояснюються ефектом повного занурення: людина активно взаємодіє з віртуальним середовищем, що активізує кілька каналів сприйняття одночасно.

У наукових роботах також часто підкреслюється потенціал VR/AR у галузі моделювання і тестування складних технічних систем. Наприклад, в інженерних проєктах XR дозволяє створювати цифрові прототипи, які учасники команди можуть одночасно оглядати, коригувати та обговорювати в режимі реального часу, навіть перебуваючи у різних країнах. Також існують дослідження про використання доповненої реальності для покрокових інструкцій на виробництві - оператор бачить підказки прямо на своєму полі зору завдяки AR-окулярам, що зменшує час навчання і помилки в роботі.

У межах академічних проєктів особливе місце посідає використання AR у професійній освіті - наприклад, у медичних навчальних закладах. Згідно з дослідженням Університету Джона Хопкінса, студенти, які використовували

AR-додатки для вивчення анатомії, демонстрували на 34% кращі результати підсумкового тестування, ніж контрольна група. Технологія дозволила їм не лише побачити внутрішні органи у 3D, але й маніпулювати ними, що сприяло глибшому розумінню просторових взаємозв'язків у тілі людини.

Таблиця 1.6

Порівняльний аналіз досліджень і кейсів XR/VR/AR у проєктній діяльності

№	Галузь / Контекст	Тип XR / Технологія	Результати / Висновки	Джерело / Інституція
1	Корпоративне навчання	VR	+275% запам'ятовування, - 40% часу навчання	Аналітика PwC
2	Інженерні проєкти	VR/AR	Одночасне 3D-редагування, прискорення погоджень	Загальні огляди, застосування у Siemens
3	Виробництво / інструктаж	AR-окуляри	Зниження помилок, покращене навчання операторів	Дослідження з промислових AR-проєктів
4	Медична освіта	AR	+34% у результатах тестування	Університет Джона Хопкінса
5	Колективна робота	VR	+16% швидше рішення, - 22% конфліктів порівняно з Zoom	Georgia Tech
6	Стратегічне планування	VR + AI	Моделювання наслідків змін у реальному часі, підтримка стратегічного аналізу	Концепт «віртуального близнюка»

Також варто зазначити дослідження щодо колективної ефективності команд у VR. Згідно з даними Інституту технологій Джорджії [7], команди, що працювали над вирішенням завдань у віртуальному середовищі, мали на 16% вищу швидкість прийняття рішень і на 22% менше конфліктів порівняно з традиційними відеоконференціями. Це пояснюється покращеною невербальною комунікацією між аватарами та більшою фокусованістю учасників.

Таким чином, XR-середовища не лише доповнюють стратегічне мислення візуальними елементами, а й створюють простір для колективного планування, де кожен учасник може "відчути" наслідки своїх рішень до їх впровадження.

1.5 Побудова дерев проєкту

Управління ІТ-проєктами в умовах географічної децентралізації стикається з низкою складних і взаємопов'язаних викликів, що потребують системного аналізу. Побудова дерева проблем дозволяє виявити причинно-наслідкові зв'язки між ключовими труднощами, які заважають ефективній роботі розподілених команд. Водночас дерево цілей трансформує ці проблеми у задачі, які можуть бути вирішені за допомогою відповідних рішень - зокрема, шляхом впровадження інноваційної XR-системи управління.

1.5.1 Дерево проблем

На вершині дерева проблем- зниження ефективності управління розподіленими ІТ-командами, яке зумовлене такими критичними чинниками:

- Комунікаційні бар'єри: розриви в часових поясах, відсутність фізичної присутності, обмеженість емоційного фідбеку.
- Низька якість онбордингу та адаптації: відсутність менторства, ускладнений обмін знаннями.
- Зниження мотивації та командної залученості: ізоляція працівників, втрата синергії, вигоряння.
- Недосконалість інструментів: фрагментованість платформ, відсутність цілісного середовища, слабка інтеграція.
- Обмежена масштабованість планування: традиційні інструменти не враховують динаміку й асинхронність командної роботи.

Ці проблеми, у свою чергу, породжують зниження якості рішень, затримки у виконанні завдань, вигоряння персоналу та низький рівень інноваційної активності, що прямо впливає на конкурентоспроможність ІТ-проєктів.

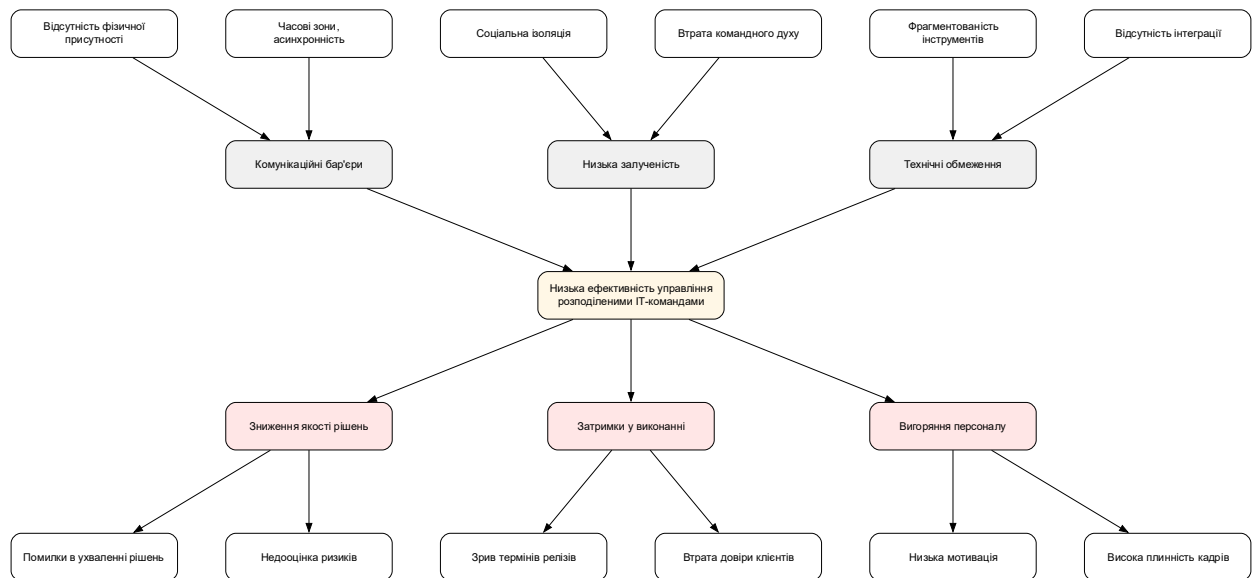


Рис. 1.7. Дерево проблем

1.5.2 Дерево цілей

На основі виявлених проблем формуються стратегічні напрями покращення, що лягають в основу концепції XR-системи координації:

- Забезпечення глибшої комунікації: реалізація ефекту присутності через аватари, просторовий звук та інтерактивність.
- Формування середовища навчання та обміну досвідом: віртуальні тренінги, менторські кімнати, імітації кейсів.
- Уніфікація інструментів у єдину платформу: інтеграція Jira, Slack, Trello, календарів та файлових систем.
- Підвищення залученості та мотивації: гейміфікація, персоналізація, автономність у виборі форм взаємодії.
- Цифрове моделювання рішень: симуляції сценаріїв у VR-середовищі до впровадження в реальні проєкти.
- Оптимізація витрат: віртуальні офіси замість фізичних, гнучкі формати участі.

Фрагмент дерева цілей наведено на рис. 1.3, повністю – у додатку.

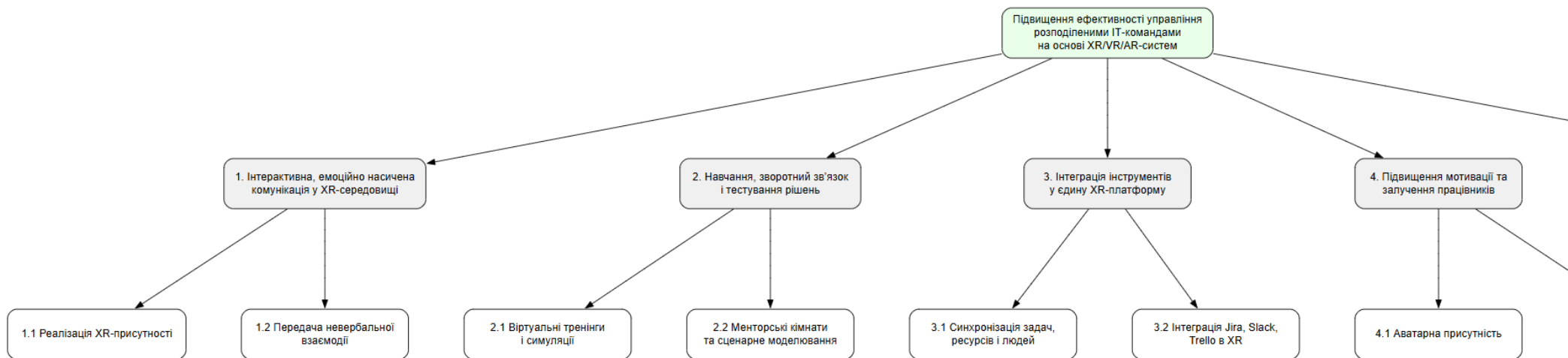


Рис. 1.8. Фрагмент дерева цілей

1.5.3 Дерево рішень

Після формалізації проблемного поля та визначення стратегічних цілей наступним кроком є побудова дерева рішень - структурованої логічної моделі, яка поєднує причини, цілі та конкретні способи досягнення бажаного результату. На відміну від дерева цілей, що зосереджене на формулюванні очікуваних результатів, дерево рішень фокусується на конкретних інструментах, підходах і технологіях, здатних реалізувати ці цілі у межах системного рішення.

Дерево рішень виступає містком між аналітичним етапом та інженерним проєктуванням. Його побудова дозволяє логічно обґрунтувати вибір архітектури майбутньої платформи, модульної структури, інтеграційних механізмів і ключових функцій, що мають бути реалізовані в рамках XR-рішення.

При побудові дерева рішень для розподіленої системи управління ІТ-командами враховано такі напрямки:

- Рішення для комунікації → впровадження spatial audio, VR-зустрічей, живих аватарів, підтримка невербальної взаємодії;
- Рішення для навчання й адаптації → модулі онбордингу, гейміфіковані симуляції, віртуальні тренінгові середовища;
- Рішення для управління задачами → інтеграція з Jira, Kanban-дошками, трекінгом прогресу в реальному часі;
- Рішення для зворотного зв'язку → візуалізація активності, дашборди KPI, механізми збирання реакцій у VR;
- Рішення для ефективності роботи → асинхронні сценарії участі, підтримка мультиплатформності, оптимізація обчислень;
- Рішення для безпеки та масштабування → автентифікація, шифрування, багаторівневий доступ, хмарна інфраструктура.

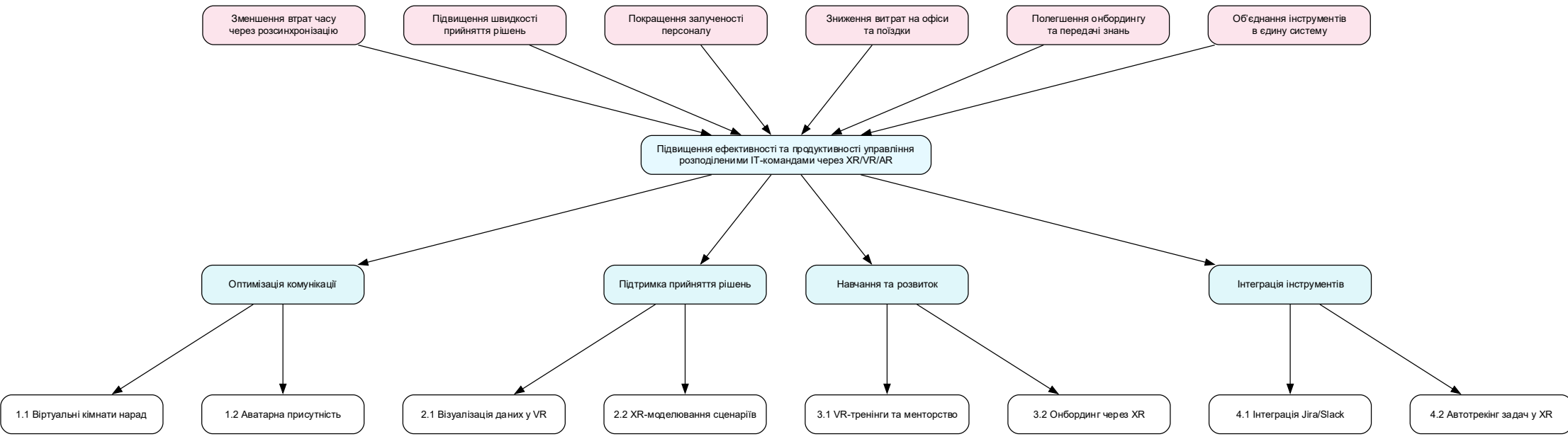


Рис. 1.9. Дерево рішень

Ця модель допомагає не лише визначити що потрібно зробити, а й як саме досягти поставлених цілей, уникаючи хаотичного проєктування. Структура дерева рішень може бути реалізована у вигляді блок-схеми або графа, де кожне рішення пов'язане з відповідною проблемою та бажаним ефектом. Побудова такого дерева - це підготовчий етап до формування архітектурної концепції системи, що далі розкривається у наступних розділах. Логіка дерева рішень дозволяє забезпечити системність проєктування, відповідність рішення реальним потребам та фокус на досягнення ефекту, а не просто реалізацію функцій.

1.6 Формулювання мети, задач дослідження, визначення вимог до системи координації

Розробка інноваційної системи координації розподілених ІТ-команд на основі метавсесвітів передбачає чітке визначення її цілей та функціональних обмежень.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати сучасні технології та платформи XR/VR/AR, що можуть бути адаптовані для потреб управління;
- вивчити моделі ефективної взаємодії у розподілених командах та принципи імерсивного дизайну;
- розробити функціональну структуру системи, яка охоплює інтерфейси, модулі, алгоритми координації;
- сформулювати методи оцінки ефективності системи (KPI, залученість, рівень комунікаційної прозорості);
- запропонувати сценарії впровадження з урахуванням технічних, організаційних та безпекових аспектів.

Вимоги до системи координації ґрунтуються як на функціональних потребах, так і на нефункціональних характеристиках.

Функціональні вимоги включають:

- забезпечення інтерактивної присутності (через аватари, просторову взаємодію);
- підтримку спільної роботи над документами, задачами, 3D-об'єктами у режимі реального часу;
- можливість інтеграції з існуючими системами управління (Trello, Jira, Slack, Microsoft Teams тощо);
- модульну архітектуру для гнучкої адаптації під різні сценарії.

Нефункціональні вимоги охоплюють:

- високу доступність платформи (SLA не менше 99,9%);
- оптимізовану продуктивність навіть у разі великої кількості
- одночасних користувачів;
- підтримку декількох мов для міжнародних команд;
- захист даних відповідно до стандартів (GDPR, SOC 2);
- можливість швидкого масштабування.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ТА УПРАВЛІНСЬКОЇ СКЛАДОВОЇ ПРОЄКТУ

У цьому розділі здійснюється аналіз ключових технологічних компонентів, що можуть бути використані для побудови системи управління розподіленими командами на основі XR/VR/AR. Акцент зроблено на інструментах розробки, виборі оптимальних платформ та оцінці їх придатності до особливостей роботи з географічно децентралізованими командами. Також буде розглянуто управлінські підходи до організації XR-проєктів, включаючи вибір методологій, структуризацію завдань і проєктну декомпозицію.

2.1 Аналіз інструментів і платформ для розробки систем XR/VR для проєктної взаємодії

Платформи для створення XR/VR-систем є основою побудови імерсивного середовища, що дозволяє реалізувати ефективну взаємодію у віртуальному просторі. Їх вибір залежить від цілей проєкту, рівня технічної експертизи команди, вимог до інтеграції та масштабування, а також специфіки користувацького досвіду.

Основна увага приділяється універсальності інструменту, наявності великої спільноти підтримки, доступності документації та кількості доступних плагінів і модулів.

Також важливим аспектом є підтримка кросплатформенності. У сучасних умовах користувачі можуть взаємодіяти з XR-системою через шоломи віртуальної реальності, мобільні телефони, планшети та звичайні ПК. Таким чином, вибір платформи має враховувати здатність адаптуватися до різноманітних пристроїв без суттєвих витрат на адаптацію контенту.

2.1.1 Огляд основних платформ для розробки XR/VR-систем

Найбільш поширеними платформами для створення XR/VR-додатків є Unity, Unreal Engine та WebXR.

Unity є одним з найпопулярніших рішень завдяки своїй простоті, великій кількості готових шаблонів і кросплатформенності.

Unreal Engine, у свою чергу, забезпечує високу якість графіки і є переважним вибором для візуально складних проєктів, хоча вимагає більш глибокої технічної підготовки.

WebXR - відносно новий стандарт, що дозволяє запускати XR-додатки безпосередньо у браузері. Це значно спрощує доступ користувачів, усуває потребу у встановленні додаткового програмного забезпечення і знижує технічний поріг входу.

Таблиця 2.1

Порівняння ключових платформ для створення XR/VR-систем

Платформа	Тип XR	Особливості	Пристрої / Середовище	Переваги
Unity	VR / AR / MR	Потужний рушій для 3D-графіки, гнучкий для XR-проєктів, велика спільнота	Кросплатформенність (ПК, мобільні, VR-шоломи)	Плагіни XR Interaction Toolkit, висока продуктивність
Unreal Engine	VR / AR	Реалістична графіка, підтримка візуального програмування	ПК, консолі, VR, WebXR	Підтримка Blueprints, найвищий рівень графіки
Mozilla Hubs	WebXR	Веб-платформа для створення віртуальних кімнат без коду	Браузер, WebXR, мобільні	Простота запуску, відсутність установки, open-source
A-Frame	WebXR	Фреймворк на базі HTML, зручний для швидкого прототипування	Браузери з WebXR	Простота інтеграції, адаптація під AR/VR
Microsoft Mesh	MR	Інтеграція з Microsoft Teams, HoloLens, корпоративне використання	HoloLens, ПК, Azure	Глибока інтеграція у бізнес-екосистему
Virbela	VR	ММО-платформа для заходів, навчання, командної роботи	ПК, VR-шоломи	Готове середовище, аватарна взаємодія

Кожна з платформ має свої переваги в залежності від масштабів проєкту, типу аудиторії та ресурсів команди.

Слід також зазначити наявність спеціалізованих рішень на базі зазначених платформ. Наприклад, AltspaceVR (побудований на Unity) дозволяє створювати простори для спільних заходів, а Mozilla Hubs (на WebXR) пропонує легкий запуск віртуальних кімнат із браузера. Такі приклади показують, як на основі базових платформ розвиваються прикладні екосистеми.

2.1.2 Порівняння популярних інструментів: Unity, Unreal Engine, WebXR

Unity – це гнучка і широко використовувана платформа, що підтримує більшість XR-пристроїв і дозволяє швидко прототипувати ідеї. Її плюсом є велика кількість безкоштовних компонентів і спрощене середовище розробки.

Unreal Engine виділяється за рахунок фотореалістичної графіки, використання рушія Nanite та системи візуального програмування Blueprints, що особливо корисно для складних симуляцій.

WebXR, хоч і обмежений у порівнянні з настільними платформами, забезпечує легку масштабованість і доступність. Це робить його ідеальним варіантом для інтеграції з корпоративними системами або створення легких кросплатформених віртуальних просторів для зустрічей і співпраці. Платформи можна зіставити за допомогою аналітичної таблиці.

Порівняння платформ для XR/VR-розробки за сильними сторонами, обмеженнями та сценаріями використання

Платформа	Сильні сторони	Обмеження	Сценарії використання
Unity	Широка підтримка пристроїв, багато шаблонів	Менш реалістична графіка	Освітні VR-тренажери, швидке прототипування
Unreal Engine	Фотореалістична графіка, Blueprints	Високі вимоги до ресурсів	Високоякісні візуалізації, інженерні симуляції
WebXR	Запуск у браузері, легка інтеграція	Обмежена графіка та функціональність	Легкі корпоративні додатки, віртуальні офіси

Додатковим критерієм порівняння є гнучкість у роботі з API та сторонніми модулями.

Unity має широкий набір плагінів у Unity Asset Store, що дозволяє розширювати функціонал без необхідності розробки з нуля.

Unreal Engine підтримує високорівневу інтеграцію з CAD-системами, що важливо для інженерних задач.

WebXR має перевагу у відкритості - розробники можуть створювати повністю кастомізовані рішення з нуля, використовуючи JavaScript та WebGL. Однак це також вимагає глибшого технічного розуміння вебтехнологій. З іншого боку, браузерна природа WebXR забезпечує миттєве оновлення контенту без релізів, що зручно для швидких ітерацій.

2.1.3 Особливості вибору платформи для проєктів з розподіленими командами

У контексті розподілених команд пріоритетними факторами вибору платформи є: простота доступу для всіх учасників, можливість синхронної взаємодії в реальному часі, інтеграція з корпоративними інструментами та низький поріг входу для нових користувачів. WebXR часто стає вибором для швидкої побудови MVP або проведення дистанційних воркшопів, тоді як Unity - для повноцінних симуляцій із підтримкою мультикористувацької взаємодії.

Варто також зважати на можливість створення кастомізованого UX/UI. Інструменти мають підтримувати створення інтуїтивно зрозумілих інтерфейсів, які підходять для віртуального середовища. Це особливо важливо для платформ, де користувачі не мають технічного бекграунду й очікують зручності на рівні звичайних вебдодатків.

Слід також враховувати фактори безпеки та відповідності нормативам. Наприклад, платформи, що обробляють персональні дані співробітників, повинні відповідати стандартам GDPR. Тому вибір технологічної бази не є суто технічним питанням - він має стратегічне значення для реалізації проєкту.

2.2 Вибір методології управління проєктом: Scrum, Kanban, Waterfall, Hybrid

Управління XR/VR-проєктами в умовах розподіленої команди потребує обґрунтованого вибору методології, яка враховує як технічну складність середовища, так і особливості віддаленої взаємодії. Класичні підходи, такі як Waterfall, часто виявляються недостатньо гнучкими, тоді як agile-методології - Scrum, Kanban - краще відповідають викликам динамічного середовища XR.

Scrum є ітеративною методологією, що фокусується на коротких спринтах, ретроспективах та щоденних синхронізаціях. Він добре підходить для команд, які працюють над MVP або швидко змінюваними

функціональностями, що особливо актуально для XR, де важливо швидко тестувати ідеї у прототипах.

Kanban – більш гнучкий візуальний підхід, орієнтований на безперервний потік завдань, з чітким обмеженням WIP (work-in-progress).

Waterfall, у свою чергу, залишається доцільним у проєктах з фіксованими вимогами, особливо для етапів підготовки інфраструктури або інтеграції.

Для проєктів, що охоплюють одночасно візуальну розробку, програмування, дизайн взаємодії та UX, доцільним є застосування гібридного підходу.

Щоб обґрунтувати вибір оптимальної стратегії управління для XR/VR-проєктів, доцільно порівняти ключові методології - Scrum, Kanban і Waterfall - за критеріями їх ефективності у різних умовах. Таблиця нижче систематизує переваги, обмеження та найдоцільніші сфери застосування кожної з них у контексті імерсивної розробки.

Таблиця 2.3

Порівняння Scrum, Kanban і Waterfall у XR/VR-проєктах

Методологія	Переваги в XR/VR	Недоліки в XR/VR	Коли доцільно використовувати
Scrum	Ітеративність, швидкий фідбек, зручна реалізація MVP	Потребує повної залученості, складність масштабування	Прототипування, UX-розробка, MVP-етапи
Kanban	Гнучкість, візуалізація прогресу, мінімальні бар'єри	Відсутність чіткої структурованості релізів	Постійна підтримка, доопрацювання, дрібні ітерації
Waterfall	Чіткість фаз, прогнозованість, формалізація	Слабка адаптивність, довгий цикл фідбеку	Інфраструктурні етапи, IoT-інтеграція, безпека, нормативи

Отже, управління XR/VR-проєктами вимагає не стільки вибору "єдино правильної" методології, скільки формування гнучкої моделі, здатної адаптуватися до змінних умов, технологічної складності та розподіленої

структури команди. Scrum і Kanban ефективно охоплюють динамічні компоненти - UX, 3D-дизайн, тестування сценаріїв взаємодії - де потрібна ітеративність, візуалізація прогресу та частий фідбек. Водночас, Waterfall виправданий у стабільних фазах з високим рівнем відповідальності - наприклад, при проєктуванні архітектури, сертифікації або інтеграції з зовнішніми системами.

Саме тому найкращий результат демонструють гібридні підходи, які дозволяють розділити проєкт на логічні блоки з відповідною управлінською логікою. Наприклад, початкові етапи R&D, інфраструктурної підготовки чи тестування безпеки можуть реалізовуватись за принципами Waterfall - з чіткими віхами, документацією та фіксованими вимогами. У той час як основна функціональна розробка, UX-ітерації, створення 3D-сцен або сценаріїв колаборації - гнучко управляються за Scrum або Kanban.

Такий розподіл ролей між підходами не лише оптимізує управління, а й знижує ризики, покращує координацію та дозволяє мультидисциплінарній розподіленій команді зберігати як темп, так і якість у складних XR-середовищах.

2.2.1 Оцінка ефективності Scrum та Kanban для управління розподіленими командами в XR/VR-проєктах.

Scrum і Kanban належать до гнучких методологій Agile, що набули широкого поширення завдяки здатності ефективно керувати проєктами за умов високої динаміки змін. У XR/VR-проєктах, де технологічні вимоги й функціональні можливості можуть постійно змінюватися, ці методології виявили свою особливу цінність.

Scrum забезпечує ітеративний підхід: розробка ведеться спринтами із регулярними зворотними зв'язками, демонстраціями проміжних результатів і ретроспективами. Для розподілених XR-команд це означає чітку ритміку роботи - наприклад, щотижневі планування та демо-сесії можна проводити у

віртуальному середовищі, де учасники з різних країн **спільно** оцінюють нові VR-функції, ніби перебуваючи в одній кімнаті.

Такий формат сприяє швидкому виявленню проблем та адаптації продукту. Дизайнери, розробники і користувачі надають фідбек на ранніх етапах, що знижує ризики дорогих переробок на фінальних стадіях. Водночас ефективність Scrum залежить від дисципліни команди та синхронізації дій. Для розподілених команд це може бути викликом: різниця в часових поясах ускладнює одночасну участь усіх членів у церемоніях Scrum, а отже потрібні чіткі правила комунікації та інструменти для підтримки прозорості роботи.

Kanban, на відміну від Scrum, надає більш гнучкий та безперервний підхід до управління завданнями, що особливо актуально для XR/VR-проектів із високим рівнем невизначеності. У Kanban відсутні фіксовані спринти. Робота організовується як потік задач, візуалізованих на Kanban-дошці, де кожне завдання проходить стани від "Заплановано" до "Виконано". Для розподіленої команди, що створює VR-додаток, така дошка слугує єдиним "джерелом правди". Всі учасники в реальному часі бачать, над чим працюють колеги, які задачі заблоковані чи потребують допомоги. Канбан дозволяє команді самостійно керувати своїм завантаженням. Обмеження Work-in-Progress (WIP) стримують старт нових задач, доки не завершені поточні, що запобігає перевантаженню навіть за умови різних графіків роботи членів команди.

Таблиця 2.4

Приклади використання Scrum і Kanban у XR/VR-командах

Методологія	Приклад застосування	Ключові інструменти	Результати / Переваги
Scrum	Розробка VR-платформи для віртуального наставництва в технічному університеті	WebXR, віртуальні кімнати, VR-демо	Спринти по 2 тижні, спільне обговорення інтерфейсу в 3D-просторі
Kanban	Розподілений проект створення освітнього VR-модуля у корпоративному середовищі	Kanban-дошка, трекінг багів, синхронізація задач	Асинхронне виконання, швидке реагування на баги, прозора візуалізація процесу

Практичний приклад - у розподіленому проєкті створення освітнього VR-середовища, інженери можуть асинхронно виправляти баги й додавати контент, а дизайнери - паралельно удосконалювати 3D-моделі.

Координація підтримується через Kanban. Якщо тестувальник знаходить критичний дефект у взаємодії контролера VR, картка задачі переміщується в колонку "Blocked" із зазначенням проблеми, і команда оперативно перерозподіляє зусилля для її вирішення. Таким чином, Kanban в розподілених XR-командах сприяє гнучкості та прозорості процесу, мінімізуючи потребу в одночасній присутності всіх учасників.

Порівнюючи Scrum і Kanban у контексті XR/VR, можна дійти висновку, що вибір між ними залежить від специфіки проєкту та потреб команди. Scrum доцільний, коли проєкт вимагає чіткої структури та регулярного постачання результатів. Kanban же ефективніше працює там, де пріоритети можуть різко змінюватися, або важко передбачити обсяг роботи на кожен інтервал.

Отже, ефективність Scrum та Kanban в XR/VR визначається тим, наскільки вдало їх адаптовано під команду: з урахуванням часових поясів, інструментів XR-колаборації (напр., віртуальних робочих просторів) та готовності команди дотримуватися узгоджених процесів.

2.2.2 Переваги та обмеження методології Waterfall в контексті XR/VR.

Waterfall (каскадна модель) традиційно передбачає послідовне проходження фаз проєкту - від збору вимог до проєктування, реалізації, тестування і впровадження. У швидкозмінних XR/VR-проєктах такий жорсткий підхід на перший погляд здається менш придатним, адже він погано реагує на зміну вимог. Однак Waterfall може знаходити нішеве застосування у випадках, коли проєкт має фіксовані межі та чіткі критерії успіху, а ризик зміни вимог мінімізований.

Наприклад, розроблення VR-тренажера для авіації або медицини підпорядковується суворим галузевим стандартам і вимогам безпеки. У такому проєкті замовник заздалегідь визначає всі сценарії тренувань, технічні характеристики обладнання, допустимі параметри симуляції, а команда розробників повинна точно реалізувати цю специфікацію.

Waterfall-підхід у даному випадку є виправданим: детальне початкове планування і проєктування VR-системи дозволяє виявити потенційні проблеми до початку розробки. Це знижує імовірність помилок, що критично важливо, адже виправлення архітектурних недоліків чи переробка 3D-моделей після завершення проєкту може коштувати надто дорого або взагалі бути неможливою в умовах затвердженої сертифікації.

Таким чином, у XR/VR-проєктах Waterfall доцільно застосовувати тільки за умов надзвичайно стабільних вимог та наявності формалізованої координації; в інших випадках ризики перевищують потенційні вигоди від чіткого плану.

2.2.3 Гібридні підходи: ScrumBan, Water-Scrum-Fall, їх адаптація під мультидисциплінарні команди.

Досвід управління XR/VR-проєктами показує, що суворе дотримання однієї методології не завжди забезпечує оптимальний результат. Саме тому все більшого поширення набувають гібридні підходи, які поєднують елементи кількох моделей, пристосовуючи їх до потреб конкретної команди.

У мультидисциплінарних розподілених командах, гібридні методології дозволяють врахувати різний характер роботи підгруп. Наприклад, розробники програмного коду можуть працювати ітеративно, тоді як дизайнери або інженери-апаратники - заздалегідь планувати ключові елементи. Головна ідея гібридного підходу полягає в тому, щоб зберегти прозорість і передбачуваність і одночасно забезпечити гнучкість та творчий простір.

Одним із популярних гібридних рішень є ScrumBan, який поєднує структуру Scrum із візуальним контролем та гнучкістю Kanban. У підході ScrumBan команда все ще працює спринтами і проводить типові scrum-події, а саме планування, демо, ретроспективи, проте щоденне керування задачами здійснюється через Kanban-дошку. Це означає, що в межах спринту немає жорстко зафіксованого переліку завдань. Пріоритети можуть переглядатися, а нові задачі додаватися у беклог і братися в роботу за потреби, якщо дозволяють ліміти WIP. Для XR/VR-проектів із високим рівнем невизначеності ScrumBan надає оптимальний баланс. З одного боку, команда має ритм і кінцеві цілі кожного спринту. З іншого - якщо під час спринту виникають непередбачені перешкоди або, навпаки, з'являються нові ідеї, ScrumBan дозволяє оперативно реагувати.

Інший різновид гібридного підходу в розподілених XR-командах - так званий Water-Scrum-Fall (або комбінація Waterfall + Agile). Його суть полягає в поділі проекту на дві частини: на початковому етапі застосовуються каскадні принципи для чіткого окреслення рамок, після чого основна розробка ведеться гнучко. Зазвичай, перші фази: дослідження, визначення вимог, формування концепції та технічної документації, а також створення базових 3D-моделей чи прототипів середовища, виконуються послідовно і завершуються затвердженням ключових артефактів. Це дає змогу розподіленій команді виробити спільне бачення кінцевого продукту та узгодити між собою технологічні стандарти, інструменти та ролі. Далі, коли проект переходить у стадію активної розробки і тестування, команда працює за Scrum або Kanban.

Наприклад, після каскадного опрацювання сценаріїв використання AR-додатку для навчання хірургів, розробники переходять до коротких ітерацій створення функціоналу. Реалізують одну за одною навчальні сцени, тестують їх на експертній групі лікарів, збирають відгуки і вдосконалюють систему в наступних спринтах. Water-Scrum-Fall підхід у такому випадку забезпечує необхідну структуру на старті (щоб критичні вимоги не змінювались хаотично) та гнучкість у реалізації. Для мультидисциплінарної команди це

означає, що спочатку всі учасники синхронізуються в єдиному напрямі, а надалі кожна підгрупа може діяти більш автономно, обмінюючись результатами в рамках гнучкого процесу.

Загалом, гібридні методології, як-от ScrumBan і Water-Scrum-Fall, продемонстрували свою ефективність у проєктах, де однаково важливі і строгість виконання певних вимог, і адаптивність до змін. Для розподілених XR-команд їхня цінність полягає у поєднанні дисципліни та творчої свободи. Керівники і стейкхолдери отримують прогнозованість і контроль ключових віх проєкту, тоді як інженери та дизайнери - простір для експериментів та удосконалень у ході роботи.

Порівняльна таблиця методологій за критеріями переваг, обмежень та сценаріїв застосування:

Таблиця 2.5

Порівняльна характеристика методологій управління проєктами

Методологія	Переваги	Обмеження	Типові сценарії застосування
Scrum	<ul style="list-style-type: none"> – Чітка структура і регулярні ітерації (спринти) для контролю прогресу. – Швидкий зворотний зв'язок і адаптація після кожного спринту. – Ролі (Scrum Master, Product Owner) забезпечують відповідальність. 	<ul style="list-style-type: none"> – Вимагає синхронної роботи команди, регулярних зустрічей – складно при різниці часових поясів. – Менш ефективний при плаваючих пріоритетах або постійному припливі нових задач у середині спринту. – Потребує високої дисципліни і зрілості команди в Agile-практиках. 	<ul style="list-style-type: none"> – Розробка VR/AR-продукту з чіткими етапами і проміжними релізами (ігри, додатки), де важливо отримувати відгук користувачів на кожній ітерації. – Проєкти, де вимоги можуть змінюватися, але контроль термінів критично важливий (стартапи в сфері XR із інвесторами, які очікують демо-версії).
Kanban	<ul style="list-style-type: none"> – Гнучке управління потоком робіт без жорсткої прив'язки до спринтів. – Візуалізація процесу на дошці дає прозорість для всієї команди у реальному часі. – Підходить для асинхронної роботи: кожен виконує задачу у своєму темпі, мінімізуються простої. 	<ul style="list-style-type: none"> – Відсутність фіксованих дедлайнів може ускладнювати контроль прогресу для великих проєктів. – Не передбачає формальних подій для командної рефлексії (як ретроспектива), тож є ризик меншого обміну знаннями. – Може виникнути “безкінечний” процес без чітких віх, якщо не встановити контрольних точок. 	<ul style="list-style-type: none"> – Підтримка та розвиток XR-продукту в режимі безперервного потоку задач (напр., довготривалий проєкт із регулярними оновленнями контенту AR-додатку). – Дослідницькі чи інноваційні VR-проєкти, де обсяг і порядок задач важко передбачити наперед (Kanban дозволяє гнучко змінювати пріоритети).

Продовження таблиці 2.5 надано у додатку Б.

Вибір методології безпосередньо впливає на організаційну структуру проєкту: ролі, підпорядкованість, схеми комунікації. Наступний розділ присвячено побудові структури OBS, яка є логічним продовженням обраної управлінської моделі.

2.3 Організаційна структура (OBS) та ролі в команді

Управління XR/VR-проєктом в умовах розподіленої команди вимагає чіткого визначення організаційної структури та зон відповідальності. Після вибору методології наступним кроком є формування OBS (Organizational Breakdown Structure).

Правильно побудована OBS забезпечує прозоре закріплення завдань за командами чи окремими фахівцями та встановлює підпорядкованість, що особливо важливо для XR/VR-проєктів з мультидисциплінарними і географічно розподіленими командами.

2.3.1 Розробка структури організації для управління проєктами XR/VR

Організаційна структура проєкту (OBS, Organizational Breakdown Structure) є ключовим інструментом для визначення відповідальностей у рамках розподіленої XR-команди. Вона відображає, хто саме виконує конкретні функції, забезпечує координацію робіт між підрозділами, а також логічно поєднується з WBS-структурою (Work Breakdown Structure), де описано *що* потрібно зробити.

У контексті даного проєкту OBS сформована як багаторівнева ієрархія, що охоплює стратегічне управління, технічні команди, функціональні ролі, QA-контроль, аналітичну підтримку та регіональні осередки. Така структура враховує міждисциплінарний характер XR-розробки - поєднання розробки програмного забезпечення, створення візуального контенту, тестування, аналітики та підтримки взаємодії з користувачем у віртуальному середовищі.

Основні рівні структури:

1. *Загальний рівень стратегічного управління*
 - Включає власника продукту (Product Owner), інвесторів та зовнішніх стейкхолдерів.
 - Формує бачення та цілі проєкту, визначає пріоритети та ключові результати (OKR).
2. *Керівництво проєктом*
 - Складається з проєктного менеджера, аналітиків, Scrum-мастера.
 - Відповідає за реалізацію беклогу, спринтів, комунікацію з командами, управління ризиками.
3. *XR/VR-розробка*
 - Поділяється на три підкоманди: Front End, Back End, DevOps.
 - Забезпечує реалізацію логіки платформи, синхронізацію XR-середовищ, управління інфраструктурою.
4. *3D-дизайн та контент*
 - Включає UX/UI-дизайнерів, 3D-моделлерів, environment-artistів.
 - Створює візуальні елементи платформи, просторові інтерфейси, цифрові об'єкти.
5. *Забезпечення якості (QA)*
 - Складається з функціонального тестування, UX-тестування та VR-тестування.
 - Відповідає за стабільність, юзабіліті та імерсивність середовища.
6. *Аналітика та оцінювання*
 - Включає фінансову аналітику, CS-аналітиків, фахівців з моніторингу користувацького досвіду.
 - Забезпечує зворотний зв'язок та контроль KPI-систем.
7. *Регіональні підрозділи*
 - Організовані за географічною ознакою для оптимізації колаборації в різних часових поясах.

- Включають локальних координаторів, кросфункціональні міні-команди (розробка, дизайн, QA).

8. *Технічна підтримка та безпека*

- Забезпечує роботу з інцидентами, адміністративне управління XR-середовищем, модерацію кімнат.
- Включає спеціалістів із кібербезпеки та технічних адміністраторів.

OBS була розроблена з урахуванням потреб платформи з високим рівнем імерсивності, інтеграції та персоналізації. Вона формує основу для ефективного управління задачами, ресурсами та відповідальністю в умовах розподіленої XR-команди.

Фрагмент OBS проєкту наведено на рис. 2.1, повний варіант OBS надано у додатку.

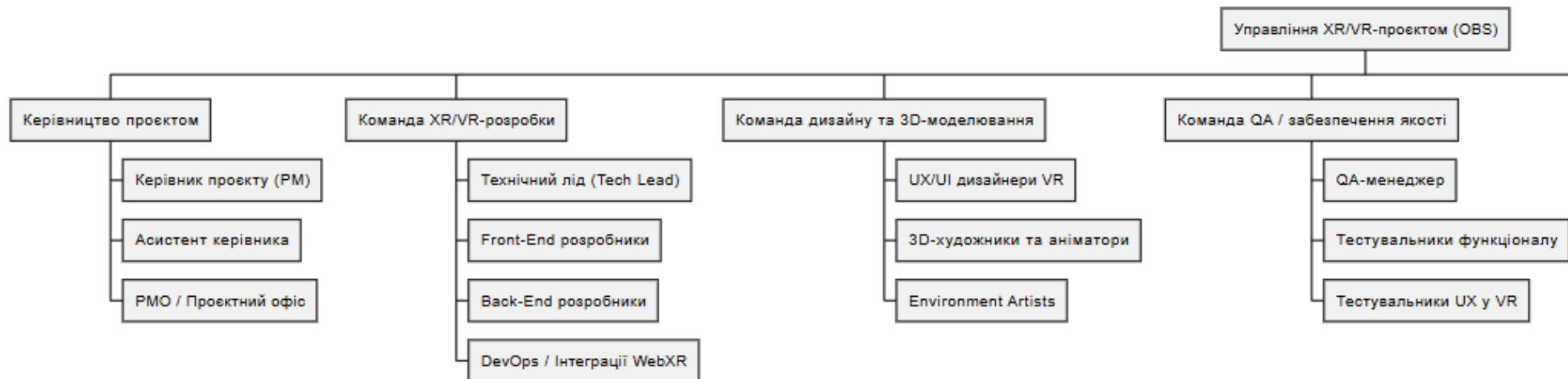


Рис. 2.1. Фрагмент OBS проєкту

2.3.2 Визначення ролей і обов'язків в команді для управління проектами

На основі сформованої OBS (Organizational Breakdown Structure), команда XR/VR-проекту розподіляється за функціональними та регіональними підкомандами, кожна з яких має чітко визначені ролі та зони відповідальності. Такий підхід дозволяє уникати дублювання функцій, забезпечити міждисциплінарну взаємодію та гарантувати прозорість відповідальності в умовах географічної децентралізації. У табл. 2.6 наведено ключові ролі у команді та опис їхніх обов'язків відповідно до структури проекту. Продовження таблиці 2.6 наведено у додатку.

Таблиця 2.6

Розподіл ролей і відповідальності у команді XR/VR-проекту

Роль / Посада	Основні обов'язки
Керівник проекту (Project Manager)	Загальне управління проектом: стратегічне планування, контроль виконання, управління командною взаємодією, ризиками та ресурсами. Забезпечення зв'язку між усіма командами, координація стейкхолдерів, синхронізація у розподіленому середовищі.
Технічний лід (XR Tech Lead)	Формування технічної архітектури, ухвалення рішень щодо технологій, інтеграція всіх модулів у єдину систему. Підтримка стандартів розробки та контроль технічної якості продукту.
Front-End / Back-End розробники	Розробка логіки та інтерфейсів додатку, реалізація VR/AR-сценаріїв, інтеграція з SDK, налаштування мережевої взаємодії, підтримка стабільної роботи додатку на різних пристроях.
DevOps / Системні інтегратори	Впровадження CI/CD, налаштування серверної інфраструктури, автоматизація релізів, забезпечення стабільного оновлення, логування та безперервної інтеграції.
UX/UI дизайнери	Розробка інтерфейсів та взаємодії користувача у VR/AR, UX-дослідження, створення прототипів, проведення тестувань, уніфікація досвіду в розподілених командах.
3D-художники / аніматори	Моделювання об'єктів, сцен, персонажів, створення текстур, анімацій і візуальних ефектів. Робота в тісному зв'язку з розробниками для оптимізації графічного контенту.
Environment Artists	Створення віртуального оточення: освітлення, атмосфера, просторовий наратив. Забезпечення візуальної цілісності VR-досвіду.
QA-менеджер та тестувальники	Функціональне, юзабіліті та продуктивне тестування, баг-трекінг, складання звітів. Робота з командою в різних часових поясах, організація бета-тестування.

Продовження таблиці 2.6 надано у додатку

Представлена структура ролей може варіюватися залежно від масштабу проєкту. У невеликих командах одну особу може поєднувати кілька ролей. Натомість у великих XR-програмах можливе розширення переліку ролей.

2.4 Розподіл завдань та WBS-структура

Успішна реалізація XR/VR-проєкту потребує чіткого визначення не лише ролей виконавців (через OBS), але й структури завдань, які мають бути реалізовані. Для цього застосовується ієрархічна модель декомпозиції задач - WBS, яка дозволяє розкласти загальний обсяг робіт на конкретні, контрольовані й вимірювані компоненти.

Створення WBS є одним із ключових етапів підготовки проєкту, оскільки воно:

- забезпечує повне охоплення обсягу робіт;
- формує основу для створення графіків, оцінки бюджету та визначення ресурсів;
- дозволяє пов'язати кожне завдання з відповідальною командою через OBS.

2.4.1 Структура WBS для XR/VR-платформи

Побудова WBS виконувалась за комбінованою логікою - поєднуючи життєвий цикл проєкту, функціональні компоненти системи та управлінські аспекти. Результатом стала багаторівнева структура, представлена на діаграмі.

Основні гілки WBS:

1. *Стратегічне планування та управління*
 - Постановка цілей і бачення (Product Owner)
 - Аналіз вимог і визначення задач
 - Побудова дерева проблем і цілей
 - Підготовка бюджету, ризик-аналіз
2. *Розробка проєкту*
 - Формування технічного беклогу

- UX-концепція віртуальних кімнат
 - Прототипування фіч
 - Дизайн архітектури рішення
3. *Програмна реалізація*
- Back-end розробка та інтеграції
 - Створення інтерфейсів і контролерів
 - Системи авторизації й аналітики
 - Розробка MVP, контроль версій
4. *Створення контенту*
- Моделювання середовищ
 - 3D-об'єкти і персонажі
 - Створення аватарів та анімацій
 - Озвучення й інтерактивні елементи
5. *Забезпечення якості (QA)*
- Ручне та автоматизоване тестування
 - UX-тестування
 - Тестування VR-функціоналу
 - Розробка тест-кейсів
6. *Впровадження та розгортання*
- Підготовка інфраструктури
 - Налаштування клієнтських девайсів
 - Інструктаж користувачів
 - Запуск бета-тесту та перехід до продуктиву
7. *Аналітика та моніторинг*
- Встановлення систем збору даних
 - КРІ-моніторинг
 - Оцінка залученості користувачів
 - Звітність і аналіз ефективності
8. *Підтримка та безпека*
- Технічна підтримка користувачів

- Кібербезпека і модерація кімнат
- Актуалізація контенту
- Зворотній зв'язок і оновлення

WBS була сформована з урахуванням багаторівневої структури XR-проєкту, що поєднує програмну реалізацію, 3D-контент, інтеграції та етапи впровадження. Вона створює надійний каркас для покрокового контролю прогресу, узгодження відповідальностей та забезпечення досягнення цільових результатів у динамічному середовищі розподіленої XR-команди.

Фрагмент WBS проєкту наведено на рис. 2.2, повний варіант WBS надано у додатку.



Рис.2.2. Фрагмент WBS

2.4.2 Підходи до розподілу задач в умовах розподілених команд

Розбивши проєкт на конкретні задачі, менеджмент постає перед питанням: як ефективно розподілити ці задачі між членами розподіленої команди. В умовах, коли фахівці працюють віддалено і, можливо, у різних часових поясах, неправильний розподіл роботи може призвести до простоїв, перевантаження окремих учасників чи проблем з інтеграцією результатів. Існує кілька підходів до розподілу задач у розподілених XR/VR-командах, вибір яких залежить від характеру проєкту та складу команди:

- Модульний розподіл за локацією. Один із підходів - закріпити за кожною географічно віддаленою підкомандою певний набір модулів або підсистем проєкту. Наприклад, команда в одному офісі повністю відповідає за створення 3D-контенту, тоді як команда в іншому - за розробку програмного коду, ще інша - за тестування. Такий підхід мінімізує щоденну координацію між віддаленими локаціями, адже кожна група працює відносно автономно над своєю частиною.

Перевага: зниження накладних витрат на комунікацію - різні часові пояси менш критичні, якщо залежностей мало.

Недолік: можливі "сілоси" знань - команди глибоко занурені у свої задачі, але слабо розуміють, що роблять інші, що ускладнює інтеграцію. Для успішності цього підходу потрібно передбачити чіткі інтерфейси між модулями і регулярні інтеграційні сесії, де результати роботи з'єднуються в єдину систему.

- Крос-функціональний розподіл (мікроскопічні задачі по всій команді). У цьому випадку задачі призначаються фахівцям незалежно від їх місця знаходження, виходячи лише з компетенцій і поточної завантаженості. Команда працює як єдине ціле над спільним беклогом: наприклад, 3D-художники з різних країн разом моделюють різні об'єкти зі спільного списку, розробники розподіляють між собою завдання з реалізації функцій. Такий

підхід близький до класичної Agile-команди, але в масштабах географічної розподіленості.

Перевага: гнучкість - можна оптимально використати навички кожного, прискорити виконання пріоритетних задач (декілька людей з різних локацій можуть одночасно працювати над різними аспектами однієї функціональності).

Недолік: дуже високі вимоги до координації - потрібні щоденні або навіть більш часті синхронізації, щоб всі були "на одній хвилі". Необхідно забезпечити сильну комунікаційну інфраструктуру (чати, відеодзвінки, трекери задач) та культуру прозорості, щоб ніхто не працював ізольовано. В distributed-середовищі такий підхід виправданий для відносно невеликих команд або під час інтенсивних спринтів, коли всі ресурси кинуті на одну пріоритетну ціль.

- Послідовний ("Follow-the-sun") підхід. Менш розповсюджений у розробці XR, але можливий підхід - організувати виконання задач послідовно між часовими поясами, щоб робота практично не припинялася цілодобово. Наприклад, європейська команда закінчує робочий день, передаючи естафету американській, а та - азійській, і так по колу. У такому режимі можна швидко просуватися у проектах з жорсткими дедлайнами. Проте для успіху задачі мають бути чітко визначені і розбиті на такі частки, щоб їх можна було передавати без втрати контексту.

Проблема: у сфері XR/VR багато задач, як-от програмування нової фічі або моделювання сцени, також потребують безперервного занурення однієї команди, і часта передача може лише заважати. Тому "потоківий" підхід частіше застосовується для підзадач на кшталт тестування, сапорту користувачів або підготовки документації, коли одна команда може продовжити те, що інша залишила, не чекаючи наступного дня.

Підходи до розподілу задач у розподілених командах

Підхід	Характеристика	Умови застосування
Модульний (за локаціями)	Кожна локація відповідає за окремих модулів або компонент проекту. Мінімальні міжлокаційні залежності.	Ефективно, коли модулі чітко ізольовані і команди мають потрібну експертизу локально. Потребує планових інтеграційних етапів між модулями.
Крос-функціональний (єдина команда)	Задачі розподіляються за спеціалізацією, незалежно від географії. Висока інтеграція – всі працюють над спільним пулом задач.	Дієво для невеликих або дуже синхронізованих команд. Вимагає зрілої культури комунікацій, Agile-процесів та перекриття робочого часу для частих мітингів.
Follow-the-sun (послідовний)	Робота передається між часовими поясами, забезпечуючи безперервний прогрес 24/7.	Рідко використовується для розробки функціоналу, більше – для підтримки чи тестування. Потребує докладної документації та чітких процедур передачі змін.

З наведеної таблиці видно, що універсального рішення не існує - менеджеру проекту слід адаптувати підхід розподілу задач під конкретний контекст. В одному XR/VR-проекті доцільно виокремити автономні напрямки і доручити їх різним центрам розвитку (модульний підхід), а в іншому - інтегрувати зусилля фахівців з різних кінців світу над одними й тими ж функціями (крос-функціональний підхід). Важливо при цьому врахувати і людський фактор: часові пояси визначають доступні вікна для живого спілкування; культурні відмінності можуть впливати на стиль роботи і сприйняття задач. Тому, окрім формального планування, керівник розподіленого XR/VR-проекту має інвестувати час у встановлення довіри в команді, чітке донесення візії та очікувань до всіх учасників, незалежно від їхнього місця знаходження.

2.5 Постановка метрик оцінки ефективності системи (KPI, ROI, CSAT, Productivity Rate)

Оцінка ефективності за KPI. Щоб оцінити, наскільки запропонована XR-система потенційно підвищить ефективність управління командою, визначено ключові показники ефективності (KPI) та очікувані результати.

Основні KPI для даного випадку: продуктивність команди, залученість співробітників, ROI та CSAT. На концептуальному етапі оцінка має прогностичний характер і спирається на дані попередніх досліджень та аналогій. У таблиці 2.8 наведено KPI, методи їх вимірювання та цільові орієнтири, закладені в концепт-проект.

Таблиця 2.8

KPI концептуальної XR-системи та прогнозована ефективність

KPI	Метрика та метод вимірювання	Базове значення	Цільовий показник (прогноз)
Продуктивність	Швидкість виконання завдань командою (velocity), кількість виконаних тасків за спринт.	100% (звичайна віддалена робота, без XR)	+10–15% вище базового після впровадження XR
Залученість	Час активної участі в командних обговореннях, відсоток присутності на зустрічах, частота взаємодії у системі.	Помірна (не всі активно беруть участь в відеодзвінках)	Значне зростання (напр., на 50–75% підвищення активності; зменшення випадків «відключення» учасників)
ROI (рентабельність)	Співвідношення отриманої вигоди до витрат: економія на відрядженнях, оренді офісу тощо порівняно з витратами на XR.	Н/д (традиційні інструменти генерують витрати на відрядження)	Позитивний ROI ~50% через 2 роки (за рахунок скорочення 50% поїздок); окупність інвестицій у VR-обладнання ~12 міс.
CSAT (задоволеність)	Оцінка задоволеності користувачів системою (опитування, шкала 1–5 або % задоволених).	~70% (задоволеність існуючими інструментами середня)	>85–90% (значне підвищення завдяки ефекту присутності та кращій взаємодії)

Як показує аналіз у таблиці 2.8, очікується, що XR-система принесе відчутні покращення.

Продуктивність команди може зрости на 10-15%, що узгоджується з дослідженнями, де 75% компаній відзначили ~10% підвищення операційної ефективності після впровадження XR. Це пояснюється швидшим ухваленням рішень та кращою координацією у віртуальному середовищі.

Залученість співробітників повинна зрости ще більш суттєво: завдяки імерсивності VR працівники більш зосереджені та активно беруть участь в обговореннях, що підтверджується даними про підвищення залученості до 75% при використанні VR-технологій. Ефект "присутності" і гейміфікація взаємодії стимулюють учасників бути активнішими, ніж на звичайних відеоколах.

В аспекті ROI, хоча початкові витрати на обладнання та розробку значні, прогнозована економія коштів на відрядженнях і утриманні офісів може вже за перший рік покрити інвестиції. Наведені розрахунки показують, що заміна навіть половини очних квартальних зустрічей на VR-аналог дає близько 50% ROI за два роки [8]. Крім того, XR-платформа дозволяє компанії залучати таланти по всьому світу без витрат на релокацію, що додатково підвищує віддачу.

Останній показник - CSAT (Customer Satisfaction, тут мається на увазі задоволеність користувачів-сотрудників). Очікується, що задоволеність робочими умовами та інструментами помітно зросте, адже XR здатен зробити щоденну роботу цікавішою та комфортнішою. Досвід впровадження імерсивних технологій показує ~30% зростання показників задоволеності персоналу, отже ціль у 85-90% задоволених користувачів видається досяжною. Високий CSAT означатиме кращий моральний стан команди та менший опір нововведенням. Таким чином, за KPI-концепція обіцяє підвищення продуктивності і якості командної роботи, що обґрунтовує перехід до практичної реалізації системи.

2.6 Аналіз ринку та конкурентного середовища у сфері XR/VR-платформ для командної взаємодії

Для побудови ефективної XR-системи управління розподіленими командами важливо врахувати ринковий контекст та ландшафт актуальних платформ, які вже використовуються у сфері віртуальної колаборації. Протягом останніх років у Європі та Північній Америці активно розвиваються рішення, які дозволяють бізнесу, освітнім установам і віддаленим командам взаємодіяти у віртуальному середовищі. Серед найбільш помітних рішень - Horizon Workrooms (Meta), Gather.town, Zoom VR, Spatial, Microsoft Mesh, Virbela тощо.

Кожна з платформ має власну нішу, рівень імерсивності, технічну базу та модель монетизації. Наприклад, Horizon Workrooms від Meta пропонує високий ступінь занурення за допомогою VR-шоломів, але потребує спеціалізованого обладнання. Gather.town, навпаки, є браузерним рішенням з 2D-графікою, що забезпечує простоту використання, але поступається за глибиною взаємодії. Zoom VR адаптує знайомий інтерфейс під віртуальні ефекти, однак не надає повного XR-досвіду.

Для кращого розуміння ринку доцільно порівняти функціональні та бізнесові характеристики провідних рішень із запропонованою у межах цього дослідження концепцією XR-платформи управління командами.

Для доповнення оцінки нижче подано SWOT-аналіз, який демонструє сильні та слабкі сторони провідних рішень.

Таблиця 2.9

Порівняльна характеристика провідних XR/VR-платформ для командної взаємодії

Платформа	Регіон	Формат	Основна мета застосування	Платформа	Монетизація	Сильні сторони	Обмеження
Gather.town	США / ЄС	2D-браузерна	Гейміфікована взаємодія	Web	Freemium + \$/user/month	Доступність, простота, креативність	Низький рівень XR-занурення
Spatial	США / Канада	VR/AR-реалізм	Дизайн, NFT, спільна творчість	Quest, WebXR	Безкоштовно / NFT-комісії	Якість візуалізації, модульність	Високі техвимоги, не B2B-фокус
Virbela	США	VR-корпоративний	Освіта, компанії	Desktop / Web	SaaS + кастомізація	Масштабованість, віртуальні кампуси	Обмежена гнучкість інтерфейсу
Horizon Workrooms	США	VR	Бізнес-наради, присутність	Meta Quest	Інтеграція в Meta-екосистему	Високий рівень занурення, аватари	Закритість, висока вартість входу
Розроблювана система	Україна	WebXR → VR	Управління IT-командами	WebXR, Unity	Pre-MVP / планована B2B	Інтеграція задач, KPI, кастомізований UX	У процесі реалізації, обмежена база користувачів

Таблиця 2.10

SWOT-аналіз популярних XR/VR-платформ для колаборації

Платформа	Сильні сторони (Strengths)	Слабкі сторони (Weaknesses)	Можливості (Opportunities)	Загрози (Threats)
Horizon Workrooms	Повне VR-занурення, підтримка аватарів, Meta Quest	Висока вартість входу, потреба в обладнанні	Масштабування для бізнесу, навчання у VR	Залежність від Meta- екосистеми, конкуренція з Mesh
Gather	Простота, браузерність, легка кастомізація	Відсутність XR, виглядає «несерйозно»	Освітні кейси, гейміфікація, віддалені воркшопи	Вузька спеціалізація, ризик низької залученості
Zoom (з VR- опціями)	Масове впровадження, простий інтерфейс	Обмежений XR- функціонал, відсутність занурення	Поступове впровадження MR, збереження звичного UX	Технічне застарівання, відтік інноваційних клієнтів

З урахуванням наведених даних, можна стверджувати, що запропоноване рішення займає перехідну позицію між простими WebXR-платформами та повноцінними VR-середовищами, орієнтованими на великі корпорації. Його перевагою є гнучкість і кастомізація під потреби IT-команд, а також потенціал поступового масштабування від базового MVP до складнішого XR-інтерфейсу. Це відкриває шлях до впровадження в українських IT-компаніях, які не мають ресурсу для впровадження дорогих рішень на зразок Horizon чи Virbela, але потребують ефективного інструменту координації в децентралізованих умовах.

2.7 PEST-аналіз зовнішнього середовища для впровадження XR-системи

Для обґрунтування доцільності реалізації XR-системи управління розподіленими командами здійснено PEST-аналіз зовнішніх факторів, які можуть впливати на успіх проекту на стратегічному рівні. Аналіз охоплює політичні, економічні, соціальні та технологічні чинники, які формують середовище впровадження інноваційних цифрових рішень у сфері дистанційної взаємодії.

PEST-аналіз демонструє, що проєкт реалізується в умовах сприятливого зовнішнього середовища, особливо з боку технологічних і соціальних трендів. Економічні вигоди, такі як скорочення витрат на офісну інфраструктуру, а також зростаючий інтерес до XR-рішень з боку бізнесу та держави, створюють умови для масштабування. Водночас, слід враховувати ризики регуляторного характеру (захист даних) та можливу інерцію адаптації нових форматів в окремих командах, що потребує стратегії поступового впровадження з навчанням користувачів.

PEST-аналіз

Категорія	Фактори
Р – Політичні	<ul style="list-style-type: none"> • Підтримка цифрової трансформації державними та європейськими програмами (зокрема, «Цифрова Україна», Horizon Europe). • Регулювання у сфері персональних даних (GDPR, законодавство про кібербезпеку). • Потенційна державна зацікавленість у технологіях для держслужб/освіти у VR.
Е – Економічні	<ul style="list-style-type: none"> • Зростаючий ринок XR-технологій у світі та в регіоні СЕЕ • Попит на оптимізацію витрат компаній через скорочення витрат на офіси і відрядження.\ • Наявність open-source інструментів знижує бар'єр входу, але наявна конкуренція з боку великих корпорацій (Meta, Microsoft). • Залежність від макроекономічної стабільності (у часи кризи інноваційні інвестиції скорочуються).
S – Соціальні	<ul style="list-style-type: none"> • Поширення культури дистанційної роботи і гнучких графіків у постпандемічну епоху. • Покоління Z і Y позитивно сприймають імерсивні формати, схильні до швидкого прийняття технологій. • Водночас частина співробітників має низьку цифрову грамотність або не готова до VR (кіберхвороба, відчуття ізоляції).
Т – Технологічні	<ul style="list-style-type: none"> • Стрімкий розвиток XR/VR/AR-пристроїв (зростання потужності, зменшення ціни). • Наявність WebXR як платформи для швидкого входу без обладнання. • Інтеграція з AI, IoT, блокчейн-технологіями – тренд на ускладнення цифрового середовища. • Загроза кібербезпеки в XR-просторах: необхідність створення надійної архітектури та контролю доступу.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА ІННОВАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ РОЗПОДІЛЕНИМИ КОМАНДАМИ

3.1 Опис проєкту: місія, цілі, стейкхолдери, очікувані результати

Розробка інноваційної системи для координації роботи розподілених ІТ-команд передбачає побудову цифрового середовища нового покоління, яке інтегрує XR/VR/AR-технології, методології гнучкого управління, хмарні рішення і сучасні інструменти взаємодії.

В основі концепції - створення просторово інтерактивного метавсесвітнього простору, що дозволяє користувачам не лише координувати проєкти, а й комунікувати, навчатися, ухвалювати рішення та здійснювати оперативне управління в умовах повної географічної децентралізації.

3.1.1 Визначення місії та стратегічних цілей системи координації

Місія розроблюваної системи – забезпечити ефективну, інтуїтивно зрозумілу, гнучку та масштабовану цифрову інфраструктуру для управління проєктами в умовах розподілених команд, яка за допомогою XR/VR/AR-технологій дозволить подолати бар'єри відстані, часових зон і обмеженого каналу комунікації.

Серед стратегічних цілей системи:

- Створення тривимірного середовища з імерсивною взаємодією для проєктних груп;
- Інтеграція з популярними системами управління (Jira, Slack, GitHub);
- Підтримка спільної роботи в реальному часі через аватари та віртуальні офіси;
- Підвищення продуктивності розподілених команд через візуалізацію задач (канбан, беклог, діаграми);

- Забезпечення можливостей для тренінгів, стратегічного планування та моніторингу КРІ;
- Підтримка масштабованості – від невеликих команд до корпорацій із тисячами учасників;
- Підвищення мотивації та зниження рівня професійного вигорання через емоційно насичене середовище.

Таким чином, система не лише вирішує функціональні завдання управління, а й створює інноваційне середовище присутності, яке робить розподілену роботу не менш ефективною, ніж традиційну офісну взаємодію.

3.1.2 Аналіз ключових стейкхолдерів проєкту

Проєкт передбачає залучення широкого спектра стейкхолдерів, кожен з яких відіграє специфічну роль у формуванні, розробці та експлуатації системи координації. Визначення стейкхолдерів є важливою передумовою ефективного управління очікуваннями та ресурсами. Усі стейкхолдери умовно поділяються на внутрішніх (безпосередньо залучені до проєкту в межах організації) та зовнішніх (пов'язані з використанням або фінансуванням системи).

Нижче представлено узагальнену матрицю стейкхолдерів із зазначенням категорії, ролі, інтересів, рівня впливу та типу взаємодії (табл. 3.1).

Продовження таблиці 3.1 надано у додатку.

Таблиця 3.1

Фрагмент ключових стейкхолдерів XR-системи та їх очікування

Категорія	Стейкхолдер	Роль у проєкті	Інтереси / очікування	Вплив	Залучення
Внутрішній	Project Managers	Планування, управління командами, контроль якості	Інтеграція з Jira, прозорий моніторинг, імерсивна координація	Високий: приймає рішення щодо функціоналу, бюджету, або впровадження XR-рішень у компанії.	Регулярна участь у стратегічних нарадах, погодження дорожньої карти, прийняття ключових рішень
	Team Members	Розробка, дизайн, UX, тестування	Комфорт UX, стабільність, колаборація в XR-просторі	Високий: формує запити на функціональність, напряду впливає на зручність системи.	Постійний зворотний зв'язок через UX-опитування, тестування інтерфейсів, участь у фокус-групах
	IT / DevOps	Розгортання, інфраструктура, безпека	Масштабованість, автоматизація, інтеграція, захист даних	Високий: відповідає за технічну реалізацію платформи, безпеку, інтеграцію з інфраструктурою.	Співпраця на етапі технічного проєктування, перевірка архітектури, участь у тестуванні безпеки

Структура стейкхолдерів представлена у вигляді класифікованої схеми із візуалізацією рівнів впливу та ключових каналів взаємодії. Внутрішні учасники (керівники, розробники, аналітики) формують операційне ядро системи координації, тоді як зовнішні (інвестори, клієнти, партнери) задають стратегічні орієнтири, фінансування та ринкові очікування.

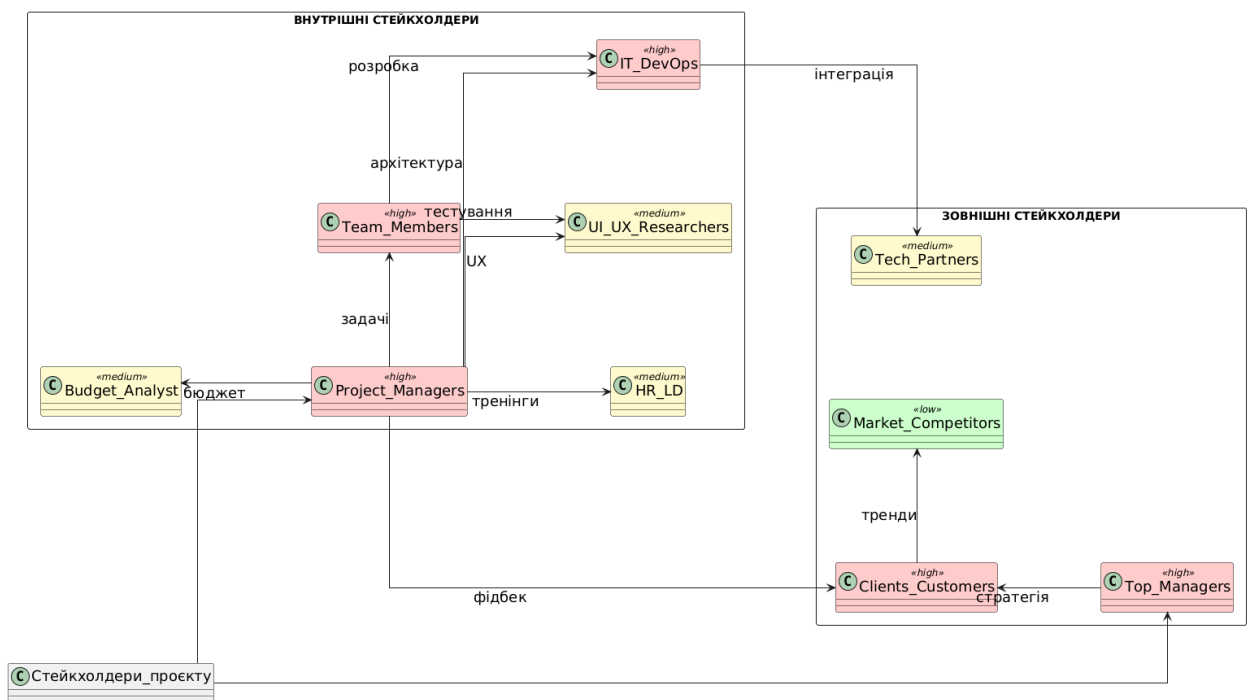


Рис. 3.1. Блок-схема стейкхолдерів XR-проекту

Рівень впливу стейкхолдерів диференціюється кольором:

- червоний – високий (стратегічне ухвалення рішень),
- жовтий – середній (функціональний та навчальний вплив),
- зелений – низький (непряма ринкова взаємодія).

Така візуалізація дозволяє чітко ідентифікувати ролі та забезпечити ефективне управління очікуваннями, комунікаціями та ризиками на всіх етапах реалізації проекту.

3.1.3 Паспорт проєкту

У межах цього дослідження сформовано структурований паспорт проєкту, що відповідає типовим вимогам до управління ІТ-проєктами в галузі цифрових технологій. Паспорт містить базову інформацію про ключові атрибути системи: мету, складові, зацікавлені сторони, методології реалізації, часові рамки, ризики, а також критерії успішності. Це дозволяє формалізувати проєкт у контексті його реалізації як інноваційного цифрового продукту та забезпечує узгодженість між теоретичним обґрунтуванням і практичними кроками реалізації.

Така структуризація особливо важлива при роботі з мультидисциплінарними та розподіленими командами, де визначення меж і параметрів проєкту знижує рівень невизначеності, сприяє комунікації між учасниками та полегшує контроль над результатами.

Таблиця 3.2

Паспорт проєкту “Інноваційна XR-система управління розподіленими командами”

Розділ	Зміст
Назва та мета проєкту	Інноваційна XR-система управління розподіленими командами для покращеної візуальної колаборації та комунікації команд, які працюють віддалено.
Замовник	Зовнішній корпоративний клієнт, який зацікавлений у підвищенні продуктивності віддалених команд, масштабованості рішення та оцінці повної вартості володіння (ТСО).
Цілі проєкту	<ul style="list-style-type: none">- Розробити прототип гібридної XR-платформи для інтерактивного співробітництва віддалених команд.- Забезпечити масштабованість рішення та проаналізувати повну вартість володіння (ТСО).- Підготувати MVP-прототип для захисту проєкту.

Команда проекту	<ul style="list-style-type: none"> - Проектний менеджер (PM) – загальне управління проектом. - UI/UX-дизайнер – розробка зручних XR/веб-інтерфейсів. - DevOps-інженер – налаштування хмарної інфраструктури та CI/CD-процесів. - 3D-дизайнер – створення 3D-моделей середовища та об’єктів. - Frontend-розробник – реалізація WebXR-клієнта у браузері. - Backend-розробник – серверна логіка, API та база даних. - Аналітик – збір вимог і проектування системи (включення аналітика відповідає рекомендаціям галузі для VR/AR-проектів). - Тестувальник (QA) – перевірка функціональності та забезпечення якості.
-----------------	---

Продовження таблиці 3.2 надано у додатку.

3.1.4 Бізнес-модель концепції (Business Model Canvas)

У межах проекту запропоновано бізнес-модель за шаблоном Business Model Canvas (BMC), яка дозволяє описати ключові компоненти комерціалізації XR-платформи для управління розподіленими командами. Система розглядається як потенційний SaaS-продукт, орієнтований на ринок B2B-рішень для IT-компаній, що працюють дистанційно або у гібридному форматі.

Таблиця 3.3

Бізнес-модель концепції XR-системи управління (Business Model Canvas)

Компонент	Зміст (у контексті проекту XR-системи управління)
Ціннісна пропозиція	Імерсивна платформа для віртуальної співпраці розподілених команд з ефектом присутності; альтернатива Zoom/Teams для складних проектів
Цільова аудиторія	IT-компанії, дистрибуційні команди, консалтингові агентства, які працюють повністю або частково дистанційно

Канали дистрибуції	B2B-продаж напряду; партнерські мережі VR-інтеграторів; публікація на корпоративних маркетплейсах
Взаємовідносини з клієнтами	Технічна підтримка, персоналізовані демонстрації MVP, супровід користувачів, комунікація через цифрові канали
Джерела доходу	Підписка (SaaS B2B), корпоративне ліцензування, white-label рішення для інтеграторів, консалтинг з кастомізації
Ключові ресурси	Команда: XR-розробники, UI/UX-дизайнери, DevOps, підтримка; інфраструктура: Unity/WebXR, сервери, авторизація
Ключові види діяльності	Прототипування, техпідтримка, оновлення системи, інтеграція з API, адаптація під сценарії замовника
Ключові партнери	Виробники XR-гарнітур, хмарні провайдери (AWS, Azure), освітні організації, системні інтегратори
Структура витрат	Розробка MVP, оплата праці команди, серверний хостинг, тестування, адаптація під VR-пристрої, підтримка користувачів

На момент створення концепції проєкт перебуває на етапі pre-MVP / pre-revenue. Основна увага зосереджена на валідації гіпотез, створенні мінімального функціонального прототипу та отриманні первинного зворотного зв'язку. Після цього передбачається перехід до стадії пілотного впровадження в комерційному середовищі з подальшою розробкою стратегії масштабування і монетизації

3.1.4.1 BPMN-аналіз проєкту XR-системи координації команд

BPMN (Business Process Model and Notation) є стандартом для моделювання бізнес-процесів, який дозволяє формалізовано відобразити ключові дії, послідовності, ролі учасників і точки прийняття рішень. У контексті розробки й реалізації XR-системи для координації розподілених команд у сфері IT-проєктів BPMN-модель дозволяє візуалізувати основний робочий процес проєкту – від формування завдання до завершення ітерації або MVP-функціоналу.

У даному випадку BPMN-аналіз проєкту охоплює чотири ключові учасники процесу:

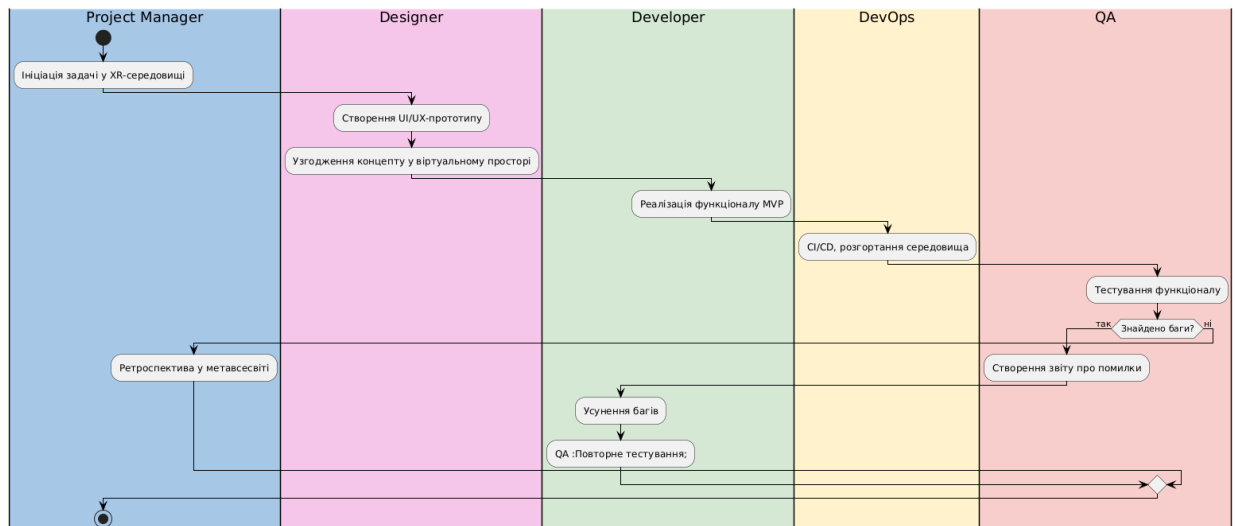


Рис. 3.2. BPMN-діаграма основного робочого процесу у XR-системі управління командами

Основний процес починається з ініціації завдання РМ на XR-платформі, де відбувається його обговорення командою. Після затвердження завдання UI/UX дизайнер створює візуальну концепцію, яка погоджується із замовником у віртуальному просторі. Після схвалення дизайнер передає макети розробникам, які реалізують відповідний функціонал. DevOps-інженер забезпечує CI/CD-пайплайн, розгортання середовищ і технічну інтеграцію.

Після розгортання QA-фахівець проводить багтрекінг, створює звіти про помилки, які повертаються до відповідальних розробників. Після кожної ітерації РМ проводить мітинг у XR-середовищі, де з командою аналізується прогрес, коригуються пріоритети й оновлюється беклог.

Таким чином, BPMN-процес включає як синхронну, так і асинхронну, що є критичним для розподіленого середовища.

3.1.4.2 Порівняльний аналіз BMC-конкуrentів у сфері XR-платформ

Для глибокого розуміння унікальності запропонованої XR-системи управління розподіленими командами було проведено порівняльний аналіз із наявними конкурентами на ринку – такими як AltspaceVR, Spatial та Gather – за методикою Business Model Canvas (BMC). У таблиці нижче представлено ключові компоненти BMC та їх реалізацію в різних платформах. Продовження таблиці 3.4 наведено у додатку.

Таблиця 3.4

Порівняльна таблиця Business Model Canvas

Компонент BMC	XR-система	AltspaceVR	Spatial	Gather
Ціннісна пропозиція	Імерсивна платформа для управління ІТ-командами (завдання, ретроспективи, KPI, CI/CD інтеграція)	Віртуальні івенти, спільнота та комунікація в 3D-середовищі	Віртуальні простори для творчих сесій, дизайн, колаборація	2D-ретро середовище для командної взаємодії та зустрічей
Ключові споживачі	Розподілені ІТ-команди, менеджери проєктів, компанії з віддаленою структурою	Івент-організатори, ентузіасти метавсесвітів	Команди дизайнерів, підприємці, креативні агенції	Startups, невеликі компанії, навчальні заклади
Канали збуту	SaaS-доступ через WebXR/Unity, white-label B2B	Завантаження, ком'юніті, VR-магазини	SaaS-онлайн, VR-апарати, маркетинг через інфлюенсерів	SaaS-доступ через браузер

Продовження таблиці 3.4 надано у додатку

Як показує порівняння, запропонована модель XR-системи поєднує переваги комунікаційних платформ (як Gather) із управлінським функціоналом (KPI, задачі), що відсутній у Spatial та AltspaceVR. Саме це

дозволяє позиціонувати проєкт як комплексне рішення для повного циклу роботи розподілених команд.

3.2 Архітектура XR/VR-систем для розподілених команд

Сучасні XR/VR-платформи для командної співпраці будуються за багаторівневим принципом, зазвичай використовуючи мікросервісний підхід. На клієнтському рівні - користувацькі застосунки та десктопні/мобільні інтерфейси. На серверному боці - хмарна інфраструктура, що складається з окремих сервісів: служба аутентифікації, служба управління сесіями, медіасервер реального часу, база даних для збереження даних користувачів і контенту тощо [8].

Мікросервісна логіка означає, що кожен компонент виконує ізольовану функцію та взаємодіє з іншими через API. Такий підхід підвищує масштабованість і спрощує оновлення окремих модулів без зупинки всієї системи.

Загальна система складається з трьох рівнів:

- Клієнтський рівень: WebXR/WebRTC-клієнт, користувацький застосунок, XR-інтерфейс з підтримкою жестів, аватарів, контролерів.
- Серверний рівень (мікросервіси): окремі компоненти, відповідальні за автентифікацію, управління сесіями, обробку мультимедійного трафіку, авторизацію, логування.
- Сховища та бази даних: централізоване зберігання XR-сесій, профілів користувачів, 3D-контенту, метаданих, відео/аудіо-файлів (CDN).

На рисунку 3.3 візуалізовано взаємозв'язки між компонентами системи.

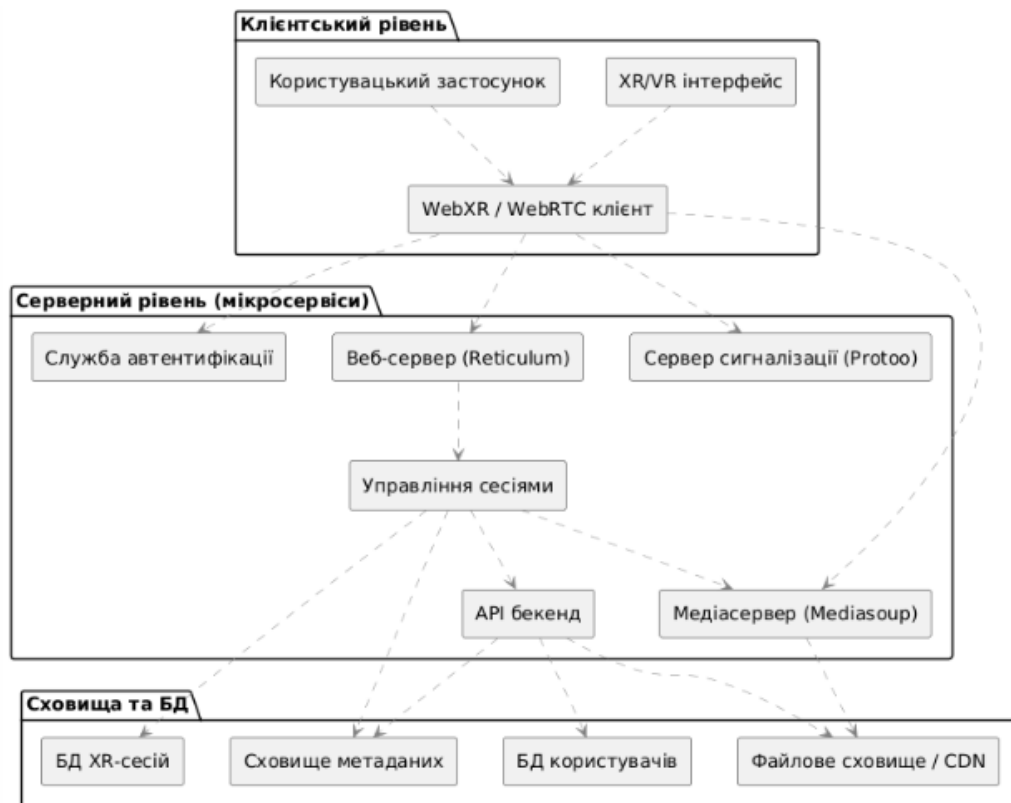


Рис.3.3. Взаємозв'язки між компонентами системи

3.2.1 Принцип роботи системи (логіка обробки запитів)

Архітектура сучасної XR/VR-системи, орієнтованої на розподілену взаємодію, побудована за принципом розділення на клієнтський, серверний і сховищний рівні. Клієнтська частина реалізована у вигляді XR/WebXR-застосунку, що працює через браузер або VR-гарнітуру. Основна взаємодія між користувачем і системою починається з ініціалізації запиту на приєднання до кімнати, який надсилається через клієнт до серверної частини.

Веб-сервер Reticulum приймає запит і повертає необхідні дані для сигналізації. Подальша синхронізація виконується за допомогою сервера Protoo, який відповідає за організацію WebRTC-з'єднання через WebSocket-протокол. Після встановлення каналу зв'язку починається мультимедійна взаємодія: передача аудіо- та відеопотоків у реальному часі забезпечується

сервером Mediasoup, який виконує роль SFU (Selective Forwarding Unit) - тобто ретранслює мультимедіа без додаткового перекодування.

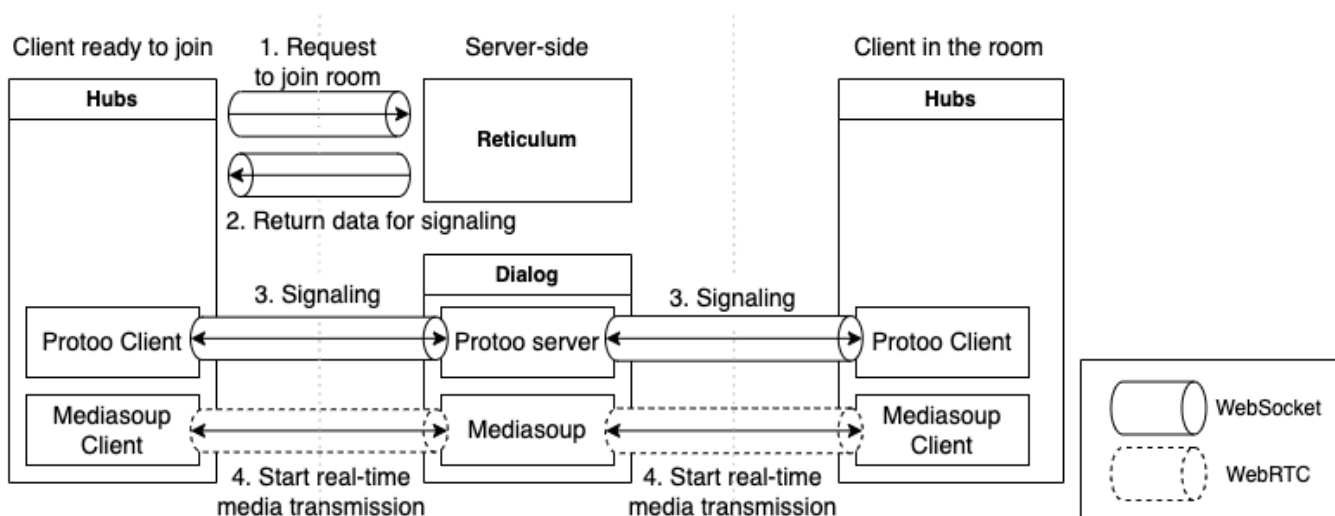


Рис. 3.5. Архітектура платформи Mozilla Hubs із використанням WebRTC-SFU (Selective Forwarding Unit) для мультимедійних потоків.

Джерело: Suzuki, M., Hirata, T., Shirahase, Y., Takahashi, S. (2022). "Open metaverse platform with distributed real-time audio delivery using WebRTC-SFU: Implementation of Mozilla Hubs and performance evaluation." *Journal of Information Processing*, Vol. 30, pp. 252–261. DOI: 10.2197/ipsjip.30.252

Цей механізм представлено на рисунку 3.5. Коли клієнт готовий приєднатися до кімнати, він ініціює запит до Reticulum, отримує дані для з'єднання, і далі сигналізує через Protoo. Одночасно Mediasoup активується на обох кінцях з'єднання та починає прямий обмін мультимедіа між учасниками. Усі ці дії відбуваються з мінімальною затримкою, що критично важливо для створення ефекту присутності.

3.2.2 Концептуальна модель XR-рішення

На основі аналізу існуючих архітектурних підходів, представлено концептуальну модель XR-системи для управління розподіленими командами. Модель розроблена з урахуванням ключових функціональних блоків,

необхідних для забезпечення інтерактивної співпраці в умовах віртуального простору.

У межах реалізації системи передбачається, що користувачі взаємодіють із тривимірним інтерфейсом через веббраузер або VR-гарнітуру. Для цього передбачено використання WebXR/WebRTC як основних технологічних рішень. З боку серверної частини працює мікросервісна структура, яка дозволяє масштабувати окремі компоненти незалежно та зберігати стійкість системи до навантаження.

Концептуальна модель охоплює такі основні модулі:

- *XR-інтерфейс користувача:* простір 3D-взаємодії, в якому користувач виконує дії за допомогою аватарів, жестів або курсору.
- *Служба автентифікації:* реєстрація, логін та рольове управління доступом.
- *Модуль управління сесіями:* створення/видалення віртуальних кімнат, облік учасників.
- *Модуль мультимедійної взаємодії:* голосовий/відео-зв'язок, WebRTC, spatial audio.
- *Блок даних та контенту:* база даних користувачів, станів сесій, 3D-об'єктів, метаданих.
- *Мікросервісний бекенд:* логіка синхронізації, API-запити, авторизація, логування.
- *Зовнішні сервіси:* сторонні інструменти, API для автентифікації (Google, GitHub) або інтеграції зі сторонніми системами керування проєктами

На рисунку 3.6 зображено фрагмент логіки взаємодії між цими компонентами. Продовження рисунку 3.6 наведено у додатку.

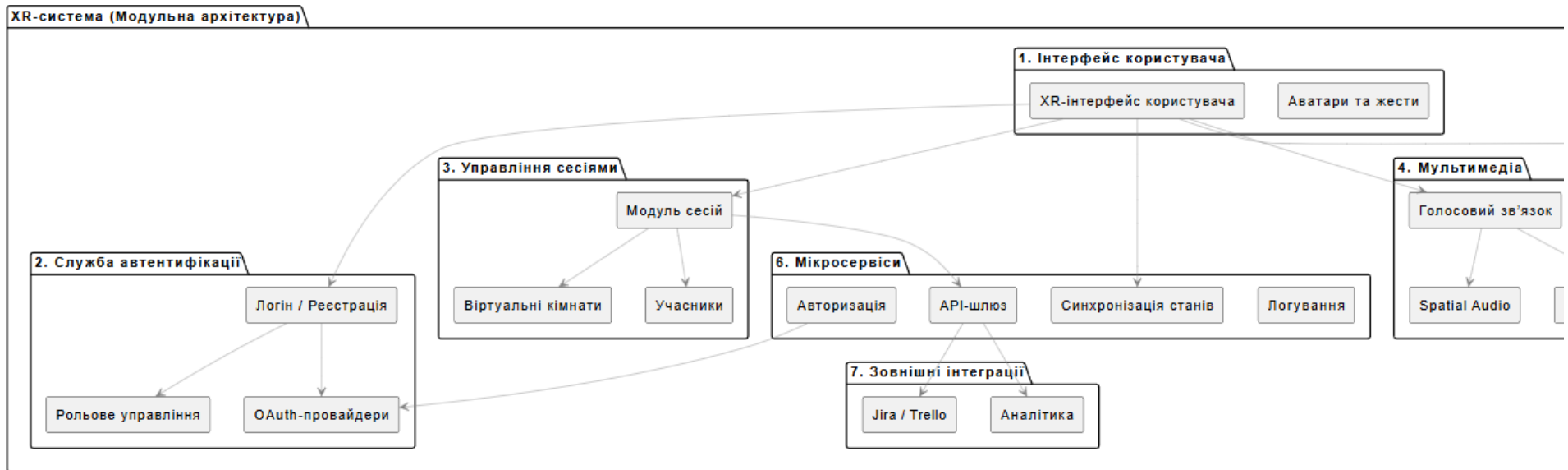


Рис.3.6. Фрагмент модульної архітектури

3.3 Розробка UX/UI інтерфейсу у VR-середовищах

Проектування інтерфейсів користувача для VR (та ширше XR) суттєво відрізняється від традиційних 2D-додатків. Потрібно враховувати просторову природу середовища, особливості людського сприйняття в шоломі і нові способи вводу - положенням голови, рук, контролерів та жестами.

Основні фактори UX/UI у VR: просторова навігація, відстеження рухів (трекінг) та жестове управління.

Просторова навігація. Переміщення користувача у віртуальному просторі повинно бути інтуїтивним і комфортним, щоб не викликати дезорієнтації чи кіберхвороби (симуляторної нудоти).

Найпоширеніший підхід - телепортація: користувач вказує контролером або поглядом точку на підлозі і миттєво "переміщується" туди, без безперервної анімації руху. Телепортація стала де-факто стандартом локомоції у VR, оскільки багато досліджень показали, що вона значно зменшує частоту виникнення симуляторної хвороби порівняно з плавним рухом аватара [9].

Тому деякі системи вводять компроміси - "швидке переміщення" з розмиттям або обмеження напрямку телепортації. Важливо надати користувачу зрозумілий індикатор точки призначення та можливість вибрати орієнтацію після телепорту. Альтернативні методи - масштабування сцени, ходьба на місці з трекінгом ніг, або використання фізичного простору, де невеликі переміщення користувача відтворюються один-в-один у VR.

В контексті розподіленої команди, навігація може обмежуватися конкретною кімнатою або ж дозволяти вільно ходити по віртуальному офісу. Проектувальники повинні вирішити, що важливіше для сценарію: зменшення вірогідності нудоти, чи повна свобода пересування для дослідження середовища.

Трекінг і інтеракція. VR-системи відстежують положення голови користувача (HMD) та контролерів. Відстеження (tracking) забезпечує правильне відображення огляду сцени: куди поверне голову користувач - туди

переміщується і камера віртуального світу. Сучасні гарнітури використовують інсайд-аут трекінг (вбудовані камери), що дозволяє без зовнішніх датчиків визначати 6 ступенів свободи (6DoF) положення голови і контролерів у просторі. Це робить можливим природну взаємодію: нахилившись або обійшовши об'єкт, користувач бачить його під іншим кутом, як у реальності.

Для розподілених команд важливо, що трекінг передає позу аватара кожного учасника іншим - тим самим жестика, міміка стають частиною невербальної комунікації.

Наприклад, у Horizon Workrooms гарнітура Quest 2 відстежує положення рук і пальців користувача за допомогою камер. Система інтерпретує ці дані та відображає руки аватара у відповідних положеннях [10]. Це створює ефект присутності: колеги бачать коли ви жестикулюєте або піднімаєте руку.

Жестове управління - логічне продовження трекінгу рук: у середовищах, що підтримують контролери або прямий Hand Tracking, користувач може виконувати дії через природні жести. Дизайн UX повинен забезпечити, щоб такі взаємодії були інтуїтивними. За рекомендаціями фахівців з VR-дизайну, слід максимально використовувати прямі маніпуляції об'єктами замість абстрактних жестів [11].

У прототипах від Ultraleap, що спеціалізується на hand-tracking, рекомендується робити всі UI-елементи "тактильними" та зрозумілими на вигляд - наприклад, ручки, що випирають з віртуальних панелей для їх пересування, рельєфні кнопки тощо [12]. Водночас, не можна перевантажувати користувача надмірною фізичною взаємодією - інтерфейс має бути ергономічним.

Доцільно надавати можливість пересувати UI-панелі під свій зріст чи позу [13].

У підсумку, UI/UX у VR для розподіленої роботи має бути просторово організованим, інтуїтивним щодо реальних дій і комфортним. Проектувальники спираються на принципи: *"принеси знайоме в нове"* – моделювати віртуальні інструменти на основі реальних речей, щоб команді

було легше адаптуватись; *мінімізуї навантаження* - фізичного та когнітивного.

Тестуй на різних людях - люди різного зросту, зору, домінантної руки можуть інакше сприймати інтерфейс, тому враховують [14]. Правильно спроектований VR-інтерфейс дозволить розподіленій команді відчувати себе так, ніби вони спільно знаходяться в одній кімнаті, і ефективно взаємодіяти з інструментами та один з одним.

3.4 Логічна і концептуальна модель БД

Концептуальна модель бази даних XR-системи відображає логічну структуру зберігання, обробки та інтеграції даних у межах віртуального середовища для управління розподіленими командами. Система реалізована з використанням мікросервісної архітектури, що дозволяє масштабувати окремі компоненти, забезпечуючи стійкість до навантажень та гнучкість у розгортанні.

Модель побудована навколо центрального елемента - XR-інтерфейсу користувача, який є точкою входу у взаємодію з системою. Саме цей інтерфейс ініціює більшість запитів до підсистем: мультимедійної взаємодії, бази даних, управління сесіями, а також API-запитів до бекенду.

Основні логічні блоки моделі:

1. Користувачі системи

- Зберігає інформацію про користувачів: профілі, активність, історію входів, географічні сесії.
- Містить підсистему аватарів і жестової взаємодії, яка дозволяє персоналізувати XR-досвід за допомогою візуальних та тілесних елементів.
- Є базовим об'єктом авторизації, пов'язаним з рольовою політикою доступу.

2. Автентифікація та безпека

- Реалізує вхід до системи, логін/реєстрацію та OAuth-інтеграцію з зовнішніми сервісами (Google, GitHub).
- Підтримує рольове управління доступом до функціоналу (наприклад, адміністратор, розробник, гість).
- Дані про автентифікацію зберігаються у вигляді зашифрованих токенів з метаданими.

3. XR-інтерфейс і управління сесіями

- Дозволяє створювати віртуальні кімнати, координувати склад учасників сесій та контролювати їхню активність у режимі реального часу.
- Користувачі через інтерфейс можуть ініціювати сесії, приєднуватися до віртуальних просторів, обмінюватись жестами та контентом.
- Модель сесій передбачає зберігання станів, часових міток та логів взаємодій.

4. Мультимедійна взаємодія

- Інтегрує WebRTC для відеозв'язку та spatial audio для передачі просторового звуку.
- Служба мультимедіа зберігає параметри з'єднання, канали комунікації та історію звернень.
- Підтримується відображення звукових потоків у залежності від позиції користувачів у VR-просторі.

5. Контент і дані

- Містить сутності: 3D-об'єкти, сцени, стан XR-сесій, метадані, прив'язані до сценаріїв навчання чи спільної роботи.
- Підтримується фіксація взаємодій із контентом: перегляд, переміщення, активація, а також аналітика дій.
- Контент є ключовим джерелом для формування віртуального середовища і персоналізації досвіду.

6. Мікросервісний бекенд

- Забезпечує обробку API-запитів, синхронізацію станів, авторизацію транзакцій та логування дій.
- Включає механізми захисту, маршрутизації запитів, підключення до аналітичних інструментів.
- Інтегрується з зовнішніми таск-менеджерами (Jira, Trello), дозволяючи проєктній команді XR-системи взаємодіяти з реальними робочими процесами та задачами.

Логічна модель бази даних XR-системи визначає структуру зберігання та взаємозв'язки інформації, яка обслуговує управління користувачами, віртуальними сесіями, мультимедіа, контентом, а також взаємодію з зовнішніми сервісами. Ця модель базується на попередньо побудованій концептуальній моделі (див. 3.6) і розроблена відповідно до принципів нормалізації та реляційного моделювання.

Модель не залежить від конкретної СУБД і дозволяє адаптуватися до PostgreSQL, MySQL, MongoDB чи інших платформ. Кожна сутність трансформується у таблицю бази даних з чітко визначеними первинними та зовнішніми ключами.

Продовження рисунку 3.7 вказано у додатку.

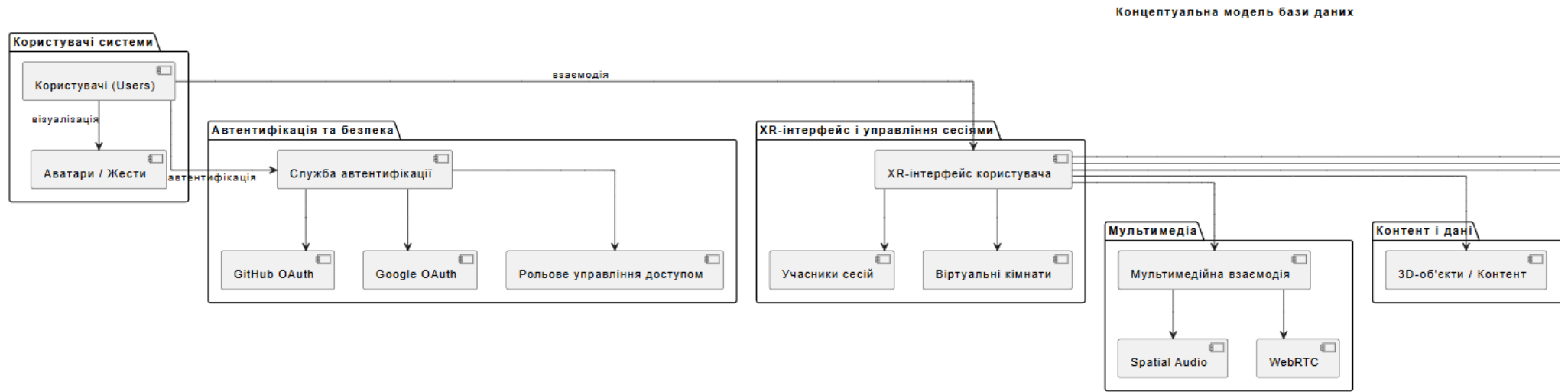


Рис. 3.7. Фрагмент концептуальної моделі БД

Логічна модель бази даних XR-системи

Сутність	Атрибути
User (Користувач)	user_id (PK), username, email, role_id (FK), avatar_config, registration_date
Role (Роль)	role_id (PK), role_name, permissions
Session (XR-сесія)	session_id (PK), room_id (FK), status, created_at, updated_at
Room (Віртуальна кімната)	room_id (PK), room_name, creator_id (FK), capacity, is_public
SessionParticipant (Учасник сесії)	session_id (FK), user_id (FK), joined_at, left_at, active
MediaInteraction (Мультимедійна взаємодія)	media_id (PK), session_id (FK), type (voice/video), start_time, end_time, connection_status
WebRTCConfig	rtc_id (PK), media_id (FK), ice_servers, connection_id
SpatialAudioConfig	audio_id (PK), media_id (FK), spatial_coordinates, volume, latency
ContentObject (3D-об'єкт)	object_id (PK), session_id (FK), name, type, position, rotation, scale, metadata
SessionState	state_id (PK), session_id (FK), timestamp, description, modified_by
MetadataEntry	metadata_id (PK), object_id (FK), key, value
AuthProvider (OAuth сервіси)	provider_id (PK), user_id (FK), provider_name, token, linked_at
APIRequest	request_id (PK), user_id (FK), endpoint, method, timestamp, response_time, status_code
LogEntry	log_id (PK), request_id (FK), severity, message, created_at
Integration (Інтеграція з Jira/Trello)	integration_id (PK), tool_name, linked_project, linked_user, api_key, active

Взаємозв'язки між сутностями:

- User – Role: один-до-багатьох (кожен користувач має одну роль, роль може належати багатьом користувачам).
- User – SessionParticipant: один-до-багатьох (один користувач може бути учасником багатьох сесій).
- Room – Session: один-до-багатьох.

- Session – SessionParticipant, ContentObject, MediaInteraction, SessionState: один-до-багатьох.
- MediaInteraction – WebRTCConfig / SpatialAudioConfig: один-до-одного або один-до-багатьох (залежно від типу медіа).
- ContentObject – MetadataEntry: один-до-багатьох.
- User – AuthProvider / APIRequest / LogEntry: один-до-багатьох.
- APIRequest – LogEntry: один-до-багатьох.

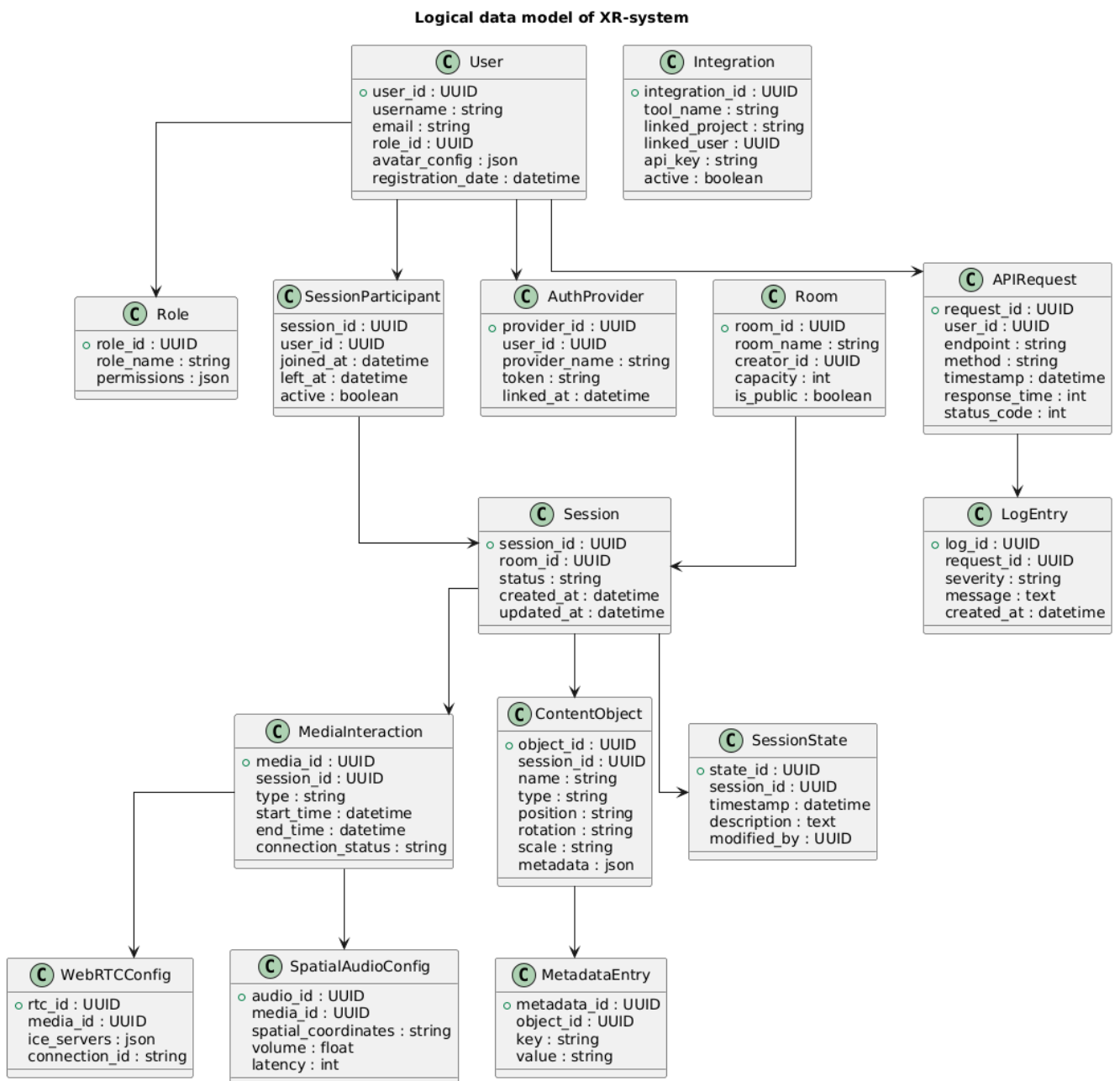


Рис. 3.8. Логічна модель бази даних XR-системи 1

3.5 Побудова математичної моделі координації у віртуальному просторі

Успішна реалізація проєкту в умовах XR/VR середовища потребує не лише технологічної платформи, а й ефективної організації командної взаємодії. Для цього необхідно математично описати основні компоненти координації роботи, включаючи планування, комунікацію, взаємозалежність завдань та адаптивність до змін. Математична модель дає змогу формалізувати динаміку проєктної взаємодії та знайти оптимальні параметри розподілу навантаження, синхронізації дій та виявлення "вузьких місць".

3.5.1 Створення математичної моделі для оптимізації роботи розподілених команд

В основі моделювання координації в XR-просторі лежить уявлення про команду як про мультиагентну систему. Кожен учасник виконує визначену підмножину завдань у спільному середовищі та взаємодіє з іншими через інтерфейси платформи. Завдання подаються у вигляді вузлів орієнтованого графа, а взаємозалежності й обмін інформацією - як ребра з відповідною вагою. Це дозволяє описати як послідовні, так і паралельні сценарії виконання робіт.

Ключовими параметрами моделі є: індивідуальна продуктивність агентів (η_j), час виконання задач (t_i), рівень імерсивності середовища (I_k), а також затримки координації - як базові ($\delta_{i,j}$), так і мережеві ($L_{i,j}$).

Продуктивність визначається сукупністю факторів: технічним оснащенням (потужність гарнітур, пропускна здатність каналу), рівнем підготовки та навичок. Імерсивність, у свою чергу, впливає на залученість та швидкість прийняття рішень. Більший рівень занурення сприяє зниженню

когнітивного навантаження, що позитивно впливає на динаміку комунікації в команді.

Координаційні затрати у віртуальному просторі суттєво залежать від латентності, яка може варіюватися залежно від географічної віддаленості, якості інтернет-з'єднання та конфігурації XR-платформи. У моделі це враховується через параметр γ - вагомість впливу затримки на загальні витрати часу.

Таким чином, формалізована модель дозволяє наочно представити конфігурацію взаємодії, оцінити її ефективність та знайти варіанти оптимального розподілу ресурсів у XR-проекті. В подальшому це стане підґрунтям для побудови інтегральної метрики ефективності координації та її оптимізації.

3.5.2 Формулювання цільової функції та пояснення змінних

Для кількісної оцінки ефективності XR-координації запровадимо цільову функцію F , що агрегує витрати часу/координації та виграш від імерсивності. На основі описаної моделі пропонується наступна формула цільової функції:

$$F = \sum_i \left(w_i \times \frac{t_i}{\eta_j} \right) + \sum_{i,j} \beta_{i,j} (\delta_{i,j} + \gamma \times L_{i,j}) - \sum_k \lambda \times I_k$$

де:

- t_i – тривалість виконання завдання i ,
- w_i – вагомість або пріоритетність завдання i ,
- η_j – коефіцієнт ефективності виконавця j ,
- $\beta_{i,j}$ – індикатор наявності зв'язку між задачами i та j ,
- $\delta_{i,j}$ – базова затримка передачі інформації між i та j ,

- $L_{i,j}$ – додаткова мережева затримка між i та j ,
- γ – ваговий коефіцієнт впливу латентності,
- I_k – коефіцієнт імерсивності елемента k ,
- λ – коефіцієнт значущості ефекту імерсивності.

У цій формулі перший член $\sum \left(\frac{w_i \times t_i}{\eta_j} \right)$ відповідає за загальні трудові витрати з урахуванням продуктивності виконавців. Другий компонент $\sum \beta_{i,j}(\delta_{i,j} + \gamma \times L_{i,j})$ оцінює сумарні координаційні витрати між залежними завданнями, а останній член $\sum \lambda \times I_k$ враховує зниження загальних витрат завдяки підвищеній імерсивності XR-середовища.

3.5.3 Оптимізаційна постановка задачі та її інтерпретація

Математична модель, описана вище, дозволяє сформулювати задачу мінімізації загальних координаційних витрат у XR/VR-середовищі. Суть полягає у знаходженні такого розподілу завдань, черговості їх виконання та конфігурації XR-платформи, при яких значення цільової функції F набуває мінімуму:

$$\min F = F(t_i, w_i, \eta_j, \beta_{i,j}, \delta_{i,j}, L_{i,j}, I_k)$$

Оптимізація цієї функції дозволяє ухвалювати практичні рішення щодо управління XR-проєктом. Зокрема, можна виявити оптимальний розподіл задач між учасниками команди – наприклад, делегування найбільш критичних завдань тим агентам, які мають вищу ефективність (η_j). Аналіз значень параметрів затримок $L_{i,j}$ допомагає визначити критичні пари взаємодій, що спричиняють затримки, і вимагають або покращення мережевої інфраструктури, або реорганізації графу залежностей. Крім того, врахування коефіцієнтів імерсивності дозволяє оцінити ефект від використання просунутих XR-засобів і обґрунтувати необхідність інвестицій у відповідне обладнання.

Таким чином, оптимізаційна постановка задачі виступає не лише теоретичним елементом моделі, а й потужним інструментом підтримки прийняття рішень. Вона дає змогу зменшити простоту, покращити скоординованість командної роботи, підвищити загальну продуктивність та сприяти досягненню цілей XR-проєкту з мінімальними витратами часу і ресурсів.

3.6. Управління ризиками: категорії, матриця ризиків, плани реагування

Впровадження XR/VR-технологій у проєктну діяльність, зокрема для управління розподіленими ІТ-командами, супроводжується низкою специфічних ризиків. Ці ризики мають як технічний, так і соціально-організаційний характер.

Відсутність безпосередньої фізичної взаємодії, залежність від стабільності інтернет-з'єднання, технічні обмеження XR-обладнання та нерівномірний рівень цифрової грамотності серед членів команди - лише деякі з чинників, що підвищують невизначеність у таких проєктах.

Ефективне управління ризиками є необхідною умовою забезпечення стабільної роботи проєкту, дотримання дедлайнів і досягнення поставлених цілей.

3.6.1 Аналіз ризиків у проєктах XR/VR для управління командами

У проєктах XR/VR, спрямованих на підтримку роботи розподілених команд, можна виділити кілька основних категорій ризиків.

Крім класифікації за способами реагування (avoidance, mitigation, transfer, acceptance), доцільно також проаналізувати ризики з точки зору їх природи та впливу на XR-систему. У цьому контексті варто виділити технічні, поведінкові, фінансові, безпекові, юридичні та інтеграційні типи ризиків, кожен з яких має різну критичність для успішного впровадження платформи.

Пріоритезація ключових ризиків у XR/VR-проектах за типами

Тип ризику	Приклади проявів у XR/VR	Потенційний вплив	Імовірність	Пріоритет
Технічні	Збої в роботі VR-гарнітур, нестабільність WebXR, обмеження хмарних API	Високий – порушення роботи системи, втрати сесій	Середня	Високий
Поведінкові	Кіберхвороба, небажання адаптуватися до XR, низька цифрова грамотність	Середній – знижена продуктивність, опір впровадженню	Висока	Середній
Фінансові	Висока вартість обладнання, ліцензій, невизначений ROI	Середній – ускладнення масштабування	Середня	Середній
Інтеграційні	Неможливість зв'язати з Jira, Slack, IDE або іншими сервісами	Високий – порушення робочого процесу	Середня	Високий
Безпекові	Витік даних з XR-середовища, відсутність шифрування	Критичний – порушення довіри, юридичні наслідки	Низька	Високий
Юридичні / етичні	Вимоги до збереження персональних даних (GDPR), етичні норми VR-взаємодії	Високий – правові ризики, репутаційні втрати	Низька	Низький–середній

Як показує таблиця, найбільш критичними для XR/VR-систем є технічні, інтеграційні та безпекові ризики, адже вони безпосередньо впливають на

стабільність платформи, доступність сервісу та довіру користувачів. Поведінкові та фінансові ризики, попри нижчу критичність, мають високу ймовірність прояву – особливо через недостатній досвід користувачів з XR, втому від VR, або високі витрати на старт. Саме тому вони вимагають профілактичного менеджменту: навчання персоналу, підтримки адаптації, поетапного впровадження. Етичні й юридичні фактори менш імовірні, але їх потенційний вплив у регульованих галузях (освіта, медицина) може бути критичним.

Таким чином, запропонована пріоритезація дозволяє чітко розставити акценти у плані управління ризиками.

3.6.2 Створення матриці ризиків та стратегій реагування на них

Для системного підходу до управління виявленими ризиками у проєкті доцільно використовувати матрицю ризиків. Матриця ризиків структуровано відображає кожен ризик разом із оцінкою його ймовірності та впливу, узагальненим рейтингом значущості, а також визначеною стратегією реагування.

У таблиці нижче наведено фрагмент матриці ризиків для розробки XR-системи управління командами, що демонструє ключові ризики із різних категорій, їхній потенційний рівень загрози та заплановані заходи щодо реагування:

Матриця ризиків і стратегій реагування для впровадження XR-системи
управління командами

Ризик	Ймовірність	Вплив	Рейтинг (R = L×I)	Стратегія реагування
Збої у VR-платформі	Висока	Високий	9	Резервні платформи; постійне превентивне технічне тестування
Відсутність залучення команди	Середня	Високий	6	Гейміфікація середовища; регулярний фідбек; мотиваційні заходи
Проблеми з обладнанням	Низька	Високий	3	Фінансування придбання гарнітур (гранти); використання WebXR як альтернативи
Конфлікти ролей в команді	Середня	Середній	4	Чітке визначення ролей (OBS-структура); регламентація комунікацій
Втома від VR (VR fatigue)	Середня	Високий	6	Чергування VR- та не-VR-активностей; впровадження правил тайм-менеджменту
Проблеми з безпекою даних	Низька	Критичний	5	Шифрування даних; VPN; впровадження двофакторної автентифікації

Як бачимо, матриця охоплює різнопланові ризики: від технічних збоїв до людського фактору. Кількісна оцінка дозволяє порівняти ризики між собою та визначити пріоритетні - наприклад, збої платформи потребують першочергової уваги, тоді як деякі менш ймовірні ризики з нижчим рейтингом можуть мати другорядний характер. Важливо, що для кожного ризику заздалегідь визначено стратегію реагування, тобто план дій у разі його реалізації.

Загалом стратегії реагування поділяються на чотири основні типи: уникнення, зменшення, передача та прийняття.

Уникнення (avoidance) означає зміну плану чи умов проєкту таким чином, щоб повністю усунути конкретний ризик (наприклад, відмова від використання експериментальної технології, яка є надто нестабільною).

Зменшення (mitigation) передбачає заходи, що знижують ймовірність настання ризикової події або ослаблюють її вплив - скажімо, додаткова підготовка команди з нових інструментів для зменшення ризику помилок.

Передача (transfer) полягає у делегуванні ризику третій стороні: наприклад, страхування відповідальності або аутсорс окремих задач, аби ризик реалізації цих задач перейшов до стороннього виконавця.

Прийняття (acceptance) означає свідоме визнання ризику без активних дій для його попередження, але із підготовленим планом на випадок, якщо ризик спрацює (резервні ресурси, плани аварійного відновлення тощо).

Таким чином, успішне управління ризиками у VR/XR-проєктах базується на проактивному підході: своєчасній ідентифікації вразливих місць, моделюванні можливих проблемних сценаріїв та регулярному моніторингу стану проєкту. Застосування структурованих інструментів на кшталт матриці ризиків та інтерактивних дашбордів, а також аналіз зворотного зв'язку від користувачів і членів команди, дозволяють своєчасно виявляти нові ризики або зміни у їхньому пріоритеті. Комплексний підхід до управління ризиками гарантує, що проєкт з розробки XR-системи буде більш стійким до

несподіванок і здатним досягти поставлених цілей навіть в умовах невизначеності.

3.7 Забезпечення якості та метрики

Для забезпечення стабільності та користувацької задоволеності XR/VR-системи впроваджується комплексний підхід до оцінки якості на основі кількісних метрик. Кожна метрика орієнтована на ключові аспекти роботи системи – продуктивність, доступність, надійність, користувацький досвід та ефективність тестування.

Для контролю якості системи впроваджуються такі групи метрик (табл. 3.8).

Таблиця 3.8

Основні метрики якості для оцінки XR/VR-системи управління командами

Метрика	Опис	Цільове значення
Availability	Доступність платформи, час безвідмовної роботи	$\geq 99\%$
Latency	Затримка при переміщенні, повідомленнях у реальному часі	≤ 200 мс
Bug Rate	Кількість критичних/серйозних багів на 1000 користувачів	< 1 критичний, < 5 серйозних
UX Satisfaction	Рівень задоволеності користувачів (за шкалою 1–5)	> 4.0
Session Completion	Частка завершених сесій без помилок чи примусового виходу	$\geq 95\%$
Test Coverage	Покриття тестами основного функціоналу (unit + інтеграційні тести)	$\geq 85\%$

Контроль якості відбувається на всіх етапах життєвого циклу проекту. У процесі розробки застосовуються засоби автоматичного тестування (unit/integration), перевірки продуктивності, UI/UX-аналізу, а також ручне та навантажувальне тестування. Система тестується як у WebXR-браузерному середовищі, так і у VR-режимі через гарнітури (Unity/WebGL), що дозволяє

виявити платформозалежні проблеми та адаптувати інтерфейс до різних пристроїв.

Водночас, кількісні метрики мають підкріплюватися відповідністю міжнародним стандартам якості, які забезпечують системність у розробці, тестуванні та оцінці XR-рішень. Для платформ, орієнтованих на корпоративне використання, особливо важливим є дотримання таких нормативів, як ISO/IEC 25010 (модель якості ПЗ), WCAG 2.1 (доступність для користувачів з інвалідністю), ISO 9241-210 (UX-дизайн) та ISO/IEC 27001 (інформаційна безпека). Застосування цих стандартів дозволяє уніфікувати підходи до оцінки продуктивності, безпеки, зручності інтерфейсу та інклюзивності.

Для XR/VR-додатків, що використовуються розподіленими командами, особливу роль відіграють галузеві стандарти, які регламентують доступність, безпечність і якість UX-досвіду:

Таблиця 3.9

Стандарти забезпечення якості у XR/VR-системах

Стандарт / Гайдлайн	Сфера застосування	Релевантність до XR/VR
ISO/IEC 25010	Модель якості програмного забезпечення	Використовується для оцінки функціональності, надійності, зручності використання, продуктивності та сумісності XR-платформи
WCAG 2.1	Доступність веб-контенту	Хоча і призначений для вебу, ці рекомендації актуальні при розробці WebXR та VR-інтерфейсів – особливо для користувачів з обмеженими можливостями
ISO 9241-210	Людиноцентричний UX-дизайн	Підходить для проектування інтерфейсів у VR з урахуванням ергономіки та когнітивного навантаження
ISO/IEC 27001	Інформаційна безпека	Необхідний у корпоративних VR-рішеннях, де важливий захист персональних і внутрішніх даних
IEEE 610.12-1990	Стандартизація термінів якості	Використовується для формального опису характеристик VR-систем

Таким чином, забезпечення якості XR/VR-платформи має ґрунтуватися як на внутрішніх кількісних метриках (продуктивність, UX, стабільність), так і на відповідності міжнародним стандартам якості (ISO/IEC 25010, WCAG 2.1, ISO 9241-210 тощо). Інтеграція цих двох підходів дозволяє не лише оперативно виявляти технічні та користувацькі проблеми, а й стратегічно управляти розвитком платформи, орієнтуючись на глобальні практики у сфері інтерфейсів, безпеки та доступності.

Крім того, аналіз метрик якості підтримує прийняття управлінських рішень щодо архітектури, пріоритетів рефакторингу та вдосконалення взаємодії в XR-середовищі. Досягнення цільових показників критично важливе для створення ефективного, масштабованого та інклюзивного середовища, де кожен елемент - від UX до безпеки - безпосередньо впливає на командну ефективність та відчуття присутності.

3.8 Реалізація MVP у межах проєкту (з позиції студента-розробника)

У межах дипломного дослідження було реалізовано мінімально життєздатну версію (MVP) XR-платформи, яка моделює ключові функції координації розподілених ІТ-команд у цифровому середовищі. З огляду на академічний формат та обмежені ресурси, проєкт мав на меті не створення повноцінного комерційного продукту, а демонстрацію концептуальної життєздатності системи, заснованої на інтеграції XR, WebRTC та task-менеджменту.

Процес розробки MVP було організовано відповідно до гнучкої методології Scrum із поетапним поділом життєвого циклу проєкту. У межах життєвого циклу були реалізовані наступні фази (табл. 3.10).

Фази життєвого циклу реалізації MVP XR- 1

Фаза	Зміст реалізації (MVP)
Ініціація	Формулювання ідеї XR-системи для розподілених команд. Аналіз потреб, постановка цілей.
Планування	Визначення функцій MVP: аватарна присутність, голос, задачі. Вибір стеку (Unity/WebXR).
Проектування	UX-макети, модульна архітектура (Firebase, WebRTC, Tasks). Побудова логіки сцени.
Реалізація	Розробка сцени, зв'язок через WebRTC, інтеграція Google Sheets для задач.
Тестування	Перевірка авторизації, голосового каналу, відображення задач. Симуляція в браузері.
Закриття	Документація, презентація MVP, збереження на GitHub.

Відповідно до описаних вище фаз життєвого циклу створимо схему життєвого циклу проекту.



Рис. 3.9. Життєвий цикл XR-проекту з координації розподілених команд

Розробка охоплювала реалізацію кількох базових функцій, необхідних для ефективної імерсивної взаємодії:

- Авторизація користувача реалізована через Firebase Authentication. Користувач може створити обліковий запис, увійти до системи та отримати роль (координатор або учасник). Це забезпечило базову безпеку та диференціацію доступу.

- XR-простір побудовано в Unity та експортовано у WebGL для запуску в браузері. Сцена представляє собою віртуальну кімнату, в якій користувач може переміщуватися у режимі від першої особи. Замість 3D-аватарів використано колізійні блоки з іменами учасників.

- Голосова комунікація реалізована на основі WebRTC (через SimplePeer або аналогічну бібліотеку), що дозволило створити базовий канал голосового зв'язку. Хоча система не включає повноцінний SFU/MCU сервер, реалізація дає змогу перевірити голосову синхронізацію в XR-просторі.

- Панель задач - це інтеграція з Google Sheets через API. Завдання, їхній статус і виконавці виводяться у вигляді таблиці безпосередньо у віртуальній сцені. Це дозволило емулювати таск-трекер без складного бекенду.

- Кросплатформеність реалізована за допомогою WebXR: MVP працює в десктопному браузері, у VR-режимі (WebXR Viewer), частково тестувався на гарнітурах Meta Quest.

З архітектурної точки зору, реалізована система має модульну структуру з п'яти ключових компонентів. Їх взаємодія описана нижче (рис. 3.10, табл. 3.11).

У центрі архітектури - Unity_WebXR, який виконує роль візуалізатора середовища, інтегратора голосу та задач. Аутентифікація здійснюється через Firebase, підключення до XR-середовища - через браузер або VR-пристрій (Clients). Комунікаційний блок (WebRTC) і модуль задач (TaskPanel) функціонують автономно, але взаємодіють з основним XR-інтерфейсом через API.



Рис.3.10 Архітектура MVP XR-системи та взаємодія її ключових компонентів

Таблиця 3.11

Функціональне призначення компонентів MVP XR-системи

Компонент	Функції	Примітки / Взаємозв'язки
Firebase	- Авторизація та реєстрація користувачів - Збереження ролей (учасник/координатор)	Передає дані до Unity_WebXR після аутентифікації
Clients	- WebXR у браузері (Chrome) - VR-підключення (Meta Quest) - Десктоп-режим fallback	Дозволяє багатоплатформену взаємодію користувачів з XR-середовищем
Unity_WebXR	- 3D-інтерфейс - Відображення аватарів - Переміщення у просторі	Центральний модуль, взаємодіє з Firebase, WebRTC і TaskPanel
WebRTC	- Голосовий зв'язок у реальному часі - Просторове аудіо	Інтегрується з Unity_WebXR для реалізації комунікації
TaskPanel	- Виведення списку задач - Зміна статусів у режимі реального часу - Підключення до Trello / Notion API	Отримує дані з зовнішніх API, виводить їх у XR-просторі через Unity_WebXR

З погляду користувацького сценарію, після авторизації учасник потрапляє до віртуального середовища, де бачить інших учасників у вигляді іменованих об'єктів, чує їхні голоси в режимі реального часу та має змогу переглядати актуальний список задач. Повноцінна взаємодія з об'єктами поки що не реалізована, однак функціонал присутності, голосового зв'язку та спільного перегляду завдань - забезпечений у повному обсязі MVP.

Таким чином, створений MVP слугує доказом концепції, демонструючи, що навіть з базовим набором інструментів можливо реалізувати ефективний XR-простір для синхронізації та присутності розподілених команд. Це створює платформу для подальшого масштабування, удосконалення функціональності та поступового переходу до повноцінної XR-системи координації.

3.9. Розробка діаграми Ганта для проєктів у XR/VR-середовищах

Для візуалізації процесу реалізації системи управління розподіленими командами на основі XR-технологій було побудовано діаграму Ганта, яка відображає повний життєвий цикл розробки: від етапу підготовки до фінального захисту проєкту. Такий підхід дозволяє структурувати завдання, встановити логічну послідовність між етапами та синхронізувати роботу команди навіть в умовах географічної децентралізації.

Усі задачі згруповані за логічними фазами:

- Підготовчий етап охоплює збір вимог, аналіз технологічних платформ (Unity, WebXR) та вибір ключових компонентів MVP. Ці дії дозволили закласти концептуальну основу майбутньої платформи.
- MVP-розробка включає створення базового 3D-середовища в Unity, реалізацію автентифікації через Firebase, голосової комунікації за допомогою WebRTC та синхронізацію з панеллю задач (TaskPanel, Trello/Notion API). На

цьому етапі формувався мінімально життєздатний продукт для перевірки ключових гіпотез.

- MVP-тестування проводилося в трьох середовищах - WebXR (браузери), VR (Meta Quest) та десктопному режимі. Зібраний фідбек дозволив внести необхідні корекції в інтерфейс і функціонал.
- Перший реліз зосереджений на стабілізації функцій MVP, покращенні UX-досвіду, адаптації до мобільних XR-пристроїв та підготовці користувацької документації. Це дозволяє зробити платформу доступнішою для ширшого кола користувачів.
- Другий реліз передбачає розширення функціональності системи: інтеграцію KPI-аналітики, можливість кастомізації XR-простору та підготовку до проведення масштабних івентів.
- Фінальна фаза – підготовка до захисту проєкту. На цьому етапі узагальнюються результати, готуються презентаційні матеріали та фіналізується документація.

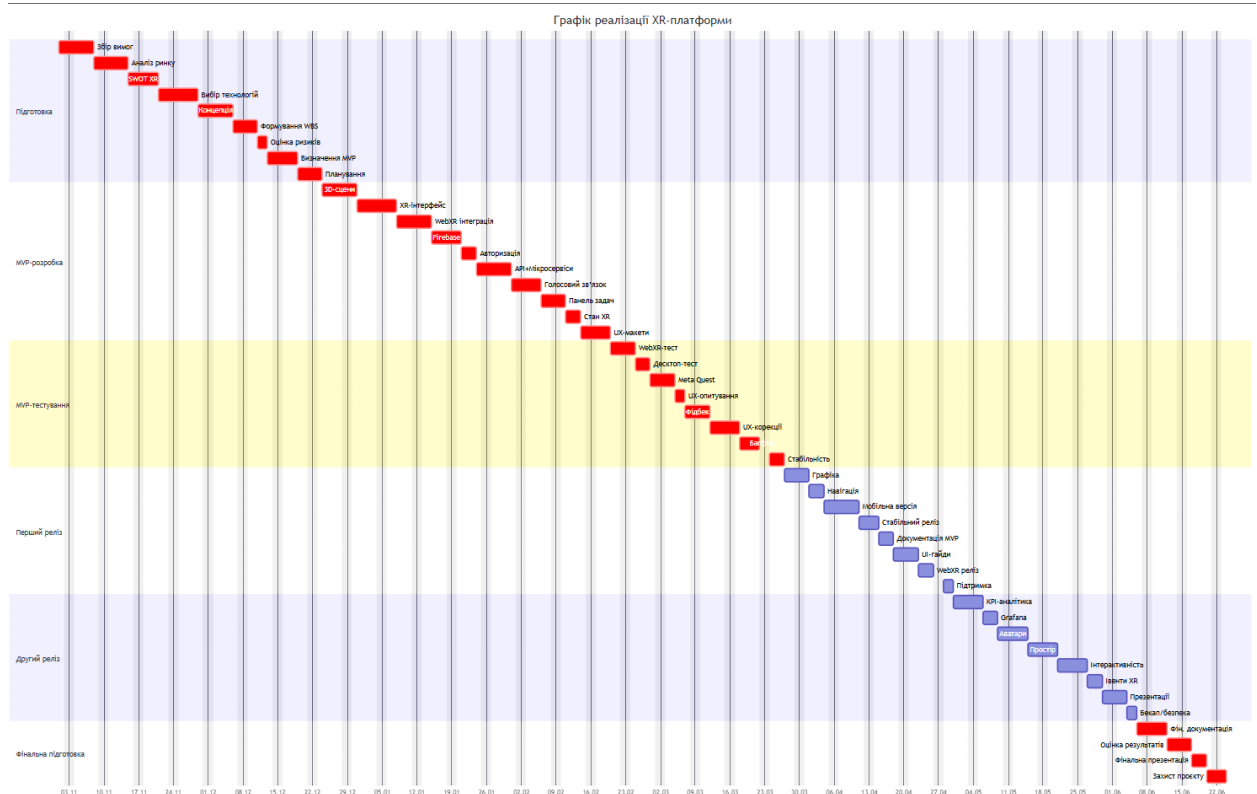


Рис. 3.11. Діаграма Ганта

Діаграма Ганта створена з урахуванням практик гнучкого управління (Agile): паралельність деяких задач, короткі ітерації, фокус на MVP та поступове нарощування функцій. Це дозволяє забезпечити контроль над часом виконання, ефективний розподіл ресурсів і оперативну адаптацію до нових вимог у процесі розробки.

РОЗДІЛ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЄКТУ ТА ОЦІНКА ЙОГО ЕФЕКТИВНОСТІ

4.1. UX-прототип та візуалізація концепту

У рамках реалізації концепту XR-платформи було створено функціональний UX-прототип, який демонструє ключові елементи взаємодії розподіленої команди у віртуальному просторі. Прототип реалізовано з використанням A-Frame як WebXR-фреймворку, що дозволяє легко розгорнути VR-сцену у звичайному браузері, забезпечуючи підтримку як для десктопних, так і для VR-пристроїв.

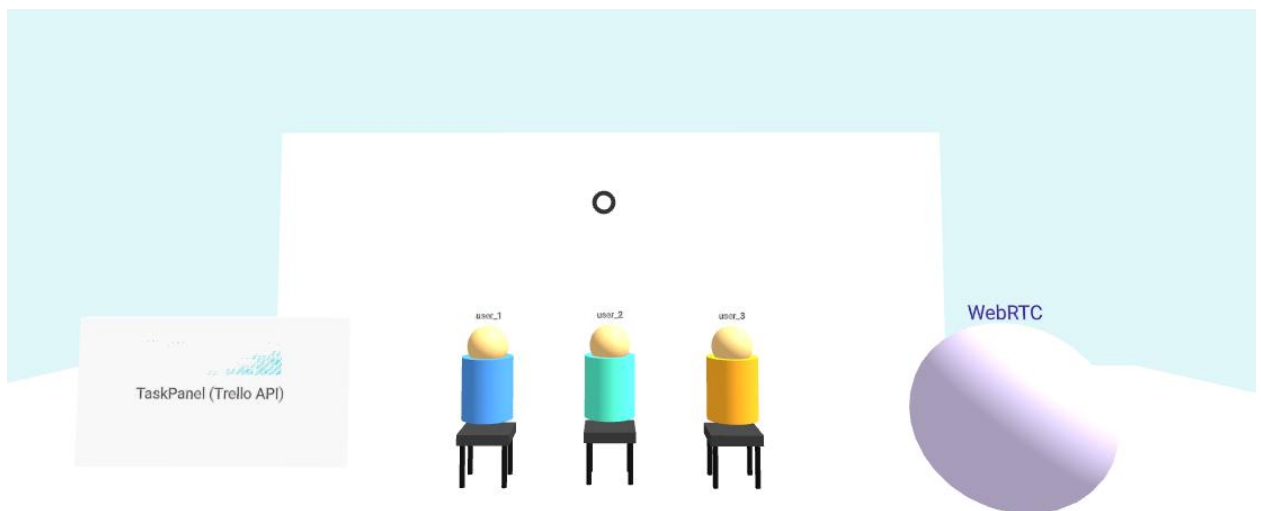


Рис. 4.1. Візуалізація сцени XR-прототипу з аватарами, панеллю задач і голосовою взаємодією

У центрі візуальної сцени розташовано трьох учасників команди, представлених аватарами у вигляді стилізованих фігур з тулубом та головою. Кожен із них розміщений на окремому стільці, побудованому з чотирма ніжками для забезпечення візуального реалізму. Імена учасників - user_1,

user_2 та user_3 - відображаються над їхніми головами, що імітує реалії онлайн-зустрічей у Zoom, Meet або Spatial. Один з аватарів (user_2) має анімований нахил голови, що моделює базову невербальну реакцію або залучення до обговорення.

Простір оформлений мінімалістично: світлий фон і рівна біла підлога дозволяють не відволікатися від ключових об'єктів. Зліва віртуального середовища розміщено елемент TaskPanel, який концептуалізує інтеграцію з Trello API або Notion API. Безпосередньо під ним знаходиться кнопка, яка виконує базову інтерактивну функцію: при натисканні колір змінюється, а також виводиться повідомлення у вигляді alert, що імітує активацію панелі завдань.

З протилежного боку сцени розміщено сферичний об'єкт, що позначає модуль WebRTC. Він відповідає за просторове аудіо та голосовий зв'язок у межах системи. Над ним розташовано підпис "WebRTC", що логічно узгоджується з архітектурною схемою MVP.

Загальний ракурс камери розміщено під кутом, який забезпечує огляд усіх ключових компонентів одночасно: аватарів, інтерактиву, TaskPanel і модуля WebRTC. Прототип виконаний таким чином, щоб підкреслити концепцію синхронної присутності в спільному XR-просторі, де візуалізація підтримує структурну логіку платформи та дозволяє перейти від макетування до впровадження реального користувацького досвіду.

4.2. Реалізація MVP: технічні компоненти, стек технологій

Мінімально життєздатний продукт (MVP), реалізований у межах XR-проєкту, базується на технічно модульній архітектурі, яка забезпечує гнучкість розширення та чітке розмежування відповідальностей між системними компонентами. Цей підхід дозволяє ефективно масштабувати рішення, зберігаючи контроль над кожним функціональним блоком: XR-

ядром, інфраструктурними модулями, інтерфейсами підключення та каналами обміну даними.

На етапі архітектурного проєктування було проаналізовано два можливі підходи до створення MVP: повністю нативну розробку у середовищі Unity або Unreal Engine, а також використання WebXR як основи для кросплатформеного запуску у браузері. З огляду на потребу у швидкому тестуванні функціональності, зниженні бар'єру входу та забезпеченні сумісності з широким колом пристроїв, було обрано саме WebXR-орієнтовану реалізацію з Unity/WebGL як ядром.

Таблиця 4.1

Порівняльний підхід: WebXR проти нативної реалізації (Unity/Unreal)

Параметр	WebXR (браузерна версія)	Unity / Unreal (нативне застосування)
Доступність	Висока – працює з більшістю сучасних браузерів	Середня – потребує інсталяції клієнта
Гнучкість для MVP	Висока – швидкі оновлення без деплою	Низька – складніший цикл релізів
Початкові витрати	Нижчі – немає потреби в підтримці інсталятора	Вищі – потрібна підтримка коду під ОС
Графічна якість	Обмежена браузером та WebGL	Висока – повний контроль над рендерингом
Кросплатформеність	Універсальна (VR + десктоп fallback)	Потрібна окрема збірка під кожену платформу
Придатність для розгортання MVP	Оптимальна для тестування та фідбеку	Краще підходить для фінального продукту

Обраний стек на базі Unity з експортом у WebGL/WebXR забезпечує баланс між функціональністю та доступністю. Це дозволяє презентувати MVP без інсталяцій, легко масштабувати продукт у браузерному середовищі та забезпечити підтримку як VR-користувачів, так і звичайних десктоп-клієнтів. Такий підхід особливо важливий у контексті тестування концепції, коли зниження бар'єру входу є критичним фактором.

З огляду на переваги WebXR – зокрема простоту доступу, відсутність інсталяцій і кросплатформеність - саме цей підхід було покладено в основу реалізації MVP. Його поєднання з Unity дозволило зберегти гнучкість 3D-розробки та одночасно забезпечити легке розгортання сцени у браузері. Далі розглянемо, як було реалізовано ключові компоненти системи, що забезпечують повний цикл взаємодії у віртуальному просторі.

У центрі системи знаходиться XR-середовище, побудоване на базі Unity з експортом у WebGL/WebXR. Воно виконує роль інтерактивного простору, де відбувається візуалізація користувачів, навігація, вивід задач та обробка подій у реальному часі. Користувацький доступ реалізовано через WebXR API, що забезпечує запуск сцени як у VR-режимі (на гарнітурах типу Meta Quest), так і у браузері (наприклад, Chrome). Для користувачів без VR-пристроїв доступний fallback-режим, який дозволяє огляд сцени з десктопу.

Взаємодія з хмарною інфраструктурою забезпечується низкою сервісів, які працюють незалежно, але координуються через єдиний центр - Unity_WebXR. Для автентифікації, авторизації та збереження ролей (координатор, учасник) використовується Firebase Authentication, а додаткові дані про профілі можуть зберігатися у Firebase Realtime Database або Firestore. Це дає змогу керувати правами доступу та контролювати сесії користувачів.

Голосова комунікація реалізована через компонент WebRTC, який відповідає за peer-to-peer аудіозв'язок. У межах MVP реалізовано базову версію просторового аудіо з орієнтацією на позицію користувача у сцені. Для спрощення розгортання застосовано бібліотеки на кшталт SimplePeer, що дозволяють уникнути складної серверної інфраструктури типу SFU/MCU, характерної для масштабних застосунків.

Система управління завданнями представлена модулем TaskPanel, який працює як інтеграційний інтерфейс до Google Sheets API. Такий підхід дозволяє імітувати функціональність повноцінного таск-менеджера (на кшталт Trello чи Notion), забезпечуючи при цьому легкість реалізації та

прозору структуру даних. Задачі зчитуються, обробляються і відображаються у форматі таблиці у XR-сцені.

З метою наочної ілюстрації технічної реалізації ключових компонентів системи, наведено приклади коду, що демонструють базову структуру створення XR-сцени, ініціалізацію сеансу в WebXR, обробку положення користувача, генерацію базових 3D-елементів у Unity, а також реалізацію голосового зв'язку через WebRTC. Представлені фрагменти демонструють, як WebXR API поєднується з Unity/WebGL для рендерингу інтерактивного простору, а WebRTC забезпечує двосторонню передачу аудіо у режимі реального часу. Для розгортання мінімальної логіки синхронізації позицій, даних користувачів та задач у сцені використано стандартні бібліотеки та API без потреби в складній серверній інфраструктурі.

Кожен з прикладів у додатку супроводжується коротким поясненням функціонального навантаження і пов'язаний з відповідними елементами архітектури Unity_WebXR – ядра системи, що координує візуалізацію сцени, стан задач, сесію користувача та голосову комунікацію.

Фрагмент коду 4.1 Ініціалізація XR-сцени (WebXR)

```
if (navigator.xr) {
  navigator.xr.requestSession('immersive-vr').then(session => {
    const canvas = document.createElement('canvas');
    const gl = canvas.getContext('webgl', { xrCompatible: true });

    session.updateRenderState({
      baseLayer: new XRWebGLLayer(session, gl)
    });

    session.requestReferenceSpace('local').then(refSpace => {
      function renderFrame(time, frame) {
        const pose = frame.getViewerPose(refSpace);
        if (pose) {
          // Тут буде логіка візуалізації сцени
        }
        session.requestAnimationFrame(renderFrame);
      }
    });
  });
}
```

```

    }

    session.requestAnimationFrame(renderFrame);
  });
}).catch(err => console.error('XR Session Error:', err));
}

```

Фрагмент коду 4.2 Unity: створення базової сцени (C#)

```

using UnityEngine;
using UnityEngine.XR;

public class InitXRScene : MonoBehaviour
{
    void Start()
    {
        if (XRSettings.isDeviceActive)
        {
            Debug.Log("XR-пристрій активовано: " + XRSettings.loadedDeviceName);
            CreateEnvironment();
        }
        else
        {
            Debug.Log("XR не активне.");
        }
    }

    void CreateEnvironment()
    {
        GameObject floor = GameObject.CreatePrimitive(PrimitiveType.Plane);
        floor.transform.localScale = new Vector3(5, 1, 5);
        GameObject cube = GameObject.CreatePrimitive(PrimitiveType.Cube);
        cube.transform.position = new Vector3(0, 1, 0);
    }
}

```

Фрагмент коду 4.3 Голосовий зв'язок через WebRTC (JavaScript)

```

const peer = new RTCPeerConnection();

navigator.mediaDevices.getUserMedia({ audio: true }).then(stream => {
    stream.getTracks().forEach(track => peer.addTrack(track, stream));
});

```

```

peer.ontrack = event => {
  const audio = document.createElement('audio');
  audio.srcObject = event.streams[0];
  audio.autoplay = true;
  document.body.appendChild(audio);
};

```

Загальна логічна структура взаємодії компонентів зображена нижче.

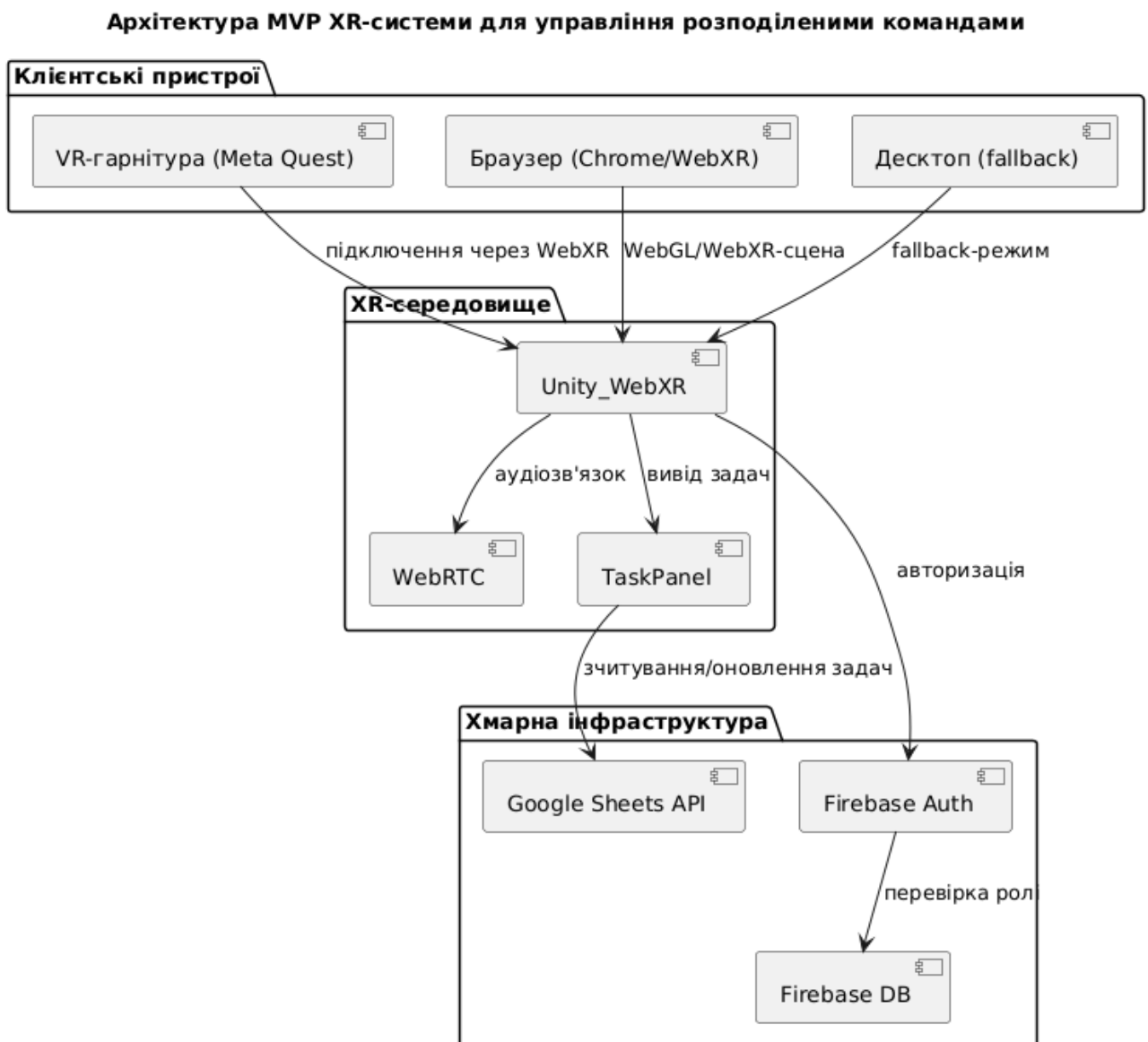


Рис. 4.2. Логічна структура MVP XR-системи: компоненти та взаємозв'язки

На рівні інформаційного обміну система побудована за принципом централізованого XR-ядра, яке виступає комунікаційним хабом між усіма

службами. Unity_WebXR отримує вхідні дані про стан задач, результати авторизації та потокові дані голосового зв'язку, а також виводить візуалізацію сцени, просторову навігацію та позиціонування.

Технічний стек реалізованого MVP представлено в таблиці нижче:

Таблиця 4.2

Компоненти MVP XR-платформи: технології та функціональне призначення

Компонент	Технологія / Інструмент	Призначення
XR-інтерфейс	Unity + WebGL/WebXR	3D-сцена, переміщення, аватари, візуалізація
Кросплатформеність	WebXR API (Chrome), fallback (desktop)	Запуск у браузері та VR-гарнітурах без інсталяцій
Аутентифікація	Firebase Authentication	Реєстрація, логін, збереження ролей
База даних	Firebase Realtime DB / Firestore	Дані користувачів, сесій, ролей
Голосовий зв'язок	WebRTC / SimplePeer	Аудіочат у реальному часі, базова підтримка просторового звуку
Таск-менеджер	Google Sheets API	Вивід задач, оновлення статусів, імітація Trello/Notion
Інтеграція	REST API / SDK	Передача даних між модулями через єдине ядро Unity_WebXR

Архітектура, реалізована у рамках цього MVP, є технічно завершеною для рівня демонстрації, але водночас модульною й масштабованою - кожен компонент може бути замінений або розширений окремо без потреби переробки всієї системи.

Для кращого розуміння потенціалу масштабування, нижче подано узагальнену матрицю релевантності ключових технологій (XR, WebXR, AI, IoT, AR) на різних етапах життєвого циклу реалізації платформи - від ініціації до впровадження.

Застосування XR, AI, IoT та AR на різних фазах реалізації платформи

Етап життєвого циклу	XR (загальне)	WebXR	AI / ML	IoT	AR (доповнена реальність)
Ініціація	✓	✗	✗	✗	✗
Планування	✓	✓	○ (аналітика потреб)	✗	✗
Проектування	✓	✓	✓ (UX-аналіз)	○	✓
Реалізація MVP	✓	✓	✓ (логіка, маршрутизація)	✓ (сигнали, події)	✓
Тестування та доопрацювання	✓	✓	✓ (аналіз користувачів)	✓	✓
Масштабування / Впровадження	✓	✓	✓ (персоналізація, адаптація)	✓	○

Як видно з таблиці, технології XR та WebXR забезпечують технічну основу платформи на всіх фазах - від планування до масштабування. AI використовується для оптимізації сценаріїв поведінки, IoT - для збору даних із пристроїв у майбутніх версіях системи, а AR може виконувати роль альтернативного інтерфейсу на пристроях без VR-гарнітур. Така систематизація дозволяє чітко окреслити межі та потенціал застосування кожної технології в межах життєвого циклу платформи.

Таким чином, технічна реалізація MVP підтверджує працездатність обраної концепції та створює основу для подальших етапів розгортання XR-системи у реальних умовах.

4.3. Backlog і пріоритети MVP

Під час розробки MVP було сформовано backlog функціоналу, який відображає основні компоненти XR-системи управління розподіленими

командами. Для пріоритетизації задач застосовано метод MoSCoW, який дозволив поділити функції за критичністю реалізації у межах першої ітерації.

До категорії Must have були віднесені найважливіші функціональні блоки, без яких система не могла б виконати своє базове призначення. Це, зокрема, реалізація авторизації через Firebase, відображення XR-сцени з присутністю аватарів, базовий голосовий зв'язок за допомогою WebRTC та панель завдань з синхронізацією через Google Sheets API. Ці елементи були реалізовані у спрощеній, але повноцінній формі та протестовані на різних пристроях.

Функції з категорії Should have передбачали покращення користувацького досвіду - інтерактивність об'єктів сцени, можливість управління статусами завдань безпосередньо у VR-просторі, а також диференціація прав доступу. Частина з них була реалізована у вигляді реакції кнопок на взаємодію та базової обробки кліків, однак без повної логіки синхронізації станів.

У категорію Could have потрапили додаткові, але не критичні функції, які плануються до реалізації в майбутніх версіях: підтримка жестів, анімацій, персоналізованих аватарів, а також інтеграція з іншими таск-трекерами (Trello, Notion). Ці можливості мають потенціал для розвитку продукту, але наразі не реалізовані через обмеженість ресурсів.

До Won't have на цьому етапі були віднесені високорівневі функції, не сумісні з MVP-форматом - наприклад, NFT-ідентифікація або блокчейн-аудит командної взаємодії. Вони можуть розглядатися на етапі масштабування, але наразі не мають практичного сенсу.

Поточний стан реалізації функціоналу узагальнено в таблиці пріоритетів.

Таблиця 4.4

Пріоритети та статус реалізації функцій MVP за методикою MoSCoW

Категорія	Функціонал	Статус
Must	Авторизація через Firebase	Реалізовано
Must	XR-сцена з аватарами	Реалізовано
Must	Голосовий зв'язок через WebRTC	Реалізовано
Must	TaskPanel (Google Sheets API)	Реалізовано
Should	Інтерактивність кнопок	Частково
Should	Налаштування ролей та прав	Заплановано
Could	Анімація жестів / персоналізація аватарів	Заплановано
Could	Підключення Trello/Notion API	Заплановано
Won't	Підтримка NFT, AR-режимів, блокчейн-функцій	Відкладено

У цьому беклозі відображено баланс між основними функціями (ID 1-3, критичні для MVP) та другорядними можливостями (ID 4-7, які можуть бути додані після базового релізу).

Беклог концепту дозволяє планувати поетапну реалізацію: спочатку задовольнити найважливіші потреби, довести життєздатність концепції, а тоді поступово нарощувати функціонал.

Таким чином, реалізований обсяг MVP охоплює всі критично необхідні модулі та демонструє працездатність XR-платформи в умовах обмежених ресурсів. Це підтверджує, що навіть у рамках студентського проєкту можливо побудувати повноцінну взаємодію у віртуальному середовищі з базовими елементами управління командною роботою.

Фрагмент беклогу користувачьких історій концептуального проекту XR-
системи

ID	User Story (історія користувача)	Пріоритет	Оцінка
1	Як менеджер, я хочу бачити віртуальну дошку завдань із актуальними статусами, щоб відстежувати прогрес команди в реальному часі.	High	8
2	Як член команди, я хочу проводити щоденні стендап-наради у VR з аватарами колег, щоб покращити взаєморозуміння через невербальну комунікацію.	High	5
3	Як користувач, я бажаю мати голосовий чат у віртуальному просторі, щоб спілкуватися з командою під час спільної роботи над завданнями.	High	3
4	Як дизайнер, я хочу спільно з командою розміщувати та впорядковувати стікери-ідеї на віртуальній дошці під час брейнштормінгу, щоб генерувати та групувати ідеї.	Medium	5
5	Як новий співробітник, я хочу пройти інтерактивне навчання/онбординг у VR-офісі, щоб швидше адаптуватися до процесів компанії.	Medium	8
6	Як адміністратор, я хочу отримувати аналітику щодо активності користувачів (час в системі, кількість взаємодій), щоб оцінювати залученість команди.	Low	3
7	Як користувач, я бажаю можливість участі через веб-браузер в 3D-режимі, якщо немає VR-гарнітури, щоб усі члени команди могли долучитися.	Low	8

4.4. Дорожня карта релізів та план масштабування

Розробка XR-системи для координації розподілених ІТ-команд передбачала послідовне проходження основних фаз життєвого циклу інноваційного продукту: від ідеї та створення прототипу – до реалізації MVP, подальшого тестування та потенційного масштабування. Кожна фаза була пов'язана з чітко визначеним функціональним і технологічним наповненням, а також часовими межами, що дозволяє структурувати хід проєкту у вигляді дорожньої карти (roadmap).

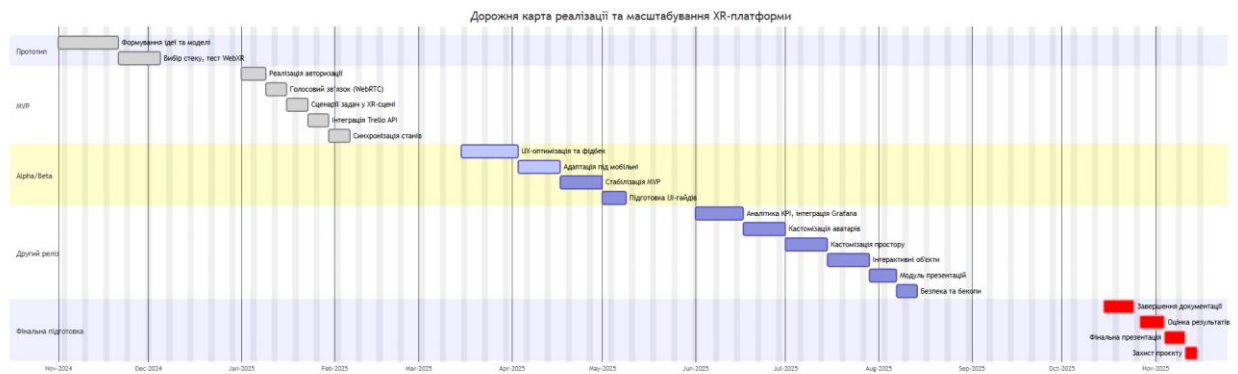


Рис.4.3. Дорожня карта реалізації та масштабування XR-платформи

Для ілюстрації часової структури проєкту було побудовано діаграму Ганта, що візуалізує ключові фази реалізації: від створення концепту до можливості комерційного розгортання та масштабування системи.

На першому етапі, що охоплював листопад 2024 - грудень 2024 року, було зосереджено зусилля на формуванні ідеї, створенні концептуальної моделі системи та виборі відповідного технологічного стеку. Було протестовано базову працездатність WebXR, можливості рендерингу через WebGL, а також реалізовано перші прототипи середовища за допомогою Unity.

Фаза реалізації MVP тривала з січня до середини березня 2025 року. Вона охоплювала створення мінімально життєздатної версії XR-системи, яка забезпечувала базову аутентифікацію через Firebase, голосову комунікацію за допомогою WebRTC, візуальне розміщення учасників у віртуальному просторі та синхронізацію із Task Panel (через Trello API). Завдяки цьому було досягнуто підтвердження концепту: XR-простір забезпечував базову інтерактивність, а основні функції працювали в режимі реального часу.

У період з березня по червень 2025 року проходила фаза внутрішнього тестування (Alpha/Beta). Основна увага приділялася стабілізації функціоналу, виявленню та виправленню багів, UX-оптимізації, покращенню навігації,

графіки та адаптації до мобільних пристроїв. Було оновлено документацію, а також підготовлено стабільний реліз для закритого пілотного використання. Участь обмеженої кількості користувачів дозволила зібрати практичний фідбек для подальших ітерацій розвитку.

Другий реліз, орієнтований на B2B-сегмент, розпочався в червні 2025 року і триває до кінця третього кварталу. У межах цієї фази реалізується розширена функціональність: аналітика командної взаємодії (KPI-модулі, інтеграція з Grafana), персоналізація XR-аватарів та середовища, підтримка інтерактивних об'єктів, віртуальних презентацій, а також вдосконалення безпеки та архітектури зберігання даних. Паралельно триває розгортання інтеграцій з платформами Trello, Notion і Jira.

Фінальна фаза – масштабування системи – запланована на останній квартал 2025 року. У цей період завершуються роботи над фіналізацією документації, підготовкою до презентації результатів проєкту, формуванням white-label моделей для клієнтів, а також потенційною адаптацією рішення для освітніх закладів, інноваційних хабів та віддалених команд.

4.5 Економіка і фінанси проєкту XR-системи

У рамках впровадження інноваційної XR-системи управління розподіленими командами важливу роль відіграє економічне обґрунтування. У цьому підрозділі представлено економічну модель проєкту, деталізований фінансовий план та графік накопичення витрат, що дозволяє оцінити ефективність інвестицій (ROI), повну вартість володіння (TCO) та часову динаміку фінансових потоків.

Економічна модель

Модель базується на концепції поетапного фінансування MVP-прототипу з подальшою адаптацією до релізного впровадження. Основні компоненти витрат включають:

- Фіксовані витрати (базова інфраструктура, розробка, закупівля обладнання);
- Змінні витрати (обслуговування серверів, підтримка, масштабування);
- Людські ресурси (зарплатний фонд команди згідно з ролями: РМ, UI/UX, DevOps, Front/Back, QA, 3D, аналітик).

Фінансова модель передбачає використання *Cash Flow Forecast* (прогноз грошових потоків) на 12 місяці проекту з поділом на фази: планування, розробка, тестування/презентація.

Таблиця 4.6

Структура зарплатного фонду (за 12 місяці роботи)

Роль	Кількість фахівців	Місячна зарплата (€)	Всього за 12 міс. (€)
Проектний менеджер (РМ)	2	90 000	1 080 000
XR Tech Lead	1	45 000	540 000
UI/UX дизайнер	2	75 000	900 000
DevOps інженер	2	80 000	960 000
Frontend-розробник (WebXR)	1	40 000	480 000
Backend-розробник	2	85 000	1 020 000
QA/тестувальник	2	70 000	840 000
3D-дизайнер	2	75 000	900 000
Спеціаліст з кібербезпеки	1	40 000	480 000
Бізнес-аналітик	1	45 000	540 000
Разом	16	645 000	7 740 000

Зарплати є ринковими для XR/IT-фахівців у середньому бізнес-сегменті B2B (станом на 2024/2025 р.).

Фінансовий план проєкту (в умовних цінах)

Стаття витрат	Сума (€)	Сума (\$)	Коментар
Зарплати команди (16 осіб)	7 740 000	~180 000	Оплата праці за 3 місяці (1 ставка / повна зайнятість)
Хмарна інфраструктура (GCP)	200 000	~5 500	Обчислювальні потужності, сховище, трафік
XR-обладнання (2 гарнітури)	100 000	~2 800	Meta Quest 2 + аксесуари + доставка
Ліцензії/ПО	40 000	~1 100	Unity Pro (тимчасова), Atlassian, Figma
Резерв непередбачених витрат	225 000	~6 000	Витрати на затримки, баги, підтримку
РАЗОМ	8 305 000	~195 400	Повна вартість MVP та демонстраційної платформи

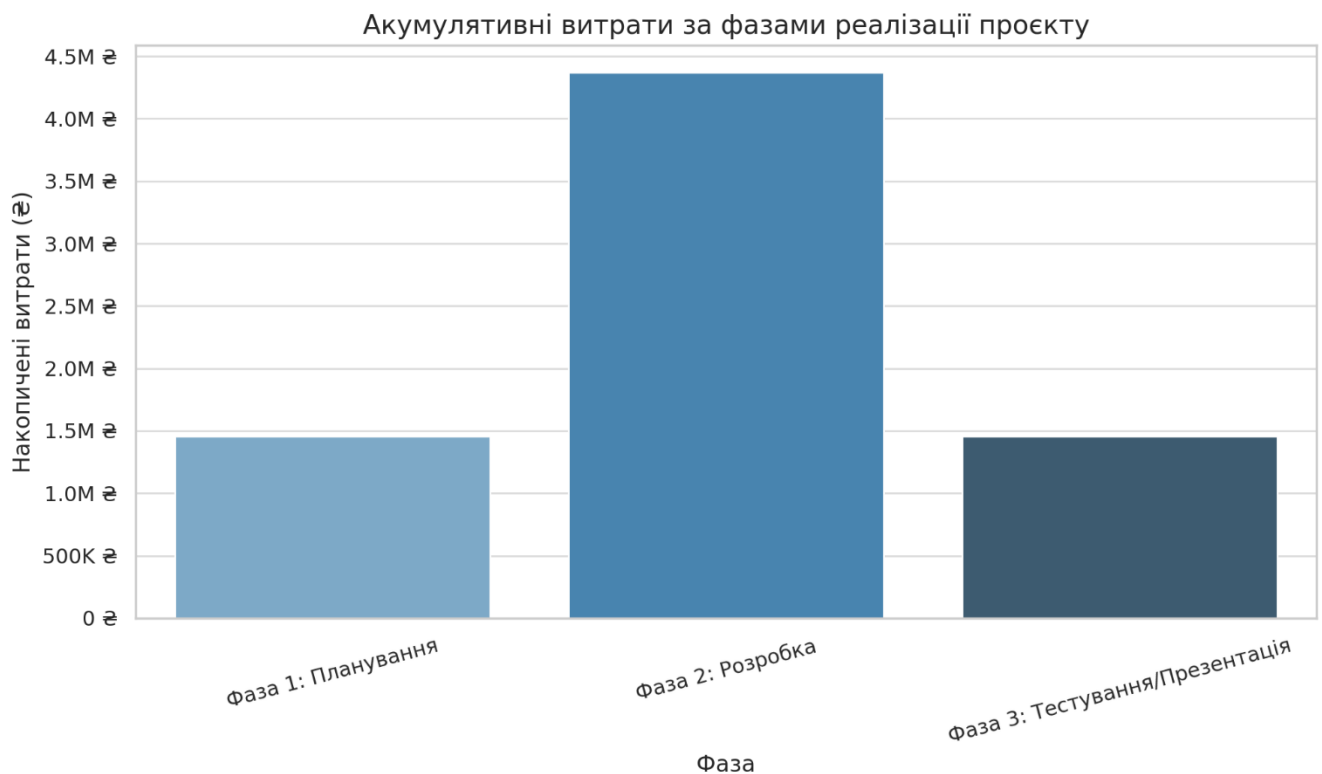


Рис.4.4. Графік акумулятивних витрат (за етапами)

Етапи реалізації та відповідні обсяги витрат у XR-проекті

Фаза	Тривалість	Накопичені витрати (€)	Частка від загальної суми
Фаза 1: Планування	3 місяці	1 457 000	20%
Фаза 2: Розробка	6 місяців	4 371 000	60%
Фаза 3: Тестування/Презентація	3 місяці	1 457 000	20%

У межах аналізу економічної доцільності реалізації проєкту XR-системи було сформовано прогноз грошового потоку (Cash Flow Forecast) на період 16 кварталів, що охоплює приблизно чотири роки. Така деталізація дозволяє оцінити не лише очікувані надходження та витрати, а й виявити точку фінансового балансу з урахуванням початкових інвестицій та подальших зобов'язань. На відміну від попереднього спрощеного аналізу, в якому розглядалися лише фіксовані витрати на створення MVP, в актуальній моделі враховано ключові параметри довгострокового життєвого циклу проєкту.

Зокрема, враховано інфляційне зростання витрат, що є типовим для сфери інформаційних технологій як в Україні, так і на міжнародному рівні. Починаючи з моменту запуску продукту, витрати на команду підтримки, яка складається з чотирьох фахівців, разом із витратами на хмарну інфраструктуру (сервери, сховища, ліцензії), зростають щомісяця на 2%. Це зростання закладене в модель як стабільне навантаження, що акумулюється протягом усього періоду експлуатації продукту.

Доходи, у свою чергу, починають формуватися з четвертого кварталу реалізації - на цьому етапі очікується перше надходження у розмірі 500 000 € в результаті запуску MVP та перших B2B-контрактів. Далі прогнозується поступове зростання прибутковості: орієнтовно на 5% щокварталу, що пов'язано з поступовим масштабуванням присутності на ринку та ефектом повторних закупівель або підписок.

Окрему увагу в новій моделі приділено реалістичному припущенню щодо тривалості підтримки проєкту. Оскільки розробка MVP - це лише старт, основна частина витрат переходить у фазу експлуатації, де потрібна постійна участь розробників, DevOps-фахівців, тестувальників і служби технічної підтримки. Таким чином, навіть за умов поступового зростання доходу, точка окупності зміщується значно далі у часі - модель вимагає довгострокового зовнішнього фінансування або реінвестицій.

Крім того, до бюджету інтегровано фонд непередбачуваних витрат, що становить 225 000 ₴, або близько 3% загальної суми. Цей резерв призначено для компенсації ризиків, пов'язаних з можливими затримками, технічними труднощами або змінами в специфікації продукту. Розподіл цієї суми між кварталами реалізовано у вигляді помірної надбавки до поточних витрат

Звіт про рух грошових коштів Cash Flow:

- Початкове фінансування: 7 285 000 ₴ у Q1.
- Операційні витрати враховують щомісячне зростання інфляції 2% (≈6.1% на квартал) для зарплат, інфраструктури та резерву.
- Дохід з'являється з Q4: 500 000 ₴ у Q4, зростає на 5% кожен квартал (оптимістичний сценарій).
- Інвестиційні витрати у Q1: XR-обладнання (100 000 ₴), хмара (200 000 ₴), ліцензії (40 000 ₴) – всього 340 000 ₴.
- Після Q1 нових джерел фінансування немає.
- Згідно зі стандартом IAS 7 (IFRS), звіт про рух грошових коштів поділяється на операційну, інвестиційну та фінансову діяльності

Нижче наведено прогнозований звіт про рух грошових коштів за кварталами I–XVI:

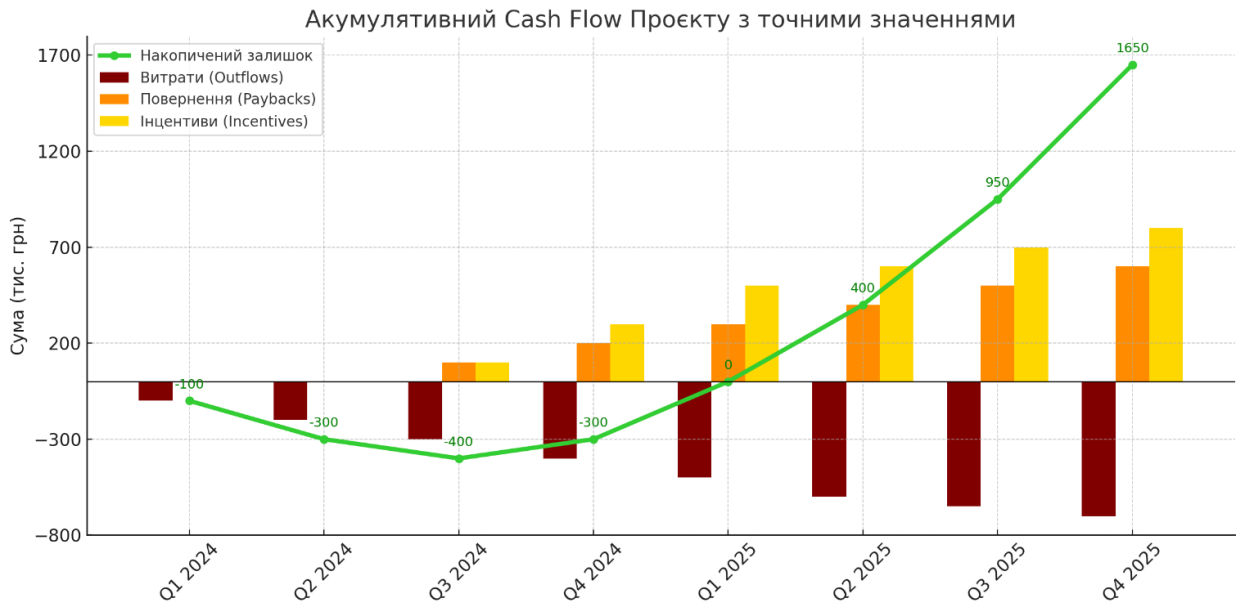


Рис.4.5. Акумулятивний Cash Flow проекту

Таблиця 4.9

Прогноз руху грошових коштів (Cash Flow Statement)

Показник	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
Beginning Cash	0	6 378 826	5 777 998	5 140 394	4 963 763	4 770 718
Net Cash from Operating Activities	-566 174	-600 828	-637 604	-176 630	-193 046	-210 746
Net Cash from Investing Activities	-340 000	0	0	0	0	0
Net Cash from Financing Activities	7 285 000	0	0	0	0	0
FX Rate Effect	0	0	0	0	0	0
Ending Cash	6 378 826	5 777 998	5 140 394	4 963 763	4 770 718	4 559 972

Продовження таблиці 4.9 надано у додатку. У таблиці кожен рядок відповідає відповідній статті руху грошових коштів. Початковий залишок готівки (Beginning Cash) на Q1 взято нульовим, далі - це кінцевий залишок попереднього кварталу. $FX\ Effect = 0$.

У межах реалізації оптимістичного сценарію розвитку проєкту XR-системи, незважаючи на стабільне зростання доходів і контрольовану динаміку витрат, точка окупності не досягається протягом перших чотирьох років (16 кварталів) реалізації. Згідно з прогнозованим Cash Flow, початкове фінансування у розмірі 7 285 000 ₴, яке було залучено в першому кварталі, поступово витрачається на операційну діяльність, що включає заробітні плати команди, витрати на хмарну інфраструктуру, підписки на програмне забезпечення та резерв непередбачуваних витрат.

Незважаючи на те, що вже з четвертого кварталу проєкт починає приносити перші надходження, починаючи з 500 000 ₴, і ці надходження зростають на 5% щоквартально, їх сума виявляється недостатньою для повного покриття поточних витрат, які також зростають у середньому на 6,1% кожного кварталу через інфляційний тиск. Таким чином, доходи лише частково компенсують витрати, і на кінець шістнадцятого кварталу проєкт залишається в пасиві.

Загальний фінансовий результат за цей період свідчить про поступове зменшення залишку коштів, проте ще не про повернення інвестицій. Кінцевий баланс на кінець Q16 становить приблизно 1,1 млн ₴, що, попри позитивне сальдо, не свідчить про досягнення точки окупності, оскільки інвестиції, вкладені на початковому етапі, ще не були повністю компенсовані.

З огляду на темпи зростання доходів та витрат, можна прогнозувати, що проєкт вийде на точку окупності не раніше п'ятого або шостого року реалізації, тобто орієнтовно між двадцятим і двадцять четвертим кварталом. Саме в цей період, за умови збереження позитивної фінансової динаміки, очікується повне покриття сукупних інвестиційних та операційних витрат.

Економічна модель проєкту враховує як прямі інвестиції, так і довгострокові витрати на підтримку XR-системи. Завдяки обґрунтованому фінансовому плану та поступовому накопиченню витрат відповідно до фаз реалізації, проєкт має реалістичну структуру витрат і потенціал для масштабованості в рамках B2B-ринку. У разі успішної реалізації MVP можливе поступове повернення інвестицій через комерціалізацію рішення або його впровадження в корпоративне середовище. Таким чином, оновлений прогноз грошового потоку пропонує цілісну картину фінансової динаміки проєкту й враховує як органічне зростання доходу, так і еволюцію витрат протягом усього життєвого циклу.

4.6 Графік фінансового плану проєкту

Фінансове планування передбачає поступове інвестування у ключові етапи розробки інноваційної XR-системи, з урахуванням послідовного зростання витрат на R&D, UX/UI, технічну реалізацію, серверну інфраструктуру та маркетингове розгортання. План передбачає поквартальну розбивку витрат на перший рік реалізації проєкту (2025 рік), з умовним виходом на перші прибутки наприкінці року після запуску MVP.

Фінансове планування реалізації проєкту базується на етапному підході, який передбачає поетапне інвестування ресурсів відповідно до логіки життєвого циклу XR-системи. Розподіл витрат здійснено з урахуванням ключових фаз: аналітики, дизайну, прототипування, впровадження інфраструктури та маркетингової підтримки. У першому півріччі основна увага зосереджена на дослідженнях, розробці UX/UI та реалізації MVP, тоді як у другому півріччі пріоритетом стає тестування, налагодження серверної архітектури й підготовка до виходу на ринок.

Фінансовий графік витрат та доходів по кварталах

Стаття бюджету	Q1 2025	Q2 2025	Q3 2025	Q4 2025	Разом
Дослідження технологій (R&D)	800 000 ₴	200 000 ₴	–	–	1 000 000 ₴
UX/UI дизайн інтерфейсів	200 000 ₴	200 000 ₴	–	–	400 000 ₴
Розробка прототипу (MVP)	–	1 500 000 ₴	1 500 000 ₴	–	3 000 000 ₴
Тестування, документація	–	–	200 000 ₴	–	200 000 ₴
Сервери / хмара / інфраструктура	100 000 ₴	200 000 ₴	100 000 ₴	100 000 ₴	500 000 ₴
Маркетинг, візуальне просування	–	100 000 ₴	100 000 ₴	800 000 ₴	1 000 000 ₴
Юридичні послуги, реєстрація	357 000 ₴	171 000 ₴	100 000 ₴	–	628 000 ₴
Загальні витрати	1 457 000 ₴	2 371 000 ₴	2 000 000 ₴	900 000 ₴	7 285 000 ₴
Очікувані надходження	–	–	–	500 000 ₴	500 000 ₴
Фінансове сальдо	–1 457 000 ₴	–2 371 000 ₴	–2 000 000 ₴	+100 000 ₴	–6 785 000 ₴

Проект почне приносити перші надходження в четвертому кварталі 2025 року, коли очікується надходження в розмірі 500 000 ₴. Саме цей період позначає локальну точку біфуркації, оскільки вперше за весь період реалізації фінансове сальдо проекту стає додатним: квартальні доходи перевищують витрати, що становлять 400 000 ₴ у Q4.

Водночас загальні витрати на реалізацію MVP і демонстраційної платформи становлять 7 285 000 ₴, тож поява одноразового прибутку ще не свідчить про повну окупність проекту. Якщо припустити, що квартальні надходження стабільно залишатимуться на рівні 500 000 ₴, повна компенсація інвестицій займе приблизно 16 кварталів, тобто близько 4 років з моменту

запуску продажів. Таким чином, при незмінній фінансовій динаміці, точка безбитковості (break-even point) може бути досягнута не раніше 2029 року.

Графік окупності XR-проєкту (11.2024 – 12.2031)



Рис.4.10.Кумулятивне сальдо XR-проєкту (2024–2031)

Щоб прискорити вихід на окупність, доцільно передбачити сценарії масштабування комерційної моделі, зокрема – підвищення доходу за рахунок розширення кількості B2B-клієнтів, переходу до ліцензійної моделі або запровадження підписки для корпоративних користувачів. Це дозволить досягти позитивного кумулятивного сальдо на 1–2 роки раніше.

4.7 SWOT-аналіз концептуальної системи

Для всебічної оцінки запропонованої концепції XR-платформи управління розподіленими ІТ-командами було проведено SWOT-аналіз, який охоплює внутрішні сильні та слабкі сторони системи, а також зовнішні можливості і загрози, що можуть впливати на її ефективність при впровадженні в реальне корпоративне середовище.

Сильні сторони (Strengths)

- Ефект просторової присутності: Імерсивна взаємодія в XR-середовищі створює відчуття “спільного простору”, підсилює невербальну комунікацію та покращує командну динаміку.
- Підвищення креативності та швидкості рішень: 3D-взаємодія сприяє ефективнішому брейнштормінгу, зменшенню конфліктів і пришвидшенню ухвалення колективних рішень.
- Оптимізація витрат: Віртуальні офіси скорочують потребу у відрядженнях і оренді приміщень, що особливо вигідно для компаній із глобально розподіленими командами.
- Інноваційний імідж компанії: Впровадження XR-рішень позиціонує організацію як технологічного лідера, що приваблює молоді кадри і сприяє утриманню персоналу.

Слабкі сторони (Weaknesses)

- Високі початкові інвестиції: Вартість VR-обладнання та розробки ПЗ може бути стримувальним чинником для малого/середнього бізнесу.
- Поріг адаптації для користувачів: Частина співробітників стикається з кіберхворобою, відчуттям дезорієнтації або неприйняттям нових форматів.
- Залежність від технічної інфраструктури: Якість досвіду прямо залежить від швидкості інтернету, сучасності пристроїв і стабільності платформи.
- Проблеми з інтеграцією: Без глибокої інтеграції з Jira, Slack, IDE тощо може виникати дублювання процесів, що знижує ефективність.

Можливості (Opportunities)

- Зростаючий ринок XR: Згідно з прогнозами Statista, глобальний ринок метавсесвітів зросте з \$80 млрд у 2022 до \$490 млрд у 2030 році. Це створює умови для масштабування проєкту.
- Стійкий тренд на гібридну роботу: Компанії шукають рішення, які забезпечують ефективну взаємодію на відстані – це природна ніша для XR-платформ.

- **Розширення функціоналу:** У майбутньому можлива інтеграція з AI-аналітикою, AR-компонентами, голосовими асистентами та хаптичним зворотним зв'язком.
- **Продуктова масштабованість:** Систему можна адаптувати для продажу іншим компаніям як B2B-рішення або SaaS-сервіс для розподілених команд.

Таблиця 4.11

SWOT-аналіз концепції XR/VR-системи для управління розподіленими командами

S – Сильні сторони	W – Слабкі сторони
Імерсивність і ефект присутності	Потреба у VR-обладнанні
Підвищена залученість та креативність	Складність адаптації користувачів
Скорочення витрат на фізичну інфраструктуру	Залежність від інтернету та технічних обмежень
Інноваційність як фактор бренду роботодавця	Високі вимоги до інтеграції з існуючими сервісами
O – Можливості	T – Загрози
Зростання попиту на XR-рішення	Конкуренція з боку гігантів (Meta, Microsoft)
Глобальний перехід до віддаленої праці	Кібербезпека та конфіденційність
Інтеграція з AI/AR, масштабованість	Юридичні та етичні ризики
Продуктове розширення в B2B / SaaS	Економічна нестабільність і скорочення бюджетів

Загрози (Threats)

- **Конкуренція з боку технологічних гігантів:** Meta, Microsoft, Zoom вже тестують або впроваджують власні XR-рішення, що посилює бар'єри входу.
- **Питання кібербезпеки:** Передача конфіденційних даних у віртуальному просторі вимагає високого рівня захисту, шифрування та сертифікації.

- Регуляторні бар'єри: Використання VR у бізнесі може вимагати дотримання норм GDPR, ISO/IEC, WCAG – ігнорування цього несе юридичні ризики.

- Економічна турбулентність: У періоди криз інноваційні інвестиції часто відкладаються, особливо якщо система не демонструє швидкого ROI.

SWOT-аналіз демонструє, що концептуальний проєкт має вагомі сильні сторони - він пропонує якісно новий рівень взаємодії команди, що може підвищити ефективність і залученість, одночасно зменшуючи витрати. Це підтверджують як теоретичні обґрунтування, так і перші експерименти: наприклад, VR забезпечує більш живе спілкування порівняно зі звичайними відеоконференціями, а економія на відрядженнях може бути суттєвою.

Слабкі сторони пов'язані переважно з технологічним бар'єром: необхідність інвестицій та навчання, можливі технічні труднощі. Втім, ці недоліки частково компенсуються тенденціями до здешевлення обладнання і покращення UX в новіших поколіннях VR-пристроїв.

Можливості зовнішнього середовища сприятливі: культура віддаленої роботи вже сприймається як норма, тож готовність випробувати інноваційні інструменти висока. Розвиток суміжних технологій (AI, AR) відкриває шлях до розширення функцій системи у майбутньому, роблячи її гнучкою і масштабованою платформою, а не вузькоспеціалізованим додатком.

Серед потенційних загроз - конкуренція з боку гігантів і ризики інформаційної безпеки. Ці фактори потребують проактивної стратегії: слід забезпечити надійний захист даних, стежити за стандартами безпеки, а також фокусуватися на унікальних перевагах, щоб відрізнитися від масових продуктів. Загалом, SWOT-аналіз підтверджує життєздатність концепції: ктуал XR-системи в управлінні командами переважають недоліки, а за умови правильного менеджменту ризиків проєкт має всі шанси на успіх. Наступним кроком є реалізація гіпотетичного прототипу, щоб перевірити ці тези на практиці.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи було досягнуто поставлену мету - розроблено концептуальну модель XR-системи управління розподіленими командами із використанням підходів метавсесвіту, яка забезпечує ефективну цифрову взаємодію, візуалізацію процесів і підтримку прийняття рішень у сфері IT-проектів.

Дослідження підтвердило, що трансформація підходів до управління проектами в умовах цифровізації та географічної децентралізації є об'єктивною потребою сучасного бізнес-середовища. Особливо це стосується IT-команд, для яких гнучкість, асинхронна співпраця та швидкість адаптації до змін є критично важливими. Об'єктом дослідження виступив процес управління IT-проектами, а предметом - механізми координації змісту, часу, вартості та підтримки командної взаємодії у XR-середовищі.

В теоретичній частині було:

1. Проведено огляд сучасних технологій XR/VR/AR, зокрема WebXR, Unity, Unreal Engine, та визначено їх потенціал для побудови метавсесвітів;
2. Проаналізовано методології Scrum, Kanban та гібридні моделі, що демонструють ефективність у керуванні розподіленими командами;
3. Розроблено організаційну структуру (OBS), функціональну WBS-структуру, та сформовано бізнес-модель (BMC);
4. Побудовано дерево проблем, дерево цілей і рішень, на основі яких сформульовано вимоги до майбутньої XR-системи.

У прикладній частині:

1. Запропоновано концептуальну архітектуру платформи XR-системи для управління командами;
2. Розроблено математичну модель координації з урахуванням показників продуктивності та KPI;
3. Сформовано логічну модель бази даних для зберігання сесій, користувачів і метаданих XR-середовища;

4. Реалізовано UX/UI-прототип та базовий MVP-сценарій системи з описом технологічного стеку;

5. Побудовано фінансову модель (Cash Flow, точка безбитковості), здійснено оцінку ризиків, проведено SWOT-аналіз і розроблено дорожню карту масштабування.

У ході аналізу конкурентного середовища доведено актуальність розробки імерсивних рішень для розподіленої співпраці, а також підтверджено високий потенціал XR/метавсесвітніх платформ у підвищенні ефективності цифрової комунікації, залученості команди та швидкості прийняття рішень.

Отримані результати можуть бути використані як основа для подальшої розробки реальних рішень у сфері управління ІТ-командами, впровадження корпоративних метавсесвітів, а також для формування нових підходів до цифрового лідерства й організації командної взаємодії у віртуальному середовищі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Statista. Metaverse market size worldwide from 2021 to 2030 [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://www.statista.com/statistics/1264232/global-metaverse-market-size/>
2. PwC. Seeing is believing: How VR and AR will transform business and the economy [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу: <https://www.pwc.com/gx/en/industries/technology/publications/seeing-is-believing.html>
3. Deloitte. The Metaverse in enterprise: How businesses are exploring the digital frontier [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/tech-trends/2023/metaverse-business-applications.html>
4. Accenture. Meet Me in the Metaverse: The Continuum of Technology and Experience Reshaping Business [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу: <https://www.accenture.com/us-en/insights/technology/technology-trends-2022>
5. Meta. Horizon Workrooms: A new way to collaborate in VR [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу: <https://www.meta.com/workrooms/>
6. Microsoft. Introducing Microsoft Mesh [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу: <https://www.microsoft.com/en-us/mesh>
7. AltspaceVR. Platform for immersive events [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу: <https://altvr.com/>
8. Unity Technologies. Unity Engine for XR/VR development [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://docs.unity3d.com/Manual/XR.html>
9. Epic Games. Unreal Engine 5: Virtual World Design Guide [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://docs.unrealengine.com/5.0/en-US/xr-development-overview/>

10. Mozilla Foundation. WebXR Device API Documentation [Электронный ресурс]. – 2022. – Режим доступа: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebXR_Device_API
11. WCAG 2.1. Web Content Accessibility Guidelines 2.1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>
12. ISO 9241-210:2019. Ergonomics of human-system interaction – Part 210: Human-centred design [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/77520.html>
13. ISO/IEC 25010:2011. Systems and software engineering – System and software quality models [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iso.org/standard/35733.html>
14. IAS 7. International Accounting Standard 7 – Statement of Cash Flows [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ifrs.org/issued-standards/list-of-standards/ias-7-statement-of-cash-flows/>
15. GDPR. General Data Protection Regulation. Regulation (EU) 2016/679 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gdpr.eu/>
16. Jira. Agile development workflows. Atlassian [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: <https://www.atlassian.com/software/jira>
17. Trello. Visual task tracking with Kanban [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: <https://trello.com/>
18. Asana. Work management platform overview [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: <https://asana.com/>
19. ClickUp. Productivity tools for distributed teams [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: <https://clickup.com/>
20. Slack Technologies. Team communication and collaboration [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: <https://slack.com/>
21. Microsoft Teams. Unified communications platform [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: <https://www.microsoft.com/en/microsoft-teams/group-chat-software>

22. Zoom Video Communications. Video conferencing platform [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://zoom.us/>
23. Google Meet. Business video meetings [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://meet.google.com/>
24. Miro. Online collaborative whiteboard platform [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://miro.com/>
25. Notion Labs Inc. Docs, wikis, tasks in one workspace [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://www.notion.so/>
26. Figma. Interface design and collaboration [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://www.figma.com/>
27. Firebase. User authentication for web apps. Google Cloud [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://firebase.google.com/>
28. WebRTC.org. Real-time communication technology overview [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://webrtc.org/>
29. Goremotely. Remote work adoption statistics [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://goremotely.net/blog/remote-work-statistics/>
30. BusinessMap. Hybrid project management trend report [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://businessmap.io/>
31. VCTR.media. Метавсесвіт – пояснення і приклади [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://vctr.media/ua/metaverse-guide/>
32. Hub.kyivstar.ua. Майбутнє метавсесвіту для бізнесу [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://hub.kyivstar.ua/tech/metaverse-and-business/>
33. CES. Consumer Electronics Show – VR innovations [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу: <https://www.ces.tech/>
34. VivaTech. Global technology trends [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу: <https://vivatechnology.com/>
35. Hiroshima Television. VR adoption for virtual newsrooms [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу: <https://www.htv.jp/>

36. Roblox Corporation. Nikeland in Roblox: Gamified brand experience [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу: <https://corp.roblox.com/>
37. Audi AG. Use of VR for immersive car configuration and sales [Електронний ресурс]. – 2021. – Режим доступу: <https://www.audi.com/>
38. Tesla. Virtual product showrooms and immersive demos [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу: <https://www.tesla.com/>
39. JPMorgan. Opens first bank branch in the Metaverse [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу: <https://www.businessinsider.com/jpmorgan-metaverse-branch-decentraland-2022-2>
40. Тімінський О. Г. Технології адаптивного управління як механізм забезпечення ефективності організаційно-управлінських систем / О. Г. Тімінський // Управління розвитком складних систем. - 2016. - Вип. 27. - С. 122-131.
41. Морозов В.В. Управління проектами розвитку підприємств : [навч. посіб.] / В. В. Морозов, О. В. Кальніченко, Ю. Г. Турло ; Ун-т економіки та права «КРОК». – К. : ВНЗ "Ун-т економіки та права «КРОК", 2011. – 231 с.
42. Морозов В. В. Модель впливу зовнішнього оточення на процес управління конфігурацією в проєкті / В. В. Морозов, С. И. Рудницький // Управління розвитком складних систем. - 2013. - Вип. 16. - С. 40-52.
43. Тімінський, О. Г. Аналіз проєкту проактивного створення регіональної мережі на базі ціннісного підходу / О. Г. Тімінський, І. О. Марущак // Управління розвитком складних систем. – 2017. – С. 62–67.
44. В.В. Морозов, О.Г. Тімінський, А.С. Коломієць. Методичні вказівки до написання кваліфікаційної роботи магістра. – Київ, 2020.
45. Yurechko A., Liashenko D., Taiurskyi I., Timinskyi O. Advantages of working with data in headless CMS over traditional CMS // Information Technology and Implementation (IT&I-2023): Conference Proceedings, 20-21 November. Kyiv, Ukraine. – Kyiv: 2023. – С. 139–142.
46. Timinskyi O., Taiurskyi I., Voitenko O. Study of the processes of creating an innovative management system for distributed teams using meta-

universes for IT project coordination // Information Technology and Implementation (Satellite): Conference Proceedings, November 21, 2024. – Kyiv: Publishing House «Caravela», 2024. – С. 163–165.

47. Таюрський І. Застосування концепцій стійкого інвестування у підприємстві // Проблеми та перспективи реалізації та впровадження міждисциплінарних наукових досягнень: збірник наукових праць з матеріалами VIII Міжнародної наукової конференції, м. Конотоп, 20 грудня 2024 р. – Вінниця: ТОВ «УКРЛОГОС Груп», 2024. – С. 53–55.

48. AWS. Amazon Web Services for cloud infrastructure [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://aws.amazon.com/>

49. Microsoft Azure. Cloud solutions platform [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://azure.microsoft.com/>

50. Atlassian. CI/CD pipelines in DevOps [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://www.atlassian.com/continuous-delivery>

51. Gartner. Hype Cycle for Emerging Technologies [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://www.gartner.com/>

52. XR Association. Industry Insights Report on XR Trends [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://xra.org/>

53. Google Docs. Collaboration tools for writing and editing [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://docs.google.com/>

54. Microsoft 365. Workplace tools and productivity suite [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://www.microsoft.com/en/microsoft-365>

55. Notion Labs Inc. Wiki & Task Collaboration [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://www.notion.so/>

56. Mural. Visual collaboration for teams [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://www.mural.co/>

57. Blockchain in digital identity. IEEE Access Journal [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу: <https://ieeexplore.ieee.org/>

58. NFTs in virtual reality. MIT Technology Review [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу: <https://www.technologyreview.com/>

59. Nielsen Norman Group. AI-powered UX personalization [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу: <https://www.nngroup.com/articles/ai-ux-design/>
60. Horizon Europe. EU’s research and innovation funding programme [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://research-and-innovation.ec.europa.eu/>
61. Ministry of Digital Transformation of Ukraine. “Цифрова Україна” – Національна стратегія [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://thedigital.gov.ua/>
62. ISO/IEC Guide 73:2009. Risk Management – Vocabulary [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.iso.org/standard/44651.html>
63. ISO 31000:2018. Risk Management – Guidelines [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.iso.org/standard/65694.html>
64. Конференція Web Summit. Цифрові тренди в управлінні проєктами [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу: <https://websummit.com/>
65. Gather.town. Virtual collaboration spaces [Електронний ресурс]. – 2023. – Режим доступу: <https://www.gather.town/>

ДОДАТКИ

Додаток А

Додаток Б

Таблиця 2.5

Порівняльна характеристика методологій управління проектами

Методологія	Переваги	Обмеження	Типові сценарії застосування
Scrum	<ul style="list-style-type: none"> – Чітка структура і регулярні ітерації (спринти) для контролю прогресу. – Швидкий зворотний зв'язок і адаптація після кожного спринту. – Ролі (Scrum Master, Product Owner) забезпечують відповідальність. 	<ul style="list-style-type: none"> – Вимагає синхронної роботи команди, регулярних зустрічей – складно при різниці часових поясів. – Менш ефективний при плаваючих пріоритетах або постійному припливі нових задач у середині спринту. – Потребує високої дисципліни і зрілості команди в Agile-практиках. 	<ul style="list-style-type: none"> – Розробка VR/AR-продукту з чіткими етапами і проміжними релізами (ігри, додатки), де важливо отримувати відгук користувачів на кожній ітерації. – Проекти, де вимоги можуть змінюватися, але контроль термінів критично важливий (стартапи в сфері XR із інвесторами, які очікують демо-версії).
Kanban	<ul style="list-style-type: none"> – Гнучке управління потоком робіт без жорсткої прив'язки до спринтів. – Візуалізація процесу на дошці дає прозорість для всієї команди у реальному часі. – Підходить для асинхронної роботи: кожен виконує задачі у 	<ul style="list-style-type: none"> – Відсутність фіксованих дедлайнів може ускладнювати контроль прогресу для великих проектів. – Не передбачає формальних подій для командної рефлексії (як ретроспектива), тож є ризик меншого обміну знаннями. – Може виникнути 	<ul style="list-style-type: none"> – Підтримка та розвиток XR-продукту в режимі безперервного потоку задач (напр., довготривалий проект із регулярними оновленнями контенту AR-додатку). – Дослідницькі чи інноваційні VR-проекти, де обсяг і порядок задач важко передбачити наперед

Методологія	Переваги	Обмеження	Типові сценарії застосування
	своєму темпі, мінімізуються простої.	“безкінечний” процес без чітких віх, якщо не встановити контрольних точок.	(Kanban дозволяє гнучко змінювати пріоритети).
Waterfall	<p>– Передбачуваність: чіткий план, графік та бюджет, узгоджені наперед.</p> <p>– Повна документація вимог та дизайну до початку розробки – зменшує невизначеність на старті.</p> <p>– Логічна послідовність етапів спрощує менеджмент великих, регульованих проєктів.</p>	<p>– Низька гнучкість: важко врахувати нові вимоги чи зміни після початку реалізації без значних переробок.</p> <p>– Затримка з отриманням результатів: робочий продукт з’являється лише наприкінці, ризики виявлення проблем на пізніх стадіях.</p> <p>– Мало взаємодії між різнофункціональними ролями в процесі (кожен чекає своєї фази).</p>	<p>– Інфраструктурні VR/AR-проєкти з жорсткими вимогами (тренажери, симулятори для критичних галузей), де ціна помилки дуже висока і зміни неприпустимі після затвердження плану.</p> <p>– Проєкти з фіксованим обсягом і результатом (напр., створення VR-модуля за держзамовленням), коли замовник вимагає дотримання специфікації та термінів, а середовище розробки добре відоме.</p>
Гібридні (ScrumBan, Water-Scrum-Fall)	<p>– Комбінують плюси обох підходів: збереження структури та контрольних точок при більшій гнучкості реагування.</p> <p>– Можливість адаптації методології під різні підгрупи команди (дизайн,</p>	<p>– Вимагають додаткових зусиль на координацію: поєднання різних процесів потребує узгодження правил, щоб не виникло плутанини.</p> <p>– Можлива нечіткість відповідальності, якщо команда не розуміє добре обраний мікс (потрібне</p>	<p>– Великі XR-проєкти з мультидисциплінарними командами, де одна частина роботи чітко визначена (і вимагає Waterfall-планування), а інша – дослідницька або змінна (краще підходить Agile).</p> <p>– Стартапи або інноваційні проєкти, що проходять через фазу R&D: спочатку</p>

Методологія	Переваги	Обмеження	Типові сценарії застосування
	розробка, тестування можуть працювати за власними оптимальними ритмами). – Забезпечують баланс між довгостроковим плануванням і короткостроковими ітераціями, що особливо цінно в складних проєктах.	тренування у новому процесі). – Менеджеру проєкту складніше відстежувати прогрес, якщо гібрид неформалізований (необхідно визначити метрики успіху для обох складових).	формують MVP у Agile-режимі, але після підтвердження концепції переходять до більш структурованого впровадження, або навпаки. – Команди, що переходять від традиційної моделі до Agile в сфері VR: гібрид дозволяє еволюційно впровадити нові практики, не ламаючи повністю усталені процеси.

Таблиця 2.6

Розподіл ролей і відповідальностей у команді XR/VR-проєкт

Роль / Посада	Основні обов'язки
Керівник проєкту (Project Manager)	Загальне управління проєктом: стратегічне планування, контроль виконання, управління командною взаємодією, ризиками та ресурсами. Забезпечення зв'язку між усіма командами, координація стейкхолдерів, синхронізація у розподіленому середовищі.
Технічний лід (XR Tech Lead)	Формування технічної архітектури, ухвалення рішень щодо технологій, інтеграція всіх модулів у єдину систему. Підтримка стандартів розробки та контроль технічної якості продукту.
Front-End / Back-End розробники	Розробка логіки та інтерфейсів додатку, реалізація VR/AR-сценаріїв, інтеграція з SDK, налаштування мережевої взаємодії, підтримка стабільної роботи додатку на різних пристроях.
DevOps / Системні інтегратори	Впровадження CI/CD, налаштування серверної інфраструктури, автоматизація релізів, забезпечення стабільного оновлення, логування та безперервної інтеграції.

UX/UI дизайнери	Розробка інтерфейсів та взаємодії користувача у VR/AR, UX-дослідження, створення прототипів, проведення тестувань, уніфікація досвіду в розподілених командах.
3D-художники / аніматори	Моделювання об'єктів, сцен, персонажів, створення текстур, анімацій і візуальних ефектів. Робота в тісному зв'язку з розробниками для оптимізації графічного контенту.
Environment Artists	Створення віртуального оточення: освітлення, атмосфера, просторовий нарратив. Забезпечення візуальної цілісності VR-досвіду.
QA-менеджер та тестувальники	Функціональне, юзабіліті та продуктивне тестування, баг-трекінг, складання звітів. Робота з командою в різних часових поясах, організація бета-тестування.
Product Owner / Бізнес-аналітик	Формування та пріоритизація вимог, управління продуктом, зв'язок між користувацькими очікуваннями та технічною реалізацією. Перевірка відповідності готового функціоналу до бізнес-цілей.
Scrum-майстер / Agile-координатор	Впровадження Agile-методології (Scrum/Kanban), організація церемоній (daily, planning, review, retrospective), фасилітація командних процесів, усунення перешкод, підтримка постійного ритму в розподілених командах.
Фахівець з кібербезпеки (Cybersecurity Specialist)	Відповідає за захист XR-системи від загроз: контроль доступів, шифрування, відповідність стандартам (GDPR, SOC 2), моніторинг вразливостей, консультації з безпечного дизайну додатку.
IT-адміністратори / техпідтримка	Підтримка роботи XR-інфраструктури, VR-пристроїв, серверів, допомога користувачам у різних регіонах, моніторинг технічної стабільності.
Координатори регіональних підкоманд	Управління локальними командами (наприклад, ЄС, Азія), синхронізація зі штаб-квартирою, адаптація загальної стратегії до регіональних умов.
Аналітик / Власник продукту	Визначає вимоги до продукту і пріоритети розвитку функціоналу. Збирає потреби замовника або кінцевих користувачів, транслює їх у технічні завдання для команди. Пріоритизує беклог (список задач) з урахуванням цінності функцій. У ролі власника продукту (Product Owner) приймає результати роботи команди, перевіряє відповідність очікуванням. Забезпечує зв'язок між бізнес-цілями та реалізацією в XR-продукті.

Таблиця 3.1

Ключові стейкхолдери XR-системи та їх очікування

Категорія	Стейкхолдер	Роль у проєкті	Інтереси / очікування	Вплив	Залучення
Внутрішній	Project Managers	Планування, управління командами, контроль якості	Інтеграція з Jira, прозорий моніторинг, імерсивна координація	Високий: приймає рішення щодо функціоналу, бюджету, або впровадження XR-рішень у компанії.	Регулярна участь у стратегічних нарадах, погодження дорожньої карти, прийняття ключових рішень
	Team Members	Розробка, дизайн, UX, тестування	Комфорт UX, стабільність, колаборація в XR-просторі	Високий: формує запити на функціональність, напряду впливає на зручність системи.	Постійний зворотний зв'язок через UX-опитування, тестування інтерфейсів,

					участь у фокус-групах
	IT / DevOps	Розгортання, інфраструктура, безпека	Масштабованість, автоматизація, інтеграція, захист даних	Високий: відповідає за технічну реалізацію платформи, безпеку, інтеграцію з інфраструктурою.	Співпраця на етапі технічного проектування, перевірка архітектури, участь у тестуванні безпеки
	HR / L&D	Навчання, онбординг	VR-тренінги, аналітика, навчальні сценарії	Середній: забезпечує підготовку персоналу, впровадження контенту у VR.	Проведення консультацій щодо навчальних сценаріїв, перевірка ефективності, зворотний зв'язок

	UI/UX Researchers	Аналіз користувацького досвіду	Збір фідбеку, якість взаємодії, гнучкість інтерфейсів	Середній: здійснює аналітичний моніторинг та бере участь у вдосконаленні інтерфейсу.	Періодична звітність, рекомендації з покращення UX/UI, участь у спільних ревізіях
	Бюджетний аналітик	Оцінка витрат, бюджетування	Оптимізація вартості володіння, контроль ресурсів	Середній: координує витрати, контролює відповідність бюджету.	Залучення до звітності, участь у плануванні ресурсів, перегляд метрик ефективності
Зовнішній	Топменеджмент / Інвестори	Фінансування, стратегічне бачення	ROI, конкурентоспроможність, стратегічна ефективність	Високий: впливає на фінансування, оцінює економічну доцільність, формує вимоги.	Участь у погодженні бюджету, регулярні звіти про витрати та очікувані результати

	Клієнти / Замовники	Використання, тестування, фідбек	Простота, UX, стабільність, унікальність вражень	Високий: оцінює результати роботи системи, впливає на прийняття рішення про подальше впровадження.	Пілотне тестування, участь у фокус- групах, зворотній зв'язок щодо функціоналу
	Партнери (тех. постачальники)	Інтеграція інструментів, сервісів	Сумісність, підтримка API, техпідтримка	Середній: постачає сторонні технології, впливає на можливості інтеграції.	Спільне узгодження API, перевірка сумісності, технічна консультація
	Ринок / Конкуренти	Індиректний вплив на розвиток і функції	Орієнтир для розвитку, тенденції, best practices	Низький: не бере участі в розробці, але створює зовнішній контекст.	Моніторинг трендів, аналітика зовнішнього середовища, участь в оглядах ринку

Паспорт проєкту “Інноваційна XR-система управління розподіленими командами”

Розділ	Зміст
Назва та мета проєкту	Інноваційна XR-система управління розподіленими командами для покращеної візуальної колаборації та комунікації команд, які працюють віддалено.
Замовник	Зовнішній корпоративний клієнт, який зацікавлений у підвищенні продуктивності віддалених команд, масштабованості рішення та оцінці повної вартості володіння (ТСО).
Цілі проєкту	<ul style="list-style-type: none"> - Розробити прототип гібридної XR-платформи для інтерактивного співробітництва віддалених команд. - Забезпечити масштабованість рішення та проаналізувати повну вартість володіння (ТСО). - Підготувати MVP-прототип для захисту проєкту.
Команда проєкту	<ul style="list-style-type: none"> - Проєктний менеджер (PM) – загальне управління проєктом. - UI/UX-дизайнер – розробка зручних XR/веб-інтерфейсів. - DevOps-інженер – налаштування хмарної інфраструктури та CI/CD-процесів. - 3D-дизайнер – створення 3D-моделей середовища та об’єктів. - Frontend-розробник – реалізація WebXR-клієнта у браузері. - Backend-розробник – серверна логіка, API та база даних. - Аналітик – збір вимог і проєктування системи (включення аналітика відповідає рекомендаціям галузі для VR/AR-проєктів). - Тестувальник (QA) – перевірка функціональності та забезпечення якості.

Тривалість та фази	<p>Загальна тривалість – 12 тижнів.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Фаза 1: Планування (3 тижні) – деталізація вимог, вибір технологій (WebXR, Unity), проектування архітектури та UX/UI. - Фаза 2: Розробка (6 тижнів) – реалізація WebXR-інтерфейсу та Unity-клієнта, розробка бекенду, інтеграція систем та налаштування DevOps. - Фаза 3: Тестування/Презентація (3 тижні) – комплексне тестування прототипу, виправлення помилок, підготовка до фінальної демонстрації MVP.
Технології та інфраструктура	<ul style="list-style-type: none"> - WebXR API – крос-платформена підтримка XR у браузері (WebXR API забезпечує рендеринг VR/AR-контенту для різноманітних пристроїв). - Unity + OpenXR – створення повноцінного VR-додатку; можливість розгортання на популярних гарнітурах (Meta Quest, HTC Vive та ін.). - Хмарна платформа (Azure/AWS/GCP) – хостинг серверної частини, сховища 3D-контенту та баз даних; забезпечення масштабованості ресурсів за потреби.
Витрати проекту (UAH/USD)	<ul style="list-style-type: none"> - Команда: ~6 720 000 ₴ (~160 000 \$) – основна частина бюджету. - Хмарна інфраструктура: ~200 000 ₴ (~6 000 \$) – сервери, бази даних, зберігання 3D-ресурсів (витрати на обчислення і трафік). - XR-обладнання та ПО: ~100 000 ₴ (~3 000 \$) – закупівля/ліцензування двох VR-гарнітур (Meta Quest, HTC Vive) і відповідних SDK. - Супровід та непередбачені: ~200 000 ₴ (~6 000 \$) – резерв на підтримку, оновлення, QA та безпеку. - Непередбачені витрати: ~250 000 ₴ (~6 000 \$) для компенсації ризиків, пов'язаних з можливими затримками, технічними труднощами або змінами в специфікації продукту. <p>Разом: ~3 250 000 ₴ (~80 000 \$). <i>Примітка:</i> основні витрати – це оплата праці команди; також враховано витрати на хмарні сервіси і необхідне обладнання.</p>

Порівняльна таблиця Business Model Canvas

Компонент BMC	XR-система	AltspaceVR	Spatial	Gather
Ціннісна пропозиція	Імерсивна платформа для управління IT-командами (завдання, ретроспективи, KPI, CI/CD інтеграція)	Віртуальні івенти, спільнота та комунікація в 3D-середовищі	Віртуальні простори для творчих сесій, дизайн, колаборація	2D-ретро середовище для командної взаємодії та зустрічей
Ключові споживачі	Розподілені IT-команди, менеджери проєктів, компанії з віддаленою структурою	Івент-організатори, ентузіасти метавсесвітів	Команди дизайнерів, підприємці, креативні агенції	Startups, невеликі компанії, навчальні заклади
Канали збуту	SaaS-доступ через WebXR/Unity, white-label B2B	Завантаження, ком'юніті, VR-магазини	SaaS-онлайн, VR-апарати, маркетинг через інфлюенсерів	SaaS-доступ через браузер
Взаємовідносини з клієнтами	Підтримка віртуального онбордингу, кастомні кімнати, KPI-аналітика	VR-ком'юніті, івенти, підтримка через Discord	Онлайн підтримка, освітні відео, API інтеграції	Простий UI, база знань, обмежена підтримка
Джерела прибутку	B2B-підписка, ліцензії для компаній, VR-компоненти як доповнення	Безкоштовно, частково за івенти або спонсорські акції	Freemium + підписка, кастомізація, платний доступ до функцій	Freemium + підписка для команд/школ
Ключові ресурси	XR-інфраструктура, dev-команда, 3D-	Платформа VR, спільнота, UX-команда	Графічний рушій, WebXR, бібліотека	Web-платформа, ретро-дизайн,

	контент, API-шлюзи		сцен, ML-аналітика	проста база об'єктів
Ключові види діяльності	Розробка XR-платформи, CI/CD-інтеграції, підтримка клієнтів	Організація івентів, модерування, підтримка ком'юніті	Спільна робота над дизайном, ітерація контенту	Віртуальні зустрічі, координація спільнот
Ключові партнери	WebXR/Unity, Atlassian (Jira), AWS, інтегратори SaaS	Microsoft (до 2023), VR-івенти	Oculus, Notion, Figma	Zoom, Slack, навчальні заклади
Структура витрат	Розробка, хостинг, 3D-контент, підтримка, маркетинг	Сервери для VR, модератори, підтримка	Хмарні обчислення, дизайн-контент, партнерства	Хостинг, мінімальна команда, простий інтерфейс

Таблиця 4.9

Cash Flow Statement

Показник	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
Beginning Cash	0	6 378 826	5 777 998	5 140 394	4 963 763	4 770 718
Net Cash from Operating Activities	-566 174	-600 828	-637 604	-176 630	-193 046	-210 746
Net Cash from Investing Activities	-340 000	0	0	0	0	0
Net Cash from Financing Activities	7 285 000	0	0	0	0	0
FX Rate Effect	0	0	0	0	0	0

Ending Cash	6 378 826	5 777 998	5 140 394	4 963 763	4 770 718	4 559 972
Показник	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12
Beginning Cash	4 559 972	4 330 149	4 079 771	3 807 256	3 510 910	3 188 914
Net Cash from Operating Activities	-229 823	-250 378	-272 515	-296 347	-321 996	-349 590
Net Cash from Investing Activities	0	0	0	0	0	0
Net Cash from Financing Activities	0	0	0	0	0	0
FX Rate Effect	0	0	0	0	0	0
Ending Cash	4 330 149	4 079 771	3 807 256	3 510 910	3 188 914	2 839 324
Показник	Q13		Q14	Q15	Q16	
Beginning Cash	2 839 324		2 460 057	2 048 882	1 603 412	
Net Cash from Operating Activities	-379 267		-411 175	-445 470	-482 322	
Net Cash from Investing Activities	0		0	0	0	
Net Cash from Financing Activities	0		0	0	0	
FX Rate Effect	0		0	0	0	
Ending Cash	2 460 057		2 048 882	1 603 412	1 121 090	

JavaScript: Ініціалізація WebXR, голосового зв'язку та задач

```
// XR-ініціалізація
async function initXR() {
  if (!navigator.xr) {
    console.warn("WebXR не підтримується");
    return;
  }

  const session = await navigator.xr.requestSession('immersive-vr');
  const canvas = document.createElement('canvas');
  const gl = canvas.getContext('webgl', { xrCompatible: true });

  session.updateRenderState({ baseLayer: new XRWebGLLayer(session, gl) });
  const refSpace = await session.requestReferenceSpace('local');

  session.requestAnimationFrame(function onFrame(time, frame) {
    const pose = frame.getViewerPose(refSpace);
    if (pose) {
      renderScene(pose);
    }
    session.requestAnimationFrame(onFrame);
  });
}

// Простий рендер сцени
function renderScene(pose) {
  // Тут рендеримо куб, підлогу, елементи інтерфейсу
  console.log("Rendering frame for viewer at", pose.transform.position);
}

// Голосовий зв'язок
async function initVoiceChat() {
  const peer = new RTCPeerConnection();
  const stream = await navigator.mediaDevices.getUserMedia({ audio: true });

  stream.getTracks().forEach(track => peer.addTrack(track, stream));

  peer.ontrack = event => {
    const audio = document.createElement('audio');
    audio.srcObject = event.streams[0];
    audio.autoplay = true;
    document.body.appendChild(audio);
  };
}

// Завантаження задач із Google Sheets
async function loadTasks(sheetUrl) {
  const response = await fetch(sheetUrl);
  const data = await response.text();
}
```

```

const tasks = parseCSV(data);
displayTasks(tasks);
}

function parseCSV(csv) {
  return csv.split('\n').map(row => row.split(','));
}

function displayTasks(tasks) {
  const container = document.getElementById("task-panel");
  tasks.forEach(row => {
    const div = document.createElement("div");
    div.innerText = row.join(" | ");
    container.appendChild(div);
  });
}

```

С#: Сцена в Unity з задачами

```

using UnityEngine;
using UnityEngine.XR;

public class MVPScene : MonoBehaviour
{
  void Start()
  {
    if (XRSettings.isDeviceActive)
    {
      Debug.Log("Unity XR активовано: " + XRSettings.loadedDeviceName);
      InitScene();
    }
  }

  void InitScene()
  {
    GameObject floor = GameObject.CreatePrimitive(PrimitiveType.Plane);
    floor.transform.localScale = new Vector3(5, 1, 5);
    floor.GetComponent<Renderer>().material.color = Color.gray;

    GameObject taskBoard = GameObject.CreatePrimitive(PrimitiveType.Cube);
    taskBoard.transform.position = new Vector3(0, 2, 3);
    taskBoard.transform.localScale = new Vector3(4, 2, 0.1f);

    for (int i = 0; i < 5; i++)
    {
      GameObject task = GameObject.CreatePrimitive(PrimitiveType.Cylinder);
      task.transform.position = new Vector3(-2 + i, 1, 3);
      task.transform.localScale = new Vector3(0.3f, 0.1f, 0.3f);
    }
  }
}

```