

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерної інженерії та управління  
(повна назва)

Кафедра електронних обчислювальних машин  
(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Методи та алгоритми портування ігор

(тема)

Виконав:

студент II курсу, групи СПМ-22-1  
Маматов А.О.  
(прізвище, ініціали)

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»  
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Системне програмування  
(повна назва освітньої програми)

Керівник: проф. Фесенко Т.Г.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри ЕОМ Коваленко А.А.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет \_\_\_\_\_ комп'ютерної інженерії та управління \_\_\_\_\_

Кафедра \_\_\_\_\_ електронних обчислювальних машин \_\_\_\_\_

Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ другий (магістерський) \_\_\_\_\_

Спеціальність \_\_\_\_\_ 123 «Комп'ютерна інженерія» \_\_\_\_\_  
(код і повна назва)

Тип програми \_\_\_\_\_ Освітньо-професійна \_\_\_\_\_  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма \_\_\_\_\_ Системне програмування \_\_\_\_\_  
(повна назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

**Зав.**

**кафедри**

\_\_\_\_\_ (підпис)

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

студенту \_\_\_\_\_ Маматову Артему Олексійовичу \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Методи та алгоритми портування ігор

затверджена наказом по університету від “ 06 ” листопада 2023 р. № 1299 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_ 15 січня 2024р.

3. Вхідні дані до роботи 1) Платформа Unity; 2) Оптимізація коду; 3)Портування гри за допомогою удосконалених методів

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати у роботі \_\_\_\_\_

1)Огляд існуючих рішень (методів) для портування ігор;

2)Вибір існуючих методів дослідження;

3)Реалізація та удосконалення методів у програмному застосунку;

4)Проведення експериментальних досліджень;

5)Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) \_\_\_\_\_

Слайд-презентація – 13 слайдів

6. Консультанти розділів роботи (заповнюється за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1 )

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд методів дослідження	07.11.23-13.11.23	
2	Вибір та обґрунтування методів дослідження	14.11.23-20.11.23	
3	Вибір програмного застосунку	21.11.23-23.11.23	
4	Розробка ігрового додатку	24.11.23-06.12.23	
5	Проведення експериментів	07.12.23-23.12.23	
6	Оформлення матеріалів кваліфікаційної роботи	26.12.23-02.01.24	
7	Подання кваліфікаційної роботи керівникові та її попередній захист	03.01.24-06.01.24	
8	Подання кваліфікаційної роботи на рецензування	09.01.24-12.01.24	

Дата видачі завдання 06 листопада 2023 р.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

проф. Фесенко Т.Г.  
(посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Звіт з дипломної роботи містить – 75 сторінок, 19 рисунка, 16 джерел посилання, 2 таблиці.

UNITY, .NET, C#, OOP, GAMEDEV, VISUAL STUDIO, DEPENDENCY INJECTION, ENTITY COMPONENT SYSTEM, ARCHITECTURE PATTERN, ZENJECT, DRAW CALL, PROFILER.

Метою кваліфікаційної роботи є дослідити існуючі методи портування розробленої гри в середовищі Unity з підвищенням продуктивності та ефективності, та удосконалити їх.

Результатом роботи були обрані методи портування, за допомогою яких була портована гра.

## ABSTRACT

Thesis report 75 contains - pages, 19 figures, 16 reference sources, 2 spreadsheet.

UNITY, .NET, C#, OOP, GAMEDEV, VISUAL STUDIO, DEPENDENCY INJECTION, ENTITY COMPONENT SYSTEM, ARCHITECTURE PATTERN, ZENJECT, DRAW CALL, PROFILER.

The purpose of the qualification work is to investigate the existing methods of porting the developed game in the Unity environment with increased productivity and efficiency, and to improve them.

The result of the work was selected methods of porting with which the game was ported.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....	7
ВСТУП .....	8
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ГАЛУЗІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ .....	10
1.1 Аналіз стану ігрової індустрії .....	10
1.2 Сегментація аудиторії при розробці гри.....	15
1.3 Проблеми портування ігор. Постановка задачі.....	22
2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ, ЗАСОБІВ, ІНСТРУМЕНТІВ ПОРТУВАННЯ ІГОР .....	25
2.1 Порівняльний аналіз найпопулярніших ігрових пристроїв.....	25
2.2 Ігрові движки та їх порівняльна характеристика.....	31
2.3 Методи для портування гри.....	47
3 РОЗРОБКА ІГРОВОГО ПРОЦЕСУ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ПОРТУВАННЯ.....	50
3.1 Розробка ігрового процесу .....	50
3.2 Реалізація запланованого геймплею та методів у проєкті на движку Unity3D .....	51
3.3 Портування та тестування гри .....	55
ВИСНОВКИ.....	59
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	60
ДОДАТОК А ГРАФІЧНА ЧАСТИНА .....	62
ДОДАТОК Б .....	70

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

F2P – безкоштовна гра

ММО – мультиплеєрна гра

ООП – об'єктно-орієнтоване програмування

ARPU – середній дохід на одного гравця

AR – доповнювана реальність

VR – віртуальна реальність

LOD – рівень деталізації

API – інтерфейс програмування програми

GPU – графічний процесор

FPS – жанр гри, частота кадрів(залежить від контексту)

LTV – життєва цінність

ROI – повернення інвестицій

ПК – персональний комп'ютер

## ВСТУП

Сучасна індустрія розробки ігор постійно стикається з проблемами впровадження ігор, щоб забезпечити найкращу продуктивність і ігровий процес. Однак, враховуючи різноманіття платформ і обмеженість обчислювальних ресурсів, виникає питання про ефективність їх використання для різних платформ.

Створення гри майже не відрізняється від створення інших програмних продуктів. У команді необхідні програмісти, менеджери, дизайнери, звукові дизайнери, дизайнери інтерфейсу і т. д. Тобто даний процес потребує людей із навичками з різних сфер. Економісти, менеджери, художники(2D та 3D) різних напрямлень, наприклад, концепт художники, художники оточення, дизайнери персонажів; люди які розуміються на створенні музики, звуків, ефектів та багато інших.

Платформою для розробки проекту було обрано ігровий рушій Unity, інструментарій якого підходить для ігор різного масштабу. Тобто він використовується як інді-розробниками так і великими студіями.

Об'єктом дослідження – є процес адаптації гри до іншої платформи за допомогою Unity.

Предмет дослідження – методи портування ігрового додатку на платформі Unity, які включають:

- написання, портування та оптимізацію ігрових ресурсів, таких як текстури, моделі, та звуки;
- оптимізацію коду для подальшого його використання на іншій платформі.

Мета кваліфікаційної роботи – дослідити існуючі методи портування розробленої гри в середовищі Unity з підвищенням продуктивності та ефективності, та удосконалити їх.

Завдання роботи – вивчення відомих технологій портування ігор та їх особливостей застосування.

Методи дослідження. Метод Dependency Injection (допомагає оптимізувати продуктивність гри в Unity за рахунок зменшення кількості циклів залежності). Контейнер Zenject (допомагає оптимізувати продуктивність ігрового додатку на платформі Unity шляхом повторного використання вже створених об'єктів).

Основні результати кваліфікаційної роботи:

- 1 проаналізовані методи портування ігор на движку Unity;
- 2 використані удосконалені власноруч методи портування ігор;
- 3 ігровий додаток.

Результати кваліфікаційної роботи були апробовані на науковій конференції Modernization of science and its influence on global processes: collection of scientific papers «SCIENTIA» with Proceedings of the IV International Scientific and Theoretical Conference, November 3, 2023. Bern, Swiss Confederation: International Center of Scientific Research. у м. Берн Швейцарія [1].

# 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ГАЛУЗІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

## 1.1 Аналіз стану ігрової індустрії

Ігрова індустрія є найбільшою індустрією розваг у світі, в якій бере участь близько 3 мільярдів гравців по всьому світу. У 2023 році ігрова індустрія згенерувала \$184 мільярди доходу, що на 0,6% більше, ніж у 2022-му. Розподіл доходів між платформами виявився наступним(рисунок 1.1): консолі — \$53,2 мільярда (+1,6%), ПК — \$38,4 мільярда (+5,2%), мобільні пристрої — \$90,4 мільярда (-1,6%), браузерні проекти — \$1,9 мільярда (-16,9%). Цифрові продажі згенерували \$174,5 мільярда, збільшившись на 0,8%. А фізичні копії — \$9,5 мільярда з падінням на 3,8%. Розподіл між цифровими та дисковими версіями становить 95 на 5% відповідно[2]. Розповсюдження технологій та інновації як у апаратному, так і в програмному забезпеченні стануть ключовими рушійними силами зростання. Зростаюче поширення інтернет-послуг у поєднанні з легким доступом до азартних онлайн-ігор у всьому світі також сприятимуть оптимістичним перспективам зростання ринку в найближчі роки. Розробники ігор також постійно імпровізують і долають технологічні обмеження рендеринга графіки в реальному часі в індустрії відеоігор, що, як очікується, сприятиме її зростанню.

Посилення тенденції переходу від фізичних ігор до онлайн-ігор змусило гравців галузі зосередитися на апаратній сумісності та продуктивності. Free2Play (F2P), ММО (ММО) і багатокористувацькі ігри стають все більш популярними, і ця тенденція, як очікується, збережеться протягом наступних восьми років. Збільшення наявного доходу призводить до зростання споживчих витрат на азартні ігри. Крім того, зміна споживчих уподобань призвела до масового впровадження більш досконалих ігрових консолей, оснащених розширеними функціями, такими як запис і обмін, а також крос-платформні ігри[3].

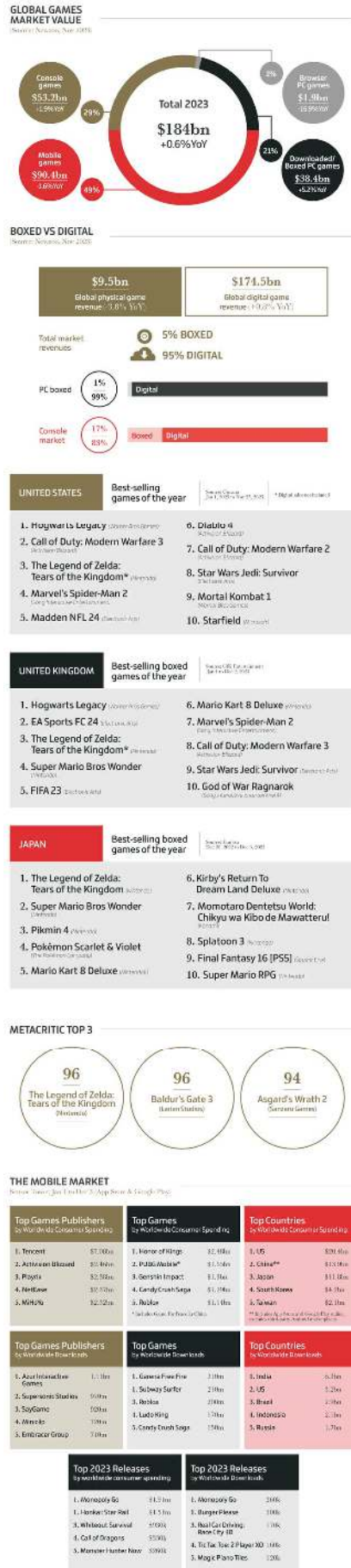


Рисунок 1.1 – Динаміка розвитку ігрової індустрії

Тренд ігор у соціальних мережах позитивно вплине на зростання ринку. Наприклад, великий відсоток населення світу використовує соціальні мережі, такі як Facebook і Reddit, щоб грати в ігри. Очікується, що доступність різних жанрів ігор, таких як екшн, рольові ігри, симулятори та стратегічні ігри, залучить більше клієнтів. Зростаюча популярність турнірів з кіберспорту та збільшення кількості професійних геймерів призведуть до зростання продажів відеоігор та аксесуарів, а також ігрового обладнання та програмного забезпечення.

Технології пронизують більшу частину нашого повсякденного життя, змінюючи те, як люди живуть, роблять покупки, працюють, грають, їдять, зустрічаються та спілкуються з людьми. Політики починають замислюватися про потенційні переваги використання технологій для оптимізації робочого навантаження співробітників.

Однак поширення контрафактної продукції через її низьку ціну, особливо в таких країнах, як Китай та Індонезія, дещо стримає зростання ринку.

Очікується, що проблеми з авторським правом і піратством негативно вплинуть на взаємодію з користувачем. Побоювання користувачів щодо шахрайства в ігрових транзакціях також будуть гальмувати зростання ринку. Різке зростання проблем зі здоров'ям і відеоігор є ще одним фактором, який, як очікується, уповільнить зростання галузі.

Пандемія COVID-19 продовжує впливати на світову економіку, але в найближчі кілька місяців очікується значне зростання індустрії відеоігор. Оскільки уряди в усьому світі заборонили людям залишатися вдома, щоб запобігти поширенню COVID-19, компанії помітили різке зростання кількості користувачів і годин, проведених за онлайн-іграми. Крім того, деякі компанії-розробники пропонують свої онлайн-ігри для безкоштовного завантаження.

Наприклад, у березні 2020 року Activision Blizzard, Inc. випустила гру

Call of Duty: Warzone для безкоштовного завантаження та отримала близько 6 мільйонів завантажень за день.

Через пандемію різні компанії страждають від затримок і збоїв у випуску своїх продуктів. Крім того, були перенесені різноманітні прес-конференції, на яких планувалося оголосити останні ігрові анонси та трейлери. Наприклад, конференція розробників ігор, яка спочатку була запланована на червень 2020 року, була офіційно відкладена через зростання та поширення пандемії COVID-19.

Пандемія також вплинула на виробництво обладнання та логістику поставок. Багато з цих затримок пов'язані із закриттям різних виробничих потужностей у Китаї, де виробляється багато з цих ігрових продуктів. Наприклад, Nintendo Co., Ltd. У лютому 2020 року Nintendo Switch оголосила про відкладення випуску Nintendo Switch, спочатку запланованого на 6 березня 2020 року, через те, що компанія закрила свої виробничі потужності через COVID-19.

Очікується, що найближчим часом сегмент онлайн-ігор набуде значної популярності. Зростаючий попит на багатокористувацькі ігри стимулює попит на онлайн-ігри, оскільки вони полегшують спілкування в грі та покращують загальний досвід гри. Соціальні мережі відіграють важливу роль у забезпеченні онлайн-відеоігор віртуальною платформою для їх розповсюдження.

Зростання обізнаності про інтерактивні розважальні системи та збільшення кількості геймерів, які використовують ігри як інструмент розваги, також сприятимуть попиту в онлайн-сегменті.

Крім того, очікується, що зростаюче проникнення смартфонів і хмарних ігор, серед іншого, стимулюватиме зростання сегмента. Учасники ринку, які займаються розробкою ігрових консолей, зосереджені на використанні можливостей, які надають онлайн-ігри. Наприклад, Xbox Live від Microsoft і PlayStation Network від Sony дозволяють грати в онлайн-ігри.

Азіатсько-Тихоокеанський регіон домінував на ринку в 2019 році з

часткою понад 50%. Це можна пояснити тим, що Китай став великим ігровим центром. Постійне зростання поширення смартфонів і зростання попиту на розваги в Китаї є ключовим фактором регіонального зростання. Китайська компанія Tencent Holdings Limited стала найбільшим гравцем на світовому ринку завдяки своїм неорганічним стратегіям зростання, таким як придбання Riot Games і Supercell, розробників популярних ігор, таких як League of Legends і Clash of Clans. Зростання компаній є вагомим фактором загального зростання галузі в Китаї.

Збільшення кількості онлайн-гравців і зростання кількості ігрових турнірів в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні спонукали провайдерів запуснути різні платформи, які дозволяють гравцям отримувати доступ до ігор з рейтингом AAA. Наприклад, у грудні 2019 року Tencent запуснув хмарний ігровий сервіс START у співпраці з NVIDIA. Нова хмарна ігрова служба дозволяє геймерам отримувати доступ до ігор AAA на малопотужних пристроях будь-де та будь-коли. Очікується, що Південна Корея зробить значний внесок у регіональне зростання завдяки зростаючій зосередженості на кіберспорті та масових багатокористувацьких онлайн-іграх. Багатокористувацькі онлайн-рольові ігри надзвичайно популярні в Південній Кореї.

Учасники ринку в основному зосереджені на розробці цікавого контенту та консолях нового покоління. Популярні ігрові консолі, розроблені цими геймерами, включають PlayStation 4 від Sony Corporation, Xbox One від Microsoft Corporation і Wii U від Nintendo Co.. Розробники в основному зосереджуються на диференціації продуктів та інноваціях, щоб збільшити свою частку ринку.

Провідні гравці ринку приділяють велику увагу покращенню взаємодії з користувачем, пропонуючи продукти, оснащені різними функціями, які дозволяють користувачам грати в ігри та переглядати Інтернет одночасно. Очікується, що ці багатофункціональні ігрові консолі сприятимуть розвитку всієї галузі. Постачальники також зосереджуються на злиттях і поглинаннях

малого та середнього бізнесу, щоб залишатися конкурентоспроможними. Наприклад, у січні 2018 року Microsoft придбала PlayFab, постачальника ігрових послуг у режимі реального часу, щоб прискорити просування інновацій у розробці ігор на хмарній платформі.

До помітних гравців на ринку відеоігор належать такі компанії:

- корпорація Майкрософт;
- Nintendo Co., Ltd.;
- Rovio Entertainment Corporation;
- корпорація NVIDIA;
- корпорація Valve;
- ТОВ "PlayJam";
- Корпорація Sony.

## 1.2 Сегментація аудиторії при розробці гри

Грамотна сегментація користувачів – один з найважливіших факторів, що визначають успіх гри. Тому дуже важливо вміти правильно визначати цільову аудиторію ігор на будь-якій платформі: клієнтській, браузерній, мобільній.

Критерії, за якими геймдизайнери, аналітики та маркетологи визначають аудиторію:

- за демографічним принципом;
- вподобані жанри. Цей пункт притаманний ігор, кіно, для сфери розваг;
- поведінкові особливості. Тут маються на увазі так звані психотипи. Існує певна кількість моделей, якими гравців ділять на психологічні типи;
- казуальність. Дуже популярний термін, який протиставляє «хардкорщиків» та «казуалів». Це якісна характеристика, яку важко висловити чисельно;
- прийняття інновацій. Відношення гравців до нових функцій, можливостей та типів геймплею. Це важливо при виборі цільової аудиторії та визначенні геймплею;

-платоспроможність. Як ви знаєте, це важливий момент для будь-якого розробника.

Кожен сегмент цільової аудиторії можна описати за допомогою різних числових показників. Розмір аудиторії; коефіцієнт конверсії; наскільки легко гравці долають перешкоди, щоб потрапити на ігровий проект; ступінь лояльності (retention); здатність утримувати аудиторію (retention and sticky factor) – існує безліч числових параметрів, які має кожен сегмент. Ключовими характеристиками кожного сегмента є його ROI (повернення інвестицій), LTV (життєва цінність) і розмір цього сегмента. Вони частково включають такі важливі критерії, як середній дохід на одного платоспроможного користувача (ARPPU), частка платоспроможної аудиторії в кожному сегменті (PU) та утримання.

Насправді характеристик набагато більше, і для кожного сегмента їх можна виокремити по-різному. Один лише показник утримання(retention) розраховується десятками різних способів. Наприклад, є класичне утримання, яке описує частку гравців, які увійшли в гру в певний день. Класичне "утримання сьомого дня" означає, що користувач, який зареєструвався сім днів тому, зараз увійшов у гру. Існує також ковзне утримання, коли користувач, який зареєструвався тиждень тому, увійшов у гру зараз або в будь-який з наступних днів. Повернення(return retention) – коли людина зареєструвалася сім днів тому і відвідала сайт з другого по сьомий день. Існує також залежне від дужок утримання відвідувачів і різні методи розрахунку цієї характеристики, яка, як правило, розраховується по-різному для кожного проекту [3].

Як зазначалося вище, всі ці показники зводяться до двох основних показників: довічна вартість (довічний дохід від платника) та ROI (рентабельність інвестованого капіталу).

ROI враховує не тільки кількість грошей, зароблених гравцем, але й суму потенційних інвестицій у кожен сегмент аудиторії. Якщо розмір аудиторії дуже малий, а LTV високий, то, швидше за все, не варто

інвестувати в цю аудиторію, оскільки віддача буде невеликою просто через малий розмір цільової аудиторії.

Окрім числових характеристик, існують такі, які неможливо виміряти цифрами. Наприклад, гравцеві World of Warcraft потрібні тисяча підземель, величезні поля битв, арени та багато іншого. А для любителя Candy Crush Saga потрібна тисяча рівнів, нехай і досить простих і схожих один на одного. Природно, що кількість виробленого контенту для цих двох гравців зовсім різна.

Графічний стиль. У різних іграх, залежно від їхнього жанру та цільової аудиторії, графічний стиль також може бути різним. І це суттєво впливає на вартість розробки. Вартість створення графіки для League of Legends, World of Warcraft і Candy Crush Saga відрізняється. Сеттінг і жанр часто впливають на графічний стиль, накладаючи свої графічні вимоги.

Ігрові можливості. Є гравці, які із задоволенням грають у будь-які «крафтові» ігри, тобто ігри, де потрібно щось створювати і виробляти. Комуś цікаво шліфувати і точити – досить монотонна механіка. А є люди, які хочуть вбивати, руйнувати, домінувати. Слід пам'ятати, що ігрові можливості (функції) також мають різну вартість розробки, і якщо ви визначили цільову аудиторію, вам також потрібно знати, які функції підходять для кожної групи.

Демографія складається з таких показників: стать, вік, регіон.

Коли йдеться про освіту, це насамперед означає відмінності в утриманні, платоспроможності та улюблених жанрах обраної аудиторії. Суттєвих відмінностей між людьми з середньою, середньою спеціальною та незакінченою вищою освітою не виявлено. За рівнем доходу це приблизно рівнозначні групи. Проте люди з вищою освітою та школярі – це дві різні групи як за рівнем доходу, так і за розміром аудиторії та її лояльністю [4].

Коли ми говоримо про регіональну приналежність, то маємо на увазі, перш за все, ринок, який склався в тому чи іншому регіоні, його економічні особливості, умови ведення бізнесу та культурні аспекти. Наприклад, ігрова

аудиторія в Африці невелика. Близький Схід також не найсприятливіший регіон для запуску гри.

Нещодавно відбулася найбільш значуща подія: обсяг ігрової індустрії Китаю перевищив обсяг ігрової індустрії США. Сполучені Штати одними з перших відкрили світові індустрію відеоігор і довгі роки утримували лідерство. Середній дохід платоспроможних людей у Китаї та Азії загалом вищий, ніж в Америці, але відсоток тих, хто платить, значно нижчий.

Браузерні ігри раніше були одним з найбільших сегментів у структурі доходів китайської ігрової індустрії. Вважається, що апаратне забезпечення китайського населення було недостатньо потужним, що підштовхувало розвиток браузерних, а не клієнтських ігор. Також законодавчі заборони, пов'язані з консолями, до останнього моменту перешкоджали формуванню цього сегменту в Китаї. Однак досить швидко з'явилися дешеві мобільні телефони на базі Android, тож з браузерних ігор на мобільні перейшли майже одразу. Наразі це величезний сегмент китайського ринку, який продовжує зростати.

Існує низка класифікацій ігор за жанрами. Дехто віддає перевагу іграм, які історично склалися в ігровій індустрії. Інші використовують термінологію, вироблену самими гравцями: стрілялки, кульки, стратегії.

Різні жанри можуть демонструвати різні числові характеристики. Два з найцікавіших – це утримання (retention) та ARPU (середній дохід на одного гравця, який зазвичай розраховується раз на місяць). На діаграмі показані числові характеристики в сегменті мобільних ігор. Ліворуч – частка, що означає «семиденне утримання», тобто скільки людей продовжують грати на сьомий день після реєстрації. Червона лінія відноситься до правої шкали – це частка тих, хто платить.

У жанрі аркад, наприклад, і утримання, і частка користувачів, які платять, мінімальні. Але це не означає, що аркада – поганий або непотрібний жанр. У них може грати більше людей і заробляти достатньо грошей.

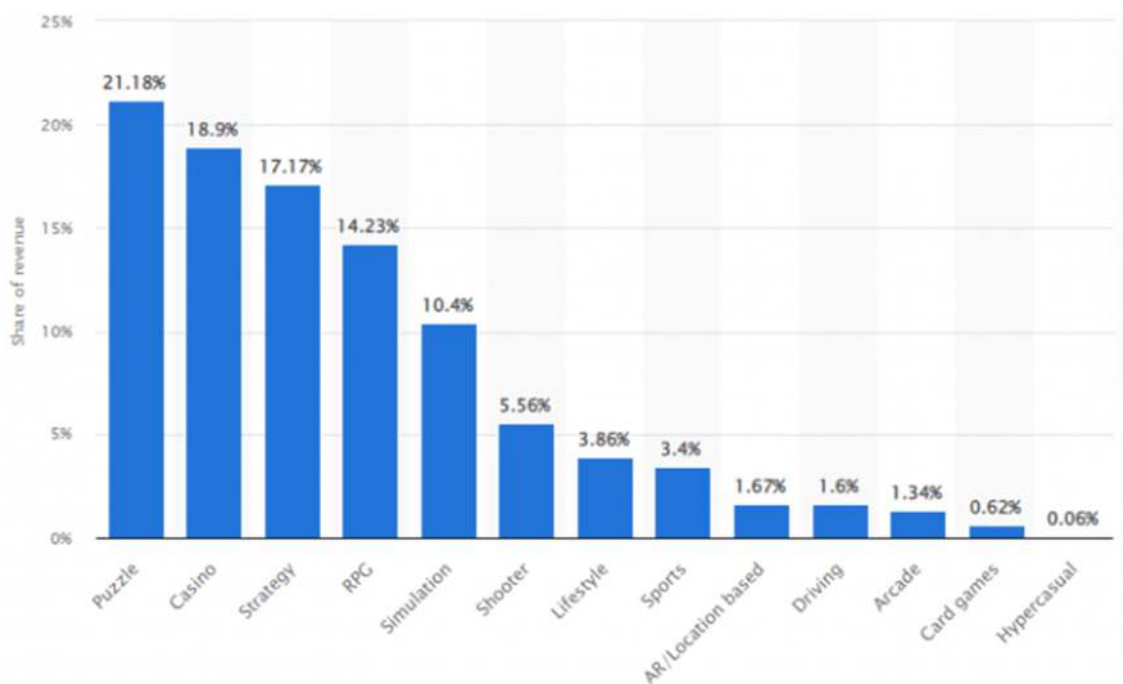


Рисунок 1.2 – Чисельні характеристики жанрів мобільних ігор[5]

Казино – дуже прибутковий жанр. Причому в соціальних мережах він набагато прибутковіший, ніж у мобільному сегменті. Існує багато великих компаній, які активно заробляють на соціальних казино, незважаючи на стагнацію соціальних мереж як ігрової платформи.

Стратегії та RPG-ігри показують дуже стабільні результати. У цих жанрах частка платоспроможних клієнтів і утримання досить висока, але конкуренція в цій ніші досить серйозна.

Аудиторія поділяється на п'ять основних груп (нові ігрові функції, жанри та особливості геймплею) за ступенем сприйняття інновацій.

Найменша група – інноватори, їх близько 2,5%. Це ті, хто створює щось нове, ігри, гаджети тощо. Вони генерують ідеї, навіть смішні. Але деякі з їхніх ідей виявляються цінними, і їх обирає наступна група – ранні послідовники, яких 13,5%. Саме вони створюють моду.

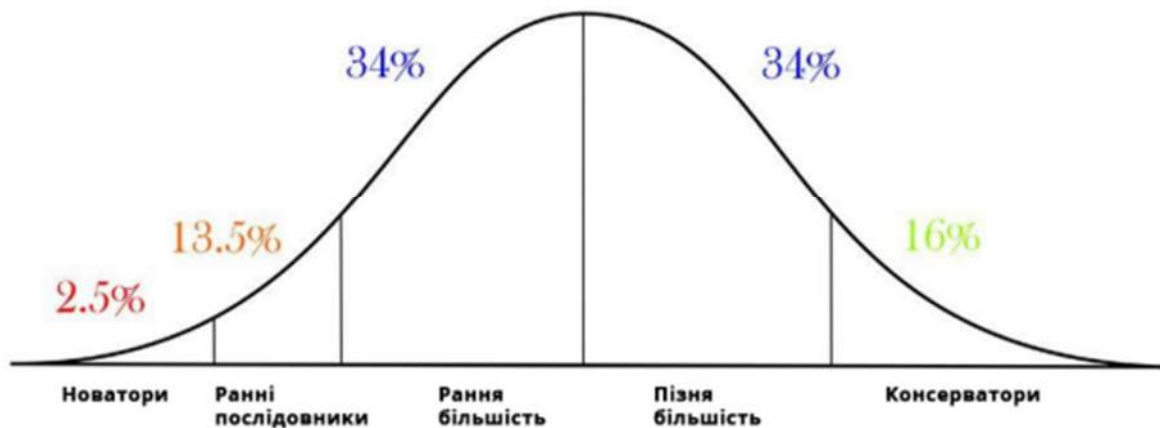


Рисунок 1.3 – Групи гравців за ступенем прийняття інновацій

Компанія Apple, просуваючи свій смартфон, сфокусувалася на групі ранніх послідовників. Їм потрібна була зграя послідовників, які б просували ідею далі. Дуже складно стрибати між групами або орієнтуватися на кожну з них, але ви завжди можете потрапити в потрібний сегмент і мотивувати їх нести ідею далі. Цей підхід використовується в багатьох іграх.

Ранні послідовники, на відміну від послідовників, приймають продукт або ідею лише тоді, коли вона стає модною. Став модним iPhone – ранні послідовники почали купувати iPhone. Пізні більшість, навпаки, не будуть купувати, поки продукт не стане масовим, поки він не буде у всіх. І остання група, консерватори, починають купувати, коли продукт вже вийшов з моди. Наприклад, сьогоднішні консерватори – це ті, хто ходить зі старим розкладним телефоном або Nokia і не сприймає смартфони.

Багато сучасних ігор активно використовують цю криву для свого маркетингу. Два найяскравіші приклади – Candy Crush Saga та Clash of Clans.

Розробники Candy Crush Saga чудово розуміють, що людям важко переключатися з однієї групи на іншу, і для цього потрібна досить сильна мотивація. Тому гра була орієнтована на раннє дорослішання. До Candy Crush Saga Кінг зробив близько 200 ігор, переважно соціальних, а не мобільних. Ринок виявився готовим до Match-3, і таких ігор накопичився

дуже великий обсяг. Тож компанія випустила гру і назвала її масовим шедевром. Вони потрапили в ранню більшість. І як тільки ця група користувачів занурилася в гру Candy Crush Saga, почала підключатися пізня більшість. Перехід між цими групами досить простий, якщо повністю залучити ранню більшість.

Це можна зробити за допомогою величезних рекламних інвестицій. Наприклад, у 2013 році King заробив на Candy Crush Saga 2,2 мільярди доларів на "Сазі про цукерковий крах". Для порівняння, обсяг української ігрової індустрії наразі становить обсяг української ігрової індустрії становить приблизно 1,6 мільярда доларів. З цих 2,2 мільярда приблизно 1,7 мільярда було витрачено на маркетинг. Ліва частка прибутку була витрачена на найпотужнішу рекламу на телебаченні та в інтернеті. Таким чином, компанія повністю охопила сектор раннього дорослого населення.

Іншими словами, правильне використання кривої прийняття інновацій дозволяє оптимізувати маркетинг. Платоспроможність також є важливим параметром для сегментації аудиторії. Існує спосіб сегментації аудиторії за обсягом вчинених платежів:

- насамперед виділяють тих, хто не платить. Таких людей більшість;
- у мобільному сегменті їх понад 90%, за деякими даними, навіть 97%;
- друга група – випадкові платежі, їх близько 8%. Усі регулярні платники у мобільному сегменті становлять 1,5–2%. У соціальних іграх схожа ситуація. У браузерних іграх платить близько 5% гравців. Але бувають винятки: наприклад, «Легенда» та багато інших браузерних ігор мали понад 15% аудиторії, що платить. У клієнтських іграх середній показник 7–10%;
- третьою сегмент, про який вже згадувалось, – регулярні платники. Їх, у свою чергу, ділять ще на три групи. Представники першої групи платять трохи, буквально пару доларів. Вони становлять основний обсяг платників, які приносять компанії 15-30% виручки. Представники другої групи приносять більше, а третя група формує основну частку виручки. Представників третьої групи дуже мало, але кожен з них дає такі високі прибутки, що це окупає

практично все.

У Китаї, наприклад, вся монетизація будується виключно на представниках третьої групи регулярних платників. Тому вважається, що нехай у грі всього 0,5% тих, хто платить, зате кожен з них приносить по 1000 доларів щомісяця.

### 1.3 Проблеми портування ігор. Постановка задачі

Портування ігор – це процес адаптації вже існуючої відеогри, розробленої для одної платформи, для ігрових консолей, комп'ютерів або мобільних пристроїв. Основна мета портування – забезпечити можливість грати в гру на різних платформах, розширюючи її аудиторію.

Під час портування ігор розробники вносять зміни в програмний код та графіку гри, щоб вона працювала і виглядала оптимально на нових пристроях. Цей процес може включати оптимізацію гри для різних апаратних характеристик, а також адаптацію управління до специфіки платформи.

Портування ігор є важливим аспектом розповсюдження ігор, оскільки воно дозволяє розробникам привернути нових гравців та розширити географію доступу до гри. Також воно може підвищити прибуток від гри, оскільки дозволяє продавати її на різних платформах.

Під час портування відеогри на інші платформи зазвичай виникають певні труднощі та виклики, пов'язані з оптимізацією гри. Причин, чому оптимізація може бути складною при портуванні:

-різні платформи мають різну апаратну базу, таку як процесори, обсяг оперативної пам'яті і т. д. Це означає, що програмний код та ресурси гри можуть потребувати оптимізації, щоб вони працювали ефективно на різних пристроях;

-платформи можуть використовувати різні операційні системи, які можуть вимагати адаптації гри. Наприклад, гра, розроблена для Windows, може потребувати змін для запуску на операційній системі Android або iOS;

-кожна платформа може використовувати власні API. Розробники повинні адаптувати гру до цих різниць у специфікаціях API, щоб забезпечити правильну роботу гри.

-різні платформи можуть мати різні типи екранів та роздільні здатності. Гра повинна бути оптимізована для різних роздільних здатностей, щоб вона виглядала і працювала належним чином;

-різні платформи можуть мати різні методи керування, такі як сенсорні екрани, геймпади або миші та клавіатура. Гра повинна бути адаптована для кожної з цих методів керування.

Всі ці аспекти роблять оптимізацію гри під час портування складним завданням, але здійсненим. Портування гри означає адаптацію її під різні пристрої та операційні системи, і це може вимагати деяких змін для забезпечення оптимальної продуктивності на кожній конкретній платформі.

Приклади оптимізації гри при портуванні:

-оптимізація ресурсів гри. Можливості використання формат текстур, які підтримують стиснення, для зменшення розміру графіки та покращення швидкості завантаження. Для мобільних пристроїв найчастіше треба обрати мінімальну роздільну здатність для графіки, щоб зменшити навантаження на систему;

-управління ресурсами. Використовувати ресурси з різних джерел, щоб зменшити навантаження на одне джерело та завантажувати ресурси в реальному часі лише тоді, коли вони дійсно потрібні, замість завантаження всіх ресурсів одразу;

-оптимізація коду. Найчастіше треба використовувати профайлер для виявлення вузьких місць у коді, де ми власноруч можемо оптимізувати параметри, функції, об'єкти, колекції і тп. Найефективніше приводять використання парольних обчислень та многозадачності в коді;

-тестування та профілювання. Використовуйте профайлери для виявлення гарячих точок та невіпорядкованостей в коді та графіці та перед публікації гри треба зробити перевірку гри на різних пристроях, щоб впевнитися, що вона

працює ефективно та стабільно.

Оптимізація гри під час портування передбачає ретельний аналіз та зміни в ресурсах, коді та управлінні ресурсами. Важливо використовувати оптимізовану графіку, ефективний код та управляти ресурсами в режимі реального часу. Тестування на різних пристроях і профілювання коду грають важливу роль у визначенні гарячих точок і вдосконаленні продуктивності. Мета кваліфікаційна роботи полягає у розгляді архітектурних відмінностей між різними платформами та визначити, як це впливає на портування ігор:

- аналіз архітектурних особливостей платформ;
- вивчення різноманітності графічних API для ПК;
- розробка гри та її портування;
- застосування методів оптимізації;
- тестування та виправлення помилок у грі.

## 2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ, ЗАСОБІВ, ІНСТРУМЕНТІВ ПОРТУВАННЯ ІГОР

### 2.1 Порівняльний аналіз найпопулярніших ігрових пристроїв

На сьогодні найпоширенішими є 3 основні ігрові платформи: мобільні, ПК та консолі.

На цих трьох платформах геймери мають доступ до величезних бібліотек ігор. Від найпопулярніших відеоігор до менш традиційних стилів ігор, таких як ігри в слова і навіть азартні додатки.

Кількість гравців у відеоігри зросла на 99% з 2019 по 2020 рік, частково через COVID-19, оскільки все більше людей залишаються вдома після роботи і проводять свій час у компанії відеоігор.

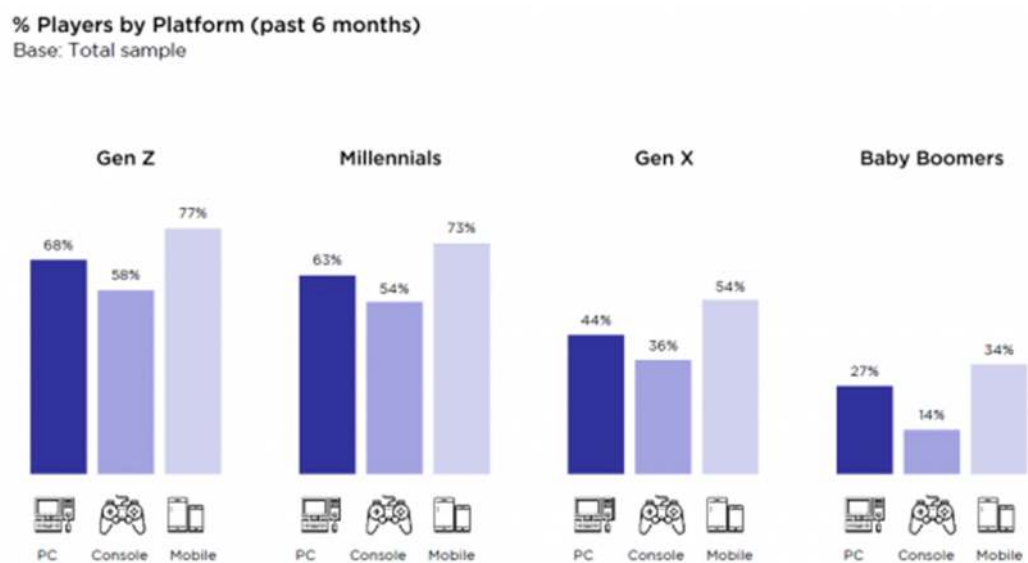


Рисунок 2.1 – Статистика популярності ігрових пристроїв 2022 року[5]

Найчастіше погана оптимізація трапляється при портуванні гри з консолі на ПК. І тут навіть вина не в різниці між платформами, а в умінні чи небажанні людей займатися портуванням. Не раз було таке, що гра, що гарно виглядає на слабкій консолі, була жахом на найпотужнішому ПК. З ігор з поганою оптимізацією варто згадати GTA 4, L.A. Noire, Deus Ex: Mankind

Divided, Dishonored 2, Cyberpunk 2077 та багато інших. Причин насправді набагато більше, ніж хотілося б. Це і недолік тестів, величезна кількість версій ігрового, так і не дуже заліза, обмежений час розробки, і навіть одні тільки драйвера в межах вендора можуть мати особливості з тими або іншими додатками.

Також варто згадати про ігрові налаштування. Простий приклад, The Witcher 2, при включенні так званого Uber Sampling гра не підкорялася нормальним FPS найпотужнішим відеокартам того часу. Помилкове перебільшення графічних параметрів гри з боку ПК веде до низького рівня продуктивності на тій чи іншій конфігурації РС. Налаштування, яких у принципі не повинно бути в головному меню гри, часто фігурують із значно незбалансованим рівнем.

Багато хто скаже, що ПК – превалююча платформа, що на ній все має бути максимально настільки, наскільки це можливо, що на консолях не більше 30 FPS і мило, але час не стоїть на місці, прогрес рухається вперед. ПК – універсальна машина, з величезною кількістю ігрового заліза, що відрізняється. І те налаштування, якого немає на консолі, за логікою має давати кращу якість картинки, так і відчуття від ігрового процесу. Але часто це буває не так, і насолодитися грою на повну виходить через покоління відеокарт.

На мою думку, хороша оптимізація — це оптимізація, коли гра працює на однаковій частоті кадрів і на максимально можливій кількості ігрових платформ, включаючи слабкі. Сумно було спостерігати ситуацію про Cyberpunk 2077, допильовання після релізу, випуск патчів. Все це змашує загальне враження, коли хочеться, як то кажуть, з коробки з хорошим FPS і не відволікаючись на баги. Хороша гра – це як цікава книга. Останнім часом бачиться лише маніпулятивне ставлення до підштовхування на покупку нової ігрової системи.

Мобільні ігри. Кількість користувачів смартфонів по всьому світу продовжує зростати і в 2020 році перевищила 3,5 мільярда. Усі ці люди

мають доступ до світу ігор у своїй кишені і можуть грати в них практично скрізь, у будь-який час. Мова більше не йде лише про такі прості ігри, як Snake, незважаючи на те, що ця гра стала легендарною.

Завдяки потужності та технологіям сучасних смартфонів, ігри на мобільних пристроях стають більш потужним та захоплюючим, ніж будь-коли раніше. Такі компанії, як Razer та Asus, навіть почали випускати спеціальні ігрові телефони з надзвичайними характеристиками та кнопками спеціально для ігор [4].

Більшість ігор на мобільних пристроях є коротшими і набагато менш графічно насиченими, ніж версія для ПК або консолі, але це не означає, що вони не можуть бути такими ж захоплюючими.

Існує також величезна різноманітність ігор, які ідеально підходять для мобільних пристроїв. Наприклад, ігри в стилі Candy Crush надзвичайно популярні і дуже добре працюють на мобільній платформі.

В цілому, мобільні ігри є набагато більш портативним варіантом, ніж будь-яка інша платформа з іграми, які, як правило, набагато дешевші. Хоча вони також коротші і нижчої якості, ніж на ПК або консолі.

Переваги мобільних ігор:

- портативність;
- доступність;
- невисока ціна ігор;
- різноманітність типів ігор.

Комп'ютерні ігри. Багато геймерів твердо переконані, що ПК – це єдиний вірний спосіб грати в ігри. Звичайно, це не так, але ПК має досить вагомі підстави вважатися найкращою ігровою платформою в цілому.

На відміну від текстових пригодницьких ігор 70-х років, комп'ютерні ігри сьогодні пропонують безпрецедентні ігрові можливості, коли мова йде про графіку та обчислювальну потужність.

Комп'ютерні ігри пропонують дуже високий рівень кастомізації, що є рушійною силою їхньої популярності. Можна зібрати комп'ютер, який

відповідатиме найрізноманітнішим бюджетам і потребам. Комп'ютери також можна модернізувати, тому з часом можна йти в ногу з новітніми технологіями або оновлювати свій пристрій.

Геймери можуть підняти свій ігровий досвід на будь-який рівень. Ви можете почати зі стандартного налаштування або заглибитися у світ створення збірок, кастомізації та вдосконалення.

Окрім чудових ігрових можливостей, варто також пам'ятати, що ПК також можна використовувати для великої кількості додатків, це не лише ігровий пристрій. Комп'ютер можна використовувати як для роботи, так і для різних інших завдань. Негативною стороною цього в порівнянні з консолями є те, що ПК-геймерам доведеться мати більше технічних знань і досвіду, щоб створити платформу, яка перевершить консоль з аналогічним бюджетом.

Останньою перевагою для ПК-геймерів є те, що ігри, як правило, трохи дешевші. Однак, деякі ігри є ексклюзивними для консолей, тому ви не зможете грати в них на ПК.

Переваги ігор на ПК:

- найвища доступна продуктивність;
- ігри дешевші за консольні;
- налаштовується та оновлюється;
- універсальні способи застосування.

Консольні ігри. Консоль – це спеціалізований настільний комп'ютер, який використовується для відеоігор. Дві найпопулярніші консолі – PlayStation від Sony та Xbox від Microsoft. Nintendo's Wii також є претендентами, які імітують фізичну участь у таких видах спорту, як боулінг та гра в теніс.

Ігрове програмне забезпечення доступне на компакт-дисках або DVD-дисках, хоча раніше ігрові автомати використовували картриджі з мікросхемами пам'яті, доступними лише для читання. Для відображення відеоігрових приставок потрібен телевізор або монітор.

Ігрові консолі зазвичай працюють на операційних системах і

процесорах, які відрізняються від настільних комп'ютерів. Консолі контролюються відповідними виробниками, а програмне забезпечення адаптоване до можливостей машини. Ігри не є взаємозамінними з іншими ігровими консолями або настільними комп'ютерами, хоча розробники програмного забезпечення можуть розробляти ігри для декількох платформ [6].

Magnavox Odyssey була найпершою консоллю, яка дозволила грати в ігри вдома з телевізора ще в 1972 році. Відтоді консольний геймінг стрімко розвивається як індустрія, випускаючи тисячі ігор щороку. Найбільша бібліотека відеоігор належить Sony PS2, яка налічує понад 3800 найменувань. Це дуже велика кількість ігор, доступних з однієї невеликої коробки.

Головною перевагою консольних ігор є простота використання та зручний інтерфейс. Купуючи ігрову консоль, ви отримуєте пристрій, спеціально розроблений для ігор вдома. По суті, вам потрібно лише розпакувати її, підключити, зробити кілька налаштувань і почати грати в ігри. Більш сучасні приставки можуть навіть функціонувати як повноцінні розважальні системи завдяки наявності програм для потокового відтворення відео та музики.

Хоча консолі не такі потужні, як висококласні ігрові комп'ютери, вони коштують дешевше. Що стосується самих ігор, то вони завжди є ексклюзивами. Кожен виробник консолей резервує кілька ігор, які будуть доступні тільки для гри на його консолі. Наприклад, однією з найпопулярніших ігор останніх років стала God of War, яка є ексклюзивом для Playstation 4. Список ігор, ексклюзивних для певної консолі, є вирішальним фактором для багатьох геймерів, коли справа доходить до вибору нової ігрової системи.

Переваги ігрової консолі:

- висока доступність;
- прості в експлуатації;
- відносно дешево почати грати;

-доступ до ексклюзивних консольних ігор.

Портативні ігрові приставки. Портативні відеоігри – це мініатюрні версії ігрових приставок, але менш складні. Це повністю портативні, автономні пристрої з акумуляторами та власними маленькими екранами.

Ручні ігрові пристрої були величезним хітом наприкінці 80-х і 90-х і 2000-х років, але ринок для них значною мірою перебував у стагнації, оскільки більшість аудиторії перейшла на домашні консолі або настільні ігрові комп'ютери. Однак з успіхом Nintendo Switch (і портативної консолі 3DS до неї), яка домінує в індустрії портативних консолей, зростанням мобільних ігор на смартфонах і розвитком хмарних ігрових потокових сервісів, ігри на портативних пристроях відновили свою популярність.

Портативні ігри існують вже кілька десятиліть: Nintendo 3DS, DS до неї, PlayStation Vita, PSP та Steam Deck. Але зараз вони переживають своєрідне відродження. Значною мірою це пов'язано з унікальними пристроями, які були обіцяні протягом кількох років і нарешті вийдуть після затримок у виробництві, пов'язаних з COVID.

Прикладами є PlayStation Portable, Nintendo GameBoy та більш ранні консолі Sega GameGear і Atari Lynx.

VR-ігри – новий тренд на ринку. І консолі, і ПК мають свої позиції на цьому ринку. Серед консолей лише PS5 фактично пропонує VR-гарнітуру, тоді як ПК має кілька можливих гарнітур, які можна використовувати, хоча HTC Vive та Oculus Rift є найпопулярнішими та найпотужнішими.

З технічної точки зору, PS VR поступається пропозиціям для ПК як через застарілу технологію відстеження, так і через те, що сама PS5 є менш потужною. Крім того, для PS VR існує менше ігор, що робить її менш привабливим продуктом в цілому. Для VR також рекомендується більш потужний ПК [3].

Неможливо виділити одну ігрову платформу, яка буде абсолютно кращою. Все залежить від очікувань і цілей кінцевого користувача.

Якщо потрібно мати доступ до ігор, перебуваючи поза домом, найкраще підійдуть мобільні ігри. Якщо мета – грати в ігри на максимальній потужності пристрою, краще підійде ігровий ПК. Якщо потрібна спеціальна ігрова машина, яка проста у використанні, має багато ігор і навіть ексклюзивні ігри, варто вибрати ігрову консоль.

## 2.2 Ігрові движки та їх порівняльна характеристика

Ігрові движки – це засоби, які дозволяють розробникам ігор швидко та легко програмувати та планувати гру, уникнувши зайвих витрат на створення її з нуля. Незалежно від типу гри – чи це 2D чи 3D – ці інструменти надають засоби для створення та розташування елементів.

Отже, ігрові движки істотно представляють собою архітектурну базу, на яку розробники ігор можуть спиратися для запуску відеоігор. Стандартний ігровий движок забезпечує можливість інтегрувати різноманітні елементи в гру, такі як введення, рендеринг, сценарії, виявлення зіткнень, штучний інтелект та інше. Іншими словами, ігрові движки представляють собою повторно використовувані компоненти, які розробники можуть використовувати для формування основи гри. Це дозволяє їм мати більше часу для фокусу на унікальних аспектах, таких як моделі персонажів, текстур, взаємодіючі об'єкти тощо. Без таких ігрових механізмів розробка ігор займала б велику кількість часу та була б важкою для реалізації. Таким чином, ігрові движки в сутності спрощують процес дизайну гри. У зв'язку з широким вибором сучасних рішень, розробники та менеджери ігор повинні здійснювати обдумані вибори, коли стосується вибору відповідної платформи ігрового движка для своїх потреб[7].

Варто проаналізувати, чи дійсно обране рішення дозволяє вирішити кілька проблем одночасно. В середньому ігровий двигун повинен бути в змозі спростити такі важливі завдання, як:

-фізика – занурення / фізика у грі мають бути ідеальним балансом між якістю

моделювання та обмеженнями обчислювальної потужності для кінцевого користувача;

-керування – це надзвичайно поширена проблема при кросплатформеній розробці;

-обробка візуальних ресурсів – освітлення, тіні, накладання текстур та глибина чіткості вимагають менше зусиль при програмуванні при використанні ігрових двигунів.

Тож обраний ігровий двигун повинен дати можливість виконувати вищезазначені завдання з меншими зусиллями написання коду. Це допомагає значно скоротити час розробки і дозволяє командам зосередитися на розробці своїх ігор, щоб забезпечити унікальний і особливий інтерфейс користувача.

Unreal Engine. Один із найбільш популярних та широко використовуваних ігрових двигунів належить компанії Epic Games і має назву Unreal Engine. Взагалі відомий як мультиплатформений інструмент для створення ігор, цей двигун розроблений для використання компаніями будь-якого розміру, що допомагає використовувати технології реального часу для перетворення ідей в привабливий візуальний контент.

Цей висококласний ігровий двигун, створений розробниками ігор для інших розробників, тепер відкриває можливості не тільки для студій із мільйонними прибутками, але й для геймдизайнерів будь-якого рівня. Починаючи з 1998 року, початкова версія Unreal Engine продовжує залишатися в активному використанні і вже 19 років використовується для створення деяких найбільших ігор.

Основна перевага Unreal Engine полягає в тому, що його можна високо модифікувати, створюючи унікальний ігровий досвід. Проте для досягнення цього потрібні кваліфіковані розробники із значним досвідом. Написаний мовою C++, цей рушій дозволяє створювати ігри для різних операційних систем і платформ, таких як Microsoft Windows, Linux, Mac OS і Mac OS X, консолі Xbox, Xbox 360, PlayStation 2, PlayStation Portable, PlayStation 3, Wii,

Dreamcast і Nintendo GameCube.

Для спрощення процесу портування двигун використовує модульну систему залежних компонентів, підтримуючи різні системи рендерингу, відтворення звуку, розпізнавання мовлення, модулі для роботи з мережею та підтримку різних пристроїв вводу.

Щодо гри в мережі, Unreal Engine підтримує технології такі як Windows Live, Xbox Live і GameSpy, що дозволяє підключати до 64 гравців одночасно. Навіть при відсутності офіційної підтримки великої кількості клієнтів на одному сервері, рушій успішно використовувався для створення MMORPG-ігор, наприклад, Lineage II.

Крім того, Epic Games придбала компанію Quixel, яка має величезну бібліотеку фотограметричної графіки. Користувачі Unreal Engine можуть безкоштовно використовувати інструменти Quixel, такі як Bridge та Mixer, а також всі ресурси бібліотеки Quixel Megascans.



Рисунок 2.2 – Набір зразків бібліотеки Quixel

Хоча розробникам подобається використовувати Unreal Engine 4 (UE4), раннє випускання Unreal Engine 5 (UE5) включає декілька довгоочікуваних покращень, а також приголомшливі нові функції. Unreal Engine 5 визначається як майбутня версія двигуна. Оголошено про доступ до раннього етапу Unreal Engine 5 у травні 2021 року, а повний випуск UE5 вийшов на

початок 2022 року.

Великою перевагою Unreal Engine є його універсальність та доступність для користувачів. Цим двигуном можуть користуватися як досвідчені розробники, так і новачки, які тільки починають свій шлях у створенні ігор. У цьому полягає особливість UE4, оскільки за замовчуванням він підтримує дві мови програмування: текстовий C++, де код пишеться вручну, і візуальна мова Blueprints, де ігрова логіка будується за допомогою блоків, які пов'язані між собою. Цей підхід робить програмування більш наочним і зрозумілим для тих, хто тільки вчиться.

Blueprints представляють собою візуальну, нодову систему програмування, яка використовується в Unreal Engine. Збираючи логічні блоки нодів, можна створювати програму будь-якої складності, розпочинаючи від простого клікера і закінчуючи повноцінною RPG-грою. Оскільки в Blueprints не використовується програмний код, кожен, хто розуміє основні принципи об'єктно-орієнтованого програмування, може написати програму.

За допомогою Блупринтів розробники можуть створювати такі речі, як:

- ігрові режими – встановлювати правила гри, змінювати поведінку гри в загальному плані;
- гравці – призначати гравців, надавати їм особливих рис і вигляду;
- камери – створення видів перегляду та змінення властивостей камер у реальному часі;
- управління – призначати кнопки для керування персонажем, автомобілем або зовнішнім рівнем;
- речі – зброя, предмети, що підбираються та інше;
- оточення – створення випадково генерованого оточення.

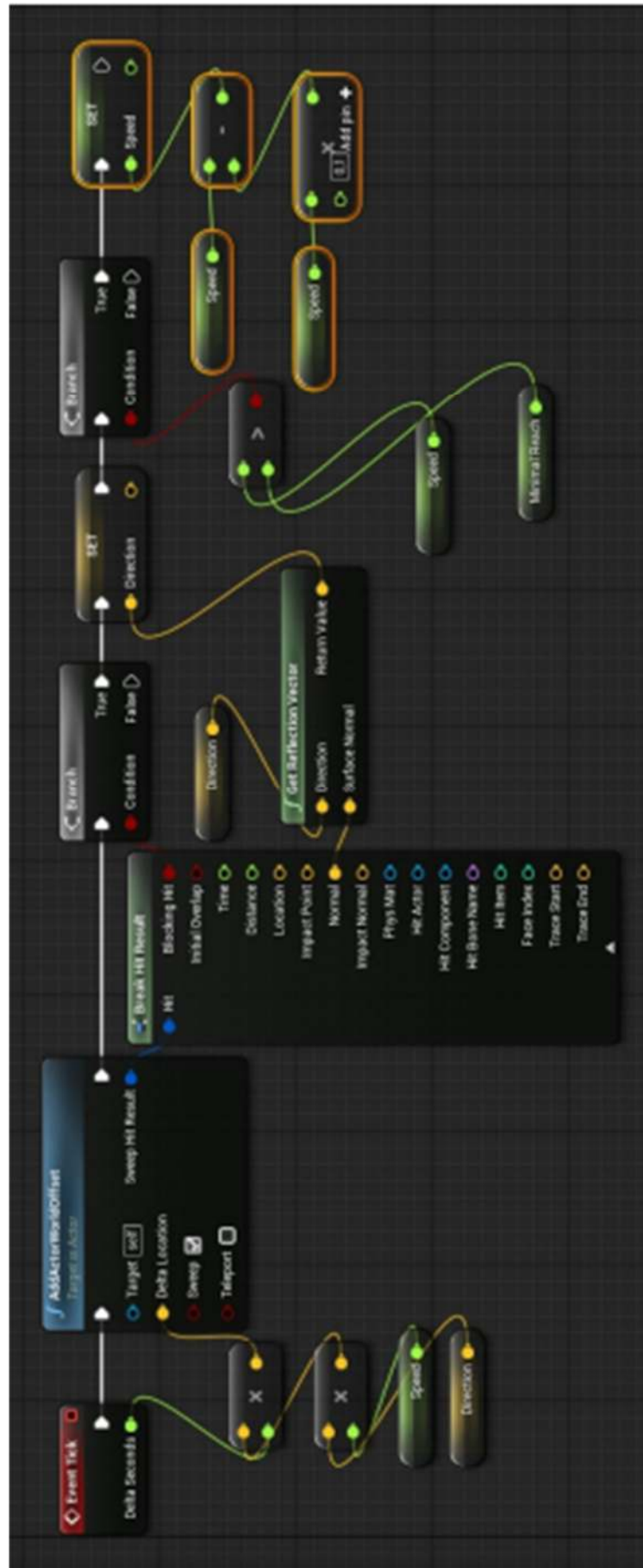


Рисунок 2.3 – Приклад використання системи Blueprints

Unreal Engine є одним із ключових інструментів для розробки ігор. З випуском UE5 (Unreal Engine 5) виникає можливість для розробників створювати проекти великого масштабу. Представники різних галузей мають можливість співпрацювати в реальному часі, щоб забезпечити кінцевим користувачам неймовірні візуальні ефекти та функціональність.

Nanite, як віртуалізована геометрична система UE5, раціоналізує процес проектування великої кількості деталей, забезпечуючи ефективність витрат часу. Це розв'язує проблему важливого управління рівнями деталізації (Levels-Of-Details, LOD) і дає змогу імпортувати графіку кінематографічної якості без зайвих труднощів.

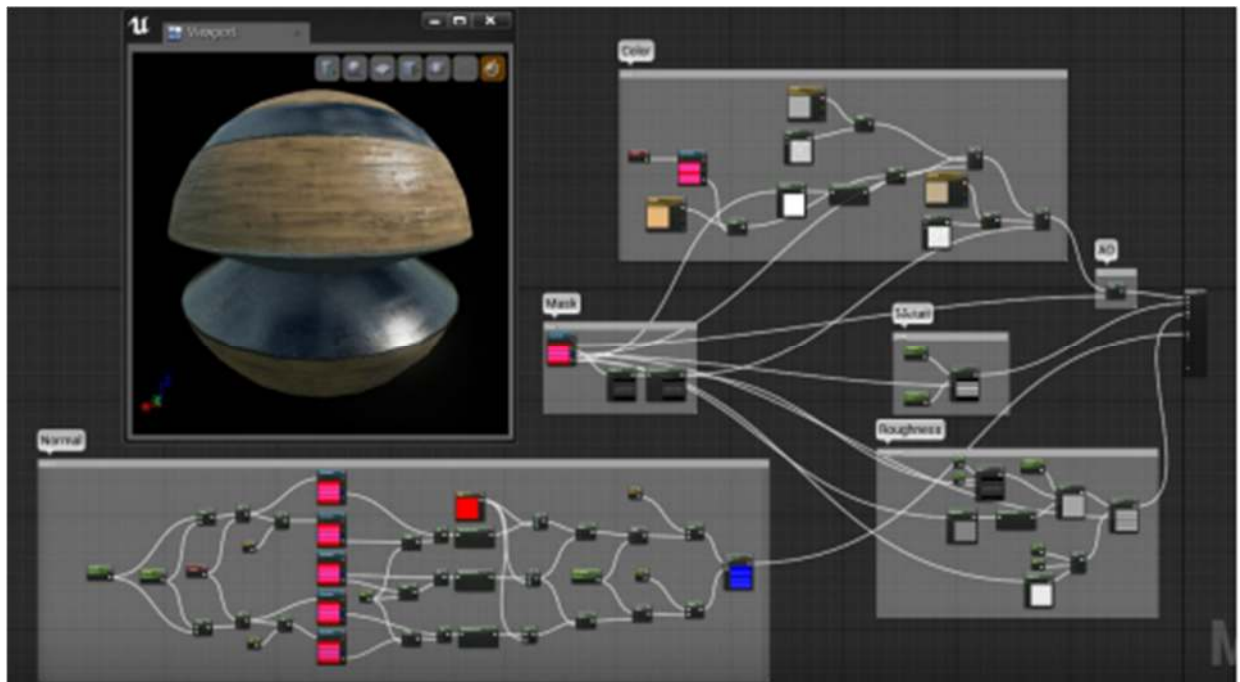


Рисунок 2.4 – Схема властивостей Nanite для відображення матеріалу

Створення реалістичної сцени часто зводиться до роботи з освітленням. Lumen дозволяє швидко вносити зміни, регулюючи освітлення відповідно до часу дня, нового джерела світла (наприклад, ліхтарика), раптового попадання променя в кадр і т. д. Він регулює освітлення від відкритих динамічних сцен до найдрібніших деталей [7].

UE5 вже відомий тим, що дозволяє створювати відкриті світи. Але

Unreal Engine 5 виводить його на новий рівень. Це прискорює створення та спрощує роботу. Система World Partition використовує сітку для відображення підрівнів всього всесвіту. Можна керувати складними рівнями, які завантажуються та вивантажуються у міру проходження гравцем ландшафту. Окрім того, система One File Per Actor допомагає командам працювати паралельно.

Unreal Engine 5 розширює свій набір інструментів анімації такими інструментами як Control Ride. Тепер можна створювати та ділитися налаштуваннями між персонажами. Щоб створити більш природні рухи, можна зберігати та застосовувати пози за допомогою розширення Full-Body ІК.

MetaSounds дає повний контроль та підвищену гнучкість в керуванні звуком. Він забезпечує покращення робочого процесу, щоб допомогти вам керувати всіма аспектами звуку.

Сильні сторони Unreal Engine 5: масштабованість, безліч функцій, широкі можливості для налаштування, 2D та 3D.

Unity – більше, ніж движок, це середовище розробки комп'ютерних ігор, у якій об'єднані різні програмні засоби, використовувані під час створення ПЗ – текстовий редактор, компілятор, відладчик тощо. При цьому, завдяки зручності використання, Unity робить створення ігор максимально простим і комфортним, а мультиплатформеність движка дозволяє розробникам охопити якнайбільшу кількість ігрових платформ та операційних систем [8]. Насамперед, движок Unity3D дає можливість розробляти ігри, не вимагаючи для цього якихось спеціальних знань. Тут використовується компонентноорієнтований підхід, у якого розробник створює об'єкти (наприклад, головного героя) і до них додає різні компоненти (наприклад, візуальне відображення персонажа та способи управління ним). Завдяки зручному Drag & Drop інтерфейсу і функціональному графічному редактору движок дозволяє малювати карти і розставляти об'єкти в реальному часі і відразу ж тестувати результат [9].

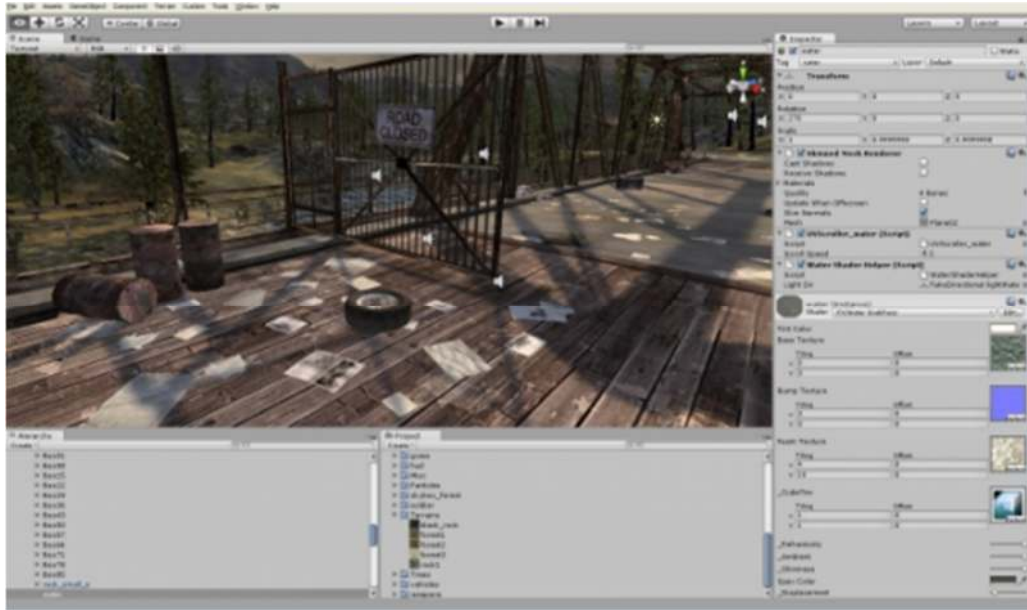


Рисунок 2.5 – Інтерфейс середовища розробки Unity3D

Цей движок також відомий як середовище розробки інді та мобільних ігор. Деякі статистичні дані: станом на вересень 2019 року 52% з 1000 найкращих мобільних ігор були створені на базі Unity, а також 60% всього контенту AR/VR, за даними компанії. Гравці в ігри, створені у Unity знаходяться в 195 країнах – це буквально кожна країна на планеті.

Платформа для розробки в режимі реального часу дозволяє створювати 2D, 3D, VR і AR-контент і досягла 3 мільярдів пристроїв за останні 12 місяців.

Основна причина популярності Unity, особливо для невеликих проектів: це безкоштовно. Персональна ліцензія движка дозволяє розробникам створювати 50 комерційні ігри безкоштовно, за умови, що вони не заробили або не отримали більше 100 000 доларів США доходу або фінансування за останні 12 місяців.

Unity дозволяє легко створювати інтерактивний 3D-контент. Цей ігровий движок сьогодні вибирають багато великих організацій через його відмінну функціональність, високоякісний контент і можливість використання для будь-якого типу гри. Він підтримує як 2D-, так і 3D-контент.

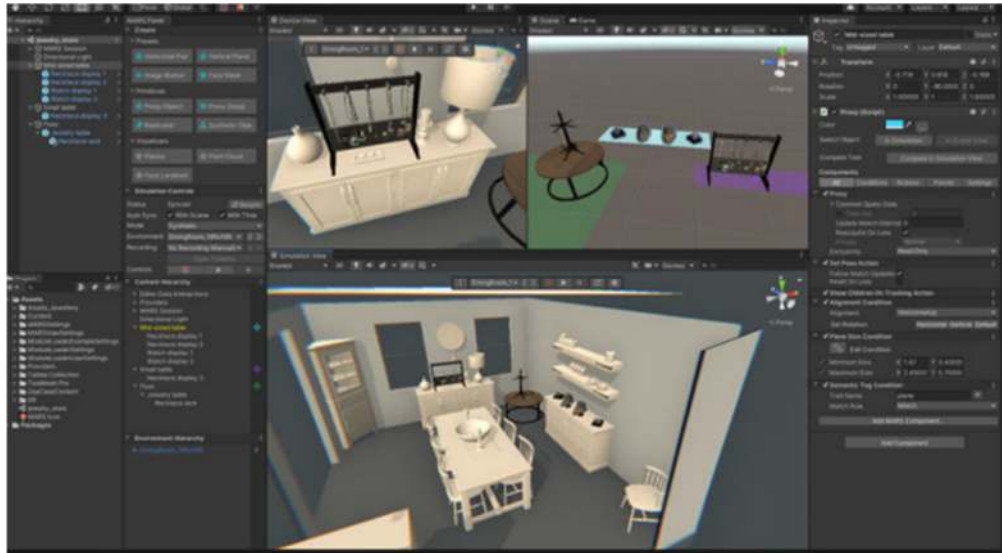


Рисунок 2.6 – Створення гри з використанням VR технології

Завдяки універсальному редактору Unity сумісний із Windows, Mac, Linux, IOS, Android, Switch, Xbox, PS4 та іншими платформами. Дружній інтерфейс спрощує розробку та знижує потребу у навчанні. Unity Asset Store зберігає велику колекцію інструментів та контенту, які створюються щодня [10].

Сьогодні Unity є одним з найпопулярніших ігрових движків у всьому світі. Як повідомляється на офіційному сайті Unity, понад 50% мобільних ігор розроблено на движку Unity 3D. Також, 34% найкращих ігор AAA, створених за допомогою Unity. Крім того, на движку Unity 3D встановлено близько 28 мільярдів ігор, що втричі більше, ніж населення світу. А це говорить про неймовірний попит серед користувачів.

Переваги Unity:

- IDE: поєднання редактора сцен (у комплексі загального редактора) із редактором ігрових об'єктів та редакторів скриптів. Додатково додаються генератори дерев та террейнів;
- покращені можливості скриптингу, а саме в Unity доступні три мови: javascript, C# і різновид Python's boo;
- кросплатформенність – як згадувалося вище, підтримуються Windows, macOS, Wii, iPhone, iPod, iPad, Android, PS3 і Xbox 360, не всі з яких доступні

в безкоштовній ліцензії;

-сучасний рівень графіки, здатний конкурувати з іншими двигунами.

Unity, безумовно, програє Unreal Engine за кількістю реалізованих можливостей. Однак Unity має такі можливості, як deferred освітлення, стандартний набір постпроцесингових ефектів, ssao, прискорене опрацювання лайтмапів:

-гідним чином опрацьований фізичний двигун;

-масштабованість та продуктивність. Більшість простих процесів двигун обробляє на чудовому рівні;

-запуск будь-якої програми на Unity у веб-плагіні;

-невисока ціна за повну ліцензійну версію для великого веб-розробника.

Недоліки Unity:

-закритість коду, неможливість отримання вихідних кодів двигуна навіть за ліцензією;

-неможливість доповнення фізики двигуна сторонніми можливостями, наприклад сторонню фізику, або speedtree.

Open 3D Engine (O3DE) – це відкритий за ліцензією Apache 2.0 кросплатформовий ігровий 3D-двигунок, заснований AWS на базі Lumberyard Game Engine, який сам свого часу був заснований на базі Cry Engine 3. Це його

наслідувач, наступний рівень розвитку технології для подальшого розвитку та новацій. Код написано на C++ та опубліковано під ліцензіями Apache 2.0 та MIT. Є підтримка платформ Linux, Windows 10, MacOS, iOS та Android.

Двигун включає інтегроване середовище для розробки ігор, багатопоточну систему фотореалістичного рендерингу Atom Renderer з підтримкою Vulkan, Metal і DirectX 12, редактор 3D-моделей, що розширюється, систему анімування персонажів (Emotion FX), систему розробки об'єктів (prefab), налаштування у режимі реального часу та математичні бібліотеки, які використовують інструкції SIMD. Для визначення ігрової логіки може використовуватися середовище візуального

програмування (Script Canvas), а також мови Lua та Python.

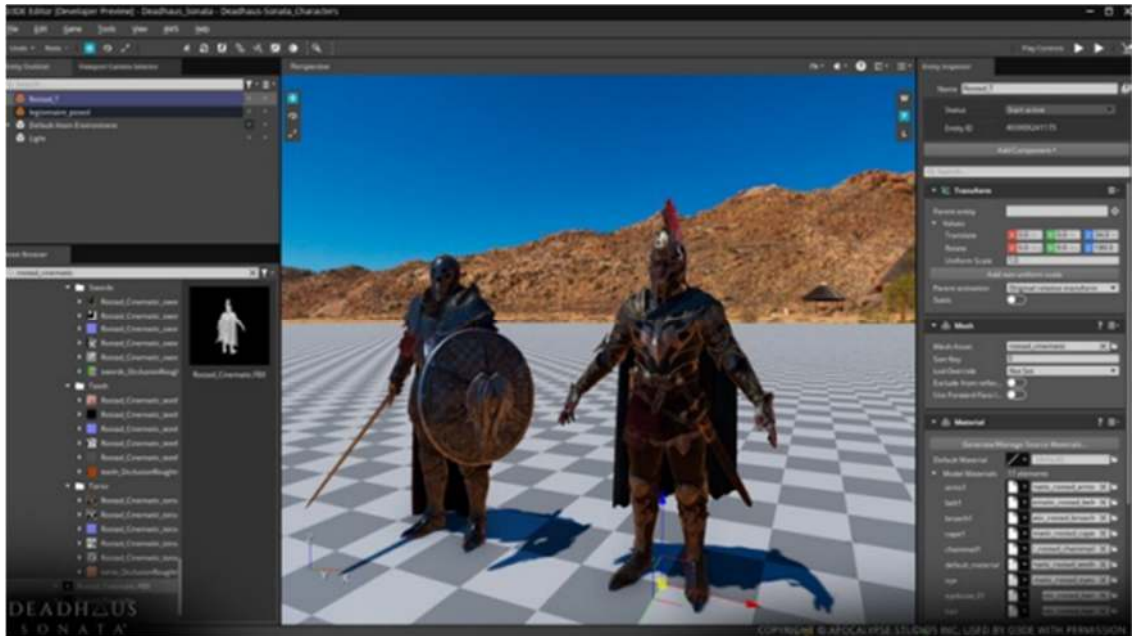


Рисунок 2.7 – Інтерфейс середовища розробки O3DE

Для симуляції фізичних процесів підтримуються NVIDIA PhysX, NVIDIA Cloth, NVIDIA Blast та AMD TressFX. Є вбудована мережева підсистема з підтримкою стиснення та шифрування трафіку, симуляції мережевих проблем, засобами для реплікації даних та синхронізації потоків. Підтримується універсальний mesh-формат для ігрових ресурсів, автоматизація генерації ресурсів мовою Python та завантаження ресурсів в асинхронному режимі [11].

Проект спочатку розрахований на можливість адаптації під індивідуальні потреби та має модульну архітектуру. Усього пропонується понад 30 модулів, що постачаються у вигляді окремих бібліотек, придатних для заміни, інтеграції в сторонні проекти та використання окремо. Наприклад, завдяки модульності розробники можуть замінити рендер графіки, звукову систему, підтримку мов, мережевий стек, фізичний двигун та будь-які інші компоненти.

3DE був розроблений з урахуванням ультрасучасної графіки в реальному часі та складних взаємодій. Він дозволяє створювати будь-які

віртуальні світи за допомогою багатопоточного фотореалістичного модуля рендерингу, редактора 3Дконтенту, що розширюється, системи анімації персонажів на основі даних, фізичного движка в реальному часі і доступу до бази знань спільноти розробників, що бере участь у розвитку відкритого вихідного коду [7].

Модульна архітектура O3DE призначена для налаштування особливо конкретного проекту. Кожен з інтегрованих компонентів O3DE (що називаються "Gems") може бути адаптований окремо, що дає доступ до певних функцій, необхідних для гри або програми. Є можливість додавати нові інструменти редагування, функції та робочі процеси розробки у свої проекти або вибирати з безлічі підтримуваних спільнотою Gems, щоб розширити та покращити можливості движка.

Система Gems від O3DE забезпечує інтеграцію та підтримку хмарних сервісів для додавання додаткових функцій до ігор та симуляторів. Можна вибирати з існуючих внутрішніх хмарних модулів або створіть свої власні Gems з можливостями, що налаштовуються, щоб додати відповідні хмарні сервіси в свої проекти. Сильні сторони: багатофункціональна платформа, широкі можливості.

CryEngine – ігровий движок, створений німецькою приватною компанією Crytek в 2002 році і використовується в шутері від першої особи Far Cry. CryEngine 54 – комерційний движок, який пропонується для ліцензування іншим компаніям. З 30 березня 2006 року всі права на движок належать компанії Ubisoft.

CryEngine 3 спочатку є кросплатформовим движком – він спочатку орієнтований на IBM PC-сумісні комп'ютери та ігрові консолі Microsoft Xbox 360 і Sony PlayStation 3, а також на їх наступні версії. Крім того, движок орієнтований на розробку масових розрахованих на багато користувачів онлайн ігор (англ. Massively Multiplayer Online Game – MMOG). Рух CryEngine 3 є повністю комерційним, і основним акцентом при його розробці є його ліцензування іншими компаніями.



Рисунок 2.8 – Система створення реалістичних відображень у воді

Движок відрізняється прогресивними можливостями з розробки відеоігор та підтримкою передових технологій, включаючи DirectX 12, Vulkan API, VR, написання скриптів на C#, попіксельне освітлення в реальному часі, карти відбитків, деталізовані текстури, туман, поверхні з відблисками та багато іншого.



Рисунок 2.9 – Приклад створення фотореалістичної графіки

CryEngine дозволяє створювати ігри з майже фотореалістичною

графікою. При належному вмінні проекти, розроблені за його допомогою, перевершують за якістю картинки будь-які ігри на Unreal Engine 5 або Unity. До того ж, движок містить функціональний realtime renderer, що дозволяє швидко випробувати щойно створений рівень чи сцену.

Crytek розробила власну технологію трасування променів на движку, яка працює на відеокартах AMD та Nvidia і не потребує потужності графічних чіпів RTX. Нарешті, обов'язково варто згадати GameSDK – інструмент, на основі якого можна швидко створювати власні ігри, використовуючи, зокрема, асети з офіційного сайту Crytek. При всій своїй потужності, CryEngine досить складний в освоєнні, так що необхідно мати великі знання в галузі розробки, щоб створювати з його допомогою ігри.

CryEngine – це безкоштовна платформа, на якій розробник отримує повний вихідний код движка та всі функції движка без необхідності сплачувати будь-які ліцензійні збори. Це також чудовий варіант для покупки ігрових активів, які можна знайти на Cryengine Marketplace, що скорочує час виходу на ринок.

CryEngine також надає безліч безкоштовних навчальних ресурсів, хоча їхня ефективність спірна. Ігровий гігант Ubisoft підтримує власну модифіковану версію CryEngine з оригінальної Far Cry під назвою Dunia Engine, яка активно використовується в їх пізніших ітераціях популярної серії Far Cry.

Сильні сторони: надійний інтерфейс, чудові візуальні можливості, вражаюча підтримка віртуальної реальності.

Godot Engine – відкритий кросплатформовий 2D і 3D ігровий двигун під ліцензією MIT, який розробляється спільнотою Godot Engine Community. До громадського релізу як відкритого ПО двигун використовувався всередині деяких компаній Латинської Америки. Середовище розробника працює на Linux, OS X, Windows, BSD та Haiku і може експортувати ігрові проекти на ПК, консолі, мобільні та веб-платформи [7].

Архітектура движка заснована на дереві успадкованих "сцен". Кожен елемент сцени, будь-якої миті сам може стати повноцінною сценою. Тому при розробці можна легко змінювати всю архітектуру проекту, розширювати її елементи в будь-який бік і працювати з комплексними сценами на рівні простих абстракцій.

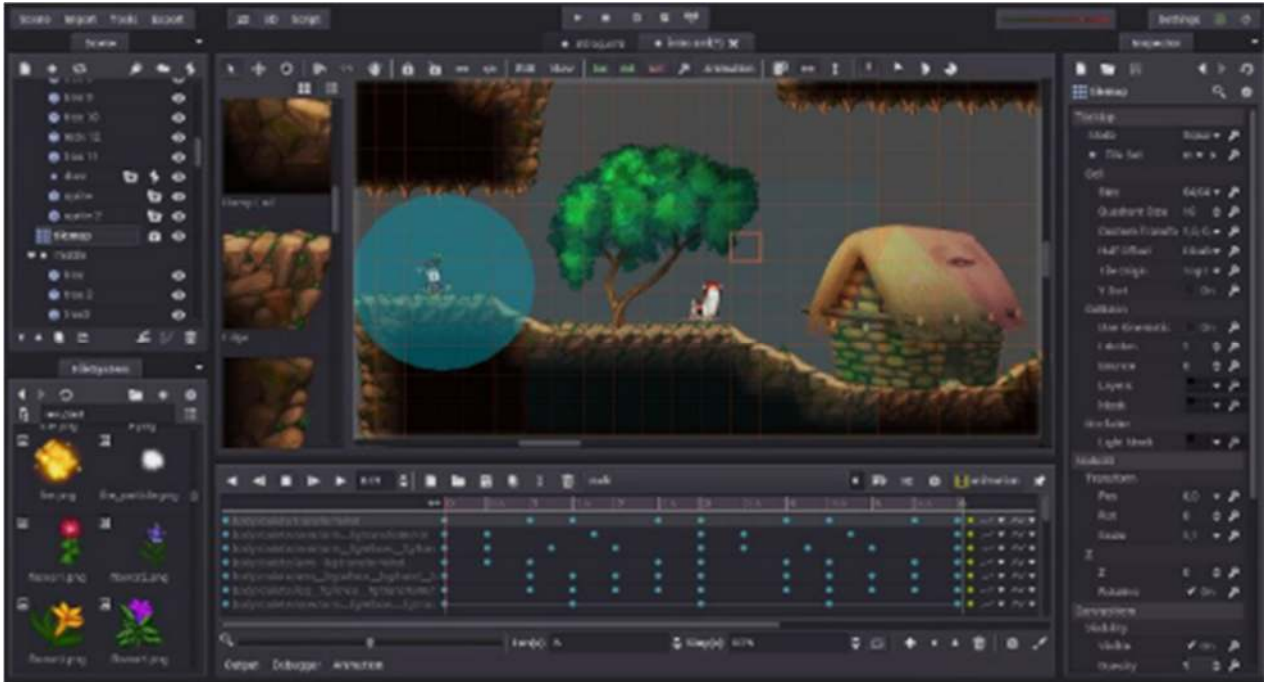


Рисунок 2.10 – Інтерфейс середовища розробки Godot

Всі ігрові ресурси, від скриптів до графічних ассетів та ігрових сцен, зберігаються в папці проекту як звичайні файли, і не є складною базою даних проекту. Ресурси, які не є комплексними даними, зберігаються у простих текстових форматах (наприклад, скрипти та сцени, на відміну від моделей та текстур). Ці рішення дозволяють значно спростити різним командам розробників роботу із системами управління версіями.

Графічна система для всіх платформ побудована на OpenGL ES 3.0. Рендеринг включає технології order-independent transparency, normal mapping, specular. Також там використовуються такі повноекранні постефекти як FXAA, bloom, DOF, HDR, гамма-коригування, distance fog, динамічні тіні на основі shadow maps та інші.



Рисунок 2.11 – Система створення туману

Також варто відзначити, що для 2D в Godot використовується окрема графічна підсистема, яка незалежна від 3D, коли у всіх популярних 3D двигунах все 2D засноване на 3D, що досить сильно псує оптимізацію.

Таблиця 2.1 – Порівняльна характеристика ігрових двигунів

Характеристика	Unity3D	Unreal Engine	CryEngine	Open3D	Godot
1	2	3	4	5	6
Вартість	Платний (безкоштовна версія)	Безкоштовний (роялті можливий)	Платний (безкоштовна версія)	Безкоштовний	Безкоштовний
Мова програмування	C#, JavaScript, Boo	C++, Blueprints	C++, Lua	C++, Python	GScript, C#, C++
Графічний двигун	Unity	Unreal Engine	CryEngine	Custom	Custom

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5	6
Підтримка мобільних	Так	Так	Так	Так	Так
Розширені можливості	Велика кількість асетів, Asset Store	Велика кількість асетів, Marketplace	Реалістична графіка, фізика	Машинне навчання, обробка зображень, відкритий код	Вбудована фізика, редагування на льоту
Компіляція	Windows, macOS, Linux, Android, iOS, WebGL, VR/AR	Windows, macOS, Linux, Android, iOS, VR/AR	Windows, PlayStation, Xbox	Windows, macOS, Linux, Android	Windows, macOS, Linux, Android, iOS, HTML5

З урахуванням всіх висновків (таблиця 2.1), Unity3D виглядає найбільш привабливим для розробки та портування гри на мобільні пристрої, залежно від конкретних потреб розробника, тому й був обраний для подальшої розробки та портування гри.

### 2.3 Методи для портування гри

Dependency Injection (DI) — це парадигма програмування, що ґрунтується на інверсії управління та передачі залежностей. У контексті Unity3D, DI дозволяє розробникам внедрювати залежності в класи компонентів гри ззовні, спрощуючи управління залежностями та полегшуючи тестування.

### Основні Принципи Dependency Injection:

-інверсія управління (IoC): у DI, управління створенням та управлінням об'єктами відбувається не самим класом, а зовнішнім об'єктом контейнера чи фреймворка.

-внедрення залежностей (DI): об'єкти отримують свої залежності не власноруч, а через зовнішній об'єкт, що спрощує управління цими залежностями.

### Застосування у розробці ігор:

-підтримка масштабованості та переносимості: розробники ігор використовують DI для зменшення жорсткості коду та покращення його переносимості. Це дозволяє легко змінювати та адаптувати код при портуванні проектів на різні мобільні пристрої.

-управління залежностями та тестування: DI спрощує управління залежностями, забезпечуючи чітку структуру коду. Це полегшує тестування окремих компонентів гри та розширення функціоналу без необхідності внесення великих змін.

-платформонезалежність та оптимізація ресурсів: DI допомагає розробникам створювати платформонезалежний код, який ефективно використовує ресурси мобільних пристроїв. Це важливо при портуванні гри на різні платформи.

Dependency Injection в Unity3D є потужним інструментом для створення масштабованих та платформонезалежних ігор, особливо при портуванні на мобільні пристрої. Він дозволяє покращити управління залежностями, забезпечити ефективне внедрення та забезпечити високий рівень тестової доступності коду, сприяючи тим самим успішній адаптації гри до різних платформ.

Zenject є контейнером для інверсії управління та впровадження залежностей (IoC/DI) у середовищі Unity3D. Розроблений як розширення для Unity, Zenject спрощує процес управління залежностями та надає інструменти для ефективного внедрення залежностей в об'єкти гри.

Розробники ігор застосовують Zenject для вирішення проблем з управлінням залежностями та створенням легко змінюваних та розширюваних архітектур. При портуванні проектів на мобільні пристрої, Zenject відіграє ключову роль у забезпеченні максимальної гнучкості та масштабованості кодової бази.

Основні переваги контейнеру:

-інверсія управління та впровадження залежностей: Zenject дозволяє розробникам визначати залежності та керувати їх життєвим циклом, забезпечуючи ефективно впровадження залежностей у класи гри.

-модульність та розширюваність: завдяки механізмам впровадження залежностей, Zenject полегшує розширення та модифікацію кодової бази, що робить його ідеальним для адаптації гри до різних платформ, зокрема мобільних пристроїв.

-менеджмент життєвого циклу: Zenject автоматизує створення та знищення об'єктів, дозволяючи ефективно керувати ресурсами та оптимізувати продуктивність для мобільних платформ.

При портуванні ігор на мобільні пристрої розробники використовують Zenject для забезпечення платформонезалежності. Він сприяє створенню масштабованих та легко адаптованих архітектур, дозволяючи оптимально використовувати ресурси мобільних пристроїв та забезпечуючи оптимізовану продуктивність[12].

## 3 РОЗРОБКА ІГРОВОГО ПРОЦЕСУ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ПОРТУВАННЯ

### 3.1 Розробка ігрового процесу

У цій роботі необхідно зробити нехитру гру, для демонстрації подальшого алгоритму портування її на іншу платформу. У цьому випадку – на мобільний пристрій.

В основу геймплею лягає видобуток і переробка нафти на різних заводах і конвеєрах. Невелика гра з приємною 3D графікою та ізометричним видом з камери.

Єдиним елементом керування є джойстик, яким гравець керує ігровим персонажем, для його переміщення та збору ресурсів на відведених зонах завантаження чи розвантаження стрічки. Також з інтерфейсу присутній екран сповіщення про брак ресурсів у зоні навантаження певного заводу для зручного інформування гравця.

Цей вид геймплею має бути здатний продемонструвати, як поводить гра за малої кількості об'єктів з фізикою і 3D-графікою, і за великої. Такі сценарії часто призводять до виявлення вузьких місць в оптимізації під непродуктивні пристрої з малим числом потоків ЦПУ і малопродуктивним графічним ядром або пам'яттю, оскільки 3D графіка навіть для сучасних телефонів, на відміну від ПК, все ще залишається серйозним випробуванням. Особливо якщо це може надалі впливати на зручність гри, зокрема, якщо процесор йде в перегрів, від цього тепла нагрівається телефон, то це призводить до небажаного падіння продуктивності, на догоду зниження температури пристрою. Це особливо критично, адже сильне нагрівання може вплинути на акумулятор, яким безперечно оснащені всі телефони до єдиного, і який зазвичай не є знімним. Та й тримати нагрітий телефон буває вкрай незручно.

### 3.2 Реалізація запланованого геймплею та методів у проєкті на движку Unity3D

Архітектура проєкту буде реалізована за допомогою Abstract Factory(AF) у парі з Singleton. Це спростить структурувати код, спрощуючи додавання нових об'єктів без падіння продуктивності за принципом відкритості, без необхідності подальшої підтримки цієї ділянки коду. Однак це ускладнює первинне написання коду через складну архітектуру AF. Потрібна наявність усіх типів продуктів (об'єктів) як необхідна умова для реалізації фабрики.

Для обробки нафти знадобляться ресурси, з яких під час переробки можна її отримати. Для цього знадобиться контролер, реалізований, щоб надати об'єктам items логіку ресурсів і самої нафти, оскільки вона теж належить до об'єктів типу items (лістинг 3.1).

Лістинг 3.1 – Лістинг розробленого методу ItemsController, шляхом використання паттерна програмування Singleton (файл ItemsController.cs)

```
public class ItemsController:MonoBehaviour
{
    private Vector3 itemPositionOffset;
    private StorageItems nextItemStorage;
    private bool isMove = false;

    public ItemType ItemType { get; private set; }
    public static ItemsController Create(ItemType items,
    Buildings.Buildings creator, StorageItems storage)
    {
        if (!storage.IsCanTakeItem()) return null;

        Transform transform = Instantiate(items.Prefab,
    creator.transform.position, Quaternion.identity, creator.transform);
```

```

        ItemsController item =
transform.GetComponent<ItemsController>();
        item.ItemType = items;

        storage.TakeItem(item);

        return item;
    }
    public void Update()
    {
        Vector3 pointToMove = transform.parent.position +
itemPositionOffset;
        if (Vector3.Distance(transform.position, pointToMove) > 0.5 &&
isMove)
        {
            transform.position = Vector3.Lerp(transform.position,
pointToMove, Time.deltaTime * 5);
        }
        else
        if (Vector3.Distance(transform.position, pointToMove) < 0.5 &&
isMove)
        {
            transform.position = pointToMove;

            nextItemStorage.MoveToStorage(this);
            isMove = false;
        }

        if (transform.rotation != Quaternion.identity)
        {
            transform.rotation = Quaternion.identity;
        }
    }

    public void SetMove(Transform newParent, StorageItems
nextItemStorage, Vector3 itemPositionOffset)
    {
        transform.SetParent(newParent);
        isMove = true;
        this.nextItemStorage = nextItemStorage;
        this.itemPositionOffset = itemPositionOffset;
    }

```

}  
 Джойстик буде реалізовано за допомогою контролера для відстеження положення на осі координат відхилення від центру, що дасть змогу регулювати швидкість переміщення залежно від дистанції джойстика до центру: що більшим є відхилення, то вища швидкість руху; центр – зупинка(лістинг 3.2).

Лістинг 3.2 – Лістинг розробленого методу PlayerController (файл PlayerController.cs)

```
public class PlayerControl : MonoBehaviour
{
    [SerializeField] private float _speed;
    [SerializeField] private FixedJoystick _joystick;
    [SerializeField] private float gravityForce;

    private Vector3 moveVector;
    private CharacterController characterController;
    private float currentAttractionCharacter = 0;
    private void Awake()
    {
        characterController = GetComponent<CharacterController>();
    }
    private void FixedUpdate()
    {
        CharacterMove();
    }
    private void CharacterMove()
    {
        moveVector = Vector3.zero;
        moveVector.x = _joystick.Horizontal * _speed;
        moveVector.y = currentAttractionCharacter;
        moveVector.z = _joystick.Vertical * _speed;

        if(Vector3.Angle(Vector3.forward,moveVector)>1f||
Vector3.Angle(Vector3.forward, moveVector) == 0)
        {
            Vector3 direct = Vector3.RotateTowards(transform.forward,
moveVector, _speed, 0.0f);
            transform.rotation = Quaternion.LookRotation(direct);
```

```

    }
    characterController.Move(moveVector * Time.deltaTime);
}
}

```

Вікно виведення повідомлень буде реалізовано за допомогою скрипта, що виводить постійно порожнє повідомлення або ж по-простому нічого(null), але якщо не вистачає ресурсів, то воно запише у вікно виведення запишеться повідомлення(лістинг 3.3).

### Лістинг 3.3 – Лістинг розробленого методу Message (файл Message.cs)

```

public class Message : MonoBehaviour
{
    public static Message instance { get; private set; }

    [SerializeField] private Text _textMessage;
    public List<string> _message;
    private float timer = 0;
    private string _text;
    public void Awake()
    {
        instance = this;
        _message = new List<string>();
    }
    private void LateUpdate()
    {
        timer+=Time.deltaTime;
        if(timer > 1f)
        {
            _text = null;
            foreach(var text in _message)
            {
                _text += text+"\n";
            }
            _message.Clear();
            _textMessage.text = _text;
            timer = 0;
        }
    }
}
}

```

### 3.3 Портування та тестування гри

За підсумком розробки було створено цю гру на платформі ПК (рисунок 3.1).

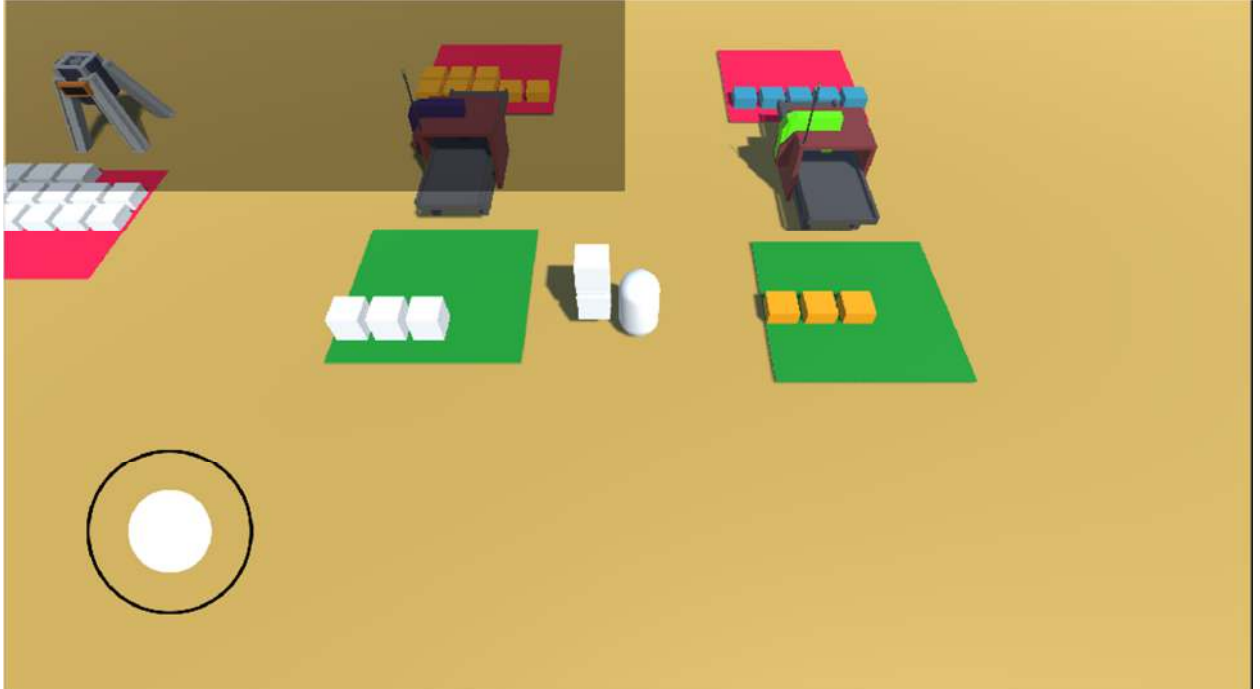


Рисунок 3.1 – Зображення готової гри на ПК

Дана на движку конфігурація проекту передбачена лише для компіляції на ПК. Щоб портувати гру в Unity, необхідно перезібрати проєкт (рисунок 3.2).

Тепер необхідно перевірити, що під час портування результат вийшов іграбельним. А саме порівняти два можливих сценарії (початок гри і кінець: мала і велика кількість 3D-об'єктів із фізикою) у профілювальнику (Profiler) рушія для визначення, чи достатньо оптимізована гра під конкретну мобільну платформу.

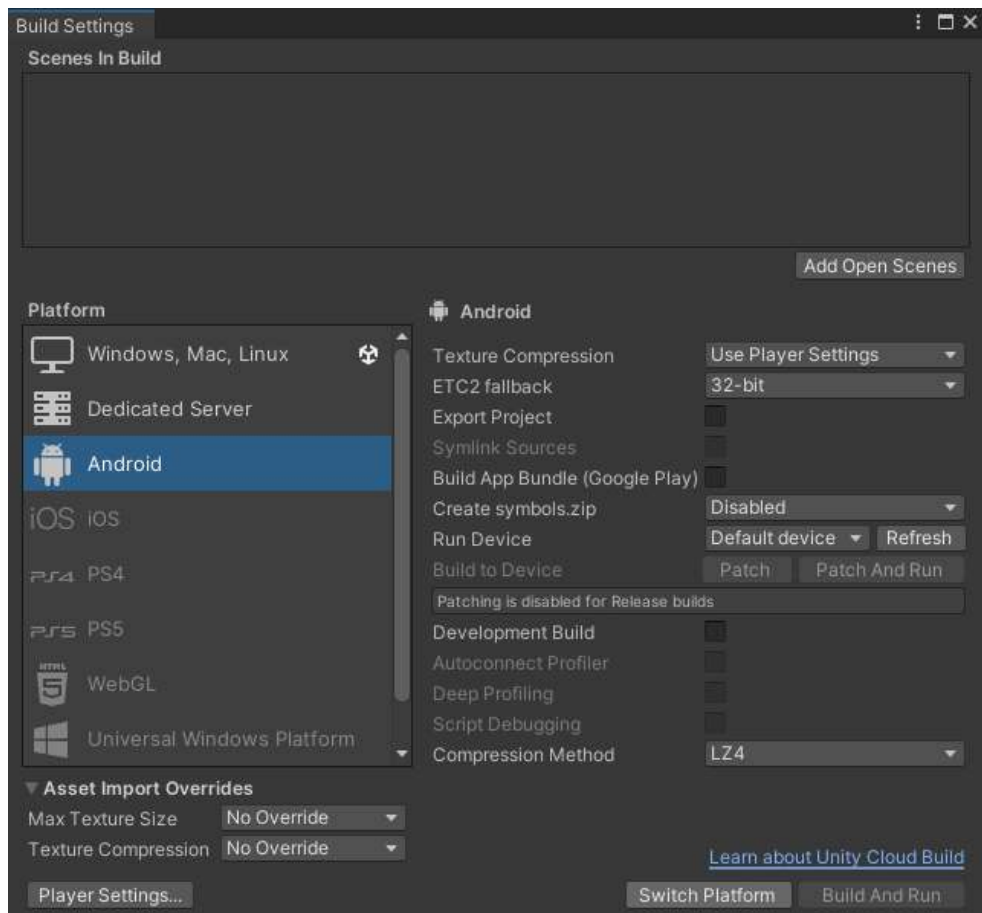


Рисунок 3.2 – Вікно зміни платформи для цільової розробки

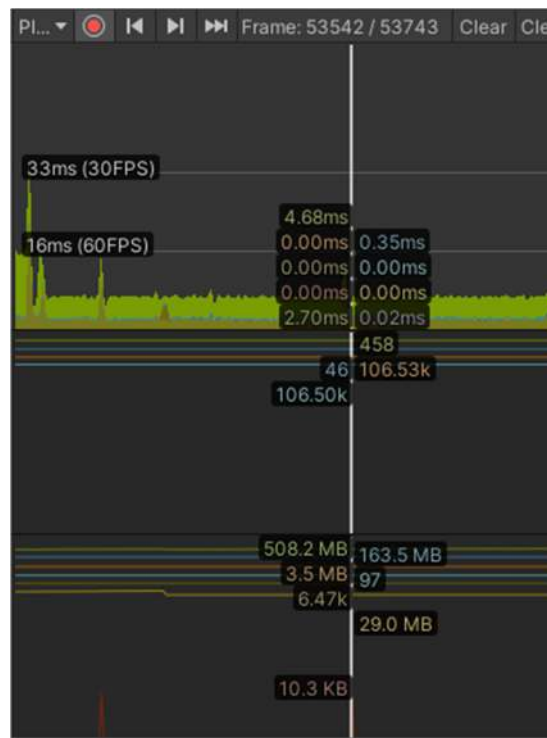


Рисунок 3.3 – Зображення профілювальника на момент початку гри за малої кількості об'єктів (Time: 4.68ms)

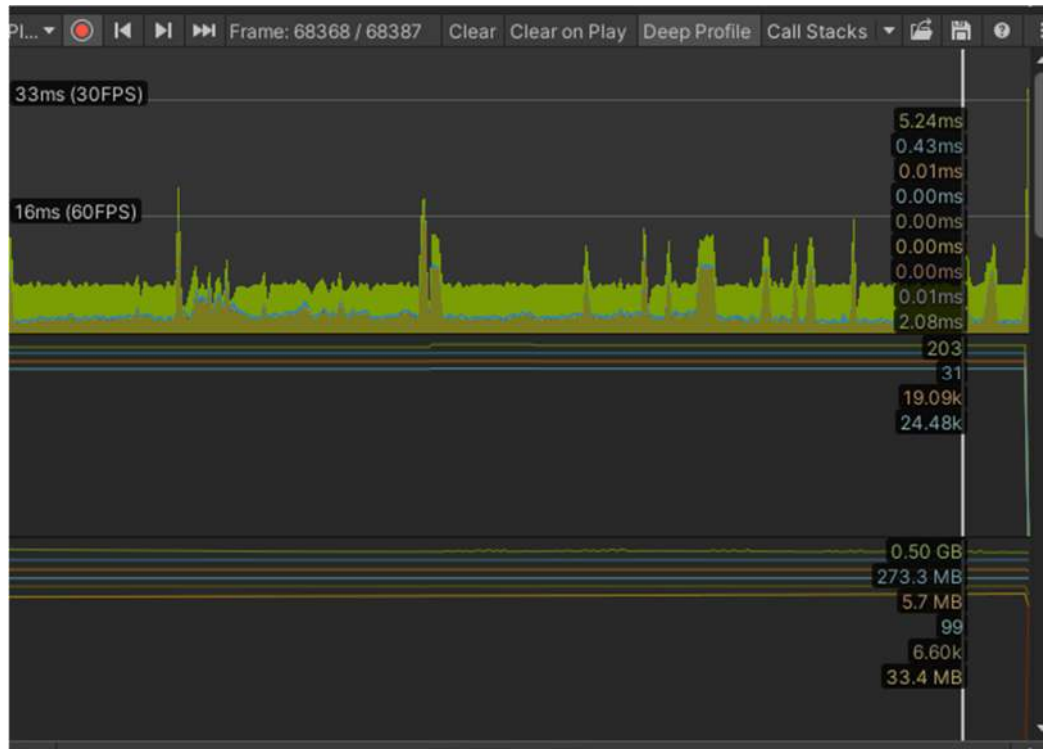


Рисунок 3.4 – Зображення профілювальника на момент кінця гри за великої кількості об'єктів(Time: 5.24ms)

За результатами тестування, проведеного на ноутбучі з процесором Ryzen 5 5600H, 16 ГБ оперативної пам'яті та відеокартою RTX 3050ti, яка відповідає рекомендованим вимогам, графіки FPS становив 144. Також в якості альтернативної платформи використовувався Simulator з мінімально необхідною конфігурацією пристрою Xiaomi Redmi Note 3 в стабільні 60 FPS.

Таблиця 3.1 – Рекомендовані та мінімальні системні вимоги до створеного ігрового додатку

Характеристика	Рекомендовані вимоги	Мінімальні вимоги
1	2	3
Операційна система	Windows 10, 11, Android	Windows 10, 11, Android 5.0.2+
Процесор	Intel Core i5-12400H або AMD Ryzen 5 5600H	MediaTek Helio X10 або Core i3-3240

Продовження таблиці 3.1

1	2	3
Оперативна пам'ять	16 ГБ	3 ГБ
Відеокарта	NVIDIA GeForce RTX 3050ti або AMD Radeon RX 6600	PowerVR G6200 або GTX 1030 або RX 460
Звук	Звукова карта, сумісна з DirectX 9.0c	Звукова карта, сумісна з DirectX 9.0c

Як видно з таблиці, рекомендовані вимоги не високі. Гра може запускатися на більш старих комп'ютерах, які були випущені в 2010-х роках. Однак для комфортної гри рекомендується використовувати комп'ютер, який відповідає рекомендованим вимогам.

## ВИСНОВКИ

Під час роботи я провів дослідження методів портування ігор, які були використані під час розробки гри. Головною метою роботи було збереження належного рівня продуктивності на платформі, що портується, порівняно з початковою.

У результаті дослідження було розроблено та впроваджено комплекс методів перенесення та оптимізації кодової бази проєкту, що дали змогу підвищити продуктивність гри та забезпечити плавний і стабільний геймплей. на досліджуваних платформах.

Під час роботи, було досліджено, реалізовано основні технології та методи портування ігор, а саме:

- методи інверсії управління та передачі залежностей;
- методи розв'язання проблем з управлінням залежностями та створенням легко змінюваних і розширюваних архітектур;
- методи портування гри, шляхом використання інструментарію дживка Unity.
- тестування розробленого додатку та аналіз працездатності вдосконалених методів.

Було проаналізовано ефективність методів оптимізації та реалізовано в ігровому додатку. Розроблено та впроваджено комплекс практичних методів оптимізації гри. Методи оптимізації були спрямовані на зменшення впливу на ресурсоємність гри з метою підтримки гри на різних платформах. Результати тестування застосування вдосконаленого методу оптимізації на прикладі ігрового додатка на платформі Unity підтвердили стабільну продуктивності та працездатність гри на досліджуваних платформах.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Proceedings of the IV international scientific and Theoretical Conference – Artem Mamatov. 2023. – 121 с.
2. Games Industry: Harnessing modern multiplayer with Unity Gaming Services [Електронний ресурс] / режим доступу: <https://www.gamesindustry.biz/>.
3. Hocking J. Unity in Action: Multiplatform Game Development in C# with Unity 5. Shelter Island, New York: Manning Publications, 2015. 352 p.
4. Apperley T. H. Genre and game studies: Toward a critical approach to video game genres / T. H. Apperley // Simulation & Gaming. – 2006. – Vol. 37. – No. 1. – с. 6 – 23.
5. data.ai [Електронний ресурс] <https://www.data.ai/>
6. Buckland Mat. Programming Game AI by Example – Texas, Wordware Publishing. – 2004. – с. 25 – 43.
7. Gregory Jason. Game Engine Architecture. – New York, CRC Press. – 2009. – No. 5. – с. 15 – 24.
8. Lengyel Eric. Mathematics for 3D Game Programming and Computer Graphics: Third Edition. – Boston, Course Technology. – 2012. – 215 с.
9. Microsoft documentation Довідник з мови C# [Електронний ресурс] / режим доступу: <https://docs.microsoft.com/ru-ru/dotnet/csharp/language-reference/language-specification/introduction>.
10. McShaffry, Mike, Graham David. Game coding complete: Fourth Edition. – Boston, Course Technology. – 2013. – 184 с.
11. Goldstone W. Unity Game Development Essentials. / W Goldstone. Birmingham: Packt Publishing Ltd. – 2009. – 316 с.
12. Github [Електронний ресурс] / режим доступу: <https://github.com/modesttree/Zenject>.
13. Creighton R. H. Unity 4.x Game Development by Example Beginner's

Guide. Birmingham: Packt Publishing, 2013. 572 p.

14. Jeffrey R. CLR Via C#. Redmond: Microsoft Press, 2012. 896 p.

15. Unity Asset Store [Электронный ресурс] / режим доступа:  
<https://assetstore.unity.com>.

16. Unity Manual [Электронный ресурс] / режим доступа:  
<https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>.