

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук
Кафедра Медіасистеми та технології
Рівень вищої освіти другий (магістерський)
Спеціальність 186 Видавництво та поліграфія
Тип програми Освітньо-професійна
Освітня програма Технології електронних мультимедійних видань
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Зав. кафедри МСТ _____
(підпис)
« 01 » жовтня 2021 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

студентові Ковальовій Дар'ї Федорівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Оптимізація розробки 3D-моделі для мобільної гри

затверджена наказом по університету від 29 жовтня 2021р. № 1612 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 7 грудня 2021 р.

3. Вихідні дані до роботи
документація розробки для ігрового движку Unity 3D, документація до Autodesk Maya, документація до Substance Painter, формати файлів: для текстур – png, для імпорту 3D-моделі у Unity 3D – fbx,

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі
Аналіз проблеми та постановка задачі дослідження; аналіз існуючих рішень додатків; огляд існуючих інструментів для спрощення процесу оптимізації; створення рекомендацій до розробки 3D-моделей для мобільних ігор; план проведення експерименту і обробка експериментальних даних; вибір і обґрунтування критеріїв оцінки оптимізації моделі; вибір методу аналізу 3D-моделей; експериментальна частина; економічна частина; висновки..

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій
Вступ 1. Мета роботи та аналіз технічного завдання, 2. Актуальність проблеми розробки оптимальних 3D-моделей, 2. Актуальні проблеми сучасних 3D-ігор, 3. Аналіз існуючих рішень додатків, 4. Розробка рекомендацій до оптимізації моделі для мобільних ігор, 5. План проведення експерименту, 6. Вибір і обґрунтування критеріїв оцінки оптимізації моделі, 7. Вибір методу аналізу 3D-моделей, 8. Вибір методу аналізу 3D-моделей, 8. Умови проведення експерименту, 9. Зміст експерименту, 10. Результати експерименту, 11. Економічна частина, 12. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата
Основна частина	проф. Дейнеко Ж.В.		03.12.2021
Економічна частина	проф. Полозова Т.В.		02.12.2021

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз завдання на дослідження	01.10.2021- 09.10.2021	
2	Аналіз стану проблеми дослідження, огляд літератури	10.10.2021- 14.10.2021	
3	Обґрунтування методики проведення дослідження	15.10.2021- 17.10.2021	
4	Вибір методу дослідження	19.10.2021- 21.10.2021	
5	Проведення експерименту дослідження	22.10.2021- 01.11.2021	
6	Аналіз результатів дослідження	02.11.2021- 12.11.2021	
7	Економічна частина	15.11.2021- 19.11.2021	
8	Оформлення пояснювальної записки	10.10.2021- 25.11.2021	
9	Оформлення графічної частини	26.11.2021- 30.11.2021	

Дата видачі завдання 01.10.2021 р.

Студент _____ Ковальова Д.Ф.
(підпис)

Керівник роботи _____ проф. Дейнеко Ж.В.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить 62 стор., 6 табл., 37 рис., 2 дод., 34 джерела.

3D-МОДЕЛЬ, UV-РОЗГОРТКА, МОДЕЛЮВАННЯ, ПОЛІГОН,
РЕНДЕРІНГ, КОНЦЕПТ-АРТ, ТЕКСТУРА, UNITY 3D.

В роботі розглянуто проблеми індустрії мобільних ігор, проведено аналіз сучасних аналогів мобільних ігор та корисних засобів для спрощення оптимізації моделей. На основі виявлених проблем та існуючих методів сформульовано рекомендації щодо оптимізації 3D-моделей для мобільних пристроїв. Відповідно до опитування та аналізу процесу рендерингу виявлено основні критерії оцінки для моделей мобільних ігор. Розроблено декілька 3D-моделей для проведення дослідження та обрано метод проведення дослідження. На основі обраних критеріїв оцінено моделі у 3D-редакторі та рушії гри. Результати експерименту проаналізовано та на основі них складено висновки. Таким чином, було розроблено сучасні рекомендації щодо оптимізації 3D-моделей для мобільних ігор.

Об'єктом дослідження є оптимізація 3D-моделей до мобільних ігор.

Метою даної роботи є розробка сучасних рекомендацій щодо оптимізації 3D-моделей для мобільних ігор.

Області застосування – використання моделі у мобільних іграх, анімації, презентаційних та рекламних роликах.

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка содержит 62 стр., 6 табл., 37 рис., 2 прилож., 34 источника.

3D-МОДЕЛЬ, UV-РАЗВОРТКА, МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПОЛИГОН, РЕНДЕРИНГ, КОНЦЕПТ-АРТ, ТЕКСТУРА, UNITY 3D.

В работе рассмотрены проблемы индустрии мобильных игр, проведен анализ современных аналогов мобильных игр и полезных средств для упрощения оптимизации моделей. На основе выявленных проблем и существующих методов сформулированы рекомендации по оптимизации 3D-моделей для мобильных устройств. Согласно опросу и анализу процесса рендеринга, выявлены основные критерии оценки для моделей мобильных игр. Разработаны несколько 3D-моделей для проведения исследования и выбран метод проведения исследования. На основе выбранных критериев оценены модели в 3D-редакторе и игре. Результаты эксперимента проанализированы и на основе них составлены выводы. Таким образом, были разработаны современные рекомендации по оптимизации 3D-моделей для мобильных игр.

Объектом исследования является оптимизация 3D-моделей к мобильным играм.

Целью данной работы является разработка современных рекомендаций по оптимизации 3D-моделей для мобильных игр.

Область применения – использование модели в мобильных играх, анимации, презентационных и рекламных роликах.

ABSTRACT

The explanatory note contains 62 p., 6 tabl., 37 pic., 2 app., 34 sources.

3D MODEL, UV MAPPING, MODELING, CONCEPT ART, TEXTURE, UNITY 3D.

The paper considers the problems of the mobile games industry, analyzes modern analogs of mobile games and useful tools to simplify the optimization of models. Based on the identified problems and existing methods, recommendations are formulated for optimizing 3D models for mobile devices. According to the survey and analysis of the rendering process, the main evaluation criteria for mobile game models were identified. Several 3D models have been developed for the research and the research method has been chosen. Based on the selected criteria, the models were evaluated in the 3D editor and in the game. The results of the experiment are analyzed and conclusions are drawn on the basis of them. Thus, modern recommendations were developed for optimizing 3D models for mobile games.

The object of the research is the optimization of 3D models for mobile games.

The purpose of this work is to develop modern recommendations for optimizing 3D models for mobile games.

Scope - the use of the model in mobile games, animation, presentation and commercials.

ЗМІСТ

	С.
СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ	8
ВСТУП	9
1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	13
1.1 Актуальність проблеми розробки оптимальних 3D-моделей.....	13
1.2 Актуальні проблем сучасних 3D-ігор.....	14
1.3 Постановка завдань дослідження	16
2 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ	17
2.1 Аналіз існуючих рішень додатків	17
2.2 Огляд існуючих інструментів для спрощення процесу оптимізації.....	24
2.3 Створення рекомендацій до розробки 3D-моделей для мобільних ігор.....	26
3 ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ	29
3.1 План проведення експерименту і обробка експериментальних даних .	29
3.2 Вибір і обґрунтування критеріїв оцінки оптимізації моделі	30
3.3 Вибір методу аналізу 3D-моделей.....	35
4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	38
4.1 Умови проведення експерименту.....	38
4.2 Зміст експерименту.....	39
4.3 Результати експерименту	43
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	48
5.1 Етапи виконання НДР, їх трудомісткість та заробітна плата.....	48
5.2 Розрахунок одноразових витрат на розробку НДР.....	51
5.3 Оцінка результатів науково-дослідної роботи.....	55
ВИСНОВКИ.....	57
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	59
ДОДАТОК А Повний зміст опитування.....	63
ДОДАТОК Б Розроблені моделі	64

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

CG-графіка – комп'ютерна графіка – це синтезовані комп'ютером двомірні статичні зображення або анімація на основі сцен в тривимірному просторі.

CGI (англ. Computer-generated imagery, букв. «зображення, згенеровані комп'ютером») – нерухомі і рухомі зображення, згенеровані за допомогою тривимірної комп'ютерної графіки, що використовуються в образотворчому мистецтві, друку, кінематографічних спецефектах, на телебаченні і в симуляторах. У комп'ютерних іграх зазвичай використовується комп'ютерна графіка в реальному часі, але періодично додається і внутрішньоігрове відео, засноване на CGI.

Low-poly – модель за малою кількістю полігонів.

High-poly – тривимірна модель з великою кількістю полігонів.

Пайплайн – сукупність процесів розробки, підготовки та виробництва ігрового продукту.

Полікаунт – кількість полігонів у моделі.

Півот (Pivot) – центр повороту та масштабування моделі. За замовчуванням знаходиться у геометричному центрі об'єкту.

Меш (Mesh) – сукупність вершин, ребер та граней, що створюють форму об'єкта.

VFX (Visual Effect) – ефекти, створені за допомогою CG.

GPU – центральний процесор.

CPU – графічний процесор.

ВСТУП

Мобільні ігри є найпопулярнішим видом ігор у світі, випереджаючи як консольні, так і комп'ютерні. Ринок продовжує розвиватися з кожним роком. Темп життя сучасної людини дуже швидкий, невеликий відсоток користувачів може або хоче проводити вільний час за комп'ютером або консоллю. Інша ж з причин популярності мобільних ігор є доступність – майже у кожного є смартфон, на якому можна грати в ігри.

Крім поширення смартфонів, мобільні ігри зробили гравця майже з кожного. Застарілі уявлення про геймерів, наприклад, про молодих людей у підвалі своїх батьків, які грають у відеоігри до світанку, пройшли – тепер можна побачити геймерів скрізь. Дитину, яка грає в «три в ряд» за столом, жінку, яка грає в словесну гру в очікуванні літака, або чоловіка, який стоїть у черзі в кафе і грає в гоночну гру. Мобільні гравці грають, куди б вони не пішли.

Не всі верстви населення можуть дозволити собі купувати коштовне обладнання для безперебійної роботи програмного забезпечення. Мобільні ігри найдешевші і призначені в першу чергу для слабких пристроїв, тому в них можна грати будь-де і будь-коли. Хоча мобільні пристрої значно обмежують системні вимоги кінцевого продукту, вони вражають безліччю жанрів, рівнів складності та ігрових механік, кожен може вибрати те, що йому подобається. При цьому розробники не обмежені у своїх ідеях. Тому ринок продовжує зростати та залучати інтерес нових користувачів.

Недавні дослідження показали, що 51% гравців у всьому світі охоче б грати в улюблені ігри, ніж дивилися телевизор чи трансляції. Деякі гравці до цього звикли, особливо якщо вони грають у ігри високої або середньої складності [1].

Складні ігри, природньо, приваблюють гравців – вони часто занурюють їх у різні світи та завдання, що вимагають триваліших витрат часу, щоб

дійсно отримати максимум від ігрового процесу. Ігри середнього рівня пропонують більшу глибину, ніж казуальні ігри, і часто вимагають стратегії, аналогічної до складних ігор, але з трохи складнішою версією. Ці ігри часто приваблюють ширшу аудиторію, ніж складні.

Казуальні ігри зазвичай вважаються найпопулярнішими. Вони простіші як з погляду ігрової механіки, так і з точки зору правил гри, і практично будь-хто може зіграти в них. У 2017 році почало спостерігатися стрімке зростання нового типу: гіпер-казуальних ігор. І зараз жоден інший жанр не користується більшою популярністю на мобільних пристроях: у 2019 році 78 % нових мобільних ігор, що найбільше завантажуються, належали до категорії гіпер-казуальних ігор.

Ці ігри характеризуються легкістю, з якою гравці можуть входити в сесію і виходити з неї – так вони можуть дати гравцям необхідну перерву в очікуванні кави, або по дорозі на роботу. Цей тип ігор міг з'явитися тільки в епоху смартфонів, тому що в розпорядженні мільйонів людей є власні телефони, але розробники зіткнулися з новою проблемою. Оскільки внутрішньоігрові покупки перетворилися на стратегію монетизації, багато розробників гіпер-казуальних ігор покладаються на рекламу для монетизації своїх мобільних ігор. Це означає, що їм необхідно забезпечити якість своєї гри [2]. Тобто, щоб ігровий процес був на найвищому рівні, для підтримки високого рівня взаємодії з користувачем.

Зараз у всьому світі популярні 3D-ігри, наприклад, Raid Shadow Legends, Genshin Impact, Honkai Impact. Одним із найважливіших аспектів розробки мобільних ігор є візуальна складова. Тому що це перше, що бачить користувач під час запуску, і те, з чим він стикається під час усієї подальшої гри.

3D-моделі застосовуються не лише на завершальних етапах розробки гри, а й протягом усього процесу, починаючи з концепту. Концепт-художники часто застосовують 3D для малювання складних форм, що різко скорочує час роботи, тому що художник працює з великими обсягами і може використати різні композиційні рішення.

Ще один важливий крок під час використання 3D – створення візуальних ефектів. Маніпулюючи формою сітки, шейдерами і текстурами, можна досягти різних складних результатів.

Спосіб створення 3D-моделей для безпосередньо гри, ефектів та концепту зовсім різний. Таким чином, для моделі персонажа або графічного ефекту полікаунт – це один із найважливіших факторів, оскільки кожна точка додає роботи центральному процесору пристроїв, а для концепт-художників, які використовують моделі як референс для 2D-креслення, він зовсім не важливий, оскільки жодним чином не впливає на кінцевий розмір файлу, а у багатьох випадках це призводить до швидкого перегріву телефону та збоїв у роботі додатків [3].

Актуальність дослідження полягає в тому, що хоча 3D-ігри відкрили нові горизонти для геймерів усього світу, від новачків до досвідчених гравців, технічні значні обмеження пристроїв все ще існують. Є безліч користувачів, хто втратив зацікавленість у грі тільки за причини присутності візуальних дефектів або повільності роботи додатку. 3D пропонує глибину, яку можна принести до ігор, зробивши їх інтерактивними, захоплюючими та реалістичними, але не всі розробники розуміють важливість оптимізації гри на всіх етапах розробки.

Оптимізація безпосередньо 3D-об'єктів грає велику роль у швидкості роботи усього додатку. Не дивлячись на те, що 3D-моделі використовуються вже декілька років, часто кроки щодо розробки оптимальної моделі доводиться шукати наосліп. Інформація у багатьох джерелах дуже розрізнена, а дії визначаються тільки з досвідом.

Об'єктом дослідження є оптимізація 3D-моделі до мобільної гри.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити такі завдання:

- аналіз проблем сучасних 3D-моделей для мобільних ігор;
- аналіз рішень існуючих додатків;
- аналіз інструментів для спрощення роботи;
- вибір програмного забезпечення для тестування;

- розробка методу і складання плану проведення дослідження;
- проведення дослідження;
- обробка результатів дослідження;
- аналіз отриманих результатів дослідження;
- розробка рекомендацій щодо оптимізації 3D-моделей для мобільних ігор;
- висновки за виконаним дослідженням.

3D модель для мобільної гри повинна відображати концепт з мінімальними відхиленнями та витратами пам'яті пристрою для забезпечення безперервного занурення гравця у гру.

1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Актуальність проблеми розробки оптимальних 3D-моделей

Різні різновиди продукції з використанням 3D накладають свої вимоги та обмеження на моделі. Часто висувається думка, що гарні ефекти, текстури у великому розширенні та складна деталізація завжди йдуть на користь та покращують фінальну модель, але це не завжди так.

3D-модель завжди повинна розглядатися у контексті з усім проектом, адже кожна студія та команда має власне бачення на кінцевий вигляд продукту. Моделювання у першу чергу передбачає виконання чітких технічних та художніх вимог.

Хоча сучасні смартфони та планшети досить потужні з точки зору графічної продуктивності, вони не настільки потужні, як наприклад ігрові консолі чи настільні ПК. Якщо у мобільному додатку або грі використовуються складні моделі зі складними поверхнями або матеріалами, досить швидко можна зіткнутись з проблемами продуктивності. Крім того, розробникам варто підтримувати роботу додатків не лише на пристроях останнього покоління, а також робити їх доступними та достатньо оптимізованими на старих смартфонах і планшетах. Нерідко вже готові 3D-моделі створені для іншої мети розробки без досвіду намагаються використовувати у іграх. Зазвичай такі моделі дуже погано працюють у 3D-додатку реального часу, що використовується на мобільних пристроях, тому що вони просто не призначені для такого використання [4].

У більшості випадків такі моделі «важкі», тобто мають дуже деталізовані форми. Тобто, містять занадто багато багатокутників і трикутників для обробки графічного процесора мобільного пристрою або мають текстури з великою роздільною здатністю і складні матеріали. Однак відтворення моделей з нуля для мобільного додатка було б марною тратою

ресурсів, оскільки це майже напевно займе більше часу, ніж використання існуючої моделі та оптимізація її для мобільних пристроїв.

Починаючи розробники часто відштовхуються від того, що пристрої будуть використовувати усю свою потужність для обробки їх гри. На жаль, у фоновому режимі відбувається набагато більше, що забирає значну частину від заявленої потужності. Наприклад, у додатку доповненої реальності є багато обчислень, необхідних для відстеження положення камери, а потім відповідного налаштування повороту, масштабу вашого 3D-вмісту. Потрібно розуміти, що пристрою потрібно не тільки намалювати саму модель, але й обчислити анімації, фізику в реальному часі та, можливо, ефекти частинок. Саме тому потрібно переконатися, що 3D-моделі максимально оптимізовані для ефективної роботи на мобільних пристроїв.

1.2 Актуальні проблем сучасних 3D-ігор

Для того щоб підтвердити існування проблеми розробки неоптимальних 3D-моделей було проведено соціальне опитування. Участь у опитуванні приймали незалежно від статі і віку. Усього прийняло участь 57 людей. Учасникам було поставлено ряд запитань щодо технічних та візуальних проблем, пов'язаних з проходженням ігор на мобільних пристроях. Було виявлено, що більшість людей грає в мобільні ігри з використанням 3D (рис. 1.1). Опитані, що не мають такого ігрового досвіду не мали впливу на фінальний результат. Повний перелік питань опитування наведений у Додатку А. Користувачам було запропоновано стисло описати проблеми, з якими вони зітнулися при проходженні ігор. Серед результатів опитування можна виявити 2 основні категорії проблем (рис. 1.2), а саме: повільна гра (довго завантажується локація, довгий час відповіді на натискання, значні паузи під час анімацій ефектів), дефекти графіки (видно текстурні шви на моделях, текстури проходять одна скрізь одну, неправильні чи втрачені текстури та елементи інтерфейсу).

Чи граєте ви у мобільні ігри з використанням 3D?

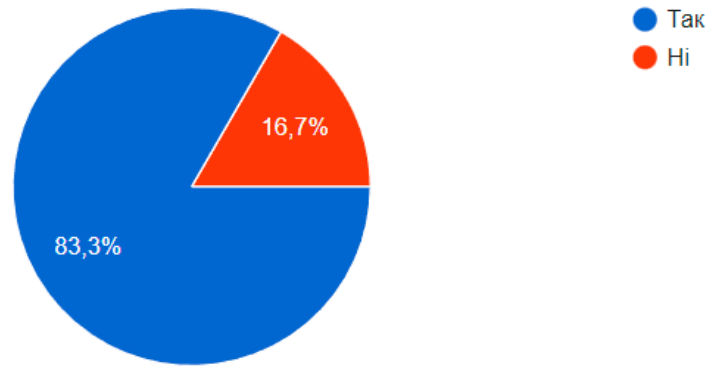


Рисунок 1.1 – Результат опитування за кількістю гравців 3D ігор

большие задержки при переходе в разные меню, анимации тормозят

Довге завантаження на локації, помилки у відображенні моделей

Дуже повільно відображаються локації

Займає дуже багато місця, телефон не може відкрити деякі сторінки, затримки

Рисунок 1.2 – Приклади типових проблем сучасних мобільних ігор

Отримані дані показують, що гравці не мають наміру продовжувати гру при наявності незначних багів, пов'язаних зі сповільненням роботи гри, та за наявності візуальних дефектів (рис. 1.3).

Чи стала проблема причиною втрати вас, як аудиторії?

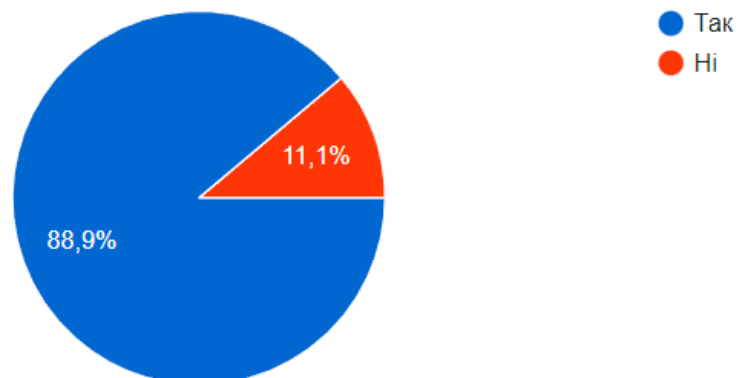


Рисунок 1.3 – Результат опитування за кількістю втраченої аудиторії

1.3 Постановка завдань дослідження

На сьогоднішній час дуже багато початкових 3D-художників вважають, що основна характеристика 3D-моделі – кількість полігонів. Частково це правда, але при виборі найбільш оптимізованого варіанту потрібно розглядати не тільки один критерій, а цілий набір пов'язаних між собою характеристик з різним рівнем значущості. На жаль, дуже важко знайти які саме кроки необхідно зробити, щоб обрати найбільш оптимальний варіант моделі, а початківцям важко зрозуміти як певні характеристики відображаються на грі. Тому необхідно розробити однозначні критерії оцінювання для моделей, що можна порівняти, перевірити оптимізованість роботи додатку за допомогою профайлера у русії гри.

Новизна проведеної роботи полягає у дослідженні 3D-моделей, як об'єкту з багатьма критеріями та оцінюванні гри по цим критеріям. Порівняння роботи 3D-моделей з різними рівнями оптимізації у профайлері русія гри та перевірка результатів дослідження. За допомогою запропонованого методу можна оцінити та порівняти будь-які 3D-моделі до ігор та обрати найбільш оптимальну для проекту.

За допомогою отриманих результатів можлива розробка спеціалізованої програми, що перевіряє моделі за певними критеріями та вказує на рівень їх оптимізації для різних цілей.

Метою даної роботи є розробка сучасних конкретних рекомендацій щодо оптимізації 3D-моделей для мобільних ігор.

Сформульована наступна гіпотеза, яку необхідно перевірити в ході дослідження: «запропоновані рекомендації щодо оптимізації 3D-моделей для мобільних ігор з урахуванням необхідних вимог та стандартів, підвищать технічні показники гри на мобільних пристроях».

Особливістю дослідження є залучення гравців в мобільні ігри незалежно від віку і статі для отримання результатів дослідження.

2 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Аналіз існуючих рішень додатків

Зараз нові ігри розроблюються кожен день, тому у потенційних користувачів існує безліч альтернатив. Це одна з основних причин, чому так важливо стежити не тільки за візуальною привабливістю продукту, але й за оптимізацією усього проекту.

Для того, щоб краще зрозуміти, які кроки вже здійснені для покращення оптимізації, розглянемо лідерів сучасного ринку 3D-ігор.

Серед аналогів можна виділити *Raid: Shadow Legends* (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Рекламний постер *Raid: Shadow Legends*

Raid: Shadow Legends — це покрокова рольова гра на тему фентезі. Події гри розгортаються у вигаданому царстві Телерія, яка була підпорядкована Темним Лордом Сіротом. Гравці беруть на себе роль стародавнього воїна Телерія, який воскрес, щоб перемогти Темного Лорда і відновити мир і гармонію на території. Гравці повинні зібрати армію для битв у таких місцях, як замки, підземелля, пустелі та храми, захищені ворогами та можливими

союзниками. Протягом усієї гри гравці накопичують ресурси. Ресурси бувають чотирьох типів з різними властивостями. У грі є дві форми валюти: срібло, яке відносно легко знайти, і дорогоцінні камені, які набагато важче придбати. Існує також вартість енергії за запуск будь-якого етапу кампанії та підземелля. Без енергії гравці не можуть прогресувати в кампанії, вона швидко закінчується, і після першого дня гравцям доведеться бути дуже обережними, щоб не витратити її даремно. Гра складається в основному з сюжетної одиночної кампанії з дванадцятьма рівнями, кожен з яких складається з семи етапів з трьома рівнями складності. Однокористувацька кампанія пов'язана з багатокористувацькою, для визначення рейтингу гравців. Гравці також можуть приєднатися до кланів, за допомогою яких члени разом борються з босом клану, що приносить додаткові нагороди.

Гра доволі довго розвивалася до свого поточного рівня, тому розробники накопичили значний досвід з оптимізації гри в цілому, так і самих 3D-моделей.

Розробники кажуть, що при стандартному підході Unity для рендерингу моделі використовуються компоненти MeshFilter та MeshRenderer. MeshFilter посилається на Mesh-ассет, який представляє модель. Для більшості шейдерів інформація про геометрію є обов'язковою мінімальною складовою для малювання моделі на екрані. Дані про текстурну розгортку та кістки анімації можуть бути відсутніми, якщо вони не задіяні [27].

Зовні меш як об'єкт надає доступ до наступних наборів даних:

- vertices – набір позицій вершин геометрії в тривимірному просторі з власним початком координат;
- normals, tangents – набори векторів-нормалей та дотичних до вершин, які зазвичай використовуються для розрахунку освітлення;
- uv, uv2, uv3, uv4, uv5, uv6, uv7, uv8 – набори координат для текстурної розгортки;
- colors, colors32 – набори значень кольору вершин, хрестоматійним прикладом використання яких є змішування текстур маскою;

- bindposes – набори матриць для позиціонування вершин щодо кісток;
- boneWeights – коефіцієнти впливу кісток на вершини;
- triangles – набір індексів вершин, що обробляються по 3 за раз; кожна така трійка представляє полігон (у разі трикутник) моделі.

Перетворення моделей у роботі гри – нерідка практика в симуляції фізики деформацій, а також в іграх з контентом, що динамічно генерується і змінюється. У таких випадках зручно застосовувати методи процедурного редагування та створення геометрії. Останні часто дозволяють заощадити байти при передачі даних, що підвантажуються з мережі.

Для API відеокарт мінімальний і єдиний тривимірний примітив – це трикутник, тоді як геометрія FBX, наприклад, може бути представлена у вигляді чотирикутників. Сучасні 3D-пакети для створення моделей, як правило, допускають різні рівні абстракції, але і там рендер результату відбувається за допомогою трикутників – триангулярів. При цьому багато інструментів працюють саме з чотирикутниками, що підштовхує 3D-художників використовувати цей примітив як основний [27].

Якщо триангуляцію моделі не було виконано, відповідний модуль Unity у стандартному режимі виконує її автоматично при додаванні файлу. Через це з'являються помилки, оскільки алгоритми триангуляції у різних пакетах реалізовані по-різному. При виборі діагоналі для розбиття чотирикутника виникає неоднозначність, тому більшість проблем, які можна розділити на дві групи. Перша пов'язана з коректністю відображення форми моделі. Так, форма непланарного чотирикутника залежить від вибору діагоналі (рис. 2.2).

У 3D-моделюванні часто виникає різниця між фактичною кількістю вершин та їх кількістю у 3D-пакеті. Суть проблеми полягає у інформації, яка потрібна для обробки відеокартою. Структура даних для вершини зумовлена і включає позицію, нормаль, дотичну, координати текстурної розгортки на кожен канал і колір. Тобто в одну вершину дві нормалі не запхати. Для деяких художників не завжди очевидно, що вершина визначається не лише своєю позицією. Моделери чудово знають поняття Hard/Soft Edges та UV

Seams, але не всі усвідомлюють, яким чином вони реалізовані програмно. Додатково спантеличують 3D-пакети, які в стандартному режимі показують кількість вершин як кількість унікальних позицій [26].

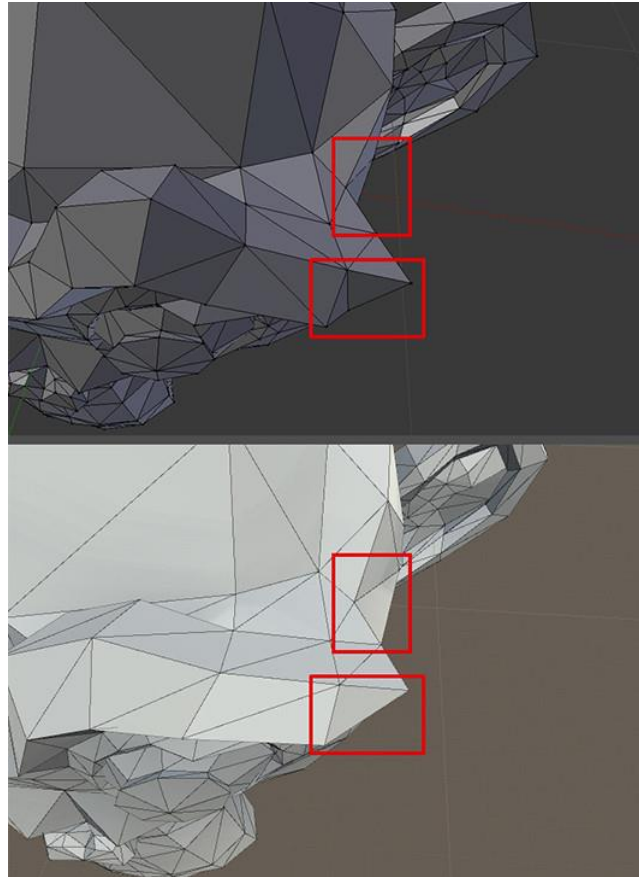


Рисунок 2.2 – Форма мешу в залежності від триангуляції

Зіткнувшись з подібними питаннями, студія розробила власний валідатор. Основними функціями якого є:

- підрахунок кількості унікальних позицій вершин, розмальованих вершин, Hard Edges, UV Seams;
- розрахунок Axis-Aligned Bounding Box і його центру;
- визначення вихідного значення координат UV-розвертки для діапазону 0,0–1,0;
- знаходження накладань в текстурній розгортці;
- перевірка текстурної розгортки на величину заданого піксельного відступу при заданому розширенні текстури.

Таким чином обчислення Axis-Aligned Bounding Box та його центру дозволяє визначити зміщення моделі щодо початку її власної системи координат. Це необхідно для передбачуваного позиціонування асетів, які ініціалізуються у сцені вже під час роботи програми.

Підрахунки кількості унікальних позицій вершин необхідні для перевірки відповідності моделі художника, що була імпортована в Unity. Цей функціонал також дозволяє стежити за дотриманням вимог щодо оптимізації моделі (наприклад, щоб кількість вершин не перевищила визначене значення) [10].

Накладення в розгортці потрібні, щоб ефективно використовувати площу текстури. Найчастіше проблеми зустрічаються при використанні вже готового контенту. Наприклад, якщо модель повністю або частково береться з Інтернету. Другий аналог – Terminator Genisys: Future War (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Рекламний постер Terminator Genisys: Future War

Для того, щоб вирішити оптимізаційні питання задалися питанням, як саме можна раціонально використовувати усі ресурси гри. Виходячи з думки, що деталізовані моделі сильно навантажують пристрій, що призводить до падіння частоти кадрів.

У грі Terminator Genisys: Future War є тривимірні мініатюри людей, роботів та машин. Їх можна оглянути з різних сторін за допомогою камер. Але їх огляд обмежений, тому певні частини моделей завжди приховані від очей користувачів.

Такі місця необхідно видалити. Їх поділили на 2 великі групи: частина знаходиться позаду моделі або частина перекрита іншими ділянками.

Частини першої категорії обробляються досить легко, для цього використовує стандартний спосіб видалення невидимих трикутників.

Для іншої спочатку необхідно визначити, на якому саме етапі необхідно видалити трикутники. Фінальна збірка сцен із моделями юнітів робиться в Unity. Оскільки оптимізація геометричних моделей в 3D-редакторі вимагає розробки додаткового інструментарію для кожного 3D-пакета, було вирішено проводити фінальну оптимізацію одразу в Unity.

Для визначення невидимих трикутників розроблено алгоритм: спочатку вимикаються ефекти, що не впливають на видимості об'єктів у сцені. Задається позиція та ракурс камери, за допомогою якої буде проводитися перевірка.

Велика кількість заданих позицій робить результат точнішим, але сповільнює процес оптимізації. Команда використовує кілька десятків позицій. Усім об'єктам в сцені назначається шейдер, що відображає колір вершин об'єктів [11].

За замовчуванням вершини мають чорний колір. Проходить по всім трикутникам меша одного з об'єктів, що повинен бути оптимізованим. На кожному етапі з меша вирізається поточний трикутник, зберігається в окремій тимчасовій суміші і отримуємо окремий об'єкт на сцені. Фарбуємо його вершини в червоному кольорі. В результаті отримуємо чорну сцену з маленьким червоним трикутниками. Трикутники можна видалити. Таким чином отримується оптимізований об'єкт.

Наступний аналог Genshin Impact – мультиплатформна гра в жанрі action-adventure з відкритим світом та елементами RPG, розроблена

китайською компанією miHoYo. Гра розповсюджується за допомогою цифрової дистрибуції за моделлю free-to-play, але має внутрішньо-ігровий магазин, користуючись реальною валютою (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Рекламний постер Genshin Impact

Оскільки гра мультиплатформна, першочергово стоїть питання, як зробити її однаково продуктивною і для мобільних пристроїв і для персональних комп'ютерів [12].

Розробники використовують методи відсікання зайвого та збереження деталізації не за допомогою форм мешу, а карт нормалей, що створює вигляд красивої та високо деталізованої моделі за мінімальних витрат ресурсів (рис. 2.5). Можна побачити, що загалом усі деталі промальовані, або відображаються через карту нормалей.

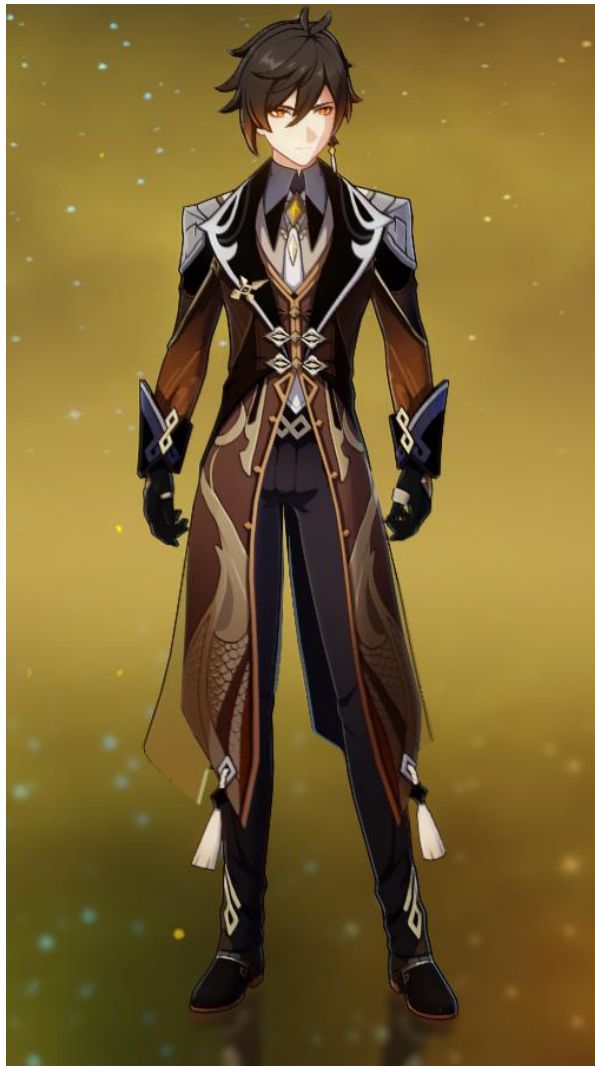


Рисунок 2.5 – Приклад персонажу гри Genshin Impact

У підсумку можна сказати, що хоча ігри мають зовсім різні жанри, рівні монетизації та цільову аудиторію, загалом, цілі та засоби оптимізації моделей у них співпадають. Це свідчить про доцільність розробки чітких універсальних рекомендацій, що об'єднують у собі усі вже існуючі методи.

2.2 Огляд існуючих інструментів для спрощення процесу оптимізації

Серед аналогів виявлено плагін для програми 3DMax – Polygon Tools Pack. В першу чергу Polygon Tools призначений для роботи з низько полігональними моделями для ігрової індустрії. Перевірка за допомогою Polygon Checker стосується універсальних, об'єктивних і вимірюваних

параметрів 3d-моделі. До них відносяться одиниці виміру сцени, іменування, положення півотів та ін. Це прискорена перевірка базових технічних вимог до ігрової моделі, які художник здійснює в процесі роботи. Скрипти виконують функцію, подібну до перевірки правопису в текстовому редакторі – допомагають помітити проблеми: наприклад, надмірна кількість груп згладжування або непризначені матеріали. Деякі з проблем, які вирішуються застосуванням стандартних операцій, можна виправити в Polygon Checker натисненням однієї кнопки [13].

Перевірка в Polygon Checker здійснюється засобами 3Ds MAX, що збудовані мовою MaxScript в логічну послідовність. Відбувається вимір і порівняння різних параметрів 3D-моделі з еталонами або правилами, а потім виводиться результат в текстовому вигляді і користувач приймає рішення, що робити з отриманою інформацією.

За допомогою засобу Polygon Tools можна також знаходити проблеми у розгортці. Наприклад, можна виміряти Texel Density, а потім перевірити і порівняти це значення для всіх полігонів моделі і виявити проблемні місця з відхиленнями. Також Polygon Tools дозволяє виявити на розгортці UV-кластери з дуже маленькою або нульовий площею. Можна отримати інформацію про щільність UV-розгортки і, якщо вона недостатня, ущільнити її. Таким чином можна поліпшити якість текстур в подальшому.

Можна дізнатися, що якісь елементи UV-розгортки виходять за межі стандартної площі від 0 до 1, що часто небажано, і повернути їх назад.

Основна цільова аудиторія Polygon Tools Pack – початківці 3D-художники і ті, хто відповідає за якість роботи у компаніях. Тому зазвичай можна розділити роботу з додатком на декілька сценаріїв.

Перший – якщо 3D-artist – початківець та йому необхідно зробити правильну модель для гри. Як правило, розробка абсолютно нової моделі – стресове завдання. І хоча стрес необхідний для професійного зростання, він може негативно позначатися на якості роботи. Тому за допомогою Polygon Checker можна швидко побачити, чи відповідає модель певним вимогам.

Для lead-artists і supervisors це швидкий інструмент для перевірки, що об'єктивно оцінює модель по ряду параметрів і вказує на поширені проблеми. Залишається лише віддати його виконавцям і попросити використовувати в роботі і застосовувати перед здачею моделі на перевірку. Використання навіть найпростіших напівавтоматичних засобів перевірки дозволяє розвантажити фахівців, підвищити продуктивність і позбутися від рутини, особливо якщо мова йде про створення великої кількості моделей в стислі терміни.

Outsource-managers і інші менеджери. Це можуть бути фахівці, не особливо знають секрети 3D-графіки. Їх завдання стежити за термінами, приймати моделі, які зроблені за межами студії і т.д. Їм важливо розуміти, підходить модель в цілому чи ні, без подробиць. Застосовуючи набір скриптів Polygon Tools Pack, вони можуть отримати деяку інформацію з цього приводу.

Таким чином до переваг даного інструменту можна віднести:

- гарно підходить для перевірки технічних характеристик моделі;
- може частково виправити проблемні місця моделі;
- повністю автоматичний.

До недоліків можна віднести:

- не аналізує творчий потенціал моделі;
- потребує додаткового встановлення плагінів;
- прив'язка до конкретної програми розробки моделі;
- досить обмежений функціонал;
- не має можливості порівняння моделей.

2.3 Створення рекомендацій до розробки 3D-моделей для мобільних ігор

Відповідно до існуючої проблеми оптимізації розроблено рекомендації з метою покращення технічних характеристик гри за допомогою оптимізації 3D-моделей. Загальні рекомендації розроблені на

основі загальноприйнятих принципів моделювання та існуючих методів оптимізації у сучасних компаніях.

Звертається увага на обов'язкове дотримання вимог, що стосуються певного проєкту та платформи:

- для кожної 3D-моделі потрібно мінімізувати кількість відокремлених частин, що мають свій матеріал за для зменшення кількості Draw-Calls. При можливості використовувати тільки одну частину;

- кількість точок повинна бути зменшена на стільки, на скільки це можливо зі збереженням рівномірності сітки;

- деталі, що не бачить камера у грі та зайві внутрішні частини об'єктів повинні бути відкинуті;

- до граней повинні бути використані правильні групи згладжування для покращення візуальних характеристик моделі та мінімізації полікаунту на гладких частинах;

- правильна топологія повинна включати в себе використання петель ребер по формі об'єкта, уникання ситуацій з занадто великою різницею між полігонами;

- максимально можлива схожість low-poly та high-poly моделей;

- триангуляція після завершення етапу моделювання безпосередньо у 3d редакторі;

- рекомендується приховувати розрізи на UV-розгортці у непомітних або затемнених місцях;

- рекомендується уникати повного моделювання дрібних деталей на фінальній моделі, замість цього використати карту нормалей;

- при неможливості повністю замінити деталізацію картою нормалей рекомендовано комбінувати малювання по нормаліям там де це можливо та використовувати найбільш загальні форми там де ні;

- деталі, які не несуть у собі візуальної цінності, або не розповідають нічого про персонаж повинні відсікатися;

– зрозумілість та однозначність сприйняття моделі повинна підтримуватися на всіх етапах розробки;

Моделер може безпосередньо використовувати рекомендовані прийоми, доцільно видозмінювати їх характеристики, відповідно до власної концепції, використовувати ключові слова для пошуку додаткової інформації.

Врахування наданих рекомендацій сприяє покращенню візуальних та технічних особливостей гри.

3 ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

3.1 План проведення експерименту і обробка експериментальних даних

План дослідження являє собою послідовність етапів роботи для досягнення мети дослідження.

1. Формулювання гіпотези.

Сформульована наступна гіпотеза, яку необхідно перевірити в ході дослідження. Суть гіпотези полягає в тому, що запропоновані методичні рекомендації щодо оптимізації 3D-моделей для мобільних ігор з урахуванням необхідних вимог та стандартів, підвищать технічні показники гри на мобільних пристроях.

2. Вибір критеріїв оцінки.

3. Вибір методу аналізу 3D-моделей

4. Умови проведення експерименту.

5. Проведення експерименту.

6. Обробка результатів.

7. Порівняння результатів експерименту та перевірка гіпотези.

8. Розробка рекомендацій на основі результатів.

Вибір математичного методу, який дасть повні та обґрунтовані результати – є завжди є найважливішою задачею. Часто обирають методи системного аналізу та методи, які дозволяють визначити якісний простір досліджуваних параметрів та характеристик. До таких методів слід віднести методи багатовимірною статистичного аналізу, метод частотного аналізу, вейвлет-аналізу, тощо [5-9, 19-24, 29-33].

2.2 Вибір і обґрунтування критеріїв оцінки оптимізації моделі

Планування дослідження в даній роботі необхідно для обґрунтування вибору рекомендованих прийомів оптимізації 3D-моделей для мобільних ігор.

Показник оцінювання – це засіб оцінювання, що містить список критеріїв оцінки завдання. Критерій оцінювання розбиває призначену роботу на окремі частини і описує особливості виконання кожної з частин в залежності від рівня складності.

Для того щоб розуміти, які критерії найважливіші для вибору моделей до ігор, необхідно проаналізувати увесь процес рендерингу пристроїв, як саме впливають різні особливості моделей на процес гри та відмальовку об'єктів. Тому представлена література описує найважливіші етапи рендерингу та складові моделей в цілому. Також проаналізовані джерела, що вже містять певні сценарії для оптимізації. Таким чином, можна розглянути існуючі методи, виявити їх доцільність саме до мобільних ігор та поміркувати, як саме можна задіяти вже існуючі дані в дослідженні.

Насамперед, необхідно визначити критерії, за якими можна буде оцінити 3D-модель у грі. На основі аналізу аналогів та опитування можна виділити:

- візуальна складова;
- кількість полігонів;
- кількість Draw-call для малювання одного об'єкту;
- стабільність роботи гри.

Зазвичай, візуальну складову моделі оцінюють саме спираючись на концепт – це перший крок розробки 3D-моделі. Такий підхід дозволяє зацікавити користувачів у майбутньому та полегшить роботу самих моделей.

Чітких правил для концепт-художників немає або вони визначаються розробниками чи керівництвом. Результат цілком залежить від самого проекту, його візуального стилю та того, що потрібно донести. На сьогодні

виділяють декілька основних універсальних рекомендацій, що можуть відхилитися на розсуд автора:

- зрозумілість концепту усім причетним до подальшої розробки;
- однозначність сприйняття моделі як розробниками так і гравцями;
- відсікаються ті деталі, що не несуть у собі ніякої інформації про персонажа;
- будь-яка кількість деталей підійде для концепту, але усі вони повинні передавати настрій роботи та нести у собі сенс;
- гармонічна гамма концепту складає приблизно половину успіху.

Робота 3D-художником в ігровій індустрії вимагає не тільки відчуття естетики, а також розуміння того, як працюють рушії ігор. Це важлива частина при створенні ігри, починаючи з пам'яті та відеокарти комп'ютера. Якщо показники перевищені, частота кадрів гри буде знижуватися, і гра не буде працювати так стабільно, як хотілось би [15].

Крім того, оптимізація ігрової графіки повинна бути виконана в певних межах, наприклад, аспекти естетичності і можливість повторного використання як текстур, так і 3D-моделей.

Коли справа доходить до кількості полігонів та їх скорочення в іграх, все зводиться до того, що гравець побачить у сцені і з якого боку. При зменшенні кількості полігонів на моделі потрібно запитати себе, що побачить гравець та видалити непотрібні частини 3D-моделей, які не будуть помітні у грі. Також слід виявити, чи всі частини моделі важливі або їх можна видалити в щоб зменшити кількість полігонів. Багато деталей не потрібно моделювати, але можна реалізувати через текстурні карти.

Існує поширене непорозуміння, коли справа доходить до продуктивності та важливості пам'яті CPU і GPU. Для ПК не завжди швидше використовувати один і той самий меш кілька разів замість використання унікального. Все зводиться до балансу, щоб однаково навантажувати пам'ять CPU і GPU, навіть якщо GPU зазвичай більше впливає частоту кадрів. Коли справа доходить до рендерингу об'єкту в рушії гри запуск починається з розрізання мешу на частини

та візуалізація різних матеріалів, що застосовуються до кожного об'єкту з одним матеріалом за 1 раз. Наприклад, якщо є меш з одним матеріалом застосованим до нього, він відображає весь об'єкт відразу, але коли використовується два матеріали на об'єкті, рушій повинен відрендерити об'єкт двічі з різними текстурами після розрізання сітки на трикутники. CPU/GPU не можуть рендерити відразу кілька трикутника з різними текстурами [16].

Зменшення кількості використаних текстур також є гарною ідеєю, щоб зберегти продуктивність на помірному рівні, тому що для рендерингу кожної текстури потрібен окремий виклик. Текстури часто споживають більше, ніж сам меш. Час, який можна заощадити при рендерингу в реальному часі не можна недооцінювати, хоча це лише мілісекунди.

Для досягнення найкращих показників ефективності роботи ігор, їх оптимізують на всіх етапах розробки. Зараз, одним із самих значущих процесів мобільної гри – рендеринг.

Рендерингом є – перетворення тривимірного простору в статичну картинку. У індустрії розробки мобільних ігор під рендерингом і 3D-художники і розробники розуміють шлях перетворення у плоске зображення 3D-сцени або моделі. Такий процес відбувається за допомогою комп'ютерних програм [17].

Першим кроком рендерингу є збір інформації про vertex шейдером. Ця інформація про вершини збирається в пакет, який обов'язково повинен містити позицію, та інші атрибути.

Дані обробляються згідно з інструкціями шейдера вершин і відображають нові значення позиції вершини та іншу інформацію. Далі уся отримана інформація потрапляє в растерізатор, який передає положення координатної моделі екрану пристрою. Дані передаються піксельній частині, де вираховуються такі значення, як колір і прозорість [32].

Цей процес витрачає доволі багато ресурсів пристрою, особливо для моделей з великою кількістю деталізації. Саме тому 3D-художники мінімізують кількість полігонів і, по можливості, запікають деталі в нормалі. Однак цього недостатньо [18].

Щоб досягти максимальної ефективності, потрібно точно розуміти, як графічний процесор обробляє полігони. Як правило, багатокутник здається масивом даних для кожної вершини, отже, маємо 12 значень (4 вершини з трьома координатами для кожної). Інший масив описує посилання на самі вершини двох трикутників, на жаль, графічні процеси, здатні тільки до них, припускаючи, що звичайний багатокутник є чотирикутником, перед імпортуванням моделі завжди триангулюються – перетворюються на трикутники, для уникнення артефактів на пізніх етапах.

Отже, щоб намалювати чотирикутний багатокутник, його необхідно розділити на 2 трикутних багатокутника. Шейдер опрацює інформацію про вершини, а потім співвідносить її з пікселями на екрані пристрою.

У випадку з прямокутним багатокутником для прискорення процесу використовується кеш вершин, тому 2 вершини трикутника є загальними, перераховувати їх знову не потрібно (рис. 3.1). Таким чином, зображення двох трикутників пройде майже так само швидко, як і один. Тому при моделюванні необхідно звертати увагу на кількість трикутників, а не багатокутників взагалі [33].

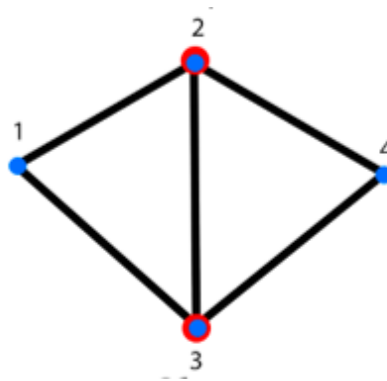


Рисунок 3.1 – Спільні вершини трикутних полігонів

GPU заповнює квадрати, що відомі як пікселі, доки вони не будуть заповнені повністю. Часто буває, що деякі вершини об'єктів малюються поза цими квадратами, а деякі всередині. Квадрати, які торкаються вершин, обчислюються повністю, навіть якщо об'єкт не заповнює їх повністю, а квадрати, які взагалі не задіяні, відрізаються (рис. 3.2).

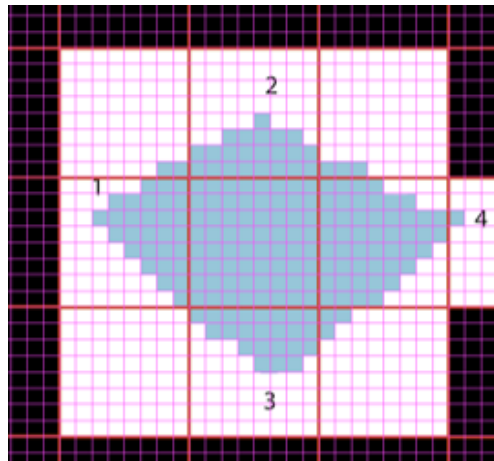


Рисунок 3.2 – Процес відображення чотирикутного полігону

Витягнутий об'єкт з однаковою кількістю точок буде рендеритися довше, це відбувається тому що один полігон займає більшу площу, тобто більшу кількість точок. Тому 3D-моделі потрібно триангулювати уникаючи витягнутих полігонів, якщо це можливо [33]. Швидкість рендерингу залежить від кількості квадратів, які малюються. Процес часто робиться вручну або автоматизовано, коли художник обробляє найбільше проблем на його погляді місця, а прості програмні розділяються. При рендерингу ігор часто таке поняття, як перемальовування (рис. 3.3). Це в тому, що пікселі можуть перемальовуватись кілька разів. Наприклад, у випадку, коли один об'єкт прихований за іншим.

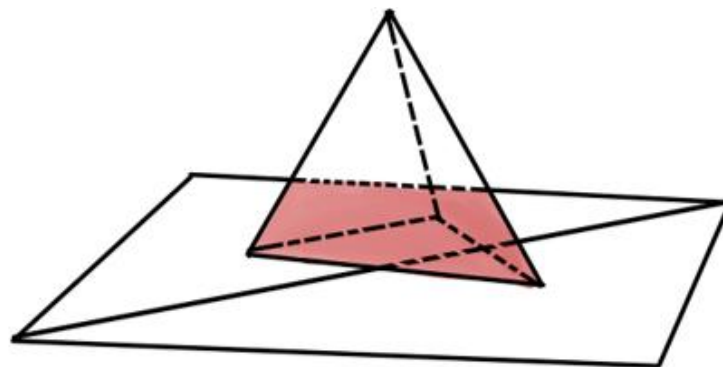


Рисунок 3.3 – Перетворення прямокутника, з урахуванням невидимих частин

Кожен об'єкт представляється повністю, незважаючи на те, що користувач її не побачить. Добрим способом вирішення цієї проблеми є видалення на етапі моделювання невидимих частин моделі, які користувач ніколи не побачить.

Часто в компанії створюють спеціальні алгоритми, які, як частина моделі, ніколи не зустрічаються в камері, це дуже поширена практика в іграх із частковою руховою камерою. При цьому варто звернути увагу, що підійде найкраще для конкретного випадку [34].

Таким чином, критерії, що обрано для оцінки 3D-моделей повністю відображають оптимальність певної моделі для використання у мобільних іграх та можуть використовуватися з метою порівняння.

3.3 Вибір методу аналізу 3D-моделей

Оскільки у дослідженні справа ведеться з багатокритеріальними задачами у атестаційній роботі використано метод аналізу ієрархій. Вибір методу зумовлений тим, що потрібно не тільки порівняти самі моделі за критеріями, а ще й критерії між собою. Оскільки важливість кожного критерія не однакова для загальної оцінки моделі необхідно чітко визначити рейтинги всіх можливих варіантів рішень за критеріями.

Основні переваги методу для роботи:

- гнучкість методу для багатьох критеріїв;
- порівняння критеріїв між собою.

Процес аналізу ієрархій є структурованим методом організації та аналізу складних рішень, заснованим на математиці та психології. Досвід окремих експертів використовується для оцінки відносних величин факторів шляхом попарного порівняння. Кожен із респондентів порівнює відносну важливість кожної пари предметів за допомогою спеціально розробленої анкети.

Метод аналізу ієрархій ґрунтується на попарному порівнянні альтернативних рішень за кожним критерієм та аналогічному ряді порівнянь, для оцінки кожного критерію, щоб визначити вагові коефіцієнти. Зазвичай хід методу налізу ієрархій можна розділити на декілька кроків.

Спочатку визначаються рейтинги можливих варіантів рішень за кожним критерієм. Для цього створюється матриця попарних порівнянь за критеріями та

нормалізується. Дані усереднюють в кожному рядку, а також обчислюються та перевіряються на узгодженість.

Далі визначаються вагові коефіцієнти критеріїв та створюється матриця попарних порівнянь вже для критеріїв, що також нормалізується. Аналогічно попередньому кроку усереднюють значення за рядками, щоб далі перевірити на узгодженість. Наприкінці обчислюється зважений середній рейтинг для кожного варіанта рішення та обирається рішення з найбільшою кількістю балів.

Для того, щоб попарно порівняти моделі між собою за усіма критеріями використано шкалу (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Шкала рейтингу для порівняння моделі

Рейтинг	Опис
1	Однакова перевага
2	Мала перевага
3	Помірна перевага
4	Середня перевага
5	Явна перевага
6	Велика перевага
7	Значна перевага
8	Очевидна перевага
9	Абсолютна перевага

Для того щоб попарно порівняти певні об'єкти складається квадратна матриця (таблиця 3.2). Елемент матриці a_{ij} представляє собою певну міру переваги порівняного об'єкта A_i над іншим – A_j , що приймає значення від 1 до 9. Діагональні елементи завжди будуть дорівнювати одиниці. Для матриці парних порівнянь завжди повинна виконуватися умова: $a_{ij} = 1/a_{ji}$.

Таблиця 3.2 – Матриця порівняних критеріїв

Альтернативи	A_1	...	A_j	A_n
A_1	a_{11}	...	a_{1j}	a_{1n}
...
A_i	a_{i1}	...	a_{ij}	a_{in}
A_n	a_{n1}	...	a_{nj}	a_{nn}

Саме з цієї причини зазвичай заповнюється тільки частина над діагоналлю матриці. Може бути 2 ситуації в порівняннях об'єктів. Одна з них – коли критерій виражений в чисельній шкалі. Тоді, якщо міра об'єкта A_i дорівнює ω_i , а міра об'єкта A_j дорівнює ω_j , то міра переваги A_i в порівнянні з A_j і дорівнює ω_i / ω_j . Тоді матриця переваг узгоджена.

Під узгодженістю мається на увазі, що при порівнянні n об'єктів досить $(n - 1)$ думок про їх порівняння, де кожен з порівнюваних об'єктів представлений, що найменше 1 раз. Інші думки виводяться з існуючого. Це повна узгодженість.

Та Другий варіант, коли властивості об'єктів слабо структуровані і можуть бути оцінені тільки порядковою шкалою, тому експерти використовують шкалу Сааті. У цьому випадку неможливо досягти повної узгодженості через різні кваліметричні шкали для різних об'єктів, тому розглядають два показники: індекс узгодженості і відношення узгодженості.

Зазвичай узгодженість зворотно-симетричної матриці еквівалентна вимогам рівності її максимального власного значення λ_{\max} числу порівнюваних об'єктів n ($\lambda_{\max} = n$). Тоді як міри неузгодженості розглядають нормоване відхилення λ_{\max} від n , яке називається індексом узгодженості:

$$IS = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}.$$

Оцінка виконується порівнянням його з випадковим індексом. Випадковий індекс - це індекс узгодженості, розрахований для квадратної n -мірної позитивної зворотно-симетричної матриці, елементи якої згенерували датчиком випадкових чисел, розподілених по рівномірному закону для інтервалу значень: 1/9, 1/8, 1/7, 1/6, 1/5, 1/4, 1/3, 1/2, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

Відношення узгодженості обчислюється як відношення індексу узгодженості до випадкового індексу.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

4.1 Умови проведення експерименту

Експеримент проходить у вигляді порівняння результатів роботи гри у рушії гри Unity з використанням трьох 3D-моделей: не оптимізованої зовсім, оптимізованої за загальноприйнятими правилами, оптимізованої за розробленими рекомендаціями.

Результати порівнюються за показниками у програмному забезпеченні 3D Maya. Тут можна порівняти моделі за базовими характеристиками, такими як: полікаунт, правильність розгортки, рівномірність сітки, тощо.

Для того, щоб оцінити результати оптимізації безпосередньо у грі використано Unity Profiler – це інструмент, який можна використовувати для отримання інформації про продуктивність роботи програми (рис. 4.1). Він має можливості підключення до пристроїв у мережі або пристроїв, підключених до комп'ютера, щоб перевірити, як програма працює на призначеній платформі. Також можна запустити його в редакторі, щоб отримати огляд розподілу ресурсів під час роботи програми. Profiler збирає та відображає дані про продуктивність програми в таких областях, як центральний процесор, пам'ять, засіб візуалізації та аудіо.

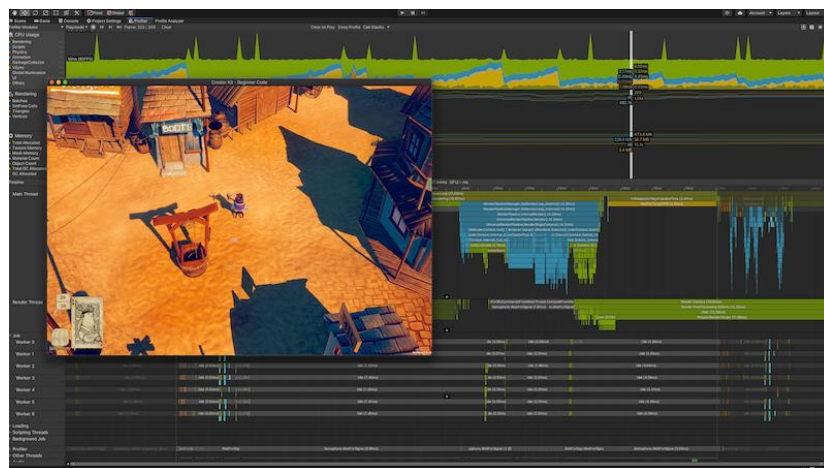


Рисунок 4.1 – Робота вікна Unity Profiler

Це корисний інструмент для визначення областей підвищення продуктивності програми. Можна точно визначити, як код, активи, сцена налаштування, камера, параметри візуалізації та збірки впливають на продуктивність програми. Він відображає результати у серії діаграм, де відбуваються стрибки продуктивності програми. На додаток до використання вбудованого Unity Profiler, використовується вбудований програмний модуль Profiler низького рівня для експорту даних профілювання до сторонніх інструментів профілювання, а також пакет Profiling Core для налаштування аналізу профілювання. Також можна додати до свого проекту потужні інструменти профілювання, такі як Memory Profiler і Profile Analyzer, щоб детальніше аналізувати дані про продуктивність [25].

Щоб дати оцінку візуальній складовій 3D-моделі використано усне опитування гравців, що не мають досвіду розробки ігор та моделювання. Тобто результати повинні максимально відповідати реальним відносинам звичайних гравців та ігор. Аудиторія опитаних складає гравці віком 17-26 років, з ігровим досвідом мобільних ігор від 3 місяців. Гравцям запропоновано кількісно оцінити зовнішній вигляд моделей, від 1 до 9.

Зібрані дані використовуються для проведення методу аналізу ієрархій, щоб виявити найбільш оптимальний варіант.

4.2 Зміст експерименту

Для експерименту розроблено 3 моделі та текстури до них (Додаток Б).

Для оцінки таких параметрів як полікаун використано вбудовані в 3D Мауа функції. Отримали показники для не оптимізованої зовсім моделі (рис 4.2), оптимізованої за загальноприйнятими правилами (рис. 4.3), оптимізованої за розробленими рекомендаціями (рис. 4.4).

Виявлено, що не оптимізованої зовсім модель має 55878 полігонів. Це дуже багато та може істотно сповільнити роботу гри. На оптимізованій за загальноприйнятими правилами ситуація значно краща – 18626.

Verts:	91831	64379	0
Edges:	183986	119932	0
Faces:	93130	55878	0
Tris:	149008	111756	0
UVs:	91831	64379	0

Рисунок 4.2 – Полікаунт не оптимізованої моделі

Verts:	85391	13726	0
Edges:	169423	32027	0
Faces:	84800	18626	0
Tris:	140678	18626	0
UVs:	85391	13726	0

Рисунок 4.3 – Полікаунт оптимізованої за загальними правилами моделі

Verts:	85391	7286	0
Edges:	169423	17464	0
Faces:	84800	10296	0
Tris:	140678	10296	0
UVs:	85391	7286	0

Рисунок 4.3 – Полікаунт оптимізованої за розробленими рекомендаціями моделі

На оптимізованій за розробленими рекомендаціями моделі кількості полігонів потрібно вистачити для того, щоб максимально точно відтворити деталізацію за допомогою нормалей та при цьому не перенавантажувати пристрій.

Для подальшого проведення експерименту моделі додано у рушій гри Unity 3D. Проведено опитування для оцінки візуальних якостей кожної моделі. Опитувані давали оцінку кожній з моделей від 1 до 9. Таким чином виявлено, що за показником візуальної привабливості оцінки оптимізованої за розробленими рекомендаціями моделі та не оптимізованої відрізняються зовсім мало. Учасники опитування оцінили їх у 7 та 9 балів. Оцінка ж моделі оптимізованої за загальними правилами склала 6 балів.

Після тесту у рушії гри виявлено, що оптимізована за розробленими рекомендаціями модель (рис. 4.4-4.5) має значно кращі показники по критерію стабільності роботи гри, ніж не оптимізована (рис. 4.6-4.7) та трохи кращі, ніж розроблена за загальноприйнятими принципами модель (рис. 4.8-4.9).

Як можна побачити, додаток з використанням оптимізованої за розробленими рекомендаціями моделі працює значно стабільніше. Це можна визначити по кількості кадрів у секунду – чим вище показник, тим краще, та по стабільності графіку рендерингу.

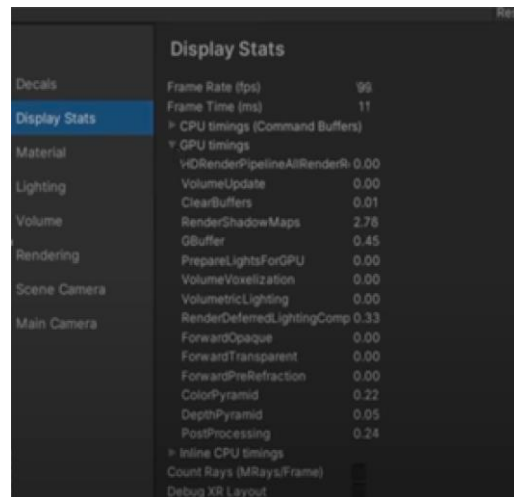


Рисунок 4.4 – Unity GPU Profiler з оптимізованою за розробленими рекомендаціями моделлю (кількість фреймів становить приблизно 90)

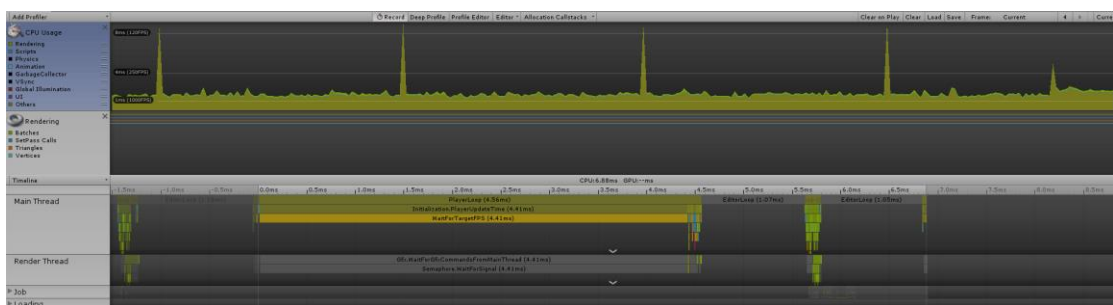


Рисунок 4.5 – Unity Profiler з оптимізованою за розробленими рекомендаціями моделлю

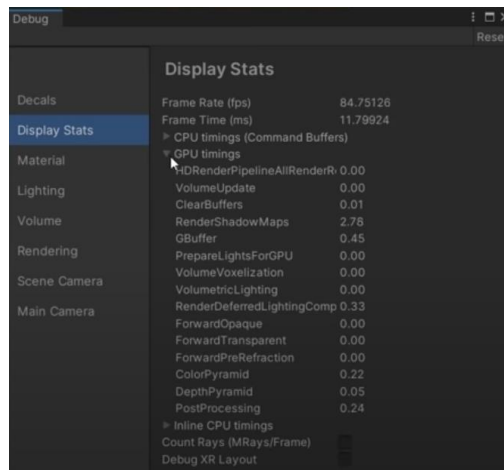


Рисунок 4.6 – Unity GPU Profiler з оптимізованою за загальними правилами моделлю (кількість фреймів становить приблизно 84)



Рисунок 4.7 – Unity Profiler з оптимізованою за загальними правилами моделлю

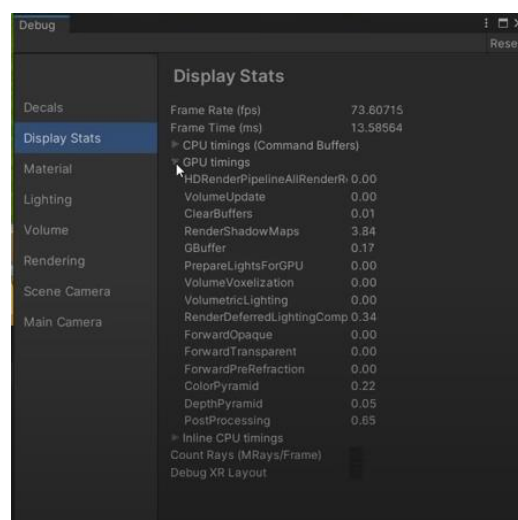


Рисунок 4.8 – Unity GPU Profiler з неоптимізованою моделлю (кількість фреймів становить приблизно 70)



Рисунок 4.9 – Unity Profiler з неоптимізованою моделлю

За кількістю Draw-calls оптимізована за розробленими рекомендаціями модель значно виграє перед неоптимізованою та трохи випереджує оптимізовану за загальними правилами модель. У даному випадку чим менша кількість Draw-calls тим краще. Їх значення складають 16030, 1622866 та 20166 відповідно.

4.3 Результати експерименту

Проведемо підрахунок результатів користуючись методом аналізу ієрархій. Приймаючи до уваги, що найбільше користувачів відштовхують саме технічні проблеми, прийmemo за найбільш важливий критерій – стабільність роботи додатку, трохи поступатиметься йому у важливості кількість Draw-calls, далі йдуть полікаунт та візуальна складова.

Складено ієрархію «цілі – критерії – альтернативи» (рис. 4.10).

Визначимо рейтинги всіх можливих варіантів рішень за кожним критерієм. Спочатку порівняння проводяться за критерієм «Візуальні показники» (рис. 4.11). Де N – не оптимізована модель, Z – оптимізована за загальними правилами модель, а R – оптимізована за розробленими рекомендаціями модель.

Далі моделі оцінено по критерію «Полікаунт» (рис 4.12).

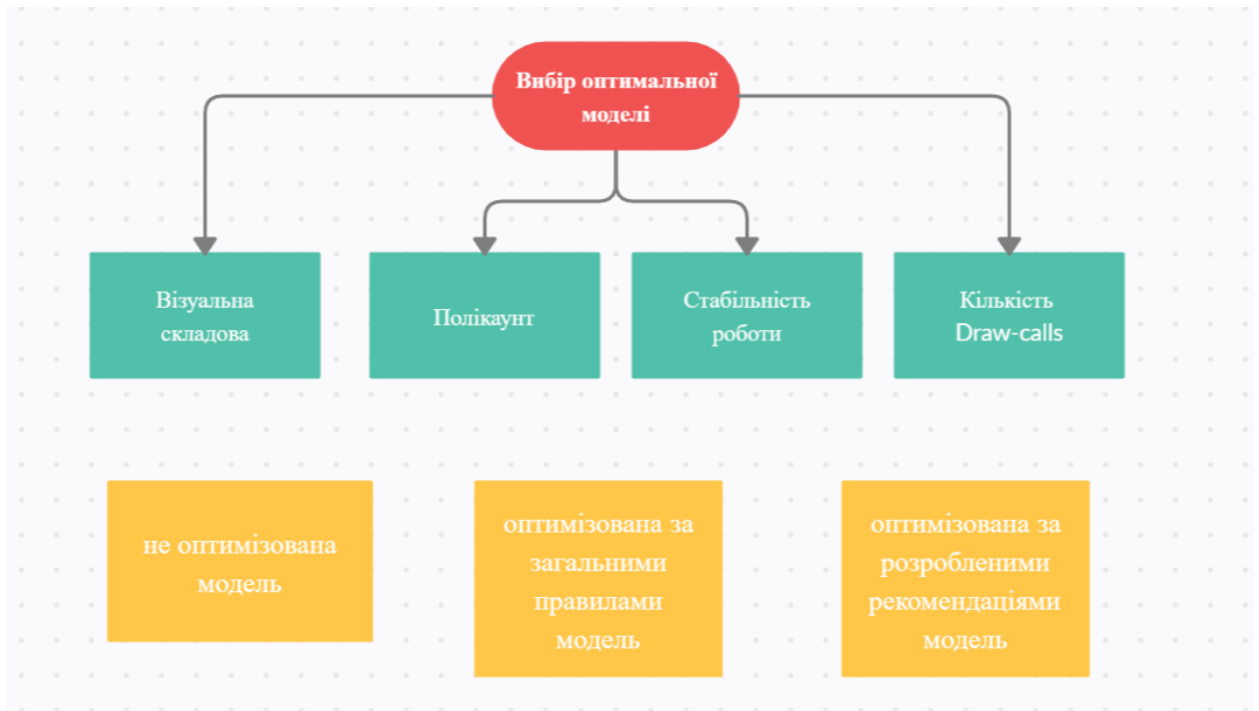


Рисунок 4.10 – Ієрархія «цілі – критерії – альтернативи»

Візуал	N	Z	R
N	1	3	2
Z	0,3	1	0,5
R	0,5	2	1
Сума	1,8	6	3,5

Рисунок 4.11 – Оцінка за критерієм «Візуальні показники»

Полікаунт	N	Z	R
N	1	0,2	0,1
Z	5	1	0,5
R	7	2	1
Сума	13	3,2	1,6

Рисунок 4.12 – Оцінка за критерієм «Полікаунт»

Оцінено критерії по критерію «Стабільність роботи додатку» (рис 4.13).

Оцінено критерії по критерію «Кількість Draw-Calls» (рис 4.14).

Стабільність	N	Z	R
N	1	0,2	0,2
Z	5	1	0,5
R	6	2	1
Сума	12	3,2	1,7

Рисунок 4.13 – Оцінка за критерієм «Стабільність роботи додатку»

Draw-calls	N	Z	R
N	1	0,2	0,2
Z	5	1	0,5
R	6	2	1
Сума	12	3,2	1,7

Рисунок 4.14 – Оцінка за критерієм «Кількість Draw-Calls»

Проведено нормалізацію для усіх критеріїв та визначено послідовно міру узгодженості, індекс узгодженості, індекс рандомізації, щоб вирахувати коефіцієнт узгодженості (рис. 4.15).

Нормалізація Draw-calls	N	Z	R	Середнє	Міра узгодженості	Індекс Узгодженості	Індекс Рандомізації
N	0,08	0,06	0,10	0,08	3,01	0,01	0,58
Z	0,42	0,31	0,30	0,34	3,03	Коеф. Узгодж.	
R	0,50	0,63	0,60	0,58	3,05	0,03	
Нормалізація Візуал	N	Z	R	Середнє	Міра узгодженості	Індекс Узгодженості	Індекс Рандомізації
N	0,55	0,50	0,57	0,54	3,01	0,00	0,58
Z	0,18	0,17	0,14	0,16	3,00	Коеф. Узгодж.	
R	0,27	0,33	0,29	0,30	3,01	0,01	
Нормалізація Полікаунт	N	Z	R	Середнє	Міра узгодженості	Індекс Узгодженості	Індекс Рандомізації
N	0,08	0,06	0,09	0,08	3,00	0,01	0,58
Z	0,38	0,31	0,30	0,33	3,02	Коеф. Узгодж.	
R	0,54	0,63	0,61	0,59	3,02	0,01	
Нормалізація Стабільність	N	Z	R	Середнє	Міра узгодженості	Індекс Узгодженості	Індекс Рандомізації
N	0,08	0,06	0,10	0,08	3,01	0,01	0,58
Z	0,42	0,31	0,30	0,34	3,03	Коеф. Узгодж.	
R	0,50	0,63	0,60	0,58	3,05	0,03	

Рисунок 4.15 – Коефіцієнти узгодженості оцінок по критеріям

Як видно на рисунку отримані дані узгоджені досить добре, кожен коефіцієнт узгодженості менше 0.1, що свідчить про гарну узгодженість.

На другому етапі здійснюються аналогічні попарні порівняння для визначення ваг критеріїв. Процес аналогічний попередньому в тому, що знову виконують порівняння, однак тепер порівнюють не моделі, як це було на етапі 1, а критерії (рис. 4.16).

Ваги	Візуал	Полікаунт	Стабільність	Draw-calls
Візуал	1	0,5	0,166666667	0,3
Полікаунт	2	1	0,3	0,5
Стабільність	6	4	1	3
Draw-calls	4	2	0,3	1
Сума	13	5,5	1,4	3,8

Рисунок 4.16 – Коефіцієнти узгодженості критеріїв

Проведено нормалізацію для усіх критеріїв та визначено послідовно міру узгодженості, індекс узгодженості, індекс рандомізації, щоб врахувати коефіцієнт узгодженості аналогічно попередньому етапу (рис 4.17).

Нормалізація	Візуал	Полікаунт	Стабільність	Draw-calls	Середнє	Міра узгодженості	IC	IP
Візуал	0,08	0,09	0,12	0,07	0,09	4,02	0,02	0,9
Полікаунт	0,15	0,18	0,18	0,13	0,16	4,04	Коеф. Узгодж.	
Стабільність	0,46	0,73	0,71	0,80	0,67	4,05	0,02	
Draw-calls	0,31	0,36	0,24	0,27	0,29	4,07		

Рисунок 4.17 – Нормалізація критеріїв та коефіцієнти узгодженості

Обчислено зважені середні оцінки для кожного варіанта рішення (рис. 4.18).

Рейтинг				
Критерії	Ваги	N	Z	R
Візуал	0,09	3,01	3	3,01
Полікаунт	0,16	3	3,02	3,02
Стабільність	0,67	3,01	3,03	3,05
Draw-calls	0,29	3,01	3,03	3,05
Зваж. сер. рейт		3,6405	3,662	3,6821

Рисунок 4.17 – Зважені середні оцінки

З отриманих результатів можна зробити висновок, що самим оптимальним варіантом є використання моделі за розробленими рекомендаціями. Отже гіпотезу, що необхідно було перевірити в ході дослідження: «запропоновані методичні рекомендації щодо оптимізації 3D-моделей для мобільних ігор з урахуванням необхідних вимог та стандартів, підвищать технічні показники гри на мобільних пристроях» – підтверджено.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

У результаті виконання науково-дослідної роботи (НДР) розроблено рекомендації щодо оптимізації 3D-моделі для мобільної гри. Створення привабливих та, в першу чергу, технічно-правильних 3D-моделей є діючим кроком для поліпшення характеристик гри, що позитивно впливає на аудиторію.

Метою даного розділу є економічне обґрунтування витрат на проведення НДР, в межах якої передбачається дослідження існуючих методів оптимізації 3D-моделей для мобільних ігор. Під час такого обґрунтування буде здійснено: розрахунок трудовитрат та заробітної плати працівникам, розрахунок одноразових витрат і прибутку, оцінку результатів НДР.

Реалізація НДР передбачає такі етапи:

- аналіз предметної області;
- визначення алгоритму реалізації проекту;
- дослідження основних методів оптимізації 3D-моделей;
- вибір методів для проведення експерименту;
- складання методики оптимізації 3D-моделей для мобільних ігор;
- доведення дійсності роботи методики.

5.1 Етапи виконання НДР, їх трудомісткість та заробітна плата

Під час виконання науково-дослідної роботи був проведений огляд теоретичних підходів у галузі розробки 3D-ігор та існуючих інструментів для прискорення роботи 3D-художників, досліджено основні методи та алгоритми оптимізації 3D-моделей, а також за обраними методами створено методику для оптимізації 3D-моделей до мобільних ігор.

Умовно НДР можна розділити на три етапи: підготовчий, основний і заключний.

На стадії виконання підготовчого етапу були виконані підбір і аналіз інформації для проведення відповідних до постановки завдання робіт. Проведено пошук інформації в Internet та у фаховій літературі.

На етапі виконання основної частини НДР були здійснено такі роботи:

- розгляд методів оптимізації 3D-моделей;
- аналіз розглянутих методів та відбір за певними критеріями;
- створення методики для оптимізації моделей до мобільних ігор;
- оптимізація 3D-моделей за розробленими рекомендаціями;
- доведення роботи запропонованої методики в ході гри.

У заключній частині проводяться: аналіз результатів виконання НДР, складання звіту з НДР та захист звіту.

Найбільш складною та відповідальною частиною при плануванні НДР є розрахунок трудомісткості робіт, тому що трудові витрати часто становлять основну частину вартості науково-дослідних робіт і безпосередньо впливають на строки розробки. Дану роботу виконували 3 фахівця: 3D-художник, технічний художник та фулстек-розробник. Середня заробітна плата 3D-художника становить 20 000 грн, технічного художника – 27 000 грн, а фулстек-розробника, за версією сайту dou.ua – 25 000 грн.

Проведемо розрахунок трудовитрат і заробітної плати виконавця робіт.

Середньоденна заробітна плата виконавця робіт ($Z_{ср.дн.}$) розраховується:

$$Z_{ср.дн.} = \frac{Z_{ср.міс.}}{n}, \quad (5.1)$$

де $Z_{ср.міс.}$ – середньомісячна зарплата виконавця роботи;

n – число робочих днів у місяці, ($n=22$).

Середньоденна заробітна плата 3D-художника складає:

$$Z_{ср.дн.} = \frac{20000}{22} = 909,09 \text{ (грн).}$$

Середньоденна заробітна плата технічного художника складає:

$$Z_{\text{ср,дн}} = \frac{27000}{22} = 1227,27 \text{ (грн).}$$

Середньоденна заробітна плата фулстек-розробника складає:

$$Z_{\text{ср,дн}} = \frac{25000}{22} = 1136,36 \text{ (грн).}$$

Етапи виконання НДР, перелік і зміст робіт, трудомісткість їх виконання, заробітна плата виконавців робіт представлені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Розрахунок трудовитрат і заробітної плати виконавців робіт

Перелік робіт	Кількість виконавців	Посада виконавця	Трудомісткість робіт, люд.-днів	Середньоденна заробітна плата, грн.	Сума заробітної плати, грн.
1	2	3	4	5	6
1. Підготовчий етап					
1.1. Розробка та затвердження ТЗ	1	3D-художник	2	909,09	1818,18
1.2 Аналіз існуючих матеріалів за темою	1	3D-художник	2	909,09	1818,18
2. Основний етап					
2.1 Постановка задачі	1	Технічний художник	1	1227,27	1227,27
2.2 Розгляд сучасних методів оптимізації зображень	1	Технічний художник	5	1227,27	6136,35
2.3 Аналіз розглянутих методів та відбір за критеріями	1	Технічний художник	5	1227,27	6136,35
2.4. Створення методики оптимізації	1	Технічний художник	2	1227,27	2454,54
3 Тестування					
3.1 Відбір тестових моделей	1	3D-художник	1	909,09	909,09
3.2 Оптимізація за методикою	2	3D-художник та технічний художник	1	909,09 1227,27	2136,36
3.3 Підтвердження результату	1	Фулстек-розробник	1	1136,36	1136,36

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5	6
4. Заключний етап					
4.1 Аналіз результатів проведення роботи	1	Фулстек-розробник та технічний художник	2	1136,36 1227,27	2363,63
4.2 Формування висновків та пропозицій за темою дослідження	1	Технічний художник	1	1227,27	1227,27
4.3 Технічне оформлення звіту виконання НДР	1	Технічний художник	2	1227,27	2454,54
Усього			25		29818,12

5.2 Розрахунок одноразових витрат на розробку НДР

Калькуляція собівартості розраховується відповідно до існуючих нормативних актів України. До складу калькуляції входять такі статті витрат:

- матеріальні витрати;
- витрати на оплату праці;
- єдиний соціальний внесок;
- амортизація основних засобів (вартість машинного часу);
- витрати на спожиту електроенергію;
- інші витрати.

До інших витрат відносяться адміністративні витрати (водопостачання, водовідведення, опалення, освітлення) та вартість послуг зв'язку.

Матеріальні витрати визначаються витратами на матеріали, визначені їх потребою для виконання робіт, і цін, що діють на момент складання калькуляції. Для проведення НДР потрібно: 1 грфічний планшет. Данні матеріальні витрати потрібні для 3D-художника.

Матеріальні витрати розраховуються за такою формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n Q_j \times C_j, \quad (5.2)$$

де M – сумарні витрати на матеріали, в тому числі малоцінні предмети, що швидко зношуються (носії, папір, канцелярське приладдя тощо), або на літературу, яка необхідна для проведення роботи, тощо;

Q_j – кількість використаних одиниць j -го виду матеріалів, $j=(1 \div n)$;

C_j – ціна одиниці j -го виду матеріалів.

Розрахунок матеріальних витрат представлено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Розрахунок матеріальних витрат

Найменування	Од. вим.	Кількість, (Q_j)	Ціна (C_j), грн	Сумарні витрати на матеріали (M), грн
Грфічний планшет	шт.	1	2956,00	2956,00
Усього				2956,00

Витрати на оплату праці розраховуються виходячи з необхідного для виконання робіт складу й кількості працівників, а також із середньомісячної заробітної плати. Відповідно до проведених розрахунків витрати на оплату праці виконавців роботи дорівнюють 29818,12 грн.

Єдиний внесок на загальнодержавне соціальне страхування (ЄСВ) – консолідований страховий внесок, збір якого здійснюється в систему загальнообов'язкового державного соціального страхування в обов'язковому порядку і на регулярній основі з метою забезпечення захисту у випадках, передбачених законодавством, прав застрахованих осіб і членів їх сімей на отримання страхових виплат (послуг) за діючими видами загальнообов'язкового державного соціального страхування.

Ставка єдиного соціального внеску (ЄСВ) дорівнює 22% від витрат на оплату праці:

$$29818,12 * 0,22 = 6559,99 \text{ грн.}$$

Тобто розмір ЄСВ дорівнює 6559,99 грн.

При виконанні НДР застосовувалось наступне обладнання: комп'ютер Зшт. вартістю 20000 грн.

Вищенаведене устаткування є власністю організації виконавця, тому доцільно розрахувати суму амортизаційних відрахувань на період виконання НДР. Амортизація основних засобів розраховується за формулою:

$$AB = \sum_{k=1}^L \frac{BO_k}{TE_k} \times T, \quad (5.3)$$

де AB – сума амортизаційних відрахувань, нарахованих під час проведення науково-дослідницької роботи;

BO_k – вартість основних засобів k -го виду;

TE_k – термін експлуатації основних засобів k -го виду, днів;

T – термін науково-дослідницької роботи, днів;

L – кількість видів обладнання.

Підставивши відомі значення у формулу (4.3), визначимо величину амортизаційних відрахувань. Отже маємо:

$$AB = \frac{20000 \cdot 5,5}{545} + \frac{20000 \cdot 17}{545} + \frac{20000 \cdot 1,5}{545} = 880,73 \text{ (грн.)}$$

Витрати на використану обладнанням електроенергію розраховуються:

$$Z_e = M \cdot t \cdot T_{кВм}, \quad (5.4)$$

де M – потужність устаткування, тобто кількість енергії, споживаної за одиницю часу (кВт/година);

t – кількість годин використання устаткування за період проведення науково-дослідницької роботи;

$T_{кВм}$ – тариф, тобто вартість використання 1 кВт електроенергії.

Передбачається використання трьох комп'ютерів з потужністю 1,1 кВт/год, а вартість за 1 кВт/год складає 2,4 грн (без ПДВ), тому витрати

на електроенергію розраховуються виходячи з тарифу на неї та потужності пристрою.

$$Z_e = 1,1 \cdot 44 \cdot 2,4 + 1,1 \cdot 136 \cdot 2,4 + 1,1 \cdot 12 \cdot 2,4 = 506,88 \text{ (грн.)}$$

До інших статей витрат відносяться такі:

– адміністративні витрати: (водопостачання, водовідведення, освітлення, опалення), які прийнято у розмірі 20% від витрат на оплату праці, тобто 5963,62 грн;

– вартість послуг зв'язку.

Вартість оплати послуг зв'язку становитиме:

Інтернет – із розрахунку 150 грн. на місяць (безлімітний пакет); всього 150 грн. за 25 днів виконання НДР;

Розробка 3D-моделі проводилася у редакторі Maya 3D, який коштує 3602,96 гривень на місяць.

За час виконання НДР витрати на відрядження, інформаційні послуги та маркетингові заходи не мали місця.

Результати розрахунку кошторису витрат, тобто одноразових витрат, на виконання НДР «Оптимізація розробки 3D-моделі для мобільної гри» наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Кошторис витрат на розробку НДР

№ з/п	Стаття витрат	Сума, грн.
1	Заробітна плата	29818,12
2	Єдиний соціальний внесок (22,0 % від п.1)	6559,99
3	Матеріальні витрати	2956,00
4	Амортизація основних засобів	880,73
5	Витрати на спожиту електроенергію	506,88
6	Інші витрати, у тому числі:	
6.1	адміністративні витрати (20 % від п.1)	5963,62
6.2	вартість послуг зв'язку	150,00
6.3	Вартість 3D-редактора	3602,96
	Усього витрати на розробку (Вр)	50438,30

Таким чином, кошторис витрат на виконання даної НДР визначає сумарні витрати за статтями п.1-п.6 та складає 50438,30 грн.

5.3 Оцінка результатів науково-дослідної роботи

Результат – це завершальний наслідок послідовності дій, виражений якісно або кількісно. В загальному випадку оцінка результатів НДР – це визначення ефективності отриманих рішень порівняно з сучасним науково-технічним рівнем.

Відповідно до теми даної роботи можна зробити висновок про те, що результатом впровадження НДР є зменшення навантаження на кінцевий пристрій користувача ігрового додатку за рахунок оптимізації розробки 3D-моделі в порівнянні з неоптимізованою, що має досить велике значення для гравців. Результат від впровадження НДР визначається за формулою:

$$\Delta P_j = |Xб_j - Xн_j|, \quad (5.5)$$

де ΔP_j – покращення j -ої характеристики досліджуваного процесу за рахунок впровадження результатів НДР ($j=1, m$);

m – кількість досліджуваних характеристик;

$Xб_j$ – базове значення j -ої характеристики, тобто до впровадження результатів НДР;

$Xн_j$ – нове значення j -ої характеристики після впровадження пропонованих рішень.

У якості досліджуваної характеристики обрано полікаунт моделі, візуальну привабливість, стабільність роботи додатку та кількість Draw-calls. Початкові значення не оптимізованої моделі склали: 55878 полігонів, візуальну привабливість, оцінену за опитуванням користувачів від 1 до 9 – в 9, стабільність роботи додатку – приблизно нестабільні 70 кадрів за секунду,

кількість Draw-calls дорівнює 1622866. В оптимізованій же моделі результати показали наступне: 10296 полігонів, візуальні привабливість оцінено в 7, додаток працює стабільно на 90 кадрах на секунду, кількість Draw-calls дорівнює 16030.

Підставивши відповідні значення у формулу (5.5), визначимо результат від впровадження НДР у чисельному вигляді:

$$\Delta P_j = |55878 - 10296| = 45582 \text{ (полігони),}$$

$$\Delta P_j = |9 - 7| = 2 \text{ (прив.),}$$

$$\Delta P_j = |70 - 90| = 20 \text{ (кадрів),}$$

$$\Delta P_j = |1622866 - 16030| = 1606836 \text{ (полігони),}$$

Порівняння наведені у таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Результат від впровадження НДР

Критерій	Сайт 3		
	До	Після	Різниця
Полігони	55878	10296	-45582
Привабливість	9	7	-2
Стабільність	70	90	20
Draw-calls	1622866	16030	1606836

Таким чином, отриманий результат свідчить про те, що завдяки результату від впровадження НДР 3D-моделі, оптимізовані розробленою методикою покращилися технічні характеристики мобільної гри та стабільність її роботи за мінімальними втратами у візуальній частині. Роботу в цілому можна враховувати ефективною або такою, що має високий науковий та технічний рівень.

ВИСНОВКИ

Мобільна гра у першу чергу приваблює користувачів своєю ідеєю, яка вдосконалюється та розширюється у процесі розробки на усіх етапах виробництва. У 3D-іграх візуальна складова є не тільки відображенням фізичного світу для гравця, а й способом передати історію ігрового світу. Кожна 3D-модель грає свою певну роль і доволі рідко це тільки частина фону. Зазвичай у розробку потрапляють не відокремлені гарні моделі, що можна знайти будь де, а саме частини гри, що ретельно обмірковуються концептерами та є повноцінними органічними складовими гри.

Під час виконання атестаційної роботи було розроблено сучасні рекомендації що до оптимізації 3D-моделей для мобільних ігор. Загалом, вони можуть бути використані як початківцями, так і вже працюючими 3D-художниками для вдосконалення розробки.

Проаналізовано проблеми сучасної індустрії мобільних ігор. Виокремлено технічні та візуальні проблеми, що найбільше дратують користувачів та призводять до втрати аудиторії. Рекомендації розроблені на основі загальноприйнятих принципів моделювання та існуючих методів оптимізації у сучасних компаніях.

Для підтвердження роботи розроблених рекомендацій проведено експеримент з використанням неоптимізованої, оптимізованої за загальноприйнятими правилами та оптимізованої за розробленими рекомендаціями моделями. Обрано критерії для аналізу оптимальності моделей та порівняно за ними моделі. Критерії розбито на 3 частини – ті, яким можна дати оцінку у 3D-редакторі, ті, що потребують опитування у аудиторії гравців та ті, що необхідно оцінити у рушії гри.

Проведено оцінку по таким критеріям як полікаунт, візуальна складова, кількість Draw-calls та стабільність роботи додатку. Результати зібрано та

проаналізовано за допомогою методу аналізу ієрархій. Обрано найоптимальнішу модель – оптимізовану за розробленими рекомендаціями.

Отже гіпотезу, що необхідно було перевірити в ході дослідження: «запропоновані методичні рекомендації щодо оптимізації 3D-моделей для мобільних ігор з урахуванням необхідних вимог та стандартів, підвищать технічні показники гри на мобільних пристроях» – підтверджено.

Таким чином, розробка навіть найпростішої 3D-моделі може займати тривалий час та потребує розгляду багатьох факторів, що впливають на неї. Весь процес розробки – це поєднання технічних та художніх знань. Саме завдяки зібраному за роки існування індустрії досвіду розробників зараз є змога розширювати горизонти нових додатків та втілювати абсолютно різні ідеї у життя.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Lohikoski L., Rudén E. Optimization of 3D Game Models. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:708048/fulltext01.pdf> (дата звернення: 20.11.2021).
2. Jong S. Tutorials – Mesh Rendering. Available at: <http://www.hourences.com/tutorials-mesh-rendering/> (дата звернення: 20.11.2021).
3. Polycount. Game models, polygon count and other questions. URL: <http://www.polycount.com/forum/showthread.php?t=123476> (дата звернення: 14.11.2021).
4. Хокинг Дж. Unity в действии. Мультиплатформенная разработка на C#. 2-е межд. СТб.: Питер, 2019. 352 с.
5. Поддержка стабильности цвета в открытых полиграфических системах : монография / Н.Е. Кулишова, И.Б. Чеботарева, В.Ф. Ткаченко, Н.С. Гурьева. Х.: ООО «Типография МАДРИД», 2013. 192 с.
6. Григор'єв О.В., Колесникова Т.А., Яценко Л.О. Корекція колірнього балансу цифрового зображення на основі статистичних характеристик // Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: колективна монографія. Харків: ТОВ «Друкарня Мадрид», 2021. С. 68-79.
7. Яценко Л.О., Колесникова Т.А., Ткаченко В.П. Імітаційна модель віртуального видавничо-поліграфічного підприємства // Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: тези доповідей IV Міжнародної науково-технічної конференції (18-22 травня 2021 р., м. Харків). 2021. Т1. С. 147-148.
8. Biziuk A., Tkachenko V., Vovk A. Development of methods and models of complex of security technologies for printing products // Технологический аудит и резервы производства. 2017. № 3(2 (35)). С. 33-40.
9. Deineko Zh., Zeleniy O., Lyashenko V., Tabakova. Color space image as a factor in the choice of its processing technology // Problems of modern science and practice: Abstracts of I International scientific-practical conference (Sept. 21-24, 2021). Boston, USA. 2021. P. 389-394.

10. Створення зброї для AAA ігор. Оптимізація моделі та текстурінг. URL: <https://dtf.ru/gamedev/96346-sozдание-oruzhiya-dlya-aaa-igr-optimizaciya-modeli-i-teksturing> (дата звернення: 10.10.2021).
11. Зачем мы разработали инструмент контроля качества игровых 3D-моделей. URL: <https://dev.by/news/polygon-tools-pack-kontrol-kachestva-3d-modeley-dlya-igr> (дата звернення: 10.10.2021).
12. Текстурування персонажа за допомогою Substance Painter. URL: <https://3dpara.ru/how-to-texture-a-character-in-sp/> (дата звернення: 10.10.2021).
13. Керлоу А.В. Искусство 3D-анимации и спецэффектов. М.: Вершина, 2003. 480 с.
14. Ливны Б. Mental Ray для Maya, 3ds max и XSI. М.: Вильямс, 2008. 894 с.
15. Сиденко Л.А. Компьютерная графика и геометрическое моделирование: учебное пособие. СПб.: Питер, 2009. 224 с.
16. Хокинг Дж. Unity в действии. Мультиплатформенная разработка на C#. 2-е межд. СТб.: Питер, 2019. 352 с.
17. Шелл Д. Геймдизайн. М.: Альпина Паблишер, 2019. 284 с.
18. Роллингз Э., Моррис Д. Проектирование и архитектура игр. М.: Вильямс, 2006. 1040 с.
19. Stochastic Frontier Analysis and Wavelet Ideology in the Study of Emergence of Threats in the Financial Markets / V. Baranova, O. Zeleniy, Z. Deineko, V. Lyashenko // Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T): IEEE International Scientific-Practical Conference. P. 341-344. IEEE.
20. Development of the technology for changing the sequence of access to shared resources of business processes for process management support / S. Chalyi, I. Levykin, A. Biziuk, A. Vovk, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2020. № 2/3 (104). P. 22-29.
21. Wavelet ideology as a universal tool for data processing and analysis: some application examples / Lyashenko V., Deineko Zh., Zeleniy O., Tabakova I. // International Journal of Academic Information Systems Research (IJASIR). 2021. Vol. 5(9). P. 25-30.

22. Енциклопедія видавничої справи: навч. посібник / В.П. Ткаченко, І.Б. Чеботарьова, П.О. Киричок, З.В. Григорова. Х.: ХНУРЕ, 2008. 320 с.
23. Дурняк Б.В., Ткаченко В.П., Чеботарьова І.Б. Стандарти в поліграфії та видавничій справі: довідник. Львів: УАД. 2011. 320 с.
24. Методичні рекомендації до виконання економічної частини дипломних проектів, робіт для студентів денної та заочної форми навчання усіх спеціальностей / Л.В. Соколова, О.І. Горбач, С.В. Гришко, Є.В. Діденко, Л.В. Левченко, Г.М. Путятіна, В.Г. Харченко. Харків: ХНУРЕ, 2003. 28 с.
25. Використання NURBS-моделювання для створення тривимірних об'єктів в 3D Studio Max. URL: http://esate.ru/uroki/3d-max/kurs_modelirovaniya/3D_max_urok_7_1/ (дата звернення: 10.10.2021).
26. Створення зброї для AAA ігор. Оптимізація моделі та текстурінг. URL: <https://dtf.ru/gamedev/96346-sozдание-oruzhiya-dlya-aaa-igr-optimizaciya-modeli-i-teksturing> (дата звернення 10.10.2021).
27. 3D-редактори, плюси і мінуси. URL: <https://habr.com/ru/post/136350/> (дата звернення: 10.10.2021).
28. Kulishova N., Paramonov A., Tkachenko V. Real-Time Automatic Video Inspection System for Piece Products Marking. In 2020 IEEE Third International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP). 2020. P. 169-173. IEEE.
29. Wavelet Coherence as a Tool for Studying of Economic Dynamics in Infocommunication Systems / Baranova V., Zeleniy O., Deineko Z., Bielcheva G., Lyashenko V. // Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T): IEEE International Scientific-Practical Conference. 2019. P. 336-340. IEEE.
30. Biziuk A., Biziuk V., Shakurova T. Analysis of Teaching Elements on Technical and Mathematical Disciplines in Modern Distance Education // Technology Audit and Production Reserves. 2021. № 4(2(60)). P. 28-32.
31. Lyashenko V., Deineko Z., Ahmad A. Properties of wavelet coefficients of self-similar time series // International Journal of Scientific and Engineering Research. 2015. № 6(1). P. 1492-1499.

32. Ковальова Д., Дейнеко Ж. Оптимизация 3D-моделей как способ уменьшения загрузки на графический процессор // Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: матеріали Молодіжної школи-семінару V Міжнародної науково-технічної конференції (3 листопада 2020 р., Харків). 2020. Т2. С. 27-30.

33. Гаманець А.О., Дейнеко Ж.В. Слайдове моделювання при розробці тривимірної сцени // Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: матеріали молодіжної школи-семінару IV Міжнародної науково-технічної конференції (18-22 травня 2021 р., м. Харків). 2021. Т2. С. 79-82.

34. Гаманець Є.О., Дейнеко Ж.В. Особливості створення анімованого тривимірного персонажу // Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: матеріали молодіжної школи-семінару IV Міжнародної науково-технічної конференції (18-22 травня 2021 р., м. Харків). 2021. Т2. С. 76-78.