МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ СОЦІАЛЬНОЇ ПЕДАГОГІКИ ТА ПСИХОЛОГІЇ
КАФЕДРА ДИЗАЙНУ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему: **ВИЯВЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОЗРОБКИ MID POLY МОДЕЛЕЙ НА ПРИКЛАДІ ІГРОВОЇ ЛОКАЦІЇ ДЛЯ ГРИ "ROTOR RECON"**

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.0223
спеціальності 022 «Дизайн»
освітньо-професійної програми «Графічний дизайн»
Зайцев Микита Едуардович

Керівник: доцент кафедри дизайну,
PhD _____ Ганна ЧЕМЕРИС

Рецензент: доцент кафедри дизайну,
_____ Ірина ГРЕСИК

Запоріжжя

2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет *соціальної педагогіки і психології*
Кафедра *дизайну*
Рівень вищої освіти *другий (магістерський)*
Спеціальність *022 «Дизайн»*
Освітньо-професійна програма *«Графічний дизайн»*

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри дизайну
_____ Ганна ЧЕМЕРИС
«____» _____20__ року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Зайцев Микити Едуардовича

1. Тема роботи: *Виявлення технологічних особливостей розробки mid poly моделей на прикладі ігрової локації для гри "Rotor Recon"* науковий керівник роботи *доцент, PhD Чемерис Г. Ю.* затверджені наказом ЗНУ від № 315-с від 20.02.2024
2. Строк подання студентом роботи: 01.12.2024
3. Вихідні дані до роботи:.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити):Особливості створення mid-poly моделей та ключові концепції. Підготовка до розробки mid-poly моделей для ігрової локаці. Розробка 3d mid-poly моделей.

5. Перелік графічного матеріалу: *презентація, демонстраційна графіка,*
_____
_____
_____
6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали консультанта	Дата, підпис	
		Надано	Отримано

7. Дата видачі завдання: 10.11.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
1	*Організаційна інформація. Обговорення з керівником теми проекту. Подання заяви на затвердження теми та призначення наукового керівника.*	*10.11.2023 06.02.2024*	
2	*Проведення дослідження предмету та об'єкту теми. Опис дослідження у відповідному розділі ПЗ.*	*29.01.2024*	
3	*Проведення аналізу конкурентів та аналогів. Опис трендів та тенденцій.*	*30.03.2024*	
4	*Аналіз літератури та джерел: технології розробки Mid Poly моделей.*	*01.04.2024*	
5	*Розробка концепції Mid Poly моделі для локації Створення прототипу ігрової локації*	*15.09.2024*	
6	*Завершення виконання роботи Подання чернетки ПЗ та дизайн-проекту для проходження передзахисту. Підготока доповіді та презентаційного супроводу для передзахисту/захисту.*	*08.11.2024*	
7	*Попередній захист. Отримання допуску до захисту. Отримання коментарів та зауважень.*	*10. 11.2024*	
8	*Проходження нормоконтролю. Проходження рецензування.*	*15.11.2024*	
9	*Апробація кваліфікаційної роботи.*	*20.11.2024*	
10	*Отримання відгуку керівника. Подання і отримання довідки про антиплагіат-перевірку Unicheck*	*01.12.2024*	
11	*Захист кваліфікаційної роботи.*	*14.12.2024*	

Студент _____ Микита *ЗАЙЦЕВ*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Науковий керівник роботи _____ *Ганна ЧЕМЕРИС*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено
Нормоконтролер _____ *Ганна ЧЕМЕРИС*
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Зайцев М. Е. Виявлення технологічних особливостей розробки mid poly моделей на прикладі ігрової локації для гри "Rotor Recon" : кваліфікаційна робота магістра спеціальності 022 «Дизайн» освітньо-професійної програми «Графічний дизайн» / наук. керівник, PhD, доц. Г. Ю. Чемерис. Запоріжжя : ЗНУ, 2024. 100 с.

UA : Робота викладена на 100 сторінках друкованого тексту. Перелік посилань включає 68 джерел. Об’єкт дослідження: Mid Poly моделювання. Предмет дослідження: розробки mid poly моделей для ігрової локації. Мета дослідження: Опанувати технологію Mid Poly моделювання, проведення теоретичного аналізу аналогів, вивчення відповідної літератури з теми дослідження, вивчення передового досвіду розробки моделей для гри, аналіз аналогічних доробків. В роботі розглянуто поняття 3D моделювання, історію розвитку та актуальні концепції. Описано розробку дизайну авторських моделей.

Ключові слова: 3D моделювання, рендер, текстурування, візуалізація, ігрова локація.

Zaitsev M. E. Identification of technological features of mid poly models development on the example of the game location for the game ‘Rotor Recon’ : Master's thesis, specialty 022 "Design", Educational and Professional Program "Graphic Design" / Sci. adv. PhD, Asoc. Prof. H. Yu. Chemerys. Zaporizhzhia: ZNU,, 2024. 100 p.

EN : The work is presented on 100 pages of printed text. The list of references includes 68 sources. The object of research: Mid Poly modelling. Subject of research: development of mid poly models for the game location. Purpose of the study: To master the technology of Mid Poly modelling, to conduct a theoretical analysis of analogues, to study the relevant literature on the topic of research, to study the best practices of developing models for the game, to analyse similar developments. The paper discusses the concept of 3D modelling, the history of development and current concepts. The development of the design of own models is described.

Key words: 3D modelling, rendering, texturing, visualisation, game location.

Апробація кваліфікаційної роботи:

1. Зайцев М. Е., Чемерис Г. Ю., Mid Poly у 3D-моделюванні: Баланс між Low Poly і High Poly та особливості текстурування. *Дизайн, візуальне мистецтво та творчість: сучасні тенденції та технології : матеріали III міжнародної науково-практичної конференції. Запоріжжя: ЗНУ, 2024. (До друку)*

ЗМІСТ

ВСТУП..... 6

РОЗДІЛ І ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ MID-POLY МОДЕЛЕЙ ТА КЛЮЧОВІ КОНЦЕПЦІЇ 11

1.1. Історія розвитку mid-poly моделювання..... 11

1.2. Визначення та тлумачення ключових концепцій mid-poly моделювання 19

1.3. Методологічні підходи до створення mid-poly моделей..... 26

РОЗДІЛ ІІ ПІДГОТОВКА ДО РОЗРОБКИ MID-POLY МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ІГРОВОЇ ЛОКАЦІЇ..... 34

2.1. Дослідження аналогів та аналіз прототипів mid-poly моделювання..... 34

2.2. Дослідження цільової аудиторії 42

2.3 Інструменти та технології для розробки mid-poly моделей..... 49

РОЗДІЛ ІІІ РОЗРОБКА 3D MID-POLY МОДЕЛЕЙ..... 55

3.1. Обгрунтування концепції та ідеї 3D моделей для ігрової локації..... 55

3.2. Етапи розробки 3D моделей за пайплайном mid-poly..... 52

3.3. Візуалізація ігрової сцени..... 70

ВИСНОВКИ..... 81

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... 83

ДОДАТКИ..... 89

ВСТУП

Актуальність. Тривимірна графіка сьогодні займає важливе місце в індустрії розваг, реклами, архітектури, інженерії та особливо у сфері відеоігор. Стрімкий розвиток технологій, таких як ігрові рушії, програмне забезпечення для моделювання та інструменти оптимізації, значно розширив можливості створення віртуальних світів. У цьому контексті розробка Mid Poly моделей є одним із ключових напрямів, що дозволяє забезпечити баланс між візуальною якістю та технічною оптимізацією.

Mid Poly моделювання стає особливо затребуваним, оскільки ігрова індустрія продовжує розширювати свою аудиторію, включаючи користувачів мобільних пристроїв, ПК та консолей. Оптимальні моделі забезпечують високу продуктивність навіть на пристроях із середньою потужністю, що є важливим аспектом для комерційного успіху ігор. Відтак, аналіз та впровадження технологій Mid Poly моделювання є актуальним завданням, спрямованим на вирішення проблем сумісності, продуктивності та естетичності в 3D-дизайні.

Розвиток Mid Poly моделювання спрямований на вирішення низки технічних викликів, які виникають під час розробки ігор. Сучасні тенденції у графічному дизайні передбачають використання процедурного текстурування, UV-мапінгу, нормалей та інших інструментів для створення моделей із оптимальною кількістю полігонів. Це дозволяє досягти високої якості візуалізації при мінімальному споживанні ресурсів.

Ігрові локації, як одна з головних складових ігрового досвіду, повинні бути достатньо деталізованими для створення атмосферності та занурення користувача у гру. У цьому контексті Mid Poly моделі стають важливими для забезпечення якості не тільки основних об'єктів, але й допоміжних елементів сцени.

Дослідження технологій, які використовуються для створення таких моделей, дозволяє сформувати універсальні підходи до їх розробки, враховуючи специфіку проекту, його естетику та технічні вимоги. У випадку проекту "Rotor Recon" актуальність зростає через необхідність створення якісної ігрової локації для підтримки сценарного задуму гри.

Тема розробки Mid Poly моделей для проекту "Rotor Recon" має високу практичну значущість. Поєднання технологій моделювання, текстурування та оптимізації забезпечує можливість створення детальної ігрової локації з урахуванням обмежень продуктивності. Це не лише сприяє досягненню високої якості візуалізації, але й знижує витрати на створення контенту завдяки ефективному використанню ресурсів.

На сьогодні існує потреба у вивченні специфічних технічних рішень, які застосовуються під час створення Mid Poly моделей. Увага до технологій моделювання, таких як ретопологія, налаштування UV-мапінгу та процедурного текстурування, є ключовою для створення моделей, які відповідають сучасним вимогам ігрової індустрії.

Ступінь дослідженості питання. У різні роки дослідженнями в галузі тривимірного моделювання середньої деталізації займалися відомі науковці, такі як Козачук К., Вітушинський А., Ковальський А., які вивчали процеси створення 3D-моделей, зокрема планування моделі, створення геометрії та визначення формату готових моделей [1]. Деркач А. проводила дослідження історії розвитку тривимірного моделювання, акцентуючи увагу на еволюції цієї технології від її початкових етапів до сучасного стану. Твердохліб І. вивчав впровадження 3D-моделювання в освітніх закладах України та за кордоном, зокрема методики навчання та застосування 3D-технологій у середній освіті [2].

Серед закордонних дослідників важливе місце займають праці М. Патшайдера, який розробив workflow для моделювання твердих поверхонь у відеоігрових проектах, таких як Crossfire та Alan Wake 2 [3].

Об’єкт дослідження: тривимірні моделі для ігрової індустрії.

Предмет дослідження: технологічні особливості розробки Mid Poly моделей.

Мета роботи: виявлення ключових технологічних аспектів створення Mid Poly моделей, аналіз сучасних підходів до моделювання ігрових локацій та практична реалізація отриманих знань у розробці 3D-сцени на прикладі ігрової локації для гри "Rotor Recon".

Виходячи з формулювання об’єкту, предмету та мети дослідження, необхідно виконати наступні **завдання:**

1. Літературні джерела за темою дослідження.
2. Дослідити сучасні методи створення та оптимізації Mid Poly моделей.
3. Провести аналіз аналогів ігрових локацій та існуючих прототипів у сфері тривимірного моделювання.
4. Визначити ключові технологічні особливості створення Mid Poly моделей для ігрових рушіїв.
5. Розробити концепцію та створити прототип ігрової локації з використанням Mid Poly моделювання.
6. Провести тестування створеної моделі в умовах ігрового середовища та оцінити її ефективність.

Для реалізації поставлених задач були обрані наступні **методи дослідження:** *Теоретичні методи:* Вивчення й теоретичний аналіз загальної та спеціальної літератури з тривимірного моделювання. Вивчення та аналіз існуючих аналогів та прототипів у галузі Mid Poly моделювання. Аналіз та синтез наукової літератури, присвяченої технологіям оптимізації моделей для ігрових рушіїв. *Методи дизайн-проектування:* Методика предпроектного аналізу, яка включає дослідження аналогів, конкурентів та прототипів. Метод синтезу в дизайні для створення цілісної концепції ігрової локації. Комбінаторика, художньо-образне моделювання об’єкту дизайн-проектування за допомогою композиційного формоутворення. Графічне проектування для створення моделей із врахуванням потреб цільової аудиторії. *Методи дослідження цільової аудиторії:* Використання методики Шерінгтона (5W), яка передбачає аналіз ключових питань: що, чому, хто, коли та де. *Проектні методи:* Розробка концепції ігрової локації на основі отриманих даних. Створення 3D-моделей у програмному забезпеченні Blender. Текстурування моделей у Substance Painter із застосуванням процедурного текстурування та PBR. Фінальна збірка та рендер у рендер рушії Eevee.

Концепція проекту. В основі ідеї кваліфікаційної роботи лежить розробка ігрової локації з використанням технологій Mid Poly моделювання, які забезпечують баланс між якістю візуалізації та оптимізацією продуктивності. Концепція базується на інтеграції сучасних підходів до створення тривимірних моделей, що враховують технічні обмеження ігрових рушіїв і потреби цільової аудиторії.

Наукова новизна, теоретичне та практичне значення кваліфікаційної роботи. Полягає у розробці прототипу ігрової локації із застосуванням технологій Mid Poly моделювання, які забезпечують баланс між високою візуальною якістю та оптимізацією продуктивності. Робота базується на сучасних підходах до створення тривимірних моделей, що враховують технічні обмеження ігрових рушіїв та потреби цільової аудиторії. Це дозволяє інтегрувати розроблений прототип у реальні ігрові проєкти, поєднуючи естетичну привабливість із практичною ефективністю.

Апробація результатів дослідження участь у III Міжнародній науково-практичній конференції. Дизайн, візуальне мистецтво та творчість: сучасні тенденції та технології (12 грудня 2024 р. (онлайн)) де було опубліковано тези на тему: Mid Poly у 3D-моделюванні: Баланс між Low Poly і High Poly та особливості текстурування.

Структура пояснювальної записки. Пояснювальна записка складається зі вступу, 3 розділів, висновків, списку використаних літературних джерел і додатків. Обсяг кваліфікаційної роботи становить 100 сторінок, 12 сторінок ілюстрацій, 68— літературні джерела. Обсяг основної частини кваліфікаційної роботи становить 77 сторінки. За темою роботи написана 1 стаття, опубліковано 1 теза доповіді на конференції.

У *вступі* обґрунтовується актуальність дослідження, розкривається науковий апарат дослідження: мета, предмет, об'єкт, задачі, методи дослідження, наукова новизна, теоретичне та практичне значення роботи.

У *першому розділі «Особливості створення mid-poly моделей та ключові концепції»* розглянуто теоретичні аспекти створення mid poly моделей, історію

розвитку методів тривимірного моделювання, ключові підходи до оптимізації моделей та їх роль у сучасній ігровій індустрії.

У *другому розділі «Підготовка до розробки mid-poly моделей для ігрової локації»* досліджено існуючі приклади mid poly моделей, аналіз сучасних трендів у 3D-дизайні, цільову аудиторію, а також обґрунтовано вибір методів і інструментів для створення ігрової локації.

У *третьому розділі «Розробка 3d mid-poly моделей»* описано процес створення ігрової локації: збір референсів, моделювання, оптимізацію моделей, uv-розгортку, текстурування, інтеграцію готової моделі. Описано практичну реалізацію концепції.

У висновках наведено основні підсумки наукового дослідження.

У додатках наводятья мудборд, рефборди, процесс створення mid poly моделей, створений ілюстративний матеріал.

РОЗДІЛ 1
ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ MID-POLY МОДЕЛЕЙ ТА КЛЮЧОВІ КОНЦЕПЦІЇ

1.1. Історія розвитку mid-poly моделювання

3D-моделювання як технологія почало активно розвиватися в середині XX століття, коли з'явилися перші комп'ютери, здатні обробляти графічні дані.

У 1970–1980-х роках розвиток комп'ютерної графіки був зосереджений на створенні високополігональних моделей, які забезпечували високу деталізацію об'єктів. Наприклад, у цей час високополігональні моделі активно застосовувалися в наукових дослідженнях та кінематографі, таких як «Трон» (1982), що стало революцією у використанні комп'ютерної графіки в кіно. Однак такі моделі вимагали значних обчислювальних потужностей, що обмежувало їх застосування в реальному часі та на менш потужних платформах [4, с. 51-52].

У 1990-х роках розвиток персональних комп'ютерів та поява перших відеоігор стали переломним моментом для 3D-моделювання, зокрема у сфері комп'ютерної графіки. Завдяки швидкому прогресу апаратного забезпечення, розробники отримали можливість створювати інтерактивні тривимірні середовища, проте водночас зіткнулися з низкою технічних обмежень. Головною проблемою стала необхідність створення моделей, які могли б відображатися в реальному часі, зберігаючи при цьому достатній рівень деталізації, але не перевантажуючи обчислювальні ресурси.

Значного впливу на формування підходів до 3D-моделювання мали такі культові ігри, як Doom (1993) і Quake (1996), які стали еталоном ефективності використання ресурсів тогочасних комп'ютерів. Ці ігри впровадили низькополігональні (low-poly) моделі, що стали стандартом у ігровій графіці 1990-х років. Моделі містять мінімальну кількість полігонів, що дозволило їм швидко оброблятися центральними та графічними процесорами. У той час графічні карти не могли підтримувати високу деталізацію через обмежену

пам’ять та низьку швидкість передачі даних, тому low-poly підхід був єдино можливим рішенням [5 , с. 17-18].

Одним із ключових аспектів low-poly моделей було використання текстур для симуляції деталей, які не могли бути представлені в геометрії через обмеження кількості полігонів. Наприклад, у Doom текстури активно застосовувалися для створення ілюзії складності поверхонь, таких як стіни чи монстри, тоді як реальна геометрія залишалася простою. У Quake, першій грі з повноцінною тривимірною графікою, деталізація об’єктів також досягалася переважно за рахунок текстурування, а полігональні моделі використовувалися лише для основних структур.

Ці обмеження стимулювали розробників шукати баланс між продуктивністю і візуальною складністю. Саме ці експерименти стали передумовами для виникнення mid-poly підходу. Хоча в ті роки цей термін ще не використовувався, основи концепції вже почали формуватися: необхідність збереження достатньої деталізації без критичного зниження продуктивності була однією з головних задач розробників [6 , с. 117].

Згодом, із вдосконаленням апаратного забезпечення, зокрема появою потужніших графічних карт, таких як NVIDIA RIVA 128 (1997), розробники змогли поступово збільшувати кількість полігонів у моделях. Це дозволило створювати об'єкти, які виглядали більш реалістично, але при цьому залишалися достатньо оптимізованими для рендерингу в реальному часі.

Таким чином, розвиток персональних комп’ютерів у 1990-х роках та прагнення до інтерактивної тривимірної графіки спричинили еволюцію підходів до моделювання. Low-poly моделі стали основою для оптимізації, а досвід, здобутий у цей період, заклав фундамент для формування mid-poly підходу, який став компромісом між продуктивністю та візуальною якістю. Цей перехід ознаменував початок нової ери в 3D-моделюванні, яка значно розширила можливості розробників ігрових продуктів.

З розвитком технологій у 2000-х роках індустрія комп’ютерних ігор увійшла в нову епоху завдяки появі потужних рендер-двигунів, таких як Unreal

Engine та Unity. Ці платформи стали революційними інструментами, які значно розширили можливості розробників у створенні тривимірних середовищ та моделей. Завдяки вдосконаленню графічних процесорів і програмного забезпечення розробники отримали змогу використовувати моделі середньої деталізації (mid-poly), що стали оптимальним компромісом між естетичною якістю та продуктивністю системи.

На відміну від low-poly підходу, який переважав у 1990-х роках через обмеженість апаратних ресурсів, mid-poly моделювання дозволило підвищити рівень деталізації, забезпечуючи реалістичність моделей без надмірного збільшення їхньої складності. Це стало можливим завдяки впровадженню технологій обробки текстур, зокрема нормалей, що компенсували відсутність дрібних геометричних деталей за допомогою ілюзії об'єму та глибини. Крім того, поява фізично коректного рендерингу (PBR) дала змогу створювати моделі, які взаємодіють із джерелами світла у сцені реалістично, що значно підвищило якість зображення.

Застосування mid-poly підходу стало особливо популярним у відеоіграх, що вимагали створення великих відкритих світів, складних локацій та реалістичних персонажів. Наприклад, у грі Mass Effect (2007) mid-poly моделі використовувалися для створення численних персонажів і космічних кораблів, які демонстрували високу деталізацію, але при цьому не перевантажували апаратне забезпечення. Завдяки цьому розробникам вдалося створити багаті й деталізовані світи, які залишалися продуктивними навіть на консолях того часу.

Подібний підхід використовувався й у серії ігор Assassin's Creed (2007). У цій грі mid-poly моделі були застосовані для розробки величезних архітектурних об'єктів і міських ландшафтів. Умови відкритого світу вимагали оптимізації моделі для досягнення плавної роботи в реальному часі, адже ігровий процес передбачав вільне переміщення гравця між численними об'єктами. Використання mid-poly моделей дозволило зберегти баланс між реалістичністю та швидкодією, що стало важливим критерієм успіху гри [7, с. 34].

Зростання популярності Unreal Engine та Unity також сприяло поширенню mid-poly підходу серед незалежних розробників (indie-студій). Ці рендер-двигуни забезпечували інструменти для роботи з оптимізацією та текстурами, що дозволяло навіть невеликим командам створювати високоякісні моделі для ігор. Наприклад, Unity, з його гнучкою системою налаштувань графіки, надав розробникам можливість адаптувати mid-poly моделі під різні платформи — від ПК до мобільних пристроїв [8, с. 45-46].

Розвиток технологій рендерингу в 2000-х роках сприяв переходу від low-poly до mid-poly моделювання, яке стало стандартом для більшості сучасних ігор. Цей підхід дозволив не тільки підвищити якість візуалізації, а й зробив можливим створення масштабних і деталізованих сцен, які відповідають потребам ігрових рушіїв нового покоління. Такі інновації дали можливість розробникам досягти оптимального співвідношення між продуктивністю та реалістичністю, що сприяло подальшому розвитку індустрії комп’ютерних ігор.

Mid-poly моделювання — це підхід у 3D-моделюванні, який забезпечує баланс між високою деталізацією (high-poly) та продуктивністю (low-poly). Використання mid-poly моделей дозволяє створювати візуально привабливі об'єкти, які можуть ефективно оброблятися сучасними апаратними засобами в реальному часі.

З 2010-х років mid-poly моделювання стало стандартом у багатьох галузях, зокрема у відеоіграх, кінематографі, віртуальній (VR) та доповненій реальності (AR). Поширення фізично обґрунтованого рендерингу (PBR – Physically-Based Rendering) призвело до зростання вимог до якості текстур та моделей. Mid-poly підхід став ідеальним вибором, оскільки він дозволяє створювати моделі з високодеталізованими текстурами, які виглядають реалістично, але не перевантажують обчислювальні ресурси [9, с. 27]. Інтеграція mid-poly моделей у VR та AR-проекти дозволяє досягати високої якості зображення, забезпечуючи плавну роботу навіть на мобільних пристроях.

Прогрес у розвитку апаратного забезпечення протягом останніх десятиліть зробив значний вплив на можливості 3D-моделювання,

забезпечуючи більш ефективну роботу зі складними сценами та моделями. Зокрема, еволюція графічних процесорів (GPU), центральних процесорів (CPU) та оперативної пам’яті (RAM) створила нові можливості для розробників у галузі комп’ютерної графіки [10, с. 46].

Перші графічні процесори були створені для виконання базових 2D-операцій, таких як відображення тексту та простих зображень на екрані. З часом їх функціональність суттєво розширилась, дозволяючи обробляти тривимірні сцени. Сучасні GPU, завдяки багатоядерній архітектурі, забезпечують паралельну обробку величезних обсягів даних, що критично важливо для рендерингу 3D-графіки. Наприклад, архітектура NVIDIA CUDA стала революційним рішенням у цій галузі. CUDA дозволяє програмам використовувати ресурси GPU для виконання складних обчислень, таких як рендеринг тривимірних сцен у реальному часі чи запікання текстур. Це забезпечує швидке опрацювання mid-poly моделей із деталізацією, необхідною для сучасних ігор або VR-середовищ. Такі інновації дозволяють досягти високої продуктивності навіть у роботі з великими й складними проектами [11, с. 103-104].

Окрім графічних процесорів, розвиток центральних процесорів також мав суттєвий вплив на 3D-моделювання. Сучасні CPU із багатоядерною архітектурою здатні паралельно обробляти складні алгоритми, що використовуються в процедурному моделюванні. Це відкриває нові можливості для автоматизації створення 3D-моделей середньої складності. Зокрема, завдяки потужним процесорам можна створювати детальні mid-poly моделі на основі алгоритмів генерації деталей або симуляцій фізичних процесів. Крім того, розподіл завдань між ядрами дозволяє значно прискорити виконання складних операцій, таких як ретопологія або створення UV-мап, що є ключовими етапами 3D-моделювання.

Збільшення обсягів оперативної пам’яті (RAM) також відіграє важливу роль у 3D-моделюванні. На ранніх етапах розвитку графіки обмеження обсягу пам’яті суттєво впливали на розмір і складність сцен, які могли бути

опрацьовані. Сучасні системи з великим обсягом RAM дозволяють працювати з високополігональними моделями, навіть якщо це mid-poly моделі в масштабних сценах. Це забезпечує можливість одночасної роботи з кількома складними об’єктами, інтегрованими в єдину сцену, а також швидкий доступ до даних текстур і матеріалів, що використовуються в моделюванні.

Поєднання високої продуктивності GPU, багатоядерних CPU і великого обсягу оперативної пам’яті створює оптимальні умови для реалізації складних проєктів у галузі 3D-графіки. Наприклад, у сучасних ігрових рушіях, таких як Unreal Engine або Unity, ця апаратна база дозволяє розробникам інтегрувати mid-poly моделі у великі ігрові світи без втрати якості графіки та продуктивності. Ці технології також широко застосовуються в архітектурній візуалізації, кіноіндустрії та VR/AR проєктах, що вимагають обробки реалістичних тривимірних сцен у реальному часі.

Таким чином, прогрес у розвитку апаратного забезпечення створив нові можливості для 3D-моделювання, забезпечуючи баланс між деталізацією моделей і швидкістю їх обробки. Це дало поштовх до широкого впровадження mid-poly підходу, який став одним із основних стандартів у сучасній індустрії комп’ютерної графіки.

Важливим аспектом розвитку mid-poly підходу є не лише апаратна складова, але й програмні інструменти, які забезпечують реалізацію цих можливостей. Еволюція програмного забезпечення для 3D-моделювання дозволила розробникам ефективно використовувати ресурси сучасного апаратного забезпечення, впроваджуючи новітні методики оптимізації та текстурування. Завдяки цьому програмні платформи стали ключовим елементом у створенні моделей середньої складності, які відповідають вимогам сучасної індустрії комп’ютерної графіки.

Наприклад, програма Blender надає широкі можливості для створення та оптимізації 3D-моделей завдяки відкритому коду та активній спільноті користувачів [12]. Autodesk Maya широко використовується у професійній індустрії для створення анімацій та моделей середньої складності, що дозволяє

досягати балансу між деталізацією та продуктивністю [13]. Ці програми інтегрують сучасні технології, зокрема підтримку PBR (Physically-Based Rendering), що дозволяє створювати реалістичні текстури на основі фізичних властивостей матеріалів.

Нові технології: процедурне моделювання, використання AI для автоматичної оптимізації. Сучасні технології, такі як процедурне моделювання та штучний інтелект (AI), стали невід'ємною частиною процесу 3D-моделювання. Процедурне моделювання дозволяє автоматично генерувати складні структури та текстури, що значно зменшує час створення моделей середньої складності. Наприклад, алгоритми процедурного моделювання у програмі Houdini дозволяють швидко створювати великі локації або об’єкти з високою деталізацією [14, с. 26].

Mid-poly моделі, завдяки своєму універсальному характеру, стали невід'ємною частиною багатьох галузей, таких як відеоігри, кіно, анімація та архітектурна візуалізація. Їхня здатність забезпечувати баланс між якістю зображення та ефективністю обробки робить їх ідеальним рішенням для широкого спектра проектів. Вони дозволяють досягти реалістичності сцен і об'єктів без значного навантаження на апаратне забезпечення, що особливо важливо в умовах сучасних високих вимог до графіки та продуктивності [15].

Однією з основних сфер використання mid-poly моделей є відеоігри, де вони застосовуються для створення великих ігрових локацій та персонажів. Наприклад, у The Witcher 3: Wild Hunt (2015) mid-poly моделі широко використовуються для відтворення ландшафтів, будівель та елементів оточення. Завдяки цьому розробникам вдалося створити багаті, візуально насичені сцени, які працюють ефективно навіть на старших поколіннях ігрових консолей [16]. Локації в цій грі демонструють високий рівень деталізації, зберігаючи продуктивність, що стало можливим завдяки раціональному використанню полігонального бюджету та сучасних методів текстурування, таких як нормалізації та запікання текстур.

Подібний підхід використовувався і в Cyberpunk 2077 (2020), де mid-poly моделі стали основою для створення складних відкритих світів [17]. Локації міста Найт-Сіті були створені з використанням середньополігональних моделей, що забезпечило реалістичність графіки на високому рівні, при цьому зберігши можливість роботи гри на консолях різних поколінь. Завдяки цьому гра продемонструвала здатність mid-poly підходу забезпечувати як високу якість графіки, так і ефективність роботи на обмежених ресурсах.

У сфері кіно mid-poly моделі широко застосовуються для створення візуальних ефектів та анімацій. У фільмі Avatar (2009), що став революційним завдяки використанню передових технологій 3D-графіки, mid-poly моделі застосовувалися для створення другорядних персонажів та елементів оточення [18]. Це дозволило знизити витрати на рендеринг, оскільки основна увага була зосереджена на high-poly моделях головних героїв. Такий підхід дозволив досягти балансу між реалістичністю та економією ресурсів, забезпечивши можливість масштабної роботи над візуальними ефектами.

Подібний підхід був реалізований у фільмі Frozen II (2019), де mid-poly моделі використовувалися для створення оточення та об'єктів другого плану. Це дало змогу оптимізувати рендеринг, зменшивши час і обсяг ресурсів, необхідних для створення складних сцен, при цьому забезпечивши якість зображення, достатню для анімаційного фільму [19, с. 12].

Архітектурна візуалізація є ще однією галуззю, де mid-poly моделі знайшли широке застосування. У сучасних проектах з використанням VR/AR технологій та інтерактивних презентацій будівель, mid-poly моделі дозволяють досягти високого рівня деталізації без перевантаження апаратного забезпечення. Це особливо важливо для створення інтерактивних VR-турів, де збереження реалістичності сцен має вирішальне значення [20, с. 163-164].

Наприклад, у 3D-презентаціях житлових комплексів або офісних будівель mid-poly моделі дозволяють відтворити складну архітектуру з точним опрацюванням деталей, таких як віконні рами, меблі чи фасади. Застосування

цього підходу забезпечує не лише візуальну якість, але й зручність у роботі для клієнтів, які можуть переглядати проект у реальному часі.

Mid-poly моделі стали стандартом у багатьох галузях завдяки своїм універсальним властивостям. Вони забезпечують реалістичний вигляд об’єктів та сцен, при цьому залишаючись оптимізованими для роботи в реальному часі. Цей підхід дозволяє створювати масштабні та деталізовані проєкти, зберігаючи високу продуктивність навіть на апаратних пристроях із середніми технічними характеристиками. Завдяки поєднанню естетики та функціональності mid-poly моделі продовжують займати провідні позиції у різних сферах застосування, від інтерактивних ігор до кіно й архітектурних презентацій.

Mid-poly моделювання еволюціонувало як компромісний підхід, що поєднує переваги high-poly та low-poly моделювання. Його розвиток відбувався у відповідь на зростаючі вимоги до якості 3D-графіки та продуктивності в різних галузях.

1.2. Визначення та тлумачення ключових концепцій mid-poly моделювання

Mid-poly моделювання представляє собою компромісний підхід між low-poly і high-poly моделюванням, забезпечуючи баланс між продуктивністю системи та рівнем деталізації моделей. Цей метод дозволяє створювати тривимірні моделі із середньою кількістю полігонів, які здатні передавати необхідні деталі об'єкта, водночас зменшуючи навантаження на апаратне забезпечення. Такі особливості роблять mid-poly моделювання затребуваним у багатьох галузях, де важливе співвідношення між якістю графіки та ефективністю використання ресурсів [21]

На відміну від low-poly моделювання, яке орієнтоване на мінімальне використання полігонів і знаходить застосування переважно у мобільних додатках, старих ігрових системах або низькопродуктивних пристроях, mid-poly підхід надає більше свободи у створенні деталей. Наприклад, low-poly моделі часто використовуються у розробці мобільних ігор, де ключовими вимогами є

швидке завантаження та низькі системні вимоги. Однак цей підхід має свої обмеження: низька кількість полігонів може негативно впливати на візуальну привабливість та реалістичність об’єктів.

З іншого боку, high-poly моделювання створює моделі з високим рівнем деталізації, які широко використовуються у кіноіндустрії, для створення реалістичних візуальних ефектів або цифрової скульптури. Такі моделі зазвичай містять мільйони полігонів, що дозволяє передати найдрібніші деталі, але водночас вимагає потужного апаратного забезпечення для обробки. Це робить high-poly підхід менш придатним для інтерактивних додатків, таких як відеоігри чи віртуальна реальність, оскільки перевантаження графічних систем може негативно вплинути на продуктивність.

Mid-poly моделювання займає проміжну позицію між цими двома крайнощами, поєднуючи їхні переваги. Цей підхід дозволяє створювати моделі, які виглядають деталізовано та реалістично, але водночас оптимізовані для забезпечення продуктивності. Наприклад, моделі, створені у mid-poly стилі, широко використовуються у сучасних відеоіграх, де необхідно створювати масштабні світи із великою кількістю об’єктів, не перевантажуючи графічний рушій. У таких випадках mid-poly підхід дозволяє зберегти баланс між реалістичністю та швидкодією, що особливо важливо для забезпечення комфортного ігрового досвіду.

Крім того, у середовищі віртуальної та доповненої реальності mid-poly моделі відіграють важливу роль, оскільки обмеження продуктивності пристроїв, таких як VR-гарнітури, вимагають оптимізованих моделей. Mid-poly підхід забезпечує можливість створення високоякісних візуалізацій, які залишаються ефективними навіть на обмежених ресурсах.

Ще однією сферою застосування mid-poly моделювання є архітектурна візуалізація. Завдяки цьому підходу дизайнери можуть створювати реалістичні сцени, які демонструють будівлі, інтер'єри або міські ландшафти, водночас зберігаючи можливість перегляду цих сцен у реальному часі. Це робить

mid-poly ідеальним вибором для інтерактивних презентацій або віртуальних турів, де важливо досягти високої деталізації без втрат у продуктивності.

Ключовою особливістю mid-poly підходу є його універсальність і адаптивність до різних потреб. Наприклад, у процесі розробки mid-poly моделі можуть бути основою для подальшого деталювання або оптимізації. Залежно від вимог проєкту, модель можна легко адаптувати до high-poly чи low-poly стандартів, що дозволяє використовувати її у різних контекстах.

Таким чином, mid-poly моделювання забезпечує унікальну можливість створювати тривимірні об’єкти, які поєднують високу якість із оптимальною продуктивністю. Його використання стає дедалі важливішим у світі тривимірної графіки, де потреби ринку вимагають балансу між реалістичністю, функціональністю та ефективністю. Це робить mid-poly підхід незамінним для сучасних дизайнерів, розробників і художників, які прагнуть відповідати очікуванням аудиторії, не перевантажуючи апаратне забезпечення.

Основою тривимірного моделювання є полігони, які складаються з вершин, з'єднаних між собою ребрами. Полігони формують структуру сітки, яка визначає зовнішній вигляд об’єкта, його геометрію та сприйняття у просторі. У сучасному моделюванні широко застосовуються різні форми полігонів, проте саме їхнє правильне використання визначає ефективність моделі у контексті продуктивності та візуальної якості.

Хоча трикутники є основою багатьох рендер-двигунів завдяки простоті їхньої структури, важливо зазначити, що розташування цих трикутників у сітці суттєво впливає на якість текстурного накладання та згладжування. Неправильна топологія може спричинити появу артефактів, таких як небажані перегини текстури або нерівності на поверхні моделі. У цьому контексті чотирикутники надають більше гнучкості під час створення складних моделей, особливо коли мова йде про деформацію об’єкта, наприклад, при анімації персонажів або механізмів. У mid-poly підході їх використання дозволяє значно зменшити ризик помилок і підвищити якість фінального продукту [22, с. 97].

Петлі ребер є послідовними ланцюгами ребер на сітці полігональної моделі, які слідують природним контурам об'єкта. Вони є основою для створення анатомічно правильних та деформабельних моделей. Петлі ребер допомагають контролювати потік полігонів по моделі, що важливо для анімації та деформації. У mid-poly моделюванні це дозволяє створювати моделі з правильною топологією при збереженні оптимальної кількості полігонів [23, с. 150-151].

Ще одним важливим аспектом є щільність полігональної сітки, яка повинна бути адаптованою до завдань конкретного проекту. Надмірна кількість полігонів у одній ділянці може ускладнити процес рендерингу, тоді як їх нестача здатна знизити реалістичність об'єкта. У mid-poly моделюванні розподіл полігонів відбувається з урахуванням важливості деталей: складні області, наприклад, обличчя персонажа чи декоративні елементи архітектури, отримують більше полігонів, тоді як другорядні ділянки, такі як плоскі стіни чи ландшафтні поверхні, оптимізуються для зменшення навантаження.

Окрему роль відіграє поняття нормалі полігонів, які визначають, як світло взаємодіє з поверхнею моделі. Нормалі спрямовані перпендикулярно до площини полігону і впливають на освітлення, відображення та затінення об’єкта. У mid-poly моделюванні правильне використання нормалей дозволяє створювати реалістичне освітлення навіть для моделей із обмеженою кількістю полігонів. Це важливо для забезпечення високої якості графіки без додаткових витрат ресурсів.

Серед ключових інструментів оптимізації полігональних сіток слід відзначити технології автоматичної ретопології, які дозволяють перетворювати складні моделі з нерівномірною топологією на структури, адаптовані до використання у реальному часі. Цей підхід є особливо важливим для mid-poly моделювання, оскільки він забезпечує гармонійний баланс між деталізацією моделі та її продуктивністю.

Також варто зазначити важливість LOD (Level of Detail) у контексті полігонів. Ця техніка, широко застосовувана в ігровій індустрії, дозволяє

створювати кілька версій однієї моделі з різною щільністю полігонів. У mid-poly підході LOD використовується для забезпечення плавності гри або інтерактивного додатку, коли високодеталізовані версії моделей використовуються лише у випадках, коли об’єкт знаходиться близько до камери, а менш деталізовані — на дальніх планах.

Застосування чотирикутників у mid-poly моделюванні також сприяє поліпшенню процесу створення текстур та UV-розгортки. Регулярна топологія полегшує рівномірний розподіл UV-координат, що дозволяє уникнути перекриття чи спотворення текстур. Для складних моделей, таких як персонажі або детально пророблені об'єкти, це є вирішальним фактором, оскільки неправильна UV-розгортка може значно знизити загальну якість фінального результату.

У mid-poly моделюванні структура сітки виконує не лише технічну, а й художню функцію. Дизайнер повинен враховувати не лише кількість полігонів, але й те, як вони впливають на естетику моделі. Наприклад, плавні вигини або чіткі контури можуть потребувати більшої кількості полігонів у певних ділянках, щоб уникнути "гострих кутів" чи небажаних візуальних ефектів.

Загалом, правильне управління полігонами у mid-poly моделюванні дозволяє досягти максимальної ефективності у створенні моделей. Це забезпечує як високу продуктивність, так і візуальну привабливість, роблячи цей підхід універсальним і перспективним у сучасній тривимірній графіці.

У моделюванні велике значення має топологія, яка визначає взаємне розташування полігонів, вершин і ребер. Від правильного розподілу залежить, як модель реагуватиме на освітлення, текстурування або анімацію. У mid-poly моделюванні застосовуються петлі ребер, які слідують природним контурам об’єкта. Ці елементи забезпечують плавність рухів і коректну деформацію моделей, що особливо важливо для створення персонажів або складних механізмів [24, с. 232].

Оптимізація сітки це зменшення складності моделі без значної втрати якості з метою підвищення продуктивності рендерингу. Це ключовий аспект

mid-poly моделювання, оскільки дозволяє створювати візуально привабливі моделі, які ефективно використовують ресурси системи. Це особливо важливо для інтерактивних застосунків, де швидкість рендерингу критична .

Ретопологія є процесом створенням нової топології поверх існуючої геометрії для покращення структури сітки та оптимізації моделі для анімації та рендерингу. Вона дозволяє створити моделі з оптимальним розподілом полігонів та правильною топологією, що є важливим для анімації та ефективного використання ресурсів. У mid-poly моделюванні ретопологія допомагає зберегти деталі високополігональних моделей при зменшенні їх складності [25].

UV-розгортка — це метод, який дозволяє трансформувати тривимірну поверхню моделі у двовимірний простір для коректного нанесення текстур. Цей процес полягає у створенні UV-координат, які встановлюють відповідність між кожною точкою моделі та відповідним місцем на текстурі. Завдяки UV-розгортці текстури накладаються без спотворень, забезпечуючи точне відображення кольорів, візерунків і деталей на поверхні об'єкта.

У mid-poly моделюванні UV-розгортка відіграє ключову роль, оскільки текстури часто компенсують обмеження геометрії моделі. За допомогою текстур, таких як нормальні карти або карти висот, можна створювати ілюзію складних поверхонь, не збільшуючи кількість полігонів. Рівномірний розподіл UV-координат також сприяє більш реалістичному вигляду моделі, зокрема у випадках, коли текстури містять дрібні деталі, такі як пори, тріщини або орнаменти.

Якість UV-розгортки залежить від кількох факторів. Одним із них є оптимізація текстурного простору — процес, який забезпечує максимально ефективне використання текстури без втрат деталей. Крім того, важливо уникати перекриттів і спотворень, які можуть виникати через нерівномірний розподіл полігонів на UV-мапі. Для складних моделей використовується ручне налаштування UV-розгортки, що дозволяє досягти більшої точності.

UV-розгортка є незамінною для створення фізично коректних матеріалів (PBR), які враховують взаємодію світла з поверхнею об'єкта. Завдяки правильній UV-мапі текстури можуть імітувати різні властивості матеріалів, такі як металічність, шорсткість або прозорість. Це робить UV-розгортку важливим інструментом у mid-poly підході, дозволяючи досягати реалістичності моделей при збереженні їхньої оптимальної продуктивності [26, с. 2].

Запікання це процес попереднього обчислення та збереження інформації з високополігональної моделі на текстури, які потім застосовуються до низькополігональної або mid-poly моделі. Це дозволяє перенести деталі та ефекти з більш складних моделей на простіші, оптимізуючи процес рендерингу та зменшуючи навантаження на систему без втрати візуальної якості [27].

Текстурування є процесом нанесення двовимірних зображень на поверхню тривимірної моделі для додання кольору, візерунків та матеріальних властивостей. У mid-poly моделюванні текстури використовуються для додання деталей та реалістичності, які не можуть бути досягнуті через геометрію моделі, що дозволяє зменшити кількість полігонів, зберігаючи високий рівень візуальної якості [28, с. 9].

Нормальні карти є текстурами, які зберігають інформацію про напрямок нормалі кожної точки на поверхні моделі. Вони дозволяють симулювати дрібні геометричні деталі без додавання додаткових полігонів. У mid-poly моделюванні нормальні карти використовуються для додання деталей, які неможливо відобразити через обмеження в полігональному бюджеті, що підвищує візуальну якість моделі без негативного впливу на продуктивність [29].

Модульність є принципом дизайну, який передбачає створення окремих компонентів (модулів), які можуть бути повторно використані та комбіновані для створення складних систем. У mid-poly моделюванні модульність дозволяє ефективно створювати великі сцени та середовища, використовуючи обмежений набір оптимізованих моделей. Це знижує витрати часу та ресурсів на розробку, забезпечуючи послідовність стилю та якості [30, с. 11-12].

Глибоке розуміння та вміле застосування ключових концепцій mid-poly моделювання є фундаментом для створення ефективних та високоякісних тривимірних моделей. Застосування цих концепцій дозволяє досягти оптимального балансу між візуальною якістю та продуктивністю, що є критичним у сучасних інтерактивних додатках. Враховуючи обмежені ресурси апаратного забезпечення та зростаючі вимоги до реалістичності, mid-poly моделювання стає невід'ємною частиною процесу розробки тривимірного контенту.

1.3. Методологічні підходи до створення mid-poly моделей

Mid-poly моделювання є сучасним підходом у 3D-графіці , що дозволяє досягати оптимального балансу між високою деталізацією та продуктивністю. Цей метод є компромісним рішенням, яке розташовується між low-poly і high-poly підходами, забезпечуючи візуальну якість моделей із мінімальним навантаженням на апаратне забезпечення. В інтерактивних додатках, таких як відеоігри, віртуальна реальність або архітектурна візуалізація, ефективність методології є визначальною для досягнення високого рівня користувацького досвіду. Сформована логіка створення моделей дозволяє уникати помилок, оптимізувати витрати часу та ресурсів, зберігаючи водночас високий рівень якості. Одним із головних аспектів створення моделей є дотримання полігонального бюджету, який визначає кількість полігонів, оптимальну для конкретного проєкту. Це поняття є ключовим, оскільки надмірне збільшення кількості полігонів може негативно вплинути на продуктивність системи, особливо в інтерактивних середовищах. Водночас недостатня кількість полігонів може знизити деталізацію і якість відображення об’єкта [31, с. 79].

Процес починається з побудови базової геометрії об’єкта. Контроль полігонального бюджету є основоположним аспектом у процесі моделювання, оскільки дозволяє збалансувати якість і продуктивність. Для складних інтерактивних середовищ, наприклад, у відкритих світах відеоігор, оптимальний полігональний бюджет визначає, скільки об'єктів можна

одночасно відобразити без втрати продуктивності. Дотримання цих обмежень дозволяє ефективніше працювати з текстурами та динамічним освітленням, які вимагають значних ресурсів. Крім того, полігональний бюджет враховує платформу, для якої створюється модель: наприклад, моделі для VR-гарнітур потребують особливої оптимізації для підтримання високої частоти кадрів. Використання простих примітивів, таких як куби, сфери та циліндри, дозволяє швидко визначити загальну форму і пропорції моделі, що полегшує подальшу деталізацію. На цьому етапі зосереджуються на основних елементах об’єкта, уникаючи зайвих деталей, які можуть бути змінені в подальшій роботі. Особлива увага приділяється формуванню петлів ребер, які забезпечують правильну структуру для подальших деформацій і текстурування. На початковому етапі об’єкт моделюється за допомогою простих примітивів (кубів, циліндрів, сфер), які допомагають окреслити загальну форму. Це дозволяє розробнику чітко визначити пропорції та розміри моделі, не витрачаючи ресурси на непотрібні деталі [32, с. 127-128].

Початковий етап побудови базової геометрії забезпечує зручністьі подальшого опрацювання моделі. Простота початкових форм дозволяє швидше перевірити пропорції та загальний вигляд об'єкта. Використання примітивів також допомагає уникнути помилок, які можуть ускладнити текстурування або анімацію на пізніших етапах. Крім того, цей етап сприяє більшій гнучкості, оскільки базова форма легко адаптується до змін у концепції проєкту. У професійних студіях побудова базової геометрії часто супроводжується використанням процедурного моделювання для автоматизації рутинних задач. Для досягнення плавності поверхонь і підвищення деталізації застосовуються методи підрозділу поверхонь. Підрозділ додає нові вершини і ребра до базової моделі, створюючи згладжені криволінійні поверхні. Цей метод широко використовується для створення органічних форм, таких як персонажі або природні об’єкти, і дозволяє уникнути вручну створення складної геометрії. Контроль кількості ітерацій підрозділу допомагає зберігати оптимальний полігональний бюджет, що забезпечує ефективне використання ресурсів [33, с.

222]. Підрозділ поверхонь є не лише технічним, а й творчим інструментом у процесі моделювання. Завдяки ньому створюються плавні органічні форми, які особливо актуальні для персонажів або природних об'єктів. Використання алгоритмів підрозділу, таких як Catmull-Clark, дозволяє досягти деталізації, яку важко отримати вручну. У mid-poly моделюванні цей метод має важливе значення для досягнення високої якості без значного збільшення полігонального бюджету. Крім того, контроль за кількістю ітерацій підрозділу дозволяє інтегрувати модель у різні платформи, враховуючи їхні технічні обмеження.

Оптимізація топології є одним із ключових етапів у створенні тривимірних моделей, що дозволяє не лише забезпечити стабільність під час анімації або рендерингу, але й покращити загальну ефективність використання моделі в інтерактивних середовищах. Вона спрямована на створення сітки, яка відповідає природним контурам об’єкта, дозволяючи уникати деформацій і артефактів, які можуть виникати під час обробки. Особливо це важливо для об’єктів, які піддаються динамічним змінам, таких як персонажі чи механізми.

Використання чотирикутників замість трикутників або багатокутників є стандартною практикою в моделюванні, оскільки це забезпечує передбачувану поведінку поверхонь під час згладжування або підрозділу. Чотирикутна топологія дозволяє створювати більш організовані петлі ребер, які полегшують текстурування, UV-розгортку та деформацію моделі. Наприклад, при створенні анімаційних персонажів петлі ребер можуть слідувати за анатомічними лініями, такими як суглоби або м'язові структури, що забезпечує природний вигляд рухів.

Особливу увагу в оптимізації топології приділяють видаленню невидимих або зайвих елементів, таких як полігони, які не впливають на зовнішній вигляд моделі, але збільшують її складність. Це стосується, зокрема, прихованих частин моделі, які не потрапляють у поле зору глядача. Наприклад, у складних сценах, де кількість об’єктів значна, усунення таких елементів може суттєво зменшити навантаження на систему і покращити загальну продуктивність.

Рівномірний розподіл полігонів також є важливим аспектом оптимізації, оскільки він сприяє більш якісному текстуруванню та мінімізує спотворення текстур. Нерівномірно розподілені полігони можуть створювати артефакти на текстурах, такі як розтягнення чи стиснення, що знижує загальну якість моделі. Для запобігання цим проблемам використовуються автоматизовані інструменти, які аналізують розподіл полігонів і коригують їх відповідно до вимог текстурування.

Крім того, оптимізація топології включає врахування фізично коректного рендерингу (PBR), який залежить від точності нормалей і рівномірного освітлення поверхонь. Відсутність артефактів на моделі забезпечує реалістичний вигляд під час взаємодії зі світлом. Це особливо важливо для інтерактивних додатків, де освітлення часто змінюється в реальному часі.

Сучасні підходи до оптимізації топології також використовують алгоритми машинного навчання для автоматичного вдосконалення структури сітки. Наприклад, штучний інтелект може передбачити потенційні проблеми з топологією та пропонувати варіанти їх вирішення, економлячи час моделювальника. Завдяки цьому знижується ймовірність помилок, а процес створення моделей стає більш ефективним.

Загалом, оптимізація топології забезпечує універсальність і довговічність моделі, дозволяючи адаптувати її до різних платформ і середовищ. Цей підхід є невід'ємною частиною процесу створення тривимірних об’єктів, які повинні відповідати високим вимогам сучасної індустрії. У поєднанні з іншими методологіями, такими як ретопологія та автоматизоване текстурування, оптимізація топології допомагає досягати балансу між продуктивністю та візуальною якістю.

Ретопологія перебудовує сітку моделі для забезпечення її придатності до інтерактивного використання, особливо якщо початкова геометрія була створена методами, що генерують нерівномірну або надмірно складну структуру. Скульптинг, наприклад, створює моделі з деталізованими поверхнями, які можуть містити мільйони полігонів, що є надмірними для реального часу.

Фотограмметрія, у свою чергу, генерує моделі зі складною, часто хаотичною топологією, яка потребує оптимізації перед текстуруванням або анімацією.

Процес ретопології дозволяє досягти рівномірного розподілу полігонів, що важливо для забезпечення стабільності під час рендерингу або деформації. Створення організованої топології покращує сумісність моделі з анімаційними системами, зокрема в місцях, де модель підлягає частим згинанням чи розтягуванням, наприклад у зонах суглобів персонажа.

Автоматизовані інструменти, такі як ZRemesher у ZBrush або Quad Draw у Maya, пришвидшують ретопологію. Ці системи використовують алгоритми для аналізу поверхні моделі, створюючи оптимізовану сітку без втрати важливих деталей. Автоматизація також дозволяє швидко обробляти великі масиви даних, що зручно для виробничих процесів із жорсткими часовими обмеженнями.

Ретопологія також враховує потреби текстурування. Завдяки рівномірному розподілу полігонів текстури накладаються без спотворень, що покращує загальну якість візуалізації. У поєднанні з UV-розгорткою ретопологія забезпечує точне нанесення текстур, навіть якщо модель має складну форму або дрібні деталі.

Для інтеграції в ігрові рушії ретопологія дає змогу використовувати менш ресурсоємні версії моделей із високим рівнем деталізації. Наприклад, у багатьох відеоіграх одна й та сама модель може мати кілька рівнів деталізації (LOD), створених із використанням ретопології. Це дозволяє зберігати якість зображення для об’єктів, що знаходяться близько до гравця, і одночасно зменшувати навантаження на систему для об’єктів на віддалених планах [34].

UV-розгортка трансформує тривимірну геометрію об’єкта у двовимірну площину, створюючи карту, яка визначає відповідність між координатами поверхні моделі та текстурою. Цей процес є критичним для забезпечення точного накладання текстур, включаючи кольори, візерунки та матеріали. Розгортка визначає, як текстури будуть відображатися на поверхні моделі, дозволяючи уникати артефактів, таких як розтягнення або стиснення зображення.

Рівномірний розподіл UV-координат є ключовим для створення реалістичних текстур. Наприклад, для органічних моделей, таких як персонажі або тварини, нерівномірність UV-розгортки може спричинити помітні дефекти у вигляді змінених пропорцій або нерівномірного нанесення деталей. Щоб уникнути таких проблем, UV-мапи часто створюються вручну або з використанням спеціалізованих алгоритмів, які автоматично розподіляють координати з урахуванням форми об’єкта.

Оптимізація UV-мапи передбачає максимальне використання доступного текстурного простору. Це означає, що текстура заповнюється настільки, наскільки це можливо, без зайвих порожніх ділянок, що зменшує втрати у деталізації. Наприклад, частини моделі, які є більш помітними для глядача (наприклад, обличчя персонажа), отримують більшу площу на UV-мапі для збереження високої деталізації, тоді як менш важливі ділянки (наприклад, підошва взуття) займають мінімальний простір.

Ще одним важливим аспектом є уникнення перекриття UV-координат, що може призвести до накладання текстурних шарів одне на одне. Для складних моделей, таких як архітектурні елементи чи механізми, доцільно використовувати окремі UV-острови для різних частин об’єкта. Це дозволяє досягти більшої точності текстурування та зручності при роботі з текстурними картами.

UV-розгортка також враховує текстурну роздільну здатність. У випадках, коли текстура має низький дозвіл, UV-координати можна оптимізувати для мінімізації помітних дефектів. Наприклад, для ігрових моделей, які часто демонструються у динамічних сценах, важливо створити UV-мапи, що відповідають стандартам текстур із низькою або середньою роздільною здатністю, забезпечуючи баланс між якістю та продуктивністю.

Текстурування додає моделі реалістичності через використання фізично коректних матеріалів і нормальних карт. Нормальні карти дозволяють створювати ілюзію дрібних деталей без збільшення кількості полігонів, що забезпечує високу якість візуалізації при мінімальному впливі на

продуктивність. Бейкінг текстур переносить деталі з high-poly моделі на mid-poly, що підвищує ефективність рендерингу та знижує навантаження на систему. Використання фізично коректних матеріалів (PBR — Physically Based Rendering) дозволяє досягти більшої реалістичності візуалізації. Процес бейкінгу текстур, зокрема нормальних карт, допомагає перенести деталі з high-poly моделі на mid-poly, зберігаючи при цьому низьку кількість полігонів [35, с. 565]. Використання нормальних карт (Normal Mapping) дозволяє додавати деталі до моделі без збільшення кількості полігонів. Цей метод базується на застосуванні текстур, які імітують мікрорельєф поверхні, створюючи враження високої деталізації. Такий підхід є особливо ефективним у поєднанні з mid-poly моделями, оскільки забезпечує високу якість зображення при мінімальному впливі на продуктивність системи [36, с. 4].

Використання сучасних інструментів та програмного забезпечення є невід'ємною частиною процесу створення mid-poly моделей. Такі програми, як Blender, Maya, Zbrush та інші, надають широкі можливості для моделювання, текстурування та рендерингу. Вони також підтримують плагіни та скрипти, які можуть значно полегшити процес роботи та підвищити його ефективність [37, с. 127].

Практичні аспекти розробки включають використання референсів, таких як фотографії та концепт-арт, для досягнення максимальної точності моделювання. Розбивка процесу на логічні етапи — від початкового концепту до фінальної моделі — сприяє кращому контролю якості та своєчасному виявленню помилок [38].

Сучасні тенденції в області 3D-моделювання включають використання процедурного моделювання та технологій сканування, таких як фотограмметрія. Це відкриває нові можливості для автоматизації процесу створення моделей та їх подальшої оптимізації до mid-poly рівня.

Порівняно з іншими підходами, використання mid-poly моделей має свої переваги та обмеження. З одного боку, вони забезпечують швидкість рендерингу та зменшують навантаження на апаратне забезпечення, з іншого —

можуть вимагати компромісів у деталізації та якості текстур. Проте з розвитком технологій та збільшенням потужності апаратних засобів, використання mid-poly моделей залишається актуальним та перспективним напрямом [39, с. 32].

У майбутньому очікується, що нові алгоритми компресії та покращення апаратного забезпечення сприятимуть подальшому розвитку методологічних підходів до створення mid-poly моделей. Для фахівців у цій галузі важливо постійно оновлювати свої знання та навички, слідкуючи за останніми тенденціями та технологічними інноваціями.

РОЗДІЛ ІІ
ПІДГОТОВКА ДО РОЗРОБКИ MID-POLY МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ІГРОВОЇ ЛОКАЦІЇ

2.1. Дослідження аналогів та аналіз прототипів mid-poly моделювання

Дослідження специфіки mid-poly моделювання та визначення його впливу на 3D-графіку спонукає до пошуку і аналізу конкретних прикладів. Це необхідно для виявлення їхніх особливостей та успішних методів, які можна застосувати при створенні власних моделей. Аналіз існуючих аналогів та прототипів дозволяє зрозуміти оптимальні підходи до топології, кількості полігонів та текстурування, що забезпечують баланс між деталізацією та продуктивністю. Таким чином, глибоке вивчення та аналіз mid-poly моделей сприяють ефективному проектуванню власних якісних 3D-продуктів [40, с. 72-73].

Далі розглянемо кілька прикладів. Це дозволить нам виявити їхні особливості та вдалі рішення, які можуть бути застосовані при створенні власних 3D-моделей.

На зображенні представлено високоякісну 3D модель автомобіля, яка була створена художником Миколаєм Аппазовим в техніці mid-poly моделювання (див. рис. 2.1). Відмінними рисами цієї моделі є детальність, яка забезпечує візуально привабливий вигляд, при цьому зберігаючи оптимальну кількість полігонів для ефективного використання в реальному часі, наприклад, в ігрових рушіях.

Технологічні особливості:

Модель має середню кількість полігонів, що забезпечує баланс між деталізацією і продуктивністю. Використання mid-poly підходу дозволяє досягти високого рівня деталізації без значного впливу на продуктивність системи.

Модель має чисту та оптимізовану топологію з правильним розташуванням крайових петель (edge loops), що важливо для подальшого

текстурування і анімації. Правильна топологія забезпечує більш природні деформації при анімації і зменшує артефакти під час текстурування.

На моделі застосовані високоякісні текстури, ймовірно, створені за допомогою процедурного текстурування або ручного малювання. Текстури додають моделі фотореалістичний вигляд і покращують її візуальне сприйняття. Важливою частиною є використання нормальних карт (normal maps), які додають додаткову деталізацію без збільшення кількості полігонів.

Використання фізично коректних матеріалів (PBR) дозволяє досягти реалістичного відображення світла та тіней на поверхні моделі.

Автомобіль, представлений на зображенні, демонструє високий рівень майстерності в mid-poly моделюванні. Основні технологічні особливості включають оптимізацію полігонів, використання високоякісних текстур і матеріалів, а також продуману топологію. Ця модель може бути використана як прототип для створення інших mid-poly моделей для ігрових локацій, забезпечуючи високу продуктивність і відмінну візуальну якість.



Рисунок 2.1 – Lykan HyperSport Mid-Poly game-ready model [41]

Процес створення моделей зброї для відеоігор є критичним компонентом у розробці ігор, який вимагає точності та ефективності. Хосе Луїс Пеллегріно, великий шанувальник серії Metro, був захоплений дизайном зброї, представленої в цих іграх, особливо Bastard Gun з її брутальним та

індустріальним виглядом (див. рис. 2.2). Використовуючи mid-poly підхід, він створив модель, яка досягла балансу між деталізацією та продуктивністю.

Серія Metro, розроблена українською компанією 4A Games, базується на постапокаліптичних романах Дмитра Глуховського. Першою грою серії стала Metro 2033 (2010), яка стала культовою завдяки своїй унікальній атмосфері та реалізму. У подальших іграх, таких як Metro: Last Light (2013) та Metro Exodus (2019), серія продовжувала розвивати ці елементи.

Bastard Gun (відтворення) з її брутальним та індустріальним виглядом привернула його увагу. Створюючи цю модель, він користувався mid-poly підходом, щоб досягти ідеального балансу між деталізацією та продуктивністю. Процес створення включав використання Blender для перерисовки сітки, UV-розгортку в RizomUV та текстурування в Substance Painter. Модель містить середню кількість полігонів. Використання mid-poly підходу дозволяє досягти високого рівня деталізації без значного впливу на продуктивність системи. UV-розгортка була виконана в RizomUV, що дозволяє створити оптимальну розгортку для текстурування. Це забезпечує рівномірний розподіл текстур без розтягування або артефактів. Текстури були створені в Substance Painter, що дозволяє досягти високої деталізації та реалістичності. Аналіз цієї моделі надає цінні інсайти для розробки власних mid-poly моделей. Важливими аспектами є правильна топологія, оптимізація полігонів, використання PBR матеріалів та процедурного текстурування.



Рисунок 2.2 – Metro Exodus - Bastard Gun (Recreation) [42]

Механічний голуб створений з акцентом на високоякісну топологію та правильний потік ребер (див. рис. 2.3). Художник Даноло Шамраєв зробив два режими використання:

- Mid Poly 26 тисяч трикутників, де всі фаски зроблені за допомогою бевела.
- High Poly 440 тисяч трикутників, де все все зроблено за допомогою модифікатора Subdivision Surface

  Роздільна здатність текстур для голуба становить 4k, а для гілки - 2k.

Модель голуба демонструє високий рівень уваги до деталей, особливо у створенні фасок та загальної форми. У режимі mid poly використовується 26 тисяч трикутників, що є оптимальним для збереження високої деталізації без значного впливу на продуктивність.

На основі зображення можна відзначити, що модель у режимі high poly містить значно більше полігонів, що забезпечує ще вищу деталізацію, проте вимагає більше ресурсів для рендерингу.

Текстурування моделі виконано у високій роздільній здатності, що забезпечує якісне відображення матеріалів і дрібних деталей. Використання текстур 4k для голуба і 2k для гілки дозволяє досягти реалістичного вигляду моделі без надмірного навантаження на графічну систему.

Mid-poly модель ідеально підходить для використання в ігрових рушіях завдяки збалансованій кількості полігонів та високій якості текстур. Використання бевела замість нормальних карт дозволяє досягти чітких граней і деталізації без значного збільшення кількості полігонів.

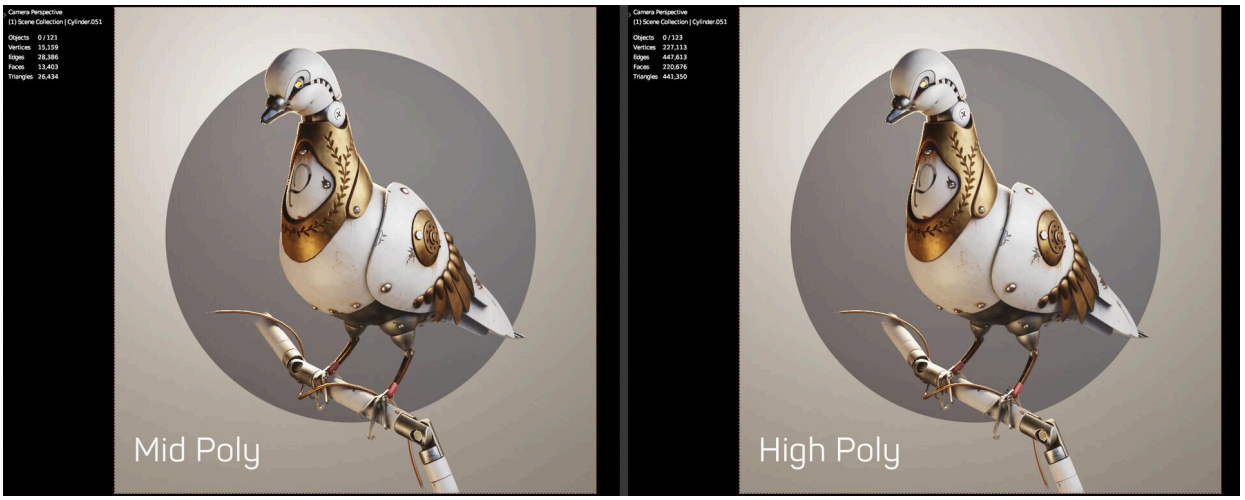


Рисунок 2.3 – Mechanical Pigeon [43]

У контексті розробки високоякісних ігрових активів, mid-poly моделювання стає ключовим інструментом. Ця робота фокусується на Nokota Osprey віртуальної зброї з доповнення Cyberpunk 2077: Phantom Liberty. Модель була створена художником Беном Ендрюсом та представлена на платформі ArtStation (див. рис. 2.4).

Для аналізу використовувались матеріали моделі, доступні на ArtStation, а також загальновідомі технічні характеристики гри Cyberpunk 2077 та її доповнення Phantom Liberty. Дослідження проводилось з урахуванням сучасних практик в ігровій індустрії.

Nokota Osprey демонструє високий рівень деталізації, характерний для mid-poly моделей. Модель має оптимізовану кількість полігонів, що дозволяє зберегти важливі деталі зброї без надмірного навантаження на систему. Це досягається шляхом використання більшої кількості полігонів у ключових областях (наприклад, механізми прицілу, затвора) та меншої—у вторинних.

Модель використовує лупи для збереження форми та підтримки чітких країв, що особливо важливо для механічних об'єктів.

Застосовано техніки, що дозволяють уникнути трикутників та n-кутників, забезпечуючи більш гладке згладжування та полегшуючи подальше текстурування.

Фізично Коректні Матеріали (PBR): Використання PBR-підходу дозволяє досягти фотореалістичності в різних умовах освітлення.



Рисунок 2.4 – Cyberpunk 2077 Phantom Liberty: Nokota Osprey [44]

Аналіз Car C художника Крейґа Коллінза для гри Half Life - Alyx проведено на основі візуального огляду моделі, з акцентом на технічних аспектах mid-poly моделювання (див. рис. 2.5). Використано порівняльний підхід для виявлення унікальних елементів, які відрізняють цей прототип від попередніх досліджень.

Модель демонструє ефективне використання полігонів, де складні деталі опрацьовані з мінімальною кількістю геометрії.

Ключові області моделі мають підвищену деталізацію, тоді як менш помітні частини оптимізовані. Модель включає органічні та механічні елементи, що створює візуально привабливий контраст. Поєднання симетричних основ з асиметричними деталями додає моделі унікальності.

Текстурні Техніки:

- Високоякісні Normal Maps, застосовані для передачі дрібних деталей без збільшення полігональності.
- Ambient Occlusion Maps, використовуються для підсилення глибини та реалістичності моделі.

- Використання Текстурних Атласів, це об'єднання декілька текстур в одну для зменшення кількості викликів до графічного процесора.

Унікальні рішення в текстуруванні та використанні матеріалів підвищують візуальну привабливість без компромісу продуктивності.



Рисунок 2.5 – Half Life - Alyx: Car C [45]

Прототипу танка T-54-2 Soviet Medium Tank, створеного художником Кирилом Рибачком, представляє собою детальну реконструкцію радянського середнього танка T-54-2 і демонструє високий рівень майстерності в моделюванні (див рис. 2.6).

Модель танка T-54-2 характеризується високим рівнем деталізації, що точно відтворює особливості реального прототипу. При цьому використано оптимальну кількість полігонів, що відповідає принципам mid-poly моделювання.

Топологія моделі має чисту сітку без зайвих трикутників та n-кутників, що полегшує подальше текстурування та анімацію. Особлива увага приділена деталям башти, гусениць та озброєння, які є ключовими елементами танка. Гусениці, катки та інші механічні елементи відтворені з високою точністю. Всі частини моделі відповідають реальним пропорціям танка, що додає автентичності.

Текстурування та Матеріали виконанні за всіма вимогами PBR Матеріала Текстури містять сліди експлуатації (подряпини, іржу), що додає моделі реалістичності.



Рисунок 2.6 – T-54-2 Soviet Medium Tank [46]

Також Mid Poly підхід використовувався для техніки у грі Farming Simulator 19 (див рис.2.7). Патрик Соколовский автор цієї роботи приділив велику увагу формам та лініям кузова, відтворюючи характерні особливості пікапа, такі як капот, решітка радіатора, двері та багажне відділення. Використання чистої та раціональної топології дозволило створити гладкі поверхні без артефактів. Фари, дзеркала, ручки дверей та інші дрібні деталі були змодельовані з урахуванням їх важливості для візуального сприйняття, але без надмірного збільшення кількості полігонів.Також було змодельовано основні елементи інтер'єру, такі як сидіння, кермо, панель приладів, педалі та важіль передач. Враховуючи, що інтер'єр не завжди детально видно в грі, полігональність була оптимізована без втрати ключових деталей. Дрібні деталі, такі як кнопки на панелі приладів або текстура оббивки сидінь, можуть бути передані через текстури, а не геометрію.



Рисунок 2.7 – Farming Simulator 19 | Pick-up [47]

Користуючись такими ж техніками, було виконано наступу працю вже іншого художника Рауля Фернандеса, для сіквела Farming Simulator 22



Рисунок 2.8 – John Deere 843L | Farming Simulator 22 [48]

2.2. Дослідження цільової аудиторії

У процесі роботи над дослідженням я зрозумів, що розуміння цільової аудиторії є ключовим фактором у розробці технологічних особливостей mid-poly моделей. Моя цільова аудиторія включає ігрові студії, кіностудії та інші компанії, які активно використовують комп'ютерну графіку у своїй діяльності. Для детального аналізу цільової аудиторії я використав метод 5W, що дозволило глибоко зануритися в потреби та очікування користувачів.

Такий підхід дозволив мені не лише зрозуміти технічні вимоги цільової аудиторії, але й усвідомити їхні мотивації та очікування. Це, у свою чергу, сприяло розробці більш ефективних та релевантних технологічних рішень у сфері mid-poly моделювання.

У рамках цього дослідження аспект «Who» охоплює провідні ігрові та кіностудії, які активно застосовують mid-poly моделювання для створення високоякісного контенту. Ці компанії формують основу цільової аудиторії, що впливає на вимоги до технологічних процесів та інструментів у моделюванні. Аналіз їхніх підходів дозволяє глибше зрозуміти, як mid-poly моделі інтегруються в складні виробничі процеси і сприяють досягненню поставлених завдань.

Серед ігрових студій однією з найвпливовіших є Ubisoft, яка стала відомою завдяки своїм масштабним проектам, таким як серія Assassin's Creed. У цих іграх mid-poly моделі використовуються для створення великих відкритих світів із високим рівнем деталізації. Наприклад, у Assassin's Creed Odyssey mid-poly підхід дозволяє забезпечити реалістичне зображення архітектурних споруд, природних ландшафтів та елементів оточення, зберігаючи продуктивність на широкому спектрі апаратних платформ. Такі результати досягаються завдяки ретельній роботі з топологією, UV-розгорткою і текстуруванням, що дозволяє відтворити історичну автентичність без надмірного навантаження на систему [49].

Ще однією студією, яка активно використовує mid-poly моделювання, є Naughty Dog. Її проєкти, такі як The Last of Us Part II, стали зразками високоякісної графіки та візуальної розповіді [50]. У цій грі mid-poly моделювання застосовується для створення реалістичних персонажів, де особлива увага приділяється деталям шкіри, одягу та міміки. Крім того, mid-poly підхід використовується для побудови складних сцен, таких як зруйновані міста чи природні ландшафти, що дозволяє зберігати реалістичність без втрати продуктивності.

Кіностудії також відіграють значну роль у використанні mid-poly моделей, оскільки ці моделі забезпечують ефективність і високу якість при роботі над анімацією та візуальними ефектами. Наприклад, Pixar Animation Studios активно використовує mid-poly моделювання у створенні своїх фільмів [51]. Mid-poly моделі персонажів дозволяють досягти ідеального балансу між деталізацією і продуктивністю під час анімації, особливо при роботі над динамічними сценами. У поєднанні з іншими технологіями, такими як фізично коректний рендеринг (PBR) та процедурне моделювання, Pixar створює персонажів, які не лише виглядають реалістично, а й передають емоції, сприяючи залученню глядачів.

Industrial Light & Magic (ILM), яка спеціалізується на створенні візуальних ефектів, також входить до цільової аудиторії mid-poly підходу [52]. У роботі над фільмами серій Зоряні війни та Месники ILM використовує mid-poly моделі для створення складних спецефектів, таких як батальні сцени або космічні пейзажі. Завдяки запіканню текстур та використанню нормальних карт, ці моделі виглядають візуально складними, але залишаються легкими для обчислювальних систем. Це дозволяє створювати масштабні сцени з безліччю елементів, підтримуючи високий рівень деталізації.

Розуміння питання "What" у контексті потреб ігрових та кіностудій дозволяє виявити ключові вимоги до інструментів і технологій, необхідних для створення mid-poly моделей. Сучасні студії прагнуть створювати контент, який поєднує в собі високу деталізацію, реалістичність та продуктивність.

Сучасні технології, такі як Blender, Autodesk Maya та ZBrush, надають студіям можливість створювати mid-poly моделі з урахуванням їхніх потреб. Інструменти для автоматизації, наприклад, плагіни для запікання текстур чи автоматичної ретопології, допомагають скоротити час розробки і забезпечити високу якість фінального результату. Крім того, технології фізично коректного рендерингу дозволяють створювати моделі, які виглядають реалістично при взаємодії зі світлом, завдяки чому підвищується загальна естетична якість контенту.

Розуміння питання «What» у контексті аналізу потреб ігрових та кіностудій дозволяє визначити основні критерії вибору інструментів і технологій, які відповідають їхнім високим стандартам у створенні mid-poly моделей. Сучасна індустрія розваг ставить перед розробниками складні завдання, що включають створення реалістичних тривимірних моделей, здатних зберігати високу продуктивність навіть у масштабних проектах. Це особливо актуально для інтерактивних додатків, де якість графіки напряму впливає на рівень занурення та емоційне сприйняття користувачів.

Особливу увагу варто приділити технології фізично коректного рендерингу (PBR), яка дозволяє створювати матеріали, що імітують реальну взаємодію зі світлом. Це забезпечує високу якість відображення таких властивостей, як металічність, прозорість, шорсткість чи відбивання. У поєднанні з текстурами, які створюють ілюзію мікрорельєфу поверхні, PBR значно підвищує візуальну складність моделей без збільшення їхньої геометричної складності.

Окрім того, технології для mid-poly моделювання повинні бути адаптованими до різних платформ. Наприклад, у відеоіграх це дозволяє зберігати продуктивність навіть на пристроях із обмеженими обчислювальними можливостями. У кіноіндустрії це дає змогу створювати сцени з великою кількістю елементів, які легко інтегруються у складні візуальні композиції. Таким чином, основні вимоги до інструментів включають високу продуктивність, сумісність із різними середовищами та підтримку сучасних технологій для створення реалістичного контенту.

Щодо "When", потреба у mid-poly моделях виникає на різних етапах виробничого процесу. В ігровій індустрії потреба у mid-poly моделях виникає на різних етапах розробки. Під час створення ігрових рівнів mid-poly моделі застосовуються для будівництва оточення, включаючи ландшафти, будівлі, об'єкти декору та інтерактивні елементи. Це дозволяє створювати масштабні світи з високим рівнем деталізації, які водночас можуть ефективно функціонувати на різних апаратних платформах. У розробці ігрових об'єктів

mid-poly моделі використовуються як база для використання тайлових текстур, та розгрузки ігрового рушія.

У кіноіндустрії mid-poly моделі активно використовуються на стадіях анімації та постпродакшну. Наприклад, під час створення анімаційних сцен mid-poly моделі дозволяють забезпечити плавний рух персонажів і взаємодію з оточенням. Це досягається завдяки ретельно продуманій топології, яка дозволяє уникати артефактів під час деформацій і забезпечує реалістичну анімацію.

На етапі постпродакшну mid-poly моделі застосовуються для створення візуальних ефектів та інтеграції їх у складні сцени.

Mid-poly моделі також застосовуються під час створення прототипів. На ранніх стадіях виробництва вони дозволяють швидко оцінити вигляд сцени, персонажа чи об'єкта без необхідності витрачати ресурси на створення високополігональних моделей. Це сприяє прискоренню процесу ухвалення рішень і дозволяє команді вносити корективи ще до переходу до фінальних етапів розробки.

"Where" ці моделі використовуються, залежить від конкретних програмних середовищ та платформ. Одними з найбільш поширених інструментів для створення mid-poly моделей є такі програми, як Autodesk Maya, 3ds Max та Blender.

Autodesk Maya широко використовується професійними студіями завдяки своїм потужним інструментом для моделювання, анімації та текстурування. Maya надає можливість створювати складні mid-poly моделі з оптимізованою топологією та інтегрувати їх у масштабні проекти. Наприклад, багато кіностудій використовують Maya для створення персонажів та анімацій у фільмах, де важливо поєднувати високу деталізацію та реалістичність.

3ds Max є ще одним популярним інструментом, який часто застосовується в архітектурній візуалізації та дизайні інтер'єрів. Завдяки інтуїтивному інтерфейсу та великому набору функцій для роботи з геометрією, 3ds Max дозволяє створювати mid-poly моделі, які забезпечують баланс між деталізацією та ефективністю. Крім того, можливість інтеграції з іншими програмами,

такими як V-Ray для рендерингу, робить цей інструмент ідеальним для високоякісної візуалізації.

Blender, як безкоштовний інструмент з відкритим кодом, також набув широкої популярності серед розробників і студій. Завдяки активній спільноті користувачів і постійним оновленням, Blender пропонує потужні інструменти для створення mid-poly моделей. Його особливістю є підтримка процедурного моделювання, що дозволяє створювати складні об'єкти з мінімальними витратами часу. Крім того, Blender підтримує інтеграцію з різними ігровими движками, такими як Unreal Engine і Unity, що робить його універсальним рішенням для розробників ігрового контенту.

Важливим аспектом використання mid-poly моделей є їх інтеграція в ігрові движки. Unreal Engine, один із найпотужніших движків на ринку, забезпечує підтримку mid-poly моделей для створення фотореалістичних середовищ і інтерактивних сценаріїв. Завдяки таким функціям, як підтримка фізично коректного рендерингу (PBR) та динамічного освітлення, Unreal Engine дозволяє розробникам повністю реалізувати потенціал mid-poly моделей. Наприклад, у відеоіграх, таких як Fortnite або The Witcher 3, mid-poly моделі використовуються для створення великих відкритих світів із високим рівнем деталізації.

Unity, як один із найпоширеніших движків для розробки ігор, також активно підтримує mid-poly підхід. Його популярність пояснюється простотою використання та сумісністю з різними платформами, включаючи ПК, консолі та мобільні пристрої. Завдяки підтримці технологій оптимізації, таких як LOD (рівні деталізації), Unity дозволяє ефективно використовувати mid-poly моделі в проектах з обмеженими ресурсами.

Інтеграція mid-poly моделей у виробничі процеси не обмежується лише програмами для моделювання та ігровими движками. У середовищах постпродакшену, таких як Substance Painter і Marmoset Toolbag, моделі проходять етапи текстурування, запікання текстур та підготовки до фінального рендерингу. Ці інструменти забезпечують високий рівень реалістичності,

дозволяючи деталізувати поверхні моделей, використовуючи фізично коректні матеріали та текстурні карти.

Нарешті, розуміння "Why" — чому mid-poly моделювання є критичним для цих студій — допомагає виявити їхні головні мотиви. Ігрові та кіностудії прагнуть створювати контент, який поєднує в собі високу якість графіки та ефективність. Mid-poly моделі забезпечують цей баланс, дозволяючи деталізувати об'єкти без значного навантаження на апаратні ресурси. Це особливо важливо в умовах зростаючих вимог користувачів до реалістичності та продуктивності.

Проведений аналіз показує, що основними вимогами цільової аудиторії є:

Ефективність робочих процесів, оптимізація пайплайну моделювання для зменшення часу та ресурсів, необхідних для створення моделей.

Сумісність та гнучкість, забезпечення можливості використання моделей у різних програмних середовищах та на різних платформах.

Висока якість графіки, досягнення реалістичності та деталізації, що відповідає сучасним стандартам індустрії.

Оптимальна продуктивність, мінімізація навантаження на апаратні ресурси для забезпечення плавної роботи програм та ігор.

Результати аналізу цільової аудиторії допомогли сформувати концепцію проєкту, орієнтовану на потреби ігрових та кіностудій, які мають високі вимоги до якості графіки, продуктивності та ефективності виробничих процесів. Вивчення підходів провідних компаній, таких як Ubisoft, Naughty Dog і Pixar, виявило важливість використання фізично коректного рендерингу (PBR), автоматизації процесів і адаптації моделей до різних платформ, що було враховано у розробці прототипу. Технології Mid Poly моделювання забезпечили баланс між реалістичністю та продуктивністю, а автоматизація процесів, таких як ретопологія та запікання текстур, дозволила оптимізувати виробничий процес. Створений прототип є універсальним і готовим до інтеграції у різні середовища, відповідаючи сучасним вимогам ринку та очікуванням цільової аудиторії.

2.3. Інструменти та технології для розробки mid-poly моделей

Для виконання кваліфікаційної роботи було обрано програмне забезпечення PureRef, Blender, Marmoset Toolbag та Adobe Substance Painter. Цей вибір був зумовлений широкими функціональними можливостями цих програм та їх здатністю забезпечити високий рівень деталізації й оптимізації моделей [53, с. 285].

PureRef — це легке і зручне програмне забезпечення, призначене для збору, організації та перегляду референсів. Воно широко використовується художниками, дизайнерами, та іншими творчими професіоналами, які працюють із візуальними матеріалами. PureRef створена з метою полегшення роботи з референсами, надаючи користувачеві інструмент для швидкого доступу до візуальної інформації, необхідної під час роботи над проектом [54].

У процесі роботи використовувались програма Blender версії 3.4 [55]. Однією з ключових переваг Blender є його безкоштовність. На відміну від багатьох інших 3D-редакторів, вартість яких може сягати сотень доларів, Blender надає користувачам повний доступ до свого функціоналу абсолютно безкоштовно. Ця характеристика робить його доступним інструментом як для професіоналів, так і для початківців.

До недавнього часу Blender вважався програмою, орієнтованою переважно на новачків у 3D-графіці. Проте завдяки активному розвитку, впровадженню нових функцій і модифікацій та підтримці великої спільноти розробників і користувачів, програмне забезпечення суттєво змінило свій статус. Нині Blender визнано професійним інструментом, який активно використовується в ігровій індустрії, кінематографі та інших сферах, що потребують високоякісної 3D-візуалізації.

Ця трансформація була підкріплена появою нових потужних функцій, таких як сучасний рендер-рушій Cycles, інтерактивний рендер Eevee, гнучкі можливості скульптингу, підтримка геометричних вузлів (Geometry Nodes) та широкого спектру модифікаторів, що дозволяють автоматизувати багато аспектів створення моделей.

Однією з найважливіших переваг Blender є його здатність об'єднувати в собі функції, які зазвичай розподілені між декількома спеціалізованими програмами для комп’ютерної графіки. Це робить Blender універсальним інструментом, який охоплює більшість потреб у створенні 3D-контенту, залишаючись при цьому безкоштовним і відкритим.

Додаткову гнучкість надають численні аддони (доповнення), які значно розширюють функціонал програми. Вони можуть автоматизувати складні процеси, додавати нові можливості чи оптимізувати робочий процес. Аддони доступні як у безкоштовному, так і платному форматі, дозволяючи користувачам вибирати інструменти, що відповідають їхнім потребам та бюджету. Завдяки цьому Blender адаптується під різні завдання і стає потужним інструментом як для новачків, так і для професіоналів.

Моделювання в Blender буде виконуватись поетапно, із застосуванням базових функцій програми, таких як полігональне моделювання, використання модифікаторів, а також UV-розгортки. Цей підхід дозволяє створювати високоякісні mid-poly моделі, оптимальні для ігрових рушіїв та візуалізації [56, с. 89-90].

Marmoset Toolbag є важливим інструментом для створення високоякісних текстур у процесі розробки mid-poly моделей [57]. Його ключова перевага полягає в інтуїтивності та простоті використання, що дозволяє швидко інтегрувати його у виробничий процес. Програма забезпечує можливість запікання PBR текстур із високою точністю, дозволяючи переносити деталі з high-poly моделей на mid-poly. Це особливо важливо для збереження якості моделей за умови оптимізації для ігрових рушіїв.

Marmoset Toolbag інтегрує потужний інструмент для запікання карт, таких як Normal Map, Ambient Occlusion та інших. Ці карти створюють візуальну деталізацію, яку не можна досягти лише через геометрію моделі. Важливо, що процес запікання у програмі відбувається у реальному часі, що дозволяє миттєво оцінити результат і внести необхідні коригування. Це економить час та спрощує роботу художника.

Крім запікання текстур, Marmoset Toolbag має перевагу у можливості попереднього перегляду моделі з використанням HDRI-освітлення. Це дозволяє оцінити, як модель виглядатиме у реальних умовах освітлення, близьких до тих, які використовуються у сучасних ігрових рушіях. Завдяки цьому художники можуть ще на ранніх етапах виправляти недоліки, пов'язані з відображенням матеріалів чи текстур.

Таким чином, використання Marmoset Toolbag не лише прискорює роботу, але й гарантує стабільно високу якість результату, що є важливим для створення моделей, готових до використання в ігрових проектах.

Substance Painter — це провідне програмне забезпечення для текстурування 3D-моделей, яке також підтримує запікання текстурних карт, забезпечуючи високу деталізацію й реалістичність моделей [58]. Головною особливістю цього інструменту є використання інноваційних технологій, таких як "розумні" пензлі, матеріали та маски, які автоматично адаптуються до форми моделі, спрощуючи процес роботи художника. Програма працює на різних платформах, що робить її доступною для широкого кола користувачів.

Substance Painter є індустріальним стандартом у сфері 3D-графіки й використовується провідними компаніями в ігровій індустрії, такими як Ubisoft, Remedy, Respawn Entertainment, та багатьма іншими. Його можливості широко застосовуються не лише у створенні комп'ютерних ігор, а й у кінематографі, дизайні, архітектурній візуалізації та анімації. Завдяки високій функціональності програма дозволяє створювати текстури з використанням сучасних стандартів фізично коректного рендерингу (PBR), що забезпечує реалістичність об'єктів у будь-якому середовищі.

Крім того, Substance Painter забезпечує широкий набір інструментів для створення унікальних текстур. Підтримка функції запікання карт дозволяє переносити високодеталізовані елементи з high-poly моделей на low-poly чи mid-poly, зберігаючи якість при оптимізації. Бібліотека готових матеріалів і текстур, доступна користувачам, спрощує роботу над моделями, дозволяючи

створювати складні ефекти, такі як потертості, іржа, бруд чи металевий блиск, з мінімальними зусиллями.

Таким чином, Substance Painter є незамінним інструментом для професійного текстурування 3D-моделей, що поєднує простоту використання, багатофункціональність та відповідність найвищим вимогам індустрії.

У межах реалізації проекту використовуються різні програмні інструменти, кожен із яких виконує специфічну роль у процесі створення ігрової локації. Вибір програмного забезпечення ґрунтується на його функціональних можливостях і здатності забезпечувати високоякісний результат на кожному етапі розробки. Для аналізу та демонстрації особливостей використання кожного інструменту створено порівняльну таблицю, яка відображає ключові характеристики програм, зокрема їхню ефективність у таких аспектах, як моделювання, текстурування, рендеринг і оптимізація для ігрових рушіїв [59].

Таблиця 2.1 — Порівняння функціональних можливостей програмного забезпечення для створення ігрової локації.

Характеристика	**Blender**	**Substance Painter**	**Marmoset Toolbag**	**PureRef**
Створення 3D-моделей	Широкі можливості для моделювання, підтримка різних типів геометрії	Обмежені функції (для текстурування, не моделювання)	Мінімальні можливості для моделювання	Відсутнє
Текстурування та робота з матеріалами	Базові інструменти, підтримка UV-розгорток та PBR	Потужний функціонал для текстурування, підтримка PBR та ефектів	Підтримка PBR, базове текстурування	Відсутнє
Рендеринг	Cycles/Eevee для реалістичного рендерингу	Відсутній, передбачає експорт текстур	Висока якість рендерингу моделей	Відсутнє
Інтеграція з іншими програмами	Підтримує експорт у формати FBX, OBJ, GLTF	Легка інтеграція з Blender, Unity, Unreal Engine	Легка інтеграція з ігровими рушіями	Відсутня інтеграція
Організація референсів та концептів	Обмежені можливості (прив'язка зображень до Viewport)	Відсутнє	Відсутнє	Основна функція: зберігання, сортування та управління референсами

Продовження таблиці 2.1

Оптимізація для ігрових рушіїв	Підтримка low-poly і mid-poly моделей, оптимізація через modifiers	Текстури та матеріали оптимізовані для ігор	Відображення моделі з ігровим освітленням	Відсутнє
Інтуїтивність інтерфейсу та легкість у навчанні	Вимагає часу для освоєння, широкий функціонал	Середній рівень складності для навчання	Простий інтерфейс, зосереджений на рендерингу	Дуже простий, мінімалістичний
Робота з освітленням та тінями	Потужні інструменти для налаштування світла (Cycles, Eevee)	Відсутнє	Професійне освітлення для презентації моделей	Відсутнє

Описаний нижче пайплайн допоможе послідовно виконати всі необхідні етапи роботи, починаючи від збору референсів і закінчуючи інтеграцією готових текстур у ігровий рушій.

Робота над моделлю починається зі збору та організації референсів — візуальних матеріалів, які демонструють форму, пропорції, текстури та кольори об’єкта. До референсів входять фотографії, ескізи, концепт-арти та зображення реальних об’єктів. Для їх зручного впорядкування використовується програма PureRef, яка дозволяє створити єдине полотно для перегляду й роботи з матеріалами. Завдяки низькому споживанню ресурсів та функції "поверх усіх вікон", PureRef ідеально підходить для використання разом із програмами на кшталт Blender. Така організація забезпечує художнику послідовність у стилі та деталізації моделі, полегшуючи процес створення.

Після збору референсів починається створення базового блок-ауту (blockout) у Blender. Блок-аут — це початкова низькодеталізована версія моделі, яка визначає загальні форми, розміри та пропорції об’єкта. Блок-аут виконується за допомогою примітивів (кубів, сфер, циліндрів тощо). Важливо на цьому етапі зберегти правильні пропорції, оскільки блок-аут є основою для подальшої роботи.

Після завершення блок-ауту починається процес деталізованого моделювання. У Blender створюється mid-poly модель з використанням базових

інструментів моделювання: Використовуються інструменти, такі як Extrude, Inset, Loop Cut і Bevel, для додавання деталей.

Для оптимізації роботи застосовуються модифікатори (Mirror, Subdivision Surface, Solidify). На цьому етапі важливо забезпечити баланс між деталізацією моделі та кількістю полігонів, щоб модель була оптимальною для використання в ігрових рушіях.

Після завершення моделювання створюється UV-розгортка, яка необхідна для текстурування об’єкта: Поверхня моделі "розгортається" у двовимірну площину, щоб текстури можна було правильно нанести. У Blender використовуються автоматичні і ручні методи UV-розгортки. Для складних моделей ручна розгортка дозволяє уникнути спотворень текстур. Після створення UV-мапи її оптимізують для ефективного використання текстурного простору.

Готова mid-poly модель із UV-розгорткою експортується у форматі FBX або OBJ і завантажується у Marmoset Toolbag. На цьому етапі виконується запікання текстур: Запікаються текстурні карти, такі як Normal Map, Ambient Occlusion, Curvature та інші. Вони переносять деталі з high-poly моделі (за потреби) на mid-poly. Отримані текстури експортуються з Marmoset Toolbag і завантажуються у Substance Painter для фінального текстурування моделі:

У Substance Painter створюються матеріали, додаються текстури, ефекти (потертості, подряпини, іржа тощо). Використовуються "розумні" матеріали та маски для досягнення реалістичного вигляду. Після завершення текстурування всі необхідні карти текстур (Base Color, Normal Map, Metallic, Roughness та ін.) експортуються із Substance Painter та завантажуються у Blender або інші програми для фінальної візуалізації.

У Blender створюється матеріал для моделі з використанням імпортованих текстур. Настроюється освітлення, параметри матеріалів і середовище для коректного відображення моделі. Завдяки цьому етапу модель інтегрується у сцену та стає готовою до використання у грі.

РОЗДІЛ ІІІ
РОЗРОБКА 3D MID-POLY МОДЕЛЕЙ

3.1. Обгрунтування концепції та ідеї 3D моделей для ігрової локації

Для локації було обрано цей референс через гармонійне поєднання природного і техногенного середовища, що створює контраст між статичністю природи і динамікою сучасних технологій. Така композиція підкреслює концептуальну глибину сцени, додаючи багатошаровість її сприйняттю. Простота конструктивних елементів у поєднанні з чіткими лініями техногенного об’єкта робить локацію легко зрозумілою для користувача, що сприяє інтерактивності.

Обраний референс також демонструє продуману організацію простору, яка дозволяє зберігати баланс між функціональністю та естетичною складовою. Центральне розташування об'єкта (Вертоліта) акцентує увагу глядача, водночас залишаючи достатньо вільного простору для можливих дій, наприклад, переміщення персонажів або інтерактивної взаємодії у межах сцени.

Елементи навколишнього середовища, такі як пальми і зелень, додають сцені візуальної привабливості, забезпечуючи контраст із чіткими технічними формами гелікоптера. Ця контрастність створює динамічний візуальний ритм, який сприяє зануренню користувача у середовище. Також природні елементи, представлені у референсі, створюють атмосферу спокою, яка врівноважує технологічну складову.

Референс підкреслює реалізм через використання реальних матеріалів та текстур, які передають властивості металу, скла та природних поверхонь. Це дозволяє створити у фінальній сцені об'єкти, які не лише гармонійно інтегруються у середовище, а й виглядають максимально достовірно. Крім того, освітлення на зображенні демонструє баланс між природним і штучним світлом, що може бути ефективно використано у віртуальній сцені для створення реалістичної гри світлотіні.

Таким чином, вибраний референс є не лише візуально привабливим, але й функціональним джерелом натхнення для проектування інтерактивної сцени, яка гармонійно поєднує природні та техногенні елементи (див рис. 2.9).



Рисунок 2.9 Helicopter Tours [60]

Локація, розроблена в межах гри «Rotor Recon», виконує роль стратегічного вузла, що слугує базою для підготовки до місій, зберігання техніки та проведення рятувальних операцій. Вона слугує центральним хабом, де гравець може взаємодіяти з ігровими елементами: приймати нові завдання, налаштовувати техніку, отримувати інструкції та слідкувати за прогресом у виконанні місій. Окрім функціональності, локація є невід'ємною частиною загальної атмосфери гри, сприяючи зануренню в сюжет за допомогою візуального дизайну та інтерактивності. Локація спроектована так, щоб забезпечити баланс між відкритим простором для польотів і замкненими зонами для тактичної підготовки.

Локація у грі «Rotor Recon» має багаторівневу структуру, що дозволяє організувати різноманітний ігровий процес. Ключова концепція полягає у створенні простору, який одночасно є функціональним, естетично привабливим та інтерактивним. Приділяється увага тому, як елементи локації сприяють не лише виконанню завдань, але й дослідженню ігрового світу. Наприклад, локація може включати приховані маршрути або точки доступу, які гравець відкриває

через прогрес у грі, тим самим стимулюючи цікавість і бажання досліджувати навколишнє середовище.

Елементи інтерактивності виходять за межі стандартних механік. Гравець може взаємодіяти з об'єктами навколишнього середовища, такими як ящики з інструментами, ремонтні станції чи моніторингові системи. Це дозволяє зануритися в атмосферу підготовки до польотів, створюючи ілюзію участі в реальному робочому процесі. Наприклад, замість автоматичного оновлення вертольота, гравець може самостійно обирати необхідне спорядження, відчуваючи, як його рішення впливають на подальший перебіг гри.

Важливим аспектом локації є її здатність адаптуватися до змін у сюжеті. Деякі зони можуть трансформуватися у відповідь на дії гравця або події гри. Наприклад, аварійні ситуації, такі як пошкодження інфраструктури бази, створюють нові виклики для гравця та змінюють спосіб взаємодії з оточенням. Це додає грі динаміки та підсилює ефект занурення.

З точки зору дизайну, особливе значення мають деталі, які забезпечують глибину та контекстність локації. Наприклад, графіті на стінах, документи, розкидані у диспетчерській зоні, або потертості на платформах технічного обслуговування підкреслюють автентичність місця. Ці деталі допомагають розширити наративний контекст гри, дозволяючи гравцеві дізнатися більше про світ, в якому він перебуває, і роль, яку відіграє його персонаж.

Особлива увага приділяється використанню динамічного освітлення та звукового супроводу для створення атмосферності. Освітлення змінюється залежно від часу доби або виконуваних завдань: наприклад, денне світло додає відкритості й оптимізму, тоді як вечірнє або нічне освітлення створює відчуття напруги та невизначеності. Звуковий дизайн включає такі елементи, як звук працюючих двигунів, шум тропічного дощу або гул вітру, що надає сцені додаткової реалістичності.

Локація виконує також роль майданчика для взаємодії між персонажами гри. Наприклад, NPC можуть динамічно змінювати своє розташування в залежності від прогресу гравця, демонструючи живий світ, який реагує на його

дії. Це створює враження, що база є не просто місцем для виконання завдань, а живим простором із власним ритмом та функціями.

Вибір стилістики поєднання природного та техногенного середовища також має функціональну роль. Тропічне оточення не лише додає контрастності, але й може слугувати інтерактивною частиною ігрового процесу. Наприклад, густі джунглі можуть приховувати небезпеки чи додаткові ресурси, які гравець відкриває під час виконання завдань. Це створює природний стимул для дослідження середовища.

Таким чином, локація у грі «Rotor Recon» не обмежується лише виконанням базових функцій. Вона виконує комплексну роль, поєднуючи інтерактивність, естетику та динамічність, що дозволяє гравцеві глибше зануритися у світ гри та отримати незабутній ігровий досвід.

ля моделювання об’єктів обрано рівень деталізації mid-poly, оскільки він забезпечує ефективну адаптацію моделей до різних середовищ, включаючи інтерактивні додатки, такі як відеоігри, симулятори та віртуальна реальність. Цей рівень деталізації дозволяє створювати об’єкти, які зберігають високий рівень візуальної якості, водночас залишаючи достатньо ресурсу для обробки інших ігрових елементів, таких як освітлення, текстурування та динаміка.

Mid-poly моделі оптимальні для середовищ із динамічним рендерингом у реальному часі, де важливо підтримувати плавність ігрового процесу, зберігаючи водночас деталізацію об’єктів. Наприклад, використання mid-poly підходу дозволяє створювати об’єкти, які виглядають реалістично навіть у масштабних сценах із великою кількістю одночасно відображуваних елементів.

Окрім зниження навантаження на графічний процесор, mid-poly моделі також сприяють скороченню часу рендерингу, що є критичним для інтерактивних середовищ. Це забезпечує плавність взаємодії користувача з моделями, незалежно від рівня складності сцени. Наприклад, у сценах з інтенсивними ефектами освітлення або тіней mid-poly моделі дозволяють ефективно обробляти взаємодію між об'єктами і джерелами світла без втрат продуктивності.

Ще однією перевагою mid-poly підходу є можливість збереження важливих деталей об'єктів через використання нормальних карт і текстур, які імітують складні геометричні особливості без збільшення кількості полігонів. Це особливо актуально для об’єктів, які часто змінюють своє положення або знаходяться у фокусі уваги гравця.

Таким чином, вибір рівня деталізації mid-poly є стратегічним рішенням, яке дозволяє досягти балансу між якістю візуалізації, технічними можливостями та продуктивністю інтерактивного середовища.

[61, с. 85-86]. Усі 3D-моделі будуть створені відповідно до таких ключових технологічних принципів:

Для досягнення реалістичності матеріалів, таких як метал, бетон, скло чи природні текстури, буде використано фізично коректне рендеринг-текстурування (PBR). Це дозволить передати властивості поверхонь, наприклад, блиск металу або матовість фарби на корпусі вертольота, а також шорсткість кам'яних брил і реалістичне відображення світла на сталевих конструкціях. Такий підхід забезпечує взаємодію об’єктів зі світлом у різних умовах, створюючи візуально переконливу сцену.

Оптимізоване UV-мапування дасть змогу уникнути перекриттів і забезпечити точне нанесення текстур без спотворень. Для цього буде застосовано рівномірний розподіл UV-координат, що дозволить деталізувати об’єкти, такі як вигини кабіни вертольота чи стики платформ. Частини моделі, які найчастіше перебувають у полі зору гравця, отримають пріоритет у текстурному просторі, а дрібні деталі будуть інтегровані так, щоб мінімізувати витрати на ресурси. Це дозволить ефективно використовувати текстури високої роздільної здатності без надмірного навантаження на систему.

Декалі використовуватимуться для додавання дрібних деталей, зокрема подряпин, маркувань і слідів зношення, що зробить об’єкти більш реалістичними. Наприклад, на корпусі вертольота вони відображатимуть технічне маркування, потертості фарби або сліди пошкоджень, підкреслюючи

тривалий період експлуатації техніки. Це додасть моделі глибини та автентичності без необхідності збільшення кількості полігонів.

Моделювання з використанням mid-poly підходу забезпечить оптимальний баланс між деталізацією та продуктивністю. Сітка моделей буде оптимізована таким чином, щоб зберегти необхідні деталі у ключових ділянках, таких як кабіна та ротори вертольота, тоді як менш важливі області будуть спрощені. Це дозволить зменшити навантаження на систему та забезпечити плавну роботу в реальному часі навіть у складних ігрових сценах.

Ключовим завданням стане інтеграція текстур, моделей та оптимізованої сітки, що забезпечить гармонійне поєднання реалістичності, продуктивності та ефективного використання ресурсів у межах сцени.

Моделі будуть розроблятися з урахуванням аналізу реальних об’єктів та інфраструктури, що відображають специфіку військових баз, рятувальних аеродромів і тропічних зон. Використання фотографій і картографічних даних дозволить деталізувати елементи середовища, такі як посадкові платформи, ангарні комплекси та природні ландшафти, щоб відобразити їх реалістичність у межах ігрового дизайну. Наприклад, будуть враховані конструктивні особливості тропічних баз, включаючи систему дренажу, розташування рослинності та матеріали, які часто використовуються в регіонах із високою вологістю.

Дизайн вертольота, окрім візуальної відповідності сучасній військовій та рятувальній техніці, буде адаптований до інтерактивних вимог гри. Особливу увагу буде приділено таким деталям, як форма та розмір кабіни для покращення видимості з погляду першої особи, розташування навісного обладнання для виконання завдань і зовнішні деталі, які забезпечують швидке впізнавання моделі в ігровій сцені. Для цього будуть використані референси реальної техніки, такі як Hughes 500, адаптовані під наратив і стиль гри.

Дизайн простору бази враховуватиме взаємодію гравця з об'єктами через інтерактивні елементи, такі як функціональні зони ремонту техніки, пункти навантаження вантажів і диспетчерські зони. Візуальні елементи, натхненні

іграми, такими як «Arma» та «Far Cry», будуть інтегровані для забезпечення плавного геймплейного досвіду. Наприклад, у дизайні враховуватиметься логічна послідовність переходу між зонами бази, щоб створити відчуття функціональності та реалізму.

Природне середовище, засноване на вивченні реальних тропічних зон, включатиме елементи, такі як різноманітні види рослинності, зокрема пальми, густі чагарники й екзотичні дерева, а також деталі ландшафту, наприклад, кам'яні утворення, водойми та піщані ділянки. Важливим аспектом стане інтеграція цих природних елементів із техногенними структурами бази, що створить контраст і водночас гармонію між двома середовищами. Використання референсів дозволить передати унікальні текстури, властиві тропічному клімату, наприклад, сліди ерозії на каменях або вологий блиск листя після дощу.

Крім того, середовище враховуватиме специфіку тропічного клімату, включаючи вплив погодних умов, таких як дощ, вологість чи спека. Це буде реалізовано через динамічне освітлення, зміни кольорової палітри в залежності від умов та інтеграцію звукових ефектів, таких як шум вітру чи шелест рослинності. Це додасть сцені додаткової глибини й підсилить ефект занурення.

У підсумку, комплексний підхід до створення моделей, заснований на аналізі реальних об’єктів та референсів, дозволить досягти високої якості графіки та взаємодії, що гармонійно поєднає ігрову механіку, наратив і візуальний дизайн.

Об’єкти для моделювання були відібрані з урахуванням їхньої функціональної значущості для ігрового процесу. Серед них:

- Головна модель вертоліта. Центральний об’єкт, що відображає основну механіку гри — виконання завдань у повітрі. Ця модель матиме високий рівень деталізації, адже вона перебуває у фокусі гравця протягом усього ігрового процесу.
- Пропси середовища. До цієї категорії належать вертолітний майданчик, платформи для обслуговування, технічне обладнання та інші функціональні елементи [62].

- Природні об’єкти. Елементи ландшафту, такі як камені, рослинність, додають автентичності та функціональності, забезпечуючи укриття або слугуючи орієнтирами для навігації.

Концепція організації простору передбачає поділ локації на центральну та периферійну зони. Центральна зона включає вертолітний майданчик і зону технічного обслуговування, де розташований основний об’єкт — вертоліт. Периферійна частина заповнена природними елементами, які виконують роль бар’єрів для обмеження грального простору, а також забезпечують додаткову візуальну насиченість.

3.2. Етапи розробки 3D моделей за пайплайном mid-poly

Стосовно описанного пайплайну, перейдемо до його етапів. Перший етап створення 3D моделі полягає у зборі та впорядкуванні референсів, які стануть основою для подальшого моделювання. Цей процес дозволяє отримати чітке уявлення про зовнішній вигляд, пропорції, деталі конструкції та текстури об’єкта. Референси виконують роль візуального орієнтира, що гарантує відповідність моделі реальним або концептуальним параметрам.

Розглянемо розробку головної моделі.Спершу необхідно знайти якісні фотографії вертольота. Основний акцент робиться на зображеннях, які демонструють об'єкт з різних ракурсів: збоку, спереду, зверху, а також під кутами, що розкривають його форму та особливості конструкції. На цих зображеннях мають бути добре помітні ключові елементи, як-от лопаті, шасі, кабіна, двері та панелі корпусу. Для пошуку можна використовувати різноманітні джерела: фотографії реальних вертольотів, зображення з авіаційних каталогів, концепт-арти або кадри з фільмів чи ігор.

Окрім фотографій, важливо знайти технічні креслення чи схеми вертольота. Вони зазвичай включають вигляд у проекціях (згори, збоку, з фронту), що допомагає зберегти правильні пропорції під час моделювання. Креслення дають змогу деталізувати окремі частини об’єкта, а також уточнити геометрію складних елементів, таких як хвостова частина чи двигун.

Зібрані матеріали необхідно впорядкувати для зручності роботи. Найкраще використовувати програму PureRef, яка дозволяє створити єдине віртуальне полотно для відображення референсів. Завдяки низьким вимогам до ресурсів та можливості фіксації вікна поверх інших програм, PureRef стає ідеальним інструментом для організації референсів під час роботи у Blender або інших 3D-програмах. На цьому етапі важливо розмістити референси так, щоб вони були легко доступні та могли швидко використовуватися для перевірки деталей під час створення моделі.

На завершення цього етапу ми маємо чітке уявлення про вигляд вертольота, його конструктивні особливості, текстури та матеріали зображених на (див. рис. 3.1). Результати пошуку всіх важливих елементів для розробки локації можете побачити у Додаток А.

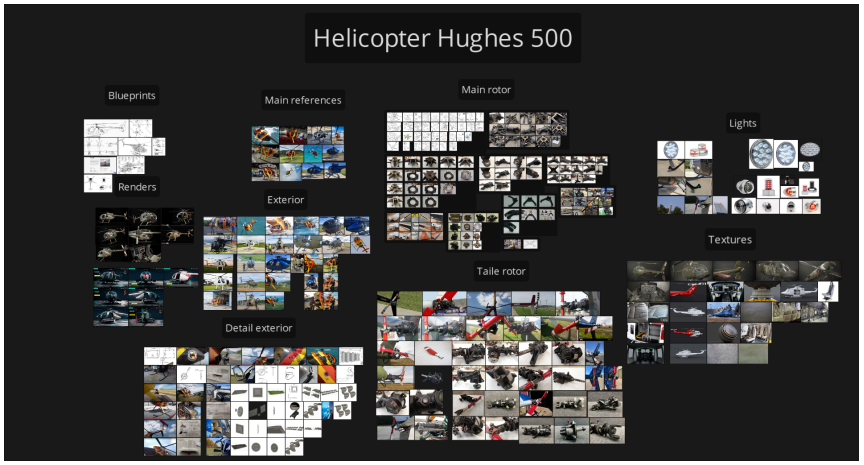


Рисунок 3.1 – Рефборд головної моделі.

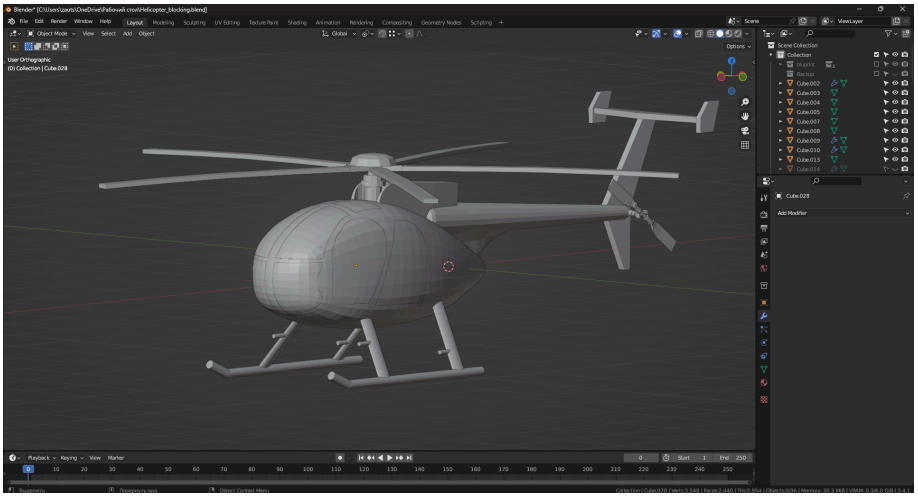
Блок-аут є першим кроком у створенні 3D-моделі, під час якого формується базова низькополігональна структура об’єкта. Основна мета цього етапу — визначити загальну форму, пропорції та масштаб моделі, спираючись на зібрані референси. Блок-аут не вимагає високої деталізації, оскільки головний акцент робиться на побудові коректного об’єму, що стане основою для подальшої роботи.

Робота починається з використання простих геометричних примітивів у програмі Blender. Для створення фюзеляжу застосовуються модифіковані куби,

які повторюють загальні обводи корпусу вертольота. Лопаті гвинта формуються за допомогою плоских прямокутників або тонких циліндрів, а хвостова частина моделюється з подовжених кубів. Кожна частина вертольота створюється як окремий об'єкт, що дозволяє легко коригувати пропорції й розташування елементів (див. рис. 3.6).

На цьому етапі важливо слідкувати за дотриманням правильних пропорцій відповідно до референсів. Зазвичай у вигляді фону додаються технічні креслення або зображення з проекціями вертольота, що допомагає порівнювати створену форму з реальною. Використання таких референсів дає змогу уникнути значних помилок у масштабах та взаєморозташуванні елементів.

Результатом блок-ауту вертольота, є базові форми які дозволяє візуалізувати його форму та масштаб (див. рис. 3.2).



Рисинок 3.2 – Блок-аут вертоліта.

Моделювання є ключовим етапом, під час якого базова форма, створена на етапі блокінгу, перетворюється у деталізовану 3D-модель вертольота. Основна мета цього процесу — досягти балансу між достатньою деталізацією та оптимальною кількістю полігонів, яка відповідає вимогам mid-poly. Це дозволяє зберегти реалістичний вигляд моделі, придатний для використання у сучасних ігрових рушіях [63].

Робота розпочинається з додавання деталей до базової форми. Для цього у Blender використовуються основні інструменти моделювання. Команда Extrude дозволяє створювати виступи чи виїмки, що деталізують корпус, такі як двері, панелі обшивки, місця кріплення гвинтів. Інструмент Inset застосовується для створення вікон та інших заглиблених елементів. Для формування округлих чи скошених країв використовують Bevel, що додає плавності контурам, а Loop Cut дозволяє додати додаткові сегменти для подальшої деталізації.

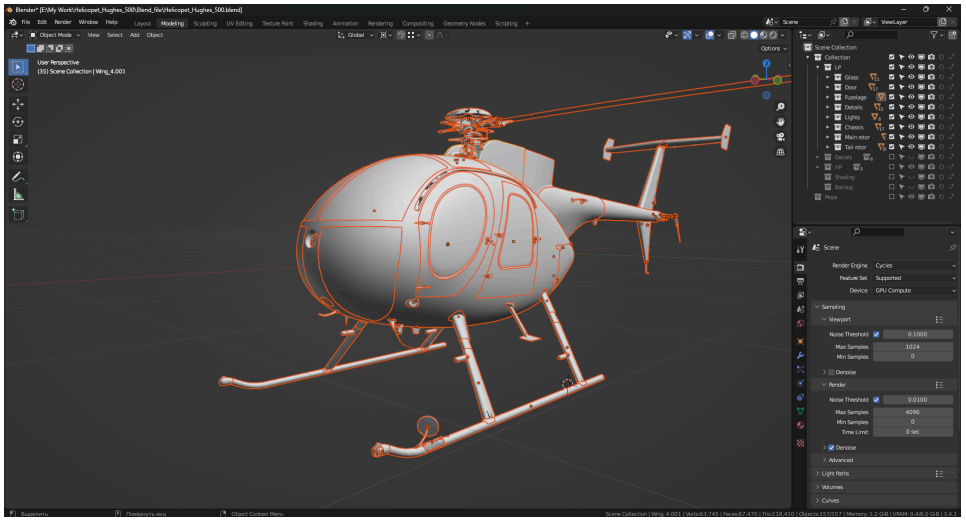
На цьому етапі важливим аспектом є використання спеціальних модифікаторів. Mirror дозволяє симетрично відображати частини моделі, наприклад, шасі або лопаті, що значно скорочує час роботи. Subdivision Surface може використовуватися для згладжування форм, але лише за умови, що це не суперечить вимогам до кількості полігонів. Weighted Normals і техніка використання кастомних нормалей застосовуються для покращення відображення світла на поверхнях моделі без необхідності додавання зайвих полігонів.

Додатково, під час роботи з кастомними нормалями, застосовуються інструменти для редагування кута нормалей, що дозволяє створювати ілюзію більшої деталізації. Ця техніка особливо корисна для роботи з mid-poly моделями, оскільки дозволяє досягти високоякісного візуального результату з мінімальними витратами на обчислювальні ресурси [64].

Далі здійснюється оптимізація топології моделі. Зайві полігони видаляються, щоб уникнути перевантаження, а сітка рівномірно розподіляється, що забезпечує гарну деталізацію без зайвої складності. Особливо важливо дотримуватися принципів чистої топології, щоб уникнути проблем із текстуруванням або анімацією в майбутньому.

Модель також готується до UV-розгортки, яка буде виконана на наступному етапі. Для цього забезпечується логічне розташування полігонів та уникнення трикутників у ключових ділянках, оскільки це може ускладнити текстурування.

Результатом цього етапу є завершена геометрія mid-poly моделі вертольота, готова для UV-розгортки, текстурування та інтеграції в робоче середовище (див. рис. 3.3). Результати завершеної геометрії у виді рендеру можете побачити у Додаток Б.



Рисинок 3.3 – Завершена геометрія mid-poly вертоліта.

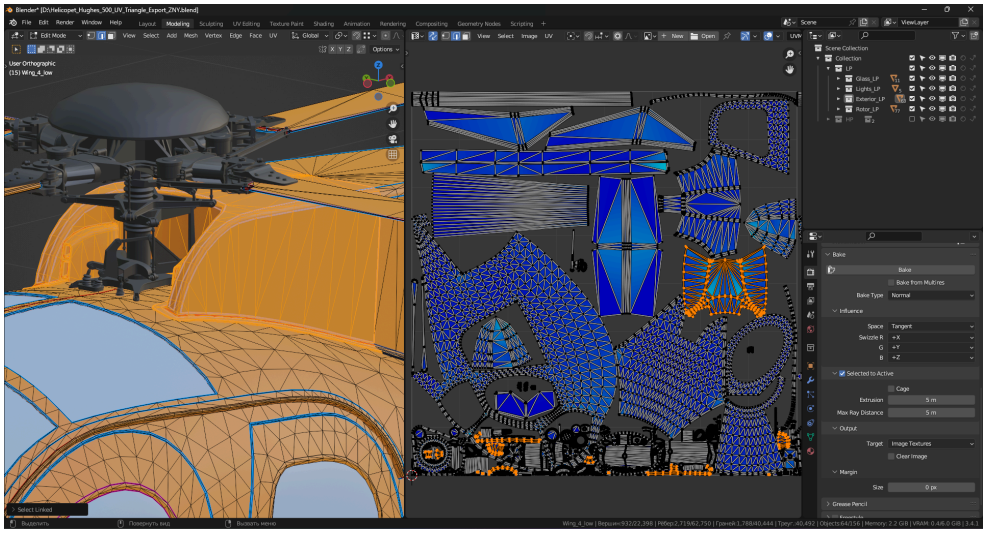
Робота з UV-розгорткою починається з ручного розгортання складних частин моделі. При ручному розгортанні особлива увага приділяється встановленню швів (seams), які визначають, де модель буде "розрізана" для розгортки. Шви розташовуються в малопомітних місцях, наприклад, уздовж кутів або на внутрішніх поверхнях.

Після створення UV-островів виконується їх розміщення на текстурному просторі. Головна мета — використати доступну площу максимально ефективно, щоб уникнути зайвого порожнього простору. Великі та важливі деталі, такі як корпус і лопаті, отримують більше місця на мапі, що дозволяє наносити текстури з високою роздільною здатністю. Менші елементи, такі як кріплення чи шасі, розміщуються у менш пріоритетних зонах. У Blender застосовуються функції автоматичної упаковки UV-островів, які можна коригувати вручну для досягнення найкращого результату (див. рис. 3.4).

Наступним кроком є тестування UV-мапи на наявність спотворень і помилок. Для цього на модель накладається тестова текстура (наприклад, сітка з

квадратами). Якщо квадрати виглядають рівними і не викривленими, UV-розгортка виконана правильно. Додатково перевіряються перекриття UV-островів, оскільки вони можуть викликати артефакти під час текстурування.

На виході створюється оптимізована UV-мапа моделі вертольота. Вона гарантує коректне нанесення текстур на всі частини моделі, дозволяючи досягти високої якості текстурування з мінімальними витратами текстурного простору. Готова UV-мапа стає основою для наступного етапу — текстурування, де будуть створені матеріали та нанесені всі необхідні візуальні деталі.



Рисинок 3.4 – UV-розгортка вертоліта.

Етапи запікання текстур і текстурування забезпечують моделі реалістичний вигляд, додаючи деталізацію за допомогою текстурних карт і матеріалів. Ці процеси доповнюють mid-poly модель деталями, які не присутні у її геометрії, але суттєво впливають на сприйняття об’єкта.

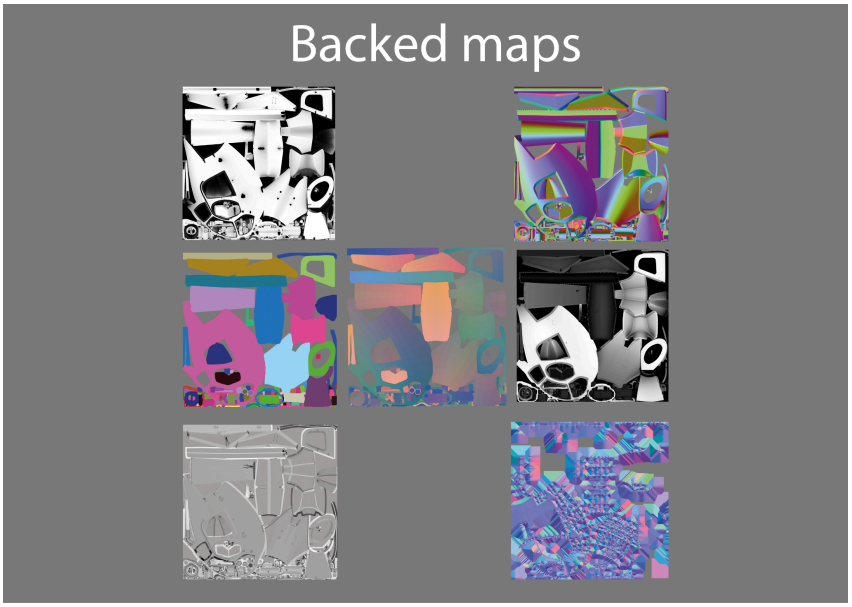
На етапі запікання текстур модель експортується у форматі FBX або OBJ та завантажується у програму Marmoset Toolbag. Тут виконуються процеси, які дозволяють перенести високодеталізовану інформацію (якщо створювалася high-poly модель) на mid-poly об’єкт у вигляді текстурних карт. Навіть якщо

high-poly модель відсутня, карти нормалей і Ambient Occlusion все одно створюються на основі mid-poly геометрії.

Процес починається із запікання ключових карт:

- Normal Map: додає візуальні деталі (виїмки, виступи), які не представлені в геометрії.
- Ambient Occlusion (AO): створює ефект м'якого затемнення в місцях стиків та поглиблень.
- Curvature Map: використовується для текстурування, виділяючи кути та контури.

Після завершення запікання карти ретельно перевіряються на наявність артефактів. За необхідності вносяться коригування у UV-мапу або параметри запікання. Результатом цього етапу є набір базових текстурних карт (див. рис. 3.5), додають моделі деталізацію та слугують основою для подальшого текстурування .



Рисинок 3.5 – Запечені текстурні карти.

На етапі текстурування модель завантажується у Substance Painter, де створюються фізично коректні матеріали (PBR-текстури). Основна увага

приділяється деталізації поверхонь, наданню реалістичності за допомогою текстур і ефектів.

Процес текстурування включає:

- Нанесення базових текстур: визначення основних матеріалів, таких як метал для корпусу, скло для кабіни, гума для шасі.
- Додавання деталей: за допомогою "розумних" матеріалів і масок створюються ефекти потертостей, подряпин, іржі або забруднень. Наприклад, на корпусі вертольота можна додати легкі сліди експлуатації, які підкреслюють реалістичність моделі.
- Фінальне налаштування: проводиться корекція відбиттів, блиску та прозорості. Це дозволяє забезпечити правильне відображення металевих поверхонь чи скла кабіни.

У процесі текстурування результат постійно перевіряється у режимі реального часу за допомогою вбудованого PBR-рендера. Це дозволяє оцінити вигляд моделі під різними кутами освітлення (див. рис. 3.6).



Рисинок 3.6 – Текстурування вертоліта у Substance Painter.

Після завершення текстурування створюються і експортуються всі необхідні текстурні карти, зокрема:

- Base Color: основний колір об’єкта.
- Normal Map: для деталізації поверхонь.

- Metallic і Roughness: для регулювання відбивних властивостей матеріалів.

Всі готові текстурні карти головної моделі можете побачити у Додатку В.

У підсумку отримуємо готову mid-poly модель із усіма необхідними текстурними картами, повністю підготовлену до експорту. Вона має високу деталізацію та створює враження високополігональної моделі, залишаючись оптимізованою для продуктивності у форматі mid-poly. Усі інші пропси та деталі оточення створюються за таким же пайплайном. Рендери відтекстурованної головної моделі та пропсів добавленні у Додатку Г.

3.3. Візуалізація ігрової сцени

Фінальним етапом розробки є процес візуалізації ігрової сцени, який реалізується в середовищі Blender з подальшим рендерингом у спеціалізованому ігровому рендер-рушії Eevee. Даний етап має ключове значення у виробничому циклі, оскільки саме він дозволяє об’єднати створені раніше 3D-моделі, текстури та освітлення в єдину гармонійну композицію. У процесі візуалізації досягається високий рівень деталізації сцени, що дозволяє продемонструвати її реалістичний вигляд, художню завершеність та технічну якість.

Перший етап створення ігрової локації передбачає імпорт всіх підготовлених 3D-моделей, текстурних карт та допоміжних матеріалів у середовище Blender. Цей етап є фундаментальним у виробничому процесі, оскільки саме на ньому визначається взаємодія між усіма елементами сцени, їхня логіка розташування та загальна композиційна структура [65].

Усі елементи, від основних об’єктів (наприклад, вертольота) до дрібних декоративних деталей, інтегруються у єдину робочу сцену. Після імпорту всіх підготовлених 3D-моделей, текстурних карт та допоміжних матеріалів у середовище Blender, наступним важливим етапом є налаштування їхніх візуальних характеристик. Від цього залежить, як об’єкти виглядатимуть у фінальній сцені, а також наскільки реалістично вони інтегруватимуться у загальну композицію. На цьому етапі центральну роль відіграє Shader Editor —

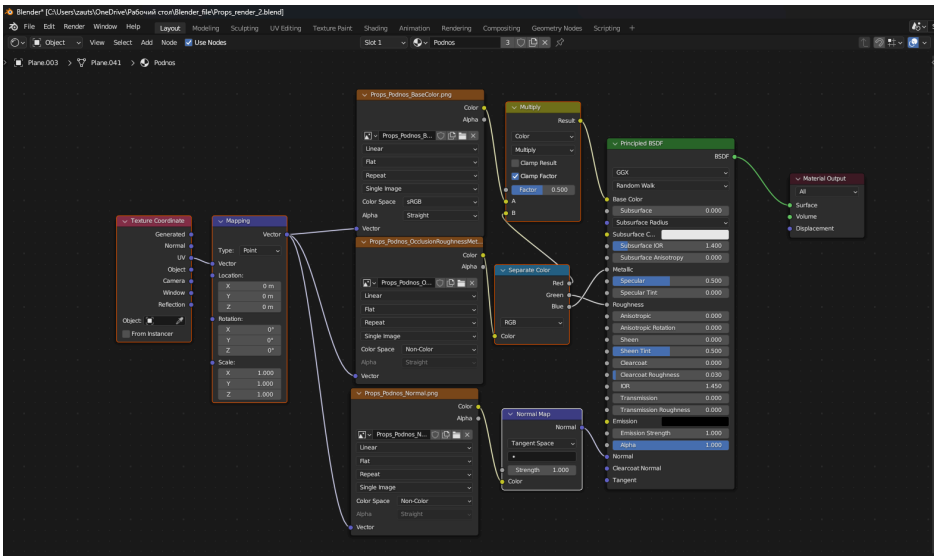
потужний інструмент для створення та коригування матеріалів, який дозволяє забезпечити високий рівень деталізації та естетичної привабливості об’єктів.

Shader Editor дозволяє досягти високої точності у налаштуванні фізичних властивостей матеріалів, таких як відбивання, прозорість та металічність. Ці параметри є критично важливими для створення реалістичних об'єктів, оскільки визначають їхню взаємодію з освітленням, середовищем та іншими елементами сцени. Використання цього інструменту є невід'ємною частиною процесу, що забезпечує гармонію між технічними характеристиками матеріалів і художнім задумом.

Налаштування матеріалів базується на методі PBR , що ґрунтується на фізичних принципах взаємодії світла і поверхонь. Це дозволяє створювати матеріали, які виглядають реалістично незалежно від умов освітлення.

До кожного об'єкта підключаються текстурні карти (Base Color, Normal, Metallic, Roughness, Ambient Occlusion), створені на попередніх етапах. У середовищі Blender текстури перевіряються на коректність відображення, а матеріали налаштовуються для максимальної відповідності реалістичному освітленню.

Налаштування матеріалів у Shader Editor виконується через систему вузлів, які забезпечують модульний підхід до створення текстур і шейдерів (див. рис. 3.7). Це дозволяє гнучко змінювати параметри та додавати додаткові ефекти [66].



Рисинок 3.7 – Система вузлів Shader Editor.

Після завершення налаштування матеріалів у Shader Editor, яке забезпечує реалістичність та якість текстур, наступним етапом є інтеграція об’єктів у загальну композицію сцени. На цьому етапі ключове значення має не лише вигляд кожного об’єкта окремо, але й їхнє розташування у просторі, гармонійна взаємодія з іншими елементами та відповідність концепції гри.

Точне позиціонування моделей у сцені є необхідним для досягнення балансу між художньою виразністю та функціональністю. Всі об’єкти, від основних до другорядних, мають бути розташовані так, щоб підкреслювати ключові елементи сцени, створюючи естетично привабливий і логічно обґрунтований простір. У цьому контексті особливу роль відіграють правила перспективи, пропорцій і освітлення, які не лише підсилюють візуальну якість, але й сприяють глибшому зануренню гравця в ігровий процес.

Ігрова локація в межах цього проекту виконує роль багатофункціонального хабу — центральної бази, що поєднує технічні, ігрові та художні аспекти. Хаб виступає місцем, де гравець здійснює основну підготовку до місій, обирає транспорт, модернізує обладнання, а також занурюється в атмосферу ігрового світу. Його дизайн та функціональність створені таким чином, щоб забезпечити гравцеві максимально комфортний і водночас інтерактивний досвід.

Центром локації є вертолітний майданчик, який забезпечує гравця необхідною технікою для виконання завдань. Обираючи транспорт, гравець враховує низку факторів:

- Тип місії: Для завдань, які передбачають дальні рейси, використовується транспорт із підвищеною дальністю польоту або додатковими паливними баками. Для точкових місій підходять компактні вертольоти з високою маневровістю.
- Час доби: Динаміка ігрового часу (день/ніч) впливає на складність місій та необхідність використання спеціального обладнання. Наприклад, у нічний час гравцеві можуть бути потрібні інфрачервоні сенсори, додаткове освітлення чи глушники для уникнення виявлення.
- Погодні умови: Якщо передбачені погодні ефекти (туман, дощ, сніг), вибір техніки також адаптується до цих умов.

Майданчик інтегрований у загальну структуру хабу таким чином, що гравець інтуїтивно розуміє його функцію. Це забезпечує не лише зручність, але й гармонійний зв’язок між локацією та геймплеєм.

Однією з ключових функцій хабу є можливість модернізації техніки. Гравець може змінювати:

- Обладнання: Встановлювати додаткові модулі, наприклад, бронювання, сенсори, радарні системи чи засоби активної протидії.
- Зовнішній вигляд: Фарбування корпусу, нанесення емблем чи логотипів, що додає персоналізації.
- Технічні характеристики: Підвищення швидкості, вантажопідйомності, енергоефективності тощо.

Процес модернізації побудований так, щоб бути доступним і зрозумілим, але водночас стимулювати гравця до стратегічного планування. Наприклад, обмежені ресурси змушують гравця обирати між посиленням захисту чи збільшенням дальності польоту, залежно від типу майбутньої місії.

Особливістю хабу є інтеграція динаміки часу доби, яка безпосередньо впливає на доступність завдань та їхню складність:

- Денний час: Завдання можуть бути пов’язані з відкритими територіями та більшою активністю союзників. Гравець використовує транспорт із покращеною видимістю та маневреністю.
- Нічний час: Завдання часто передбачають прихованість, що вимагає оснащення техніки інфрачервоними датчиками, глушниками та спеціальними приладами нічного бачення.

Динамічний перехід між часом доби створює реалістичний ритм гри та додає варіативності завданням. Гравець має можливість вибирати, виконувати завдання вдень чи вночі, залежно від своїх переваг та наявного обладнання.

Хаб створений не лише як функціональна база, а й як простір, який захоплює своєю атмосферністю. Локація включає:

- Деталізовані текстури: Точна проробка поверхонь, таких як металева обшивка вертольота, бетонні покриття майданчика або зелень довколишнього ландшафту.
- Реалістичне освітлення: Освітлення динамічно змінюється залежно від часу доби, створюючи реалістичний контраст між денним сонячним світлом і м’яким штучним освітленням уночі.
- Візуальні ефекти: Елементи навколишнього середовища, такі як рухомі хмари, легкий вітер, що колихає траву, або проблиски прожекторів, додають локації живості.

Гравець може досліджувати хаб, насолоджуючись мальовничими видами. Наприклад, вертолітний майданчик може мати оглядові точки, з яких відкриваються панорамні краєвиди на навколишню територію. Це додає грі емоційного аспекту, дозволяючи гравцеві зробити паузу між місіями та просто насолодитися деталізацією світу.

Локація інтерактивна: гравець може взаємодіяти з об’єктами, які додають глибини ігровому досвіду. Наприклад:

- Активні об’єкти: Панелі управління, монітори чи індикатори, які дозволяють гравцеві налаштовувати техніку або отримувати дані про завдання.

- Декоративні елементи: Інтерактивні деталі, такі як плакати чи технічна документація, розширюють розуміння світу гри, додаючи контекст і сюжетну глибину.
- Навчальні елементи: Підказки або інформаційні зони в хабі можуть допомагати новим гравцям швидше освоювати механіки гри.

Роль хабу в загальній структурі гри

Еволюція хабу як центрального елемента гри вимагає ретельного опрацювання не лише з точки зору художньої композиції, але й з технічної перспективи. Щоб забезпечити плавність роботи навіть у масштабних сценах із великою кількістю об’єктів, необхідно застосовувати ефективні методи оптимізації графічних ресурсів. Одним із таких методів є використання інстансів, що дозволяють знизити навантаження на графічний процесор (GPU), зберігаючи при цьому високу якість і деталізацію сцени.

Технологія інстансування базується на принципі збереження лише однієї копії об'єкта у відеопам'яті, тоді як всі інші екземпляри цього об'єкта є лише посиланнями на вихідні дані. Це означає, що замість дублювання геометричних даних кожного окремого об'єкта, у пам'яті зберігається лише інформація про їх позицію, обертання та масштаб. Таким чином, кожен інстанс виглядає як окремий об'єкт у сцені, але не створює додаткового навантаження на GPU.

У масштабних ігрових сценах, таких як ландшафт із великою кількістю рослинності, використання інстансів є критично важливим. Наприклад:

- Пальми та дерева: У сценах із тропічними чи лісовими середовищами можна використовувати одну модель пальми або дерева, інстансуючи її десятки або навіть сотні разів. Це дозволяє створювати густі ліси чи сади без значного впливу на продуктивність.
- Трава: Інстансування трави дозволяє покривати великі площі деталізованим покриттям. Кожна "жменька" трави є інстансом одного і того ж об'єкта.

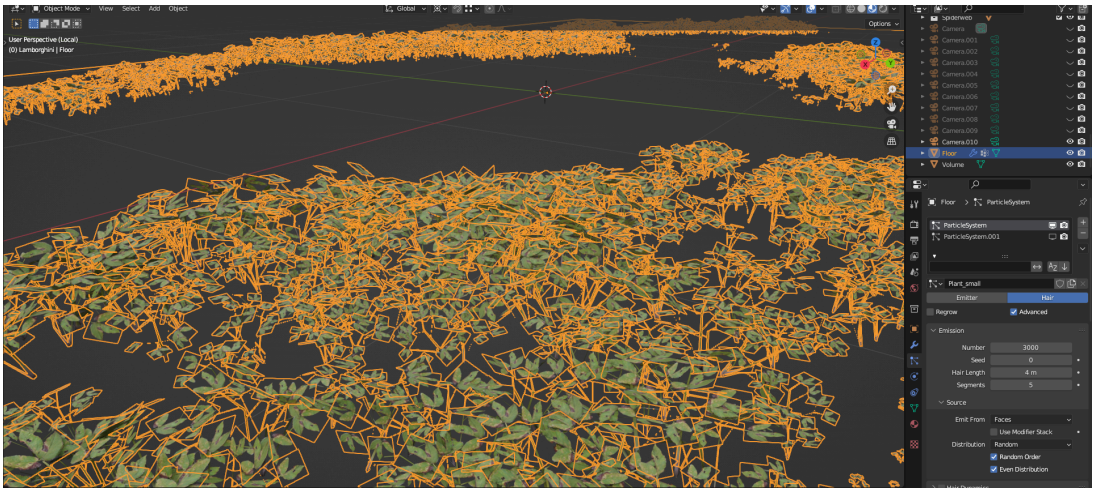
- Паркани та архітектурні елементи: Повторювані структури, такі як огорожі, сходи або будівельні блоки, також створюються за допомогою інстансів, зберігаючи ресурси і забезпечуючи зручність редагування.

Використання інстансів забезпечує кілька ключових переваг:

1. Економія пам'яті: Завдяки зберіганню лише однієї копії даних у відеопам'яті, використання інстансів дозволяє значно зменшити споживання пам'яті навіть у дуже деталізованих сценах.
2. Швидший рендеринг: GPU виконує обробку геометрії інстансів швидше, оскільки обчислення базуються на одному наборі даних.
3. Масштабованість сцени: Інстансування дозволяє створювати сцени, які містять десятки тисяч об'єктів, без значного впливу на частоту кадрів (FPS).
4. Зручність редагування: Зміни у вихідному об'єкті автоматично відображаються у всіх інстансах, що спрощує роботу дизайнера.

Більшість сучасних програм для 3D-моделювання та ігрових рушіїв підтримують технологію інстансування. У середовищі Blender, наприклад, інстанси реалізуються через використання "Linked Duplicates" або спеціальних модифікаторів, таких як Particle Systems для генерації рослинності (див. рис. 3.8) [67].

В ігрових рушіях, таких як Unreal Engine або Unity, технологія інстансування реалізована через інструменти для створення матеріалів і геометрії, що дозволяють автоматизувати процес розташування інстансів на великих площах.



Рисинок 3.8 – Particle Systems у Blender.

Освітлення є одним із найважливіших компонентів у процесі створення тривимірних сцен, оскільки воно безпосередньо впливає на сприйняття композиції, атмосферу та реалістичність сцени. У середовищі Blender налаштування освітлення виконується за допомогою різноманітних інструментів і методів, які забезпечують гнучкість у створенні художньо та технічно довершеного вигляду сцени.

Blender пропонує кілька типів джерел світла, кожен із яких має своє призначення залежно від потреб сцени:

1. Точкове освітлення (Point Light):

Джерело світла, яке випромінює світло у всіх напрямках із однієї точки. Цей тип освітлення використовується для симуляції штучних джерел, таких як лампи чи свічки, або для додавання акценту на конкретні об'єкти. Точкове світло підходить для створення м'яких тіней і локального підсвічування.

2. Спрямоване освітлення (Spot Light):

Прожектор, який випромінює світло у формі конуса, дозволяючи зосередити світло на певній області. Використовується для підкреслення ключових деталей, таких як центральний об’єкт сцени (наприклад, модель вертольота). Завдяки параметрам кута розсіювання та інтенсивності, спрямоване світло дозволяє створювати виразні акценти.

3. Площинне освітлення (Area Light):

Джерело світла з великою площею випромінювання. Застосовується для створення м’якого та рівномірного освітлення. Цей тип освітлення часто використовується для симуляції світла від великих об’єктів, таких як вікна чи екрани.

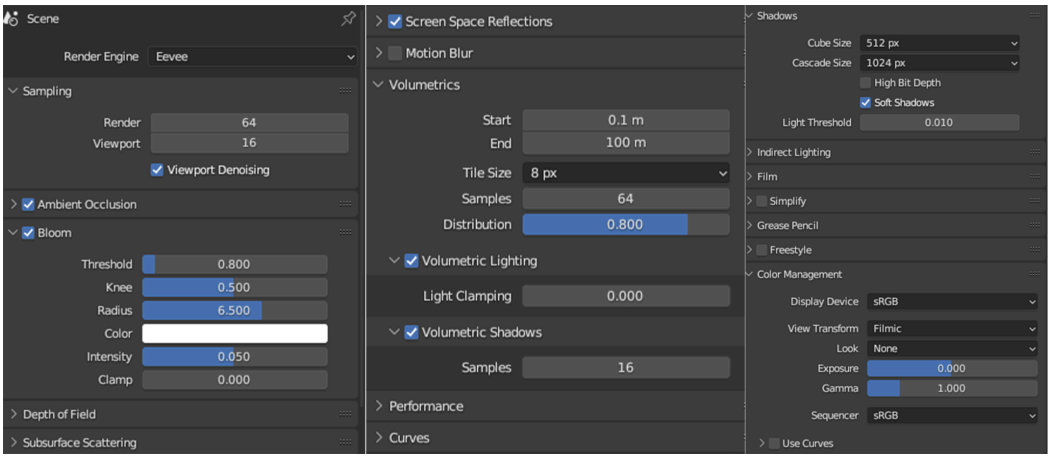
4. Глобальне освітлення (Environment Light):

Відповідає за освітлення всього простору сцени, імітуючи природне або навколишнє світло. Це джерело є особливо корисним для великих відкритих сцен, таких як ігрові локації.

Для створення природного освітлення часто застосовуються HDRI (High Dynamic Range Imaging) карти, які є високоякісними сферичними зображеннями, що містять інформацію про освітлення, кольори та відображення. HDRI дозволяють створювати реалістичне навколишнє освітлення, що значно покращує загальну якість сцени.

Після ретельного налаштування освітлення, яке визначає основний тон сцени та підкреслює ключові елементи композиції, наступним кроком є обробка сцени за допомогою постефектів. Цей етап дозволяє додати останні штрихи до візуального оформлення, такі як глибина, об’ємність і атмосфера, які роблять сцену завершеною.

Для фінальної візуалізації у реальному часі використовується рушій Eevee, який є одним із найсучасніших інструментів у Blender. Основні переваги Eevee полягають у його здатності поєднувати якість із швидкістю, що робить його оптимальним вибором для попереднього рендерингу або фіналізації сцен, які не потребують фізично точного обчислення світла (див рис 3.9) [68, с. 55].



Рисинок 3.9 – Налаштування Render Engine Eevee.

Ключові технології Eevee:

- Screen Space Reflections (SSR): Ця технологія забезпечує реалістичні відбиття на поверхнях, таких як метал чи вода, враховуючи лише ті об’єкти, які видно на екрані. SSR є швидким і ефективним способом створення відбиттів у реальному часі.
- Ambient Occlusion: Eevee забезпечує обчислення затінення у місцях контакту об’єктів, що додає сцені глибини та реалізму. Використання AO покращує сприйняття геометрії без значного збільшення обчислювальних витрат.
- Volumetrics: Обробка об’ємного світла та туману у Eevee виконується швидко і з високою якістю, дозволяючи створювати складні ефекти атмосферного розсіювання без необхідності у дорогих обчисленнях.
- Bloom: Цей ефект додає м’яке сяйво довкола яскравих джерел світла, що робить сцену більш кінематографічною та естетично привабливою.

Для досягнення оптимального результату при використанні Eevee необхідно правильно налаштувати параметри рендерингу:

Роздільна здатність: Забезпечує чіткість деталей сцени, особливо для великих екранів чи друку.

Якість тіней: Налаштування рівня деталізації тіней дозволяє уникнути артефактів.

Інтенсивність постефектів: Баланс між глибоким драматизмом та природністю освітлення досягається шляхом тонкого налаштування ефектів туману, відблисків та AO.

Eevee дозволяє досягти високої реалістичності завдяки своїй потужній системі обробки графіки. В результаті візуалізації отримується високоякісна сцена, що демонструє всі створені моделі та їхню інтеграцію у реалістичне ігрове середовище. Освітлення, текстури та атмосферні ефекти гармонійно поєднуються, створюючи емоційно насичену та технічно досконалу композицію.

Фінальна візуалізація у Eevee є завершальним етапом реалізації концепції, який об’єднує технічну та художню складові Додаток Ґ. Високоякісна сцена не лише демонструє створені моделі та їх інтеграцію у реалістичне середовище, а й підкреслює геймплейну функціональність локації. Такий підхід забезпечує ефективне використання сцени як ігрової платформи, що відповідає сучасним вимогам до ігрових проектів і презентацій.

ВИСНОВКИ

Популярність Mid Poly моделювання в сучасній ігровій індустрії постійно зростає, адже цей підхід забезпечує оптимальний баланс між якістю візуалізації, деталізацією об’єктів та ефективністю їхньої роботи на різних платформах. Даний проект є внеском у дослідження технологічних аспектів створення Mid Poly моделей та їх інтеграції в ігрові локації. Отримані результати демонструють значний потенціал цього підходу у розвитку тривимірної графіки для інтерактивних середовищ.

Згідно з поставленими завданнями, було проведено детальний аналіз сучасних методів створення Mid Poly моделей, що включав вивчення технічних аспектів моделювання, оптимізації та текстурування. Розглянуто інноваційні технології, такі як PBR-текстурування, декалі, які стали основою для досягнення високої деталізації моделей при збереженні їхньої продуктивності. Було обґрунтовано актуальність цього дослідження в контексті зростаючих вимог до якості графіки у відеоіграх, а також з точки зору оптимізації виробничих процесів у студіях.

Проведено огляд аналогів і прототипів ігрових локацій, які використовують Mid Poly підхід. Це дозволило визначити ключові тенденції у створенні тривимірного ігрового контенту та виявити найбільш ефективні технології для реалізації цілей проекту. Аналіз прикладів із реальних ігрових проектів підтвердив важливість поєднання технічної складності та художньо-естетичної якості моделей.

У рамках роботи розроблено концепцію ігрової локації, яка включає стратегію організації простору, інтерактивні елементи та візуальний дизайн. Було визначено технічні та естетичні особливості розробки Mid Poly моделей, що дозволило створити вертоліт як центральний об’єкт локації та додаткові пропси, такі як вертолітний майданчик, технічне обладнання, рослинність і кам’яні елементи. Усі об’єкти було створено з урахуванням вимог до

продуктивності та реалістичності, а їхній дизайн базувався на аналізі реальних референсів і схожих ігрових проектів.

Моделі було інтегровано у сцену, створену в середовищі Blender, що дозволило налаштувати взаємодію між об’єктами, текстурами та світловими ефектами. Завдяки фінальному рендерингу у рушії IVEE досягнуто високого рівня реалістичності, який підкреслюється налаштованими текстурами, HDRI та атмосферними ефектами, такими як туман і динамічне освітлення. Ці елементи зробили фінальну сцену візуально насиченою та відповідною до сучасних стандартів індустрії.

Результатом проекту стала оптимізована ігрова локація, яка включає всі необхідні елементи для інтеграції у реальні проекти. Ця робота підтвердила доцільність використання Mid Poly моделювання для створення деталізованих і водночас продуктивних тривимірних сцен. Отримані результати демонструють практичну значущість і перспективність Mid Poly підходу у розвитку сучасної ігрової графіки та його здатність задовольнити вимоги до якості і продуктивності у відеоіграх нового покоління.

За матеріалами кваліфікаційної роботи було опубліковано тези доповіді на тему: «Mid Poly у 3D-моделюванні: Баланс між Low Poly і High Poly та особливості текстурування» у збірці праць за матеріалами міжнародної науково-практичної конференції «Дизайн, візуальне мистецтво та творчість: сучасні тенденції та технології» (12 грудня 2024, м. Запоріжжя).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Козачук К., Вітушинський А., Ковальський А. Технології розробки 3D-моделей лабораторних приладів для віртуального навчального середовища. *Матеріали* VI *Міжнародної студентської науково-технічної конференції „Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання“*. Київ. 2023. С. 154–155.
2. Твердохліб І. А., Деркач А. С. Дослідження стану вивчення 3D-моделювання в школах України та світу. У*країнський педагогічний журнал.* Київ. 2023. С. 296–298.
3. Patscheider M. Artstation. URL: https://matthias-patscheider.artstation.com/projects/D55b8o (дата звернення: 05.11.2024).
4. Деркач А. І. Історія розвитку та сучасний стан 3D моделювання. *Науковий вісник Південноукраїнського національного педагогічного університету.* Харків : ПНПУ, 2023. № 4. С. 45–58
5. Romero J., Carmack J. The Art and Technology Behind Doom and Quake. *Retro Game Developers Review*. New York : Retro Games Publishing, 1997. № 1. С. 12–25.
6. Грабченко А. І.., Доброскок В. Л. Теорія 3D моделювання: навчальний посібник. Харків: НТУ “ХПІ”, 2009. 230 с.
7. Ubisoft Montreal. Assassin's Creed: The Journey to Realistic Game Design. Ubisoft White Papers. Montreal : Ubisoft, 2008. P. 32–38.
8. Varnell T. The Development of Unreal Engine and its Role in Gaming Graphics. *ACM SIGGRAPH*. 2015. № 3. P. 44–51.
9. Harris D. Physically-Based Rendering for VR and AR Applications. *VR Developers Journal.* 2020. № 7. P. 23–37.
10. Goodall R. The evolution of GPU architecture: A focus on 3D modeling applications. *Computer Graphics Journal*. 2022. Vol. 38, No. 4. P. 45–59.
11. Kirk D. NVIDIA CUDA software and GPU parallel computing architecture. *ISMM*. New York : ISMM Publishing, 2007. Vol. 7. P. 103–104.

12. Home of the Blender project. URL: https://www.blender.org (дата звернення: 11.8.2024).
13. Autodesk Maya. URL: https://www.autodesk.com/products/maya/overview?term=1-YEAR&tab=subscription (дата звернення: 12.8.2024).
14. McDermott P. Procedural Modeling in Houdini: Advanced Workflows. *ACM SIGGRAPH*. 2021. С. 23–37.
15. 3D-моделювання для ігор (створення моделей для ігор). KLONA. URL: https://klona.ua/uk/blog/3d-modeling-and-visualization-uk/3d-modelyuvannya-dlya-igor-stvorennya-model (дата звернення: 23.09.2024).
16. Burnes A. The Witcher 3: Wild Hunt Graphics, Performance & Tweaking Guide. NVIDIA. URL: https://www.nvidia.com/en-us/geforce/news/the-witcher-3-wild-hunt-graphics-performance-and-tweaking-guide/. (дата звернення: 14.9.2024).
17. CD Projekt Red. Cyberpunk 2077. URL : https://www.cyberpunk.net/us/ru/cyberpunk-2077 (дата звернення: 14.9.2024).
18. Weta Digital. Behind the Scenes of Avatar. 2010. URL: https://www.cnet.com/pictures/avatar-behind-the-scenes-at-weta-digital/ (дата звернення: 12.8.2024).
19. Disney Animation Studios. Frozen II Production Notes. Disney Archives.2019. 15 p.
20. Cardoso C. Mastering Lumion 3D. Birmingham: Packt Publishing, 2014. 269 p.
21. 3D-графіка: актуальність, напрями та думка експерта. UniverPL. URL: https://univerpl.com.ua/blog/3d-grafika-aktualnist-napryami-ta-dumka-eksperta/ (дата звернення: 24.09.2024).
22. Wang X., Ma W. Polygonal Modeling in Computer Graphics. *Computer-Aided Design and Applications*. Hong Kong. 2010. Vol. 7, No. 1. P. 91–102.

23. Botsch M., Kobbelt L., Pauly M., Alliez P., Lévy B. Polygon Mesh Processing. *CRC Press*. Natick. 2010. 250 p.
24. Allen M., Murdock K. L. Modeling for Games: Using 3ds Max, Maya, and Blender. *Focal Press*. Oxford. 2011. 464 с.
25. Reinhardt Z. Retopology in Blender (Beginner Tutorial) CG Boost. YouTube. URL: https://www.youtube.com/watch?v=X2GNyEUvpD4 (дата звернення: 12.09.2024).
26. Орлов Б. В. Створення та візуалізації 3D графіки в кіно. *Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського*. Київ. 2017. 2 с.
27. Baking Materials in Marmoset Toolbag 4. URL: https://www.military-references.com/2022/10/01/baking-materials-in-marmoset-toolbag-4/ (дата звернення: 10.10.2024).
28. Villanueva N. Beginning 3D Game Assets Development Pipeline: Learn to Integrate from Maya to Unity. *Apress*. New York. 2022. 22 p.
29. WTF are... NORMAL MAPS? YouTube. URL: https://www.youtube.com/watch?v=p-hA5KsY_Yg (дата звернення: 10.10.2024).
30. Statham W. Z., Jacob J., Fridenfalk M. Game environment art with modular architecture. *Entertainment Computing*. 2022. Vol. 41. 15 p.
31. К.П. Осадча, Г. Ю. Чемерис. Добір засобів тривимірного моделювання для процесу формування графічної компетентності майбутніх бакалаврів з комп'ютерних наук. *Information Technologies and Learning Tools*. 2017. Том 62, №6. С. 70-85. DOI: http://dx.doi.org/10.33407/itlt.v62i6.1713
32. Vaughan W. Digital Modeling. *New Riders*. 2012. 410 p.
33. Kerlow I. V. The Art of 3D Computer Animation and Effects. *John Wiley & Sons*. 2009. 451 p.
34. Що таке ретопологія? Lookinar URL: https://lookinar.com/uk/education-uk/shho-take-retopologiya (дата звернення: 14.9.2024).

35. Pharr M., Jakob W., Humphreys G. Physically Based Rendering: From Theory to Implementation. *MIT Press*. 2023. 1270 p.
36. Приймич, Я. Б., & Войцеховська, О. В. (2021). Візуалізації 3D моделей зі збереженням деталізації карт нормалей. *Вінницький національний технічний університет*. Вінниця. 2021. 4 с.
37. Smith J. Mid-Poly Modeling Techniques for Game Development. *Journal of Computer Graphics*. 2020. Vol. 15, No. 2. P. 123–130.
38. Hrynchuk I. Як шукати та аналізувати референси 3D художнику – PureRef. YouTube. URL: https://www.youtube.com/watch?v=EQ9Kliov0oY (дата звернення: 05.11.2024).
39. Мошинець Д. Д. 3D-моделювання для створення короткометражного ролику: кваліф. роб. магістр спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія». *Національний університет «Зіпорізька політехника»*. Запоріжжя, 2022, 76 с.
40. Гаврилов В. П. 3D-графіка: навчальний посібник. *ХНЕУ ім. С. Кузнеця*. Харків.2018. 135 с
41. Lykan HyperSport Mid-Poly game-ready model. Artstation. URL: https://www.artstation.com/artwork/LReJ6A (дата звернення: 23.7.2024).
42. Metro Exodus - Bastard Gun (Recreation). Artstation. URL: https://www.artstation.com/artwork/Rnb3lX (дата звернення: 23.7.2024).
43. Mechanical Pigeon. Artstation. URL: https://www.artstation.com/artwork/ao0Woz (дата звернення: 23.7.2024).
44. Cyberpunk 2077 Phantom Liberty: Nokota Osprey. Artstation. URL: https://www.artstation.com/artwork/8bqgzE (дата звернення: 23.7.2024).
45. Half Life - Alyx: Car C. Artstation. URL: https://www.artstation.com/artwork/XBqdwD (дата звернення: 23.7.2024).
46. T-54-2 Soviet Medium Tank. Artstation. URL: https://www.artstation.com/artwork/blkKOa (дата звернення: 23.7.2024).
47. Farming Simulator 19 | Pick-up. Artstation. URL: https://www.artstation.com/artwork/VdRZ9X (дата звернення: 23.7.2024).

48. John Deere 843L | Farming Simulator 22. Artstation. URL: https://www.artstation.com/artwork/8b8Gz6 (дата звернення: 23.7.2024).
49. Assassin's Creed Odyssey. Вікіпедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Assassin%27s_Creed_Odyssey (дата звернення: 21.11.2024).
50. The Last of Us Part II. Вікіпедія. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/The_Last_of_Us_Part_II (дата звернення: 21.11.2024).
51. Pixar. URL: https://www.pixar.com/ (дата звернення: 03.12.2024).
52. Industrial Light & Magic. URL: https://www.ilm.com/ (дата звернення: 03.12.2024).
53. Г. Ю. Чемерис. Аналіз засобів тривимірної графіки для навчання майбутніх бакалаврів з комп'ютерних наук. *Інформаційні технології в освіті та науці: зб. наук. пр.* Мелітополь, 2017. Том 1, №9. С. 283-287.
54. PureRef. URL: https://www.pureref.com/ (дата звернення: 05.12.2024).
55. Blender Manual. Версія 3.4. Blender Foundation. URL: https://docs.blender.org/manual/uk/3.4/ (дата звернення: 05.12.2024).
56. Пальчевський Б. О., Валецький Б., Вараніцький Т. Л. Системи 3d моделювання: навч. пос. Луцьк : ЛНТУ, 2016. 176 с.
57. Marmoset toolbag 5. URL: https://marmoset.co/ (дата звернення: 05.12.2024).
58. Adobe Substance 3D Painter. Adobe. URL: https://www.adobe.com/ua/products/substance3d/apps/painter.html (дата звернення: 05.12.2024).
59. 26 найкращих програм для 3D-моделювання. techukraine.net. URL: https://techukraine.net/26-найкращих-програм-для-3d-моделювання/ (дата звернення: 24.09.2024).
60. Helicopter Tours. URL: https://villacaribbeanjewel.com/activities/helicopter-tours/ (дата звернення: 26.06.2024).

61. Поліщук В. В., Вакалюк Т. А. 3D моделювання та візуалізація. Актуальні питання сучасної інформатики. 2017. Вип. 5. С. 85-86.
62. Strawn S. J., Schlenker L. Having a Career in Props. *The Properties Director's Toolkit*. Routledge, 2018. С. 203–214.
63. Маценко В. Г. Комп’ютерна графіка: навчальний посібник. Чернівці : Рута, 2009. 343 с.
64. Alexandrov G. Weighted Normal | Blender 2.8x Tutorial. Youtube. URL: https://www.youtube.com/watch?v=sqGFhiP-2mc (дата звернення: 29.11.2024).
65. Що таке дизайн відеоігор: основні принципи геймдизайну. Voki Games. URL: https://vokigames.com/ua/scho-take-dizajn-videoigor-osnovni-printsipi-gejmdizajnu/ (дата звернення: 23.09.2024).
66. Lampel, J. The beginners guide to Blender. 2015 URL: blenderhd.com (дата звернення: 12.08.2024).
67. BLENDER BASICS 9 - Duplicating, Joining, and Instancing. URL: https://www.youtube.com/watch?v=JlVwzbUFr_k (дата звернення: 11.10.2024).
68. Astuti, I. A., Purwanto, I. H., Hidayat, T., Satria, D. A., & Purnama, R. Comparison of time, size and quality of 3d object rendering using render engine Eevee and cycles in blender. *5th International Conference of Computer and Informatics Engineering (IC2IE)*. IEEE. 2022. (pp. 54-59).

ДОДАТОК А

Рефборди

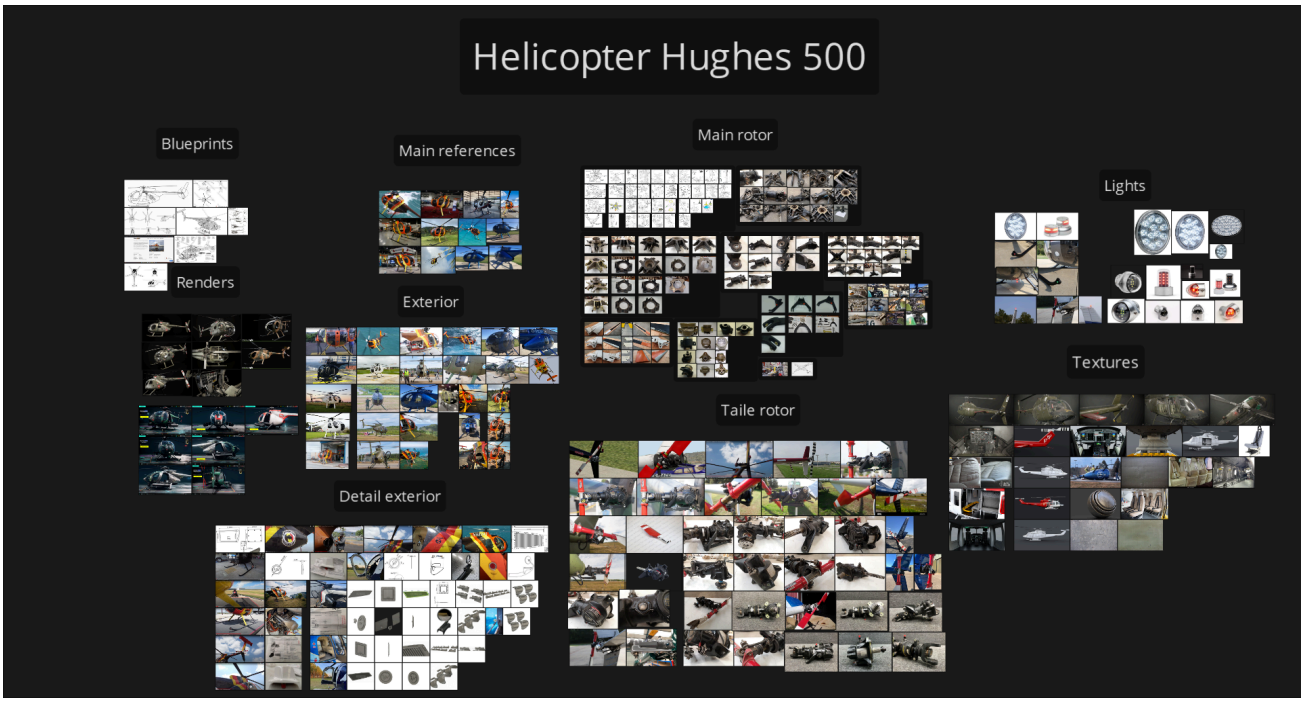


Рисунок А.1 – Рефборд Вертоліта Hughes 500



Рисунок А.2 – Рефборд пальмових рослин

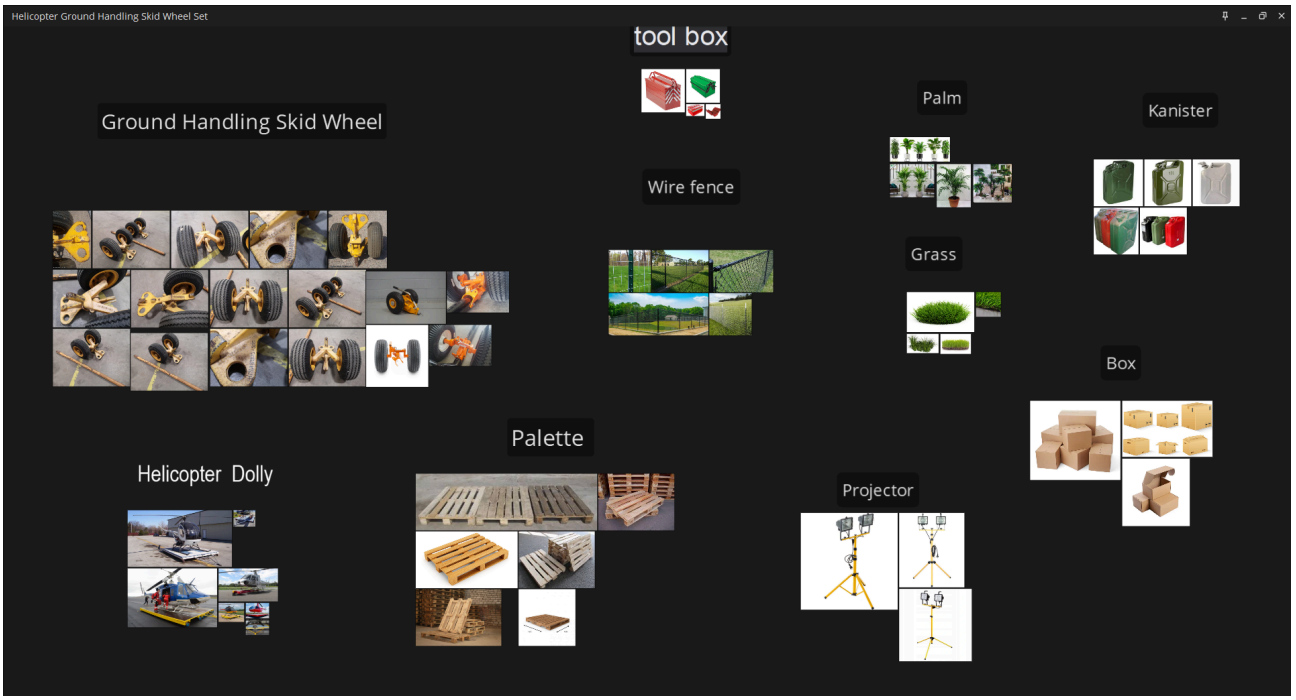


Рисунок А.3 – Рефборд пропсів

ДОДАТОК Б

Рендери сірмату





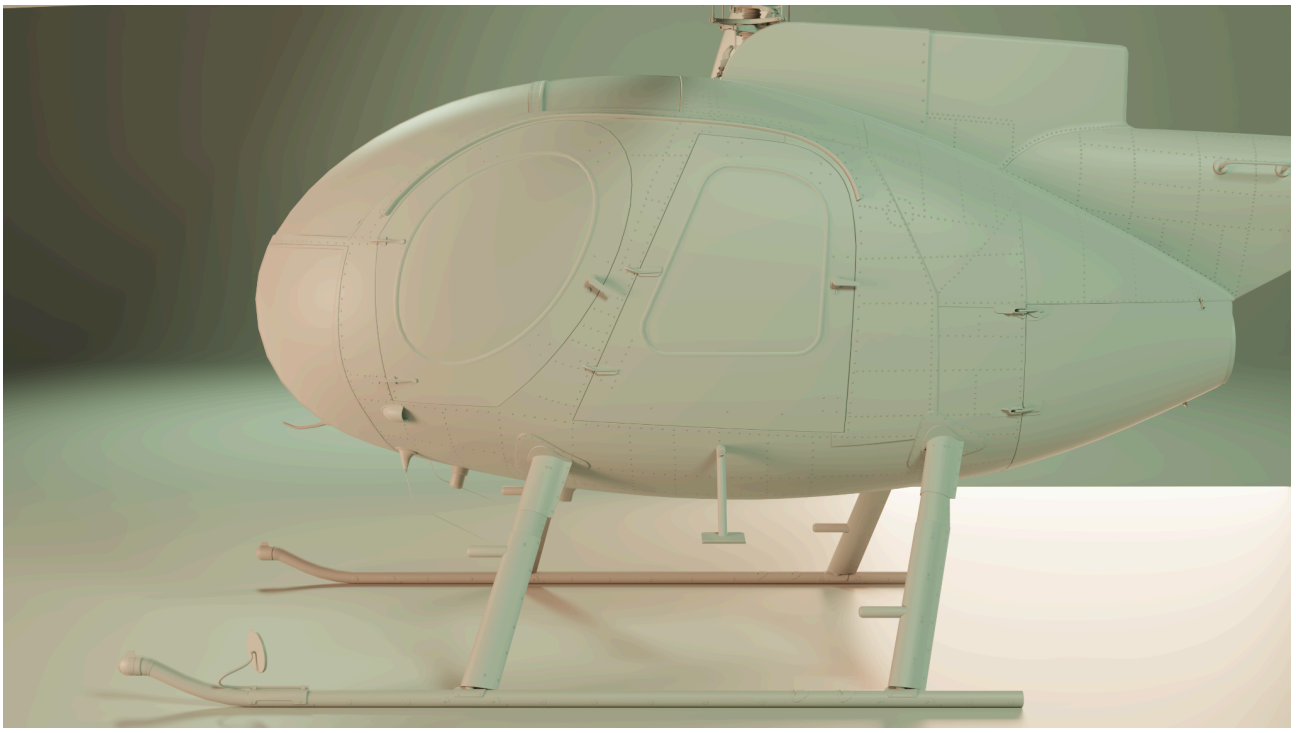


Рисунок Б.1 – Рендер сірмату вертоліту Hughes 500

ДОДАТОК В

Текстурні сети вертоліту Hughes 500

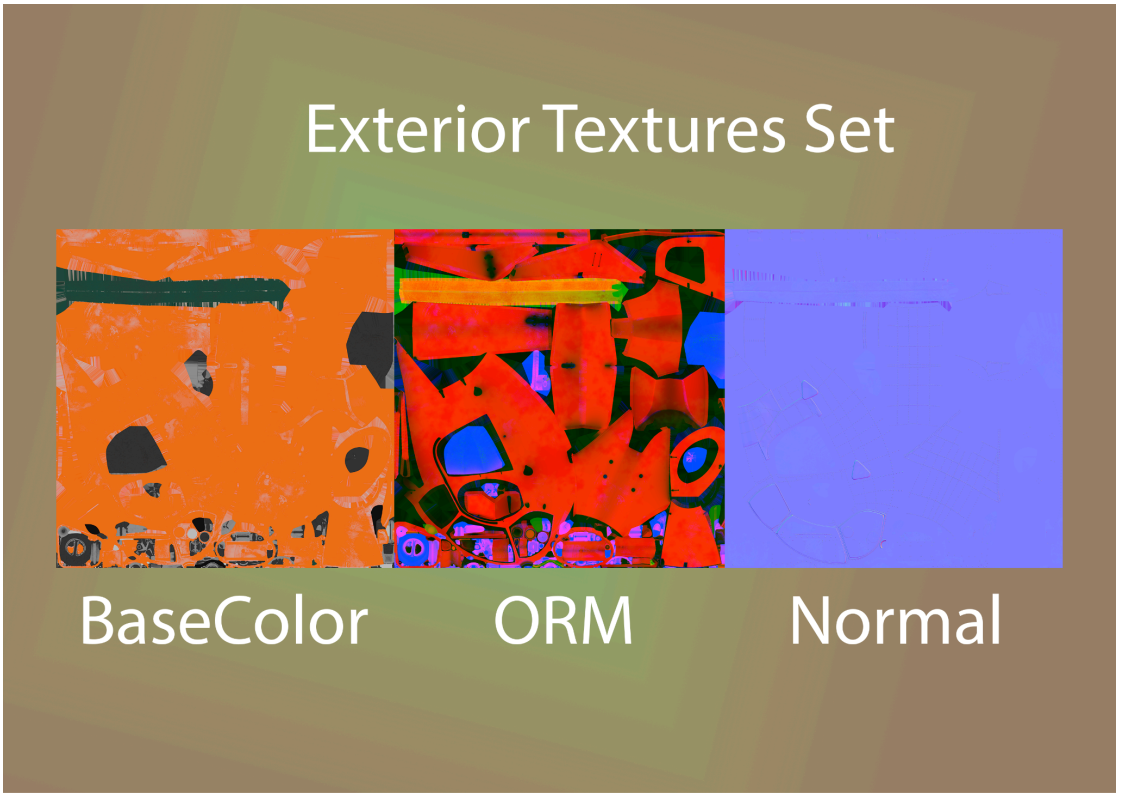


Рисунок В.1 – Текстурний сет Екстерєру

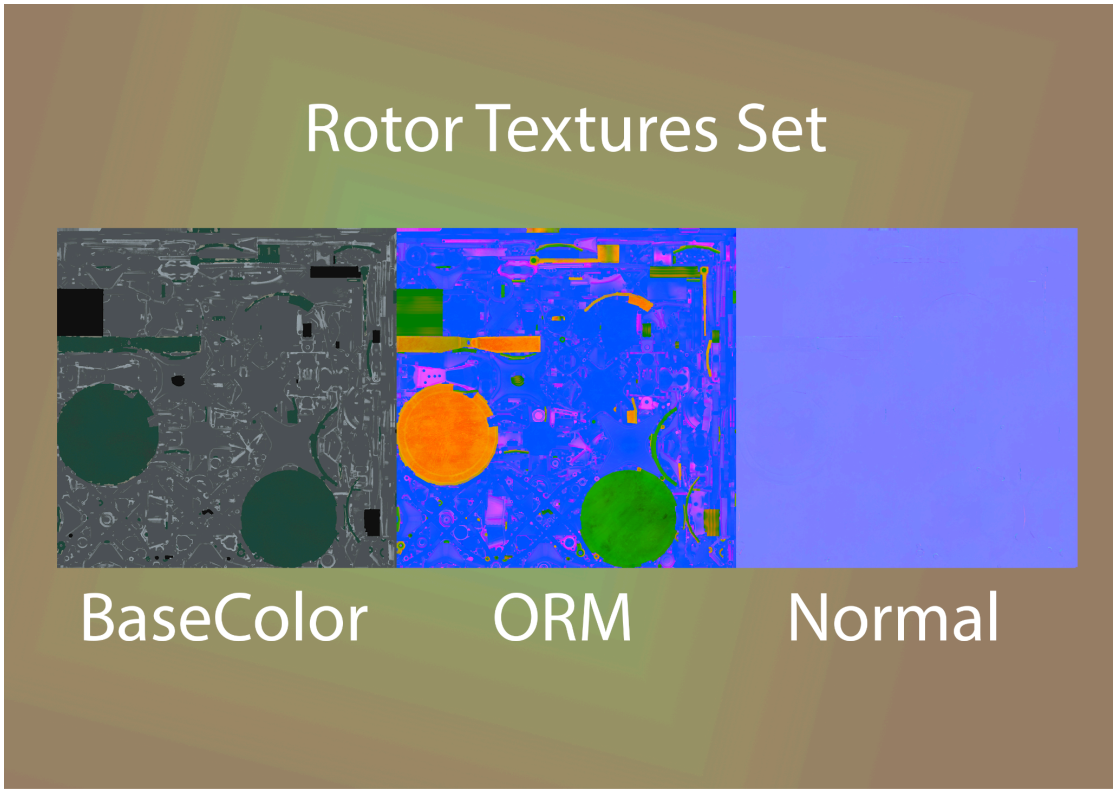


Рисунок В.2 – Текстурний сет Ротору

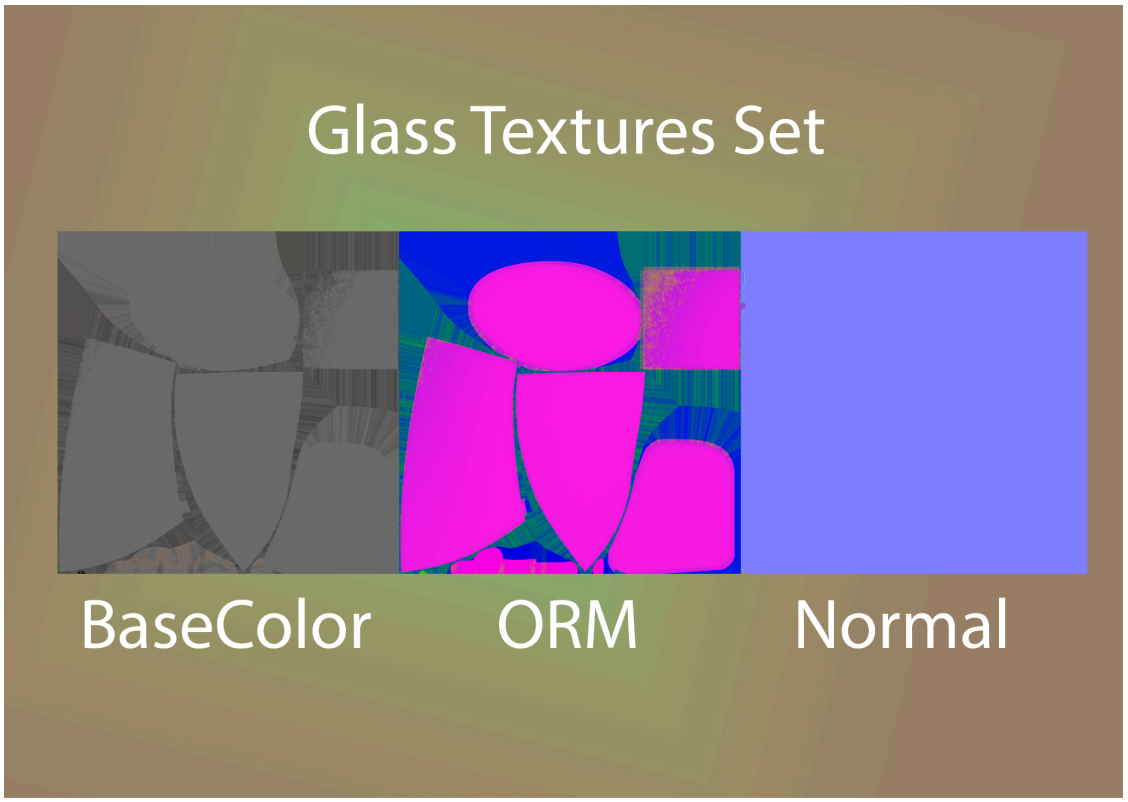


Рисунок В.3 – Текстурний сет Скла

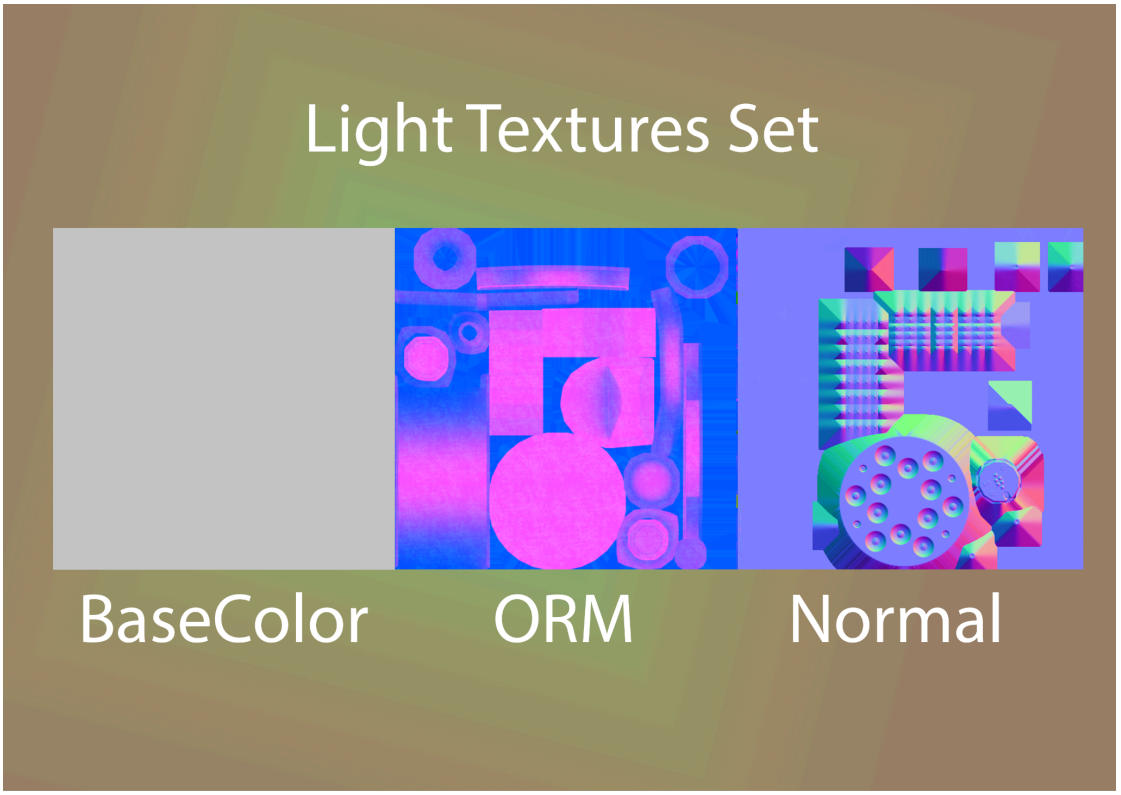


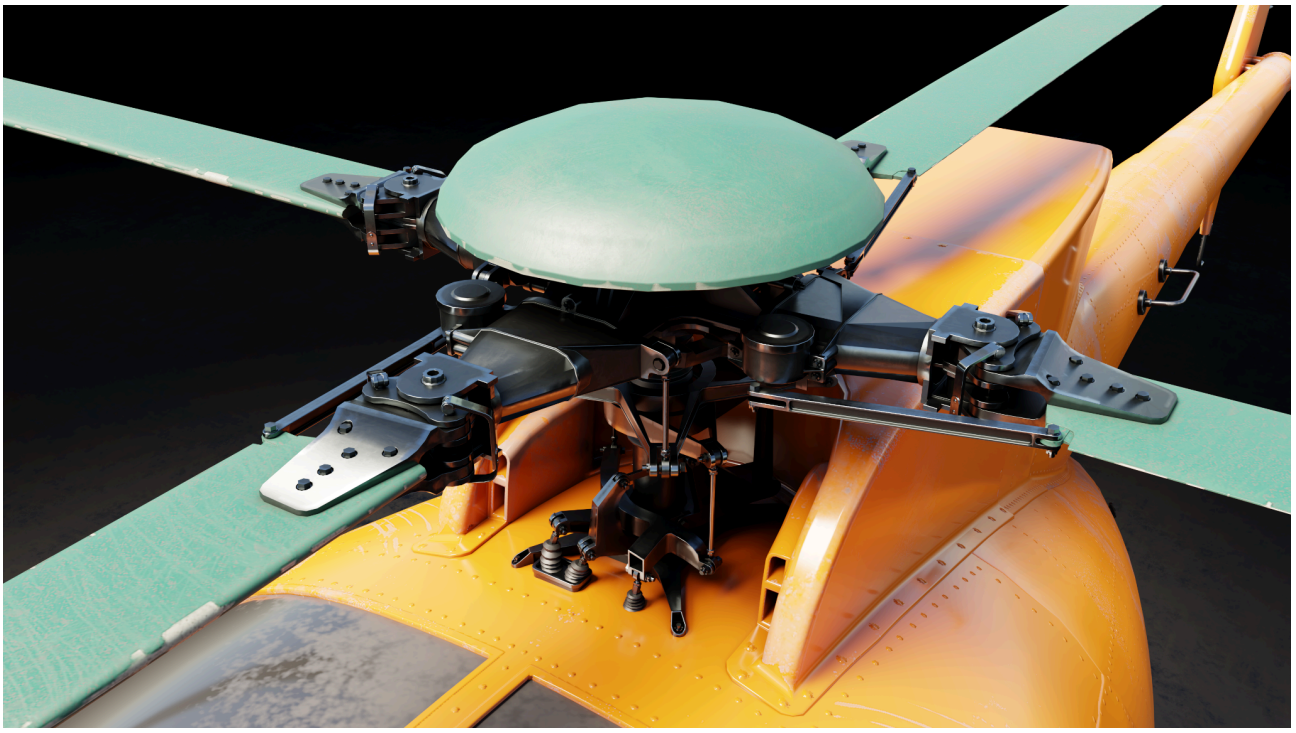
Рисунок В.2 – Текстурний сет Світла

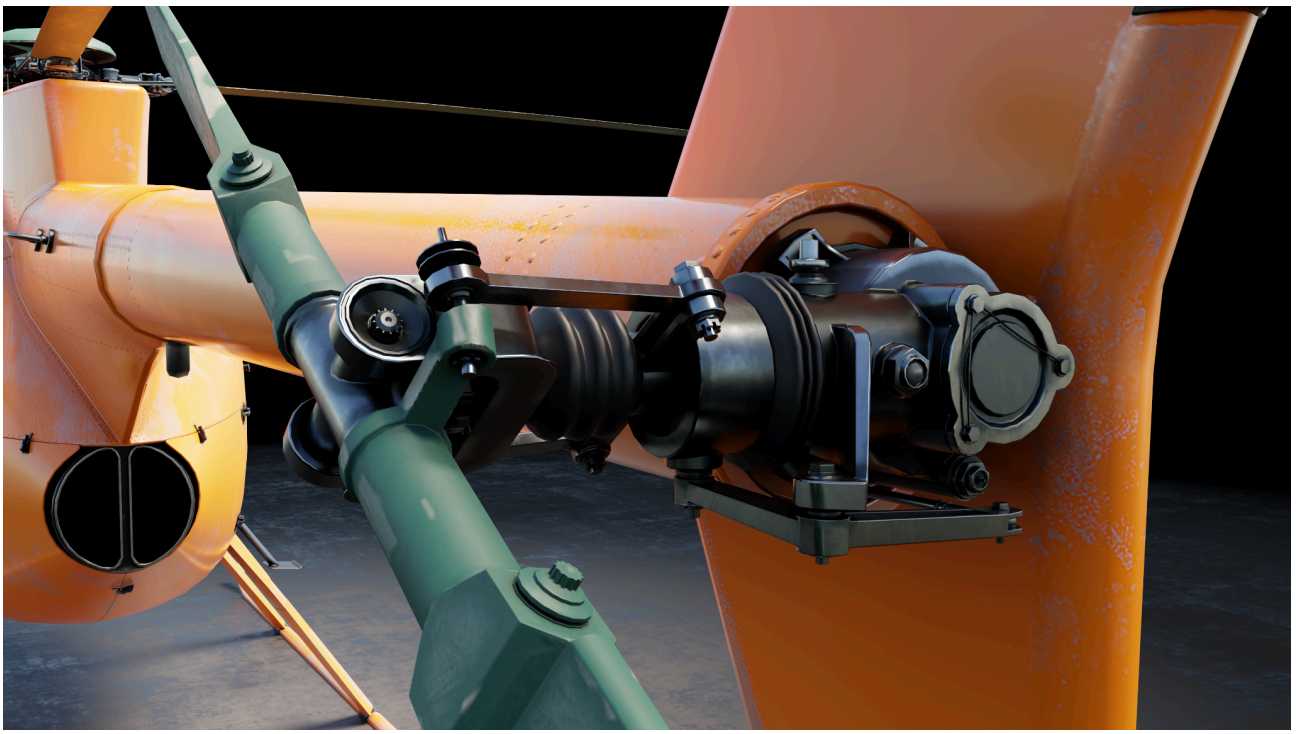
ДОДАТОК Г

Візуалізація готових моделей з текстурами









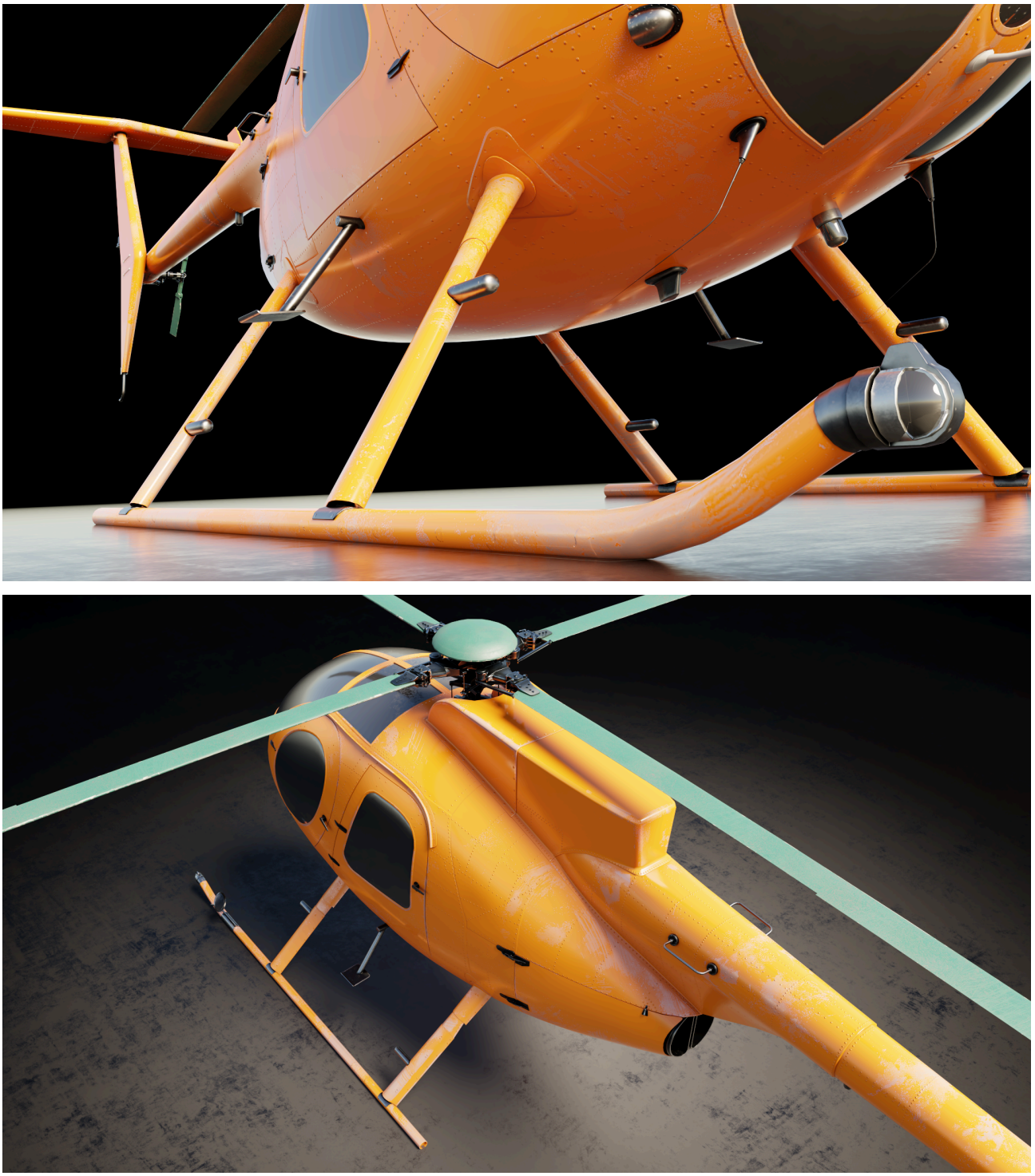


Рисунок Г.1 – Рендер текстурованого вертоліту Hughes 500



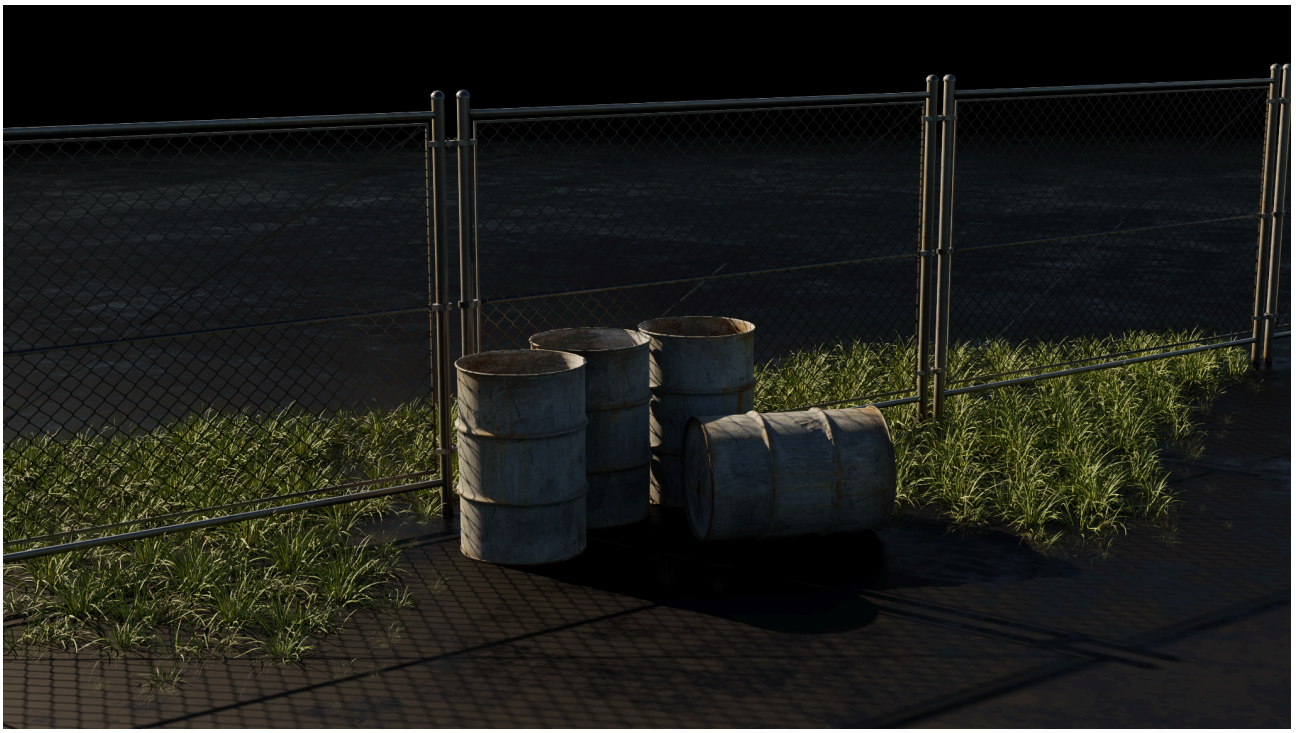




Рисунок Г.2 – Рендери текстурованих пропсів.

ДОДАТОК Ґ

Візуалізація ігрової локації



Рисунок Ґ.1 – Рендери фінальної сцени ігрової локації