

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

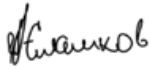
Факультет Комп'ютерних наук
(повна назва)

Кафедра Медіасистем та технологій
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Розробка тривимірної моделі персонажу
для ігрового додатку на базі рушія Unreal Engine
(тема)

Виконав:
здобувач 4 року навчання,
групи ВІВПС-21-4

ЯКИМ ЄЛАМКОВ
(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 186 Видавництво та поліграфія
(код і повна назва спеціальності)
Тип програми освітньо-професійна
Освітня програма
Видавничо-поліграфічна справа
(повна назва освітньої програми)

Керівник 
проф НОННА КУЛІШОВА
(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту
Завідувач кафедри МСТ

Жанна ДЕЙНЕКО
(власне ім'я, прізвище)

2025 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет _____ Комп'ютерних наук _____
Кафедра _____ Медіасистем та технологій _____
Рівень вищої освіти _____ перший (бакалаврський) _____
Спеціальність _____ 186 Видавництво та поліграфія _____
Тип програми _____ Освітньо-професійна _____
Освітня програма _____ Видавничо-поліграфічна справа _____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри МСТ _____
(підпис)

«19» травня 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

здобувачеві _____ Сламкову Яким Олексійовичу _____
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____ Розробка тривимірної моделі персонажу _____
_____ для ігрового додатку на базі рушія Unreal Engine _____

Затверджена наказом по університету від _____ 19 травня 2025 р. № 385 Ст _____

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії _____ 5 червня 2025 р. _____

3. Вихідні дані до роботи

Принципи створення 3D графіки, мінімальні технічні вимоги Unreal Engine до моделей.


4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі

Аналіз стану індустрії; Аналіз літератури; Розробка технічної характеристики; Розробка схеми технологічного процесу; Вибір інструментальних засобів; Розробка 3D моделі; Розробка текстур; Налаштування рушія; Ригінг та анімація; Інтеграція моделі в Unreal Engine; Тестування моделі на пробному рівні; Економічна частина; Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п. 5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри)

Актуальність теми; Мета роботи; Аналітичний огляд; Технічні характеристики моделі; Вибір інструментальних засобів; Розробка: етап концептуалізації та скульптингу; Розробка: етап моделювання та ретопології; Розробка: етап UV-розгортки; Розробка: етап текстурування; Розробка: етап ригінгу; Розробка: етап інтеграції та налаштування в Unreal Engine; Тестування; Економічна частина; Висновки.

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

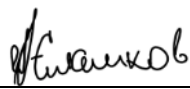
| Найменування розділу | Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові) | Позначка консультанта про виконання розділу | |
|----------------------|---|--|------------|
| | | підпис | дата |
| Основна частина | проф. Кулішова Н.Є. |  | 31.05.2025 |
| Економічна частина | ас. Легеза О.М. | | 31.05.2025 |

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № | Назва етапів роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|---|------------------------------------|--------------------------------|----------|
| 1 | Аналіз літератури за темою | 10.04.2025 | виконано |
| 2 | Планування розробки моделі | 15.04.2025 | виконано |
| 3 | Підбір інструментальних засобів | 16.04.2025 | виконано |
| 4 | Розробка моделі | 10.05.2025 | виконано |
| 5 | Тестування розробленої моделі | 20.05.2025 | виконано |
| 6 | Економічна частина | 28.05.2025 | виконано |
| 7 | Підготовка презентації та доповіді | 01.06.2025 | виконано |
| 8 | Оформлення пояснювальної записки | 28.05.2025 | виконано |
| 9 | Оформлення графічної частини | 06.06.2025 | виконано |

Дата видачі завдання 19 травня 2025 р.

Здобувач



(підпис)

Керівник роботи



(підпис)

проф. Нонна КУЛІШОВА

(посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної роботи: 64 с., 26 рис., 1 дод., 27 джерел.

3D МОДЕЛЬ, МОДЕЛЬ ЛЮДИНИ, ІГРОВІ РОЗРОБКИ, UNREAL ENGINE.

Пояснювальна записка з кваліфікаційної роботи присвячена створенню тривимірної моделі персонажа для інтеграції в ігровий додаток на базі ігрового рушія Unreal Engine. У роботі проаналізовано стан індустрії комп'ютерної графіки, огляд сучасних аналогів та технологій. Розглянуто технічні вимоги до 3D-моделей, що використовуються у сфері комп'ютерних ігор, розроблено художню концепцію персонажа, описано повний виробничий цикл: моделювання, скульптинг у ZBrush, ретопологія та UV-розгортка в Autodesk Maya, текстурування в Substance Painter, створення ригу через Mixamo, інтеграція в Unreal Engine 5. Також виконано тестування моделі в рушії та економічну оцінку процесу.

ABSTRACT

Explanatory note of the qualification work: 64 p., 26 fig., 1 app., 26 sources.

3D MODEL, HUMAN MODEL, GAME DEVELOPMENT, UNREAL ENGINE.

The explanatory note on the qualification work is devoted to the creation of a three-dimensional character model for integration into a game application based on the Unreal Engine game engine. The paper analyzes the state of the computer graphics industry, an overview of modern analogues and technologies. The technical requirements for 3D models in the field of computer games are considered, the artistic concept of the character is developed, the full production cycle is described: modeling, sculpting in ZBrush, retopology and UV unwrapping in Autodesk Maya, texturing in Substance Painter, rigging through Mixamo, integration into Unreal Engine 5. Model was also tested in the engine and performed an economic evaluation of the process.

ЗМІСТ

| | С. |
|--|----|
| ВСТУП..... | 8 |
| 1 АНАЛІЗ ЗАВДАННЯ..... | 9 |
| 1.1 Мета створення і призначення ігрової 3D моделі..... | 9 |
| 1.2 Визначення цілей і задач проектування | 9 |
| 1.3 Аналіз цільової аудиторії видання | 10 |
| 2 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ | 12 |
| 2.1 Основи створення ігрової 3D графіки, особливості та відмінності від офлайн-рендер підходу | 12 |
| 2.2 Аналіз аналогів | 14 |
| 3 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ 3D МОДЕЛІ | 18 |
| 4 СХЕМА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОЗРОБКИ МОДЕЛІ | 22 |
| 5 ВИБІР ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ЗАСОБІВ | 28 |
| 5.1 Вибір засобів моделювання | 28 |
| 5.2 Вибір засобів скульптингу | 29 |
| 5.3 Вибір засобів для ретопології та UV-розгортки..... | 30 |
| 5.4 Вибір засобів для текстурування | 31 |
| 5.5 Вибір засобів моделювання волосся..... | 33 |
| 5.6 Вибір засобів для ригінгу та анімації | 34 |
| 6 РОЗРОБКА ПРОЕКТУ..... | 35 |
| 6.1 Моделювання | 35 |
| 6.2 Скульптинг обличчя | 36 |
| 6.3 Ретопологія, UV-розгортка..... | 37 |
| 6.4 Текстурування..... | 39 |
| 7 СТВОРЕННЯ РИГУ ТА АНІМАЦІЇ | 44 |
| 8 ІНТЕГРАЦІЯ МОДЕЛІ ДО UNREAL ENGINE | 47 |
| 8.1 Налаштування рушія | 47 |
| 8.2 Налаштування матеріалів..... | 48 |

| | |
|---|----|
| 8.3 Налаштування світла та рендеру | 50 |
| 8.4 Імпорт та налаштування анімацій..... | 52 |
| 9 ТЕСТУВАННЯ ДЕМО-ВЕРСІЇ ДОДАТКУ РАЗОМ З МОДЕЛЛЮ..... | 54 |
| 10 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА | 56 |
| ВИСНОВОК | 61 |
| ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ | 62 |
| ДОДАТОК А Скріншоти розробленої моделі всередині рушія Unreal Engine 5 | 65 |

ВСТУП

Ігрова індустрія на сьогодні є однією з най динамічніших сфер цифрових розваг. Вона об'єднує мільйони людей у всьому світі та поєднує таланти з видавничої індустрії, стабільно зростає з року в рік і вже давно випередила за прибутками кіноіндустрію. Стрімкий розвиток апаратного забезпечення, графічних рушіїв, інструментів 3D-моделювання сприяють появі дедалі більш складних, інтерактивних і візуально досконалих ігор. Особливу роль у створенні враження про гру відіграють персонажі – саме вони є ключовими об'єктами взаємодії гравця з віртуальним світом.

Сучасні рушії, такі як Unreal Engine, відкривають широкі можливості для створення високоякісних моделей, поєднуючи реалістичну графіку, гнучку анімацію та оптимізацію для різних платформ. Вони надають розробникам інструменти для швидкої інтеграції моделей у геймплей, реалізації фізики, освітлення, шейдерів і візуальних ефектів. Завдяки цьому, навіть невеликі команди або індивідуальні митці можуть створювати проекти, що відповідають сучасним стандартам.

У процесі кваліфікаційної роботи буде створено 3D-модель персонажа з урахуванням художнього стилю, розроблено типові виробничі процеси, що будуть включати текстурювання, ретопологію, запікання текстур, а також забезпечено технічну готовність до інтеграції моделі в ігрове середовище. Увага приділятиметься як художній виразності моделі, так і її адаптації до рушія Unreal Engine та відповідності сучасним вимогам геймдизайну.

1 АНАЛІЗ ЗАВДАННЯ

1.1 Мета створення і призначення ігрової 3D моделі

Мета розробки тривимірної моделі персонажа для ігрового рушія полягає у створенні функціонального елемента цифрового продукту, призначеного для інтерактивного використання в середовищі комп'ютерної гри. Цей процес передбачає проектування та моделювання персонажа, що відповідає заданим художнім та технічним критеріям, з метою забезпечення його коректної інтеграції в рушій Unreal Engine для використання на персональних комп'ютерах.

Сучасний стан розвитку індустрії розробки відеоігор та електронних видань характеризується широкою можливістю реалізації складних технічних та художніх рішень. Це дозволяє створювати видання, що поєднують високу якість графіки з функціональною ефективністю.

Ці вимоги включають оптимізацію геометрії моделі, її текстурне оформлення, а також технічні аспекти, пов'язані з анімацією та інтеграцією в середовище рушія. Дотримання цих вимог є необхідною умовою для забезпечення стабільної роботи програмного забезпечення та досягнення високої якості візуалізації. Таким чином, створення тривимірної моделі персонажа для ігрового рушія Unreal Engine є технічно складним завданням, що вимагає відповідної кваліфікації та дотримання встановлених стандартів.

1.2 Визначення цілей і задач проектування

Модель, що розроблюється, є частиною розробки, орієнтованою на рендеринг у реальному часі на персональних комп'ютерах, тобто модель має бути оптимізованою: кількість полігонів повинна відповідати рівню деталізації, який потрібен у грі, не перевантажуючи рушій. Зазвичай для

персонажів середнього рівня деталізації використовується ретопологія з подальшим запіканням текстур з високо полігональної версії. Це дозволяє зберегти візуальну складність при низькому навантаженні на систему.

Важливою також є структура UV-розгортки – вона має бути чистою, логічно організованою і підготовленою до подальшого текстурування. Для досягнення якості та універсальності текстури створюються у PBR-підході [1] (Physically Based Rendering), який підтримує Unreal Engine, з обов'язковим набором мап: Base Color, Normal, Roughness, Metallic, AO тощо.

Також модель має мати риг і бути цілком готовою до анімації, з правильно налаштованим скелетом, бажано сумісним зі стандартним UE-скелетом, якщо передбачається використання анімацій із бібліотеки. Важливо дотримуватись масштабування та орієнтації, які вимагає рушій, а також експортувати модель у форматі .fbx, що є стандартом для імпорту в Unreal Engine.

Окрему роль відіграє стилістичне рішення. У цьому випадку було обрано жанр наукової фантастики (sci-fi), який є добре впізнаваним і популярним серед широкого кола користувачів. Для sci-fi стилю характерні такі елементи як: технологічні костюми, неонові підсвітки, синтетичні матеріали, механізовані деталі, футуристичне озброєння. Візуальні рішення повинні бути логічно пов'язані з функціоналом персонажа у грі та підтримувати загальну атмосферу проекту.

1.3 Аналіз цільової аудиторії видання

Цільова аудиторія – це молоді користувачі, здебільшого чоловіки, віком від 16 до 30 років. Це покоління гравців, яке виросло з іграми, добре знайоме з сучасними візуальними стандартами, активне в соцмережах та яке звикло до високої якості контенту. Така аудиторія є досі прискіпливою до якості комп'ютерної графіки і складності візуальних ефектів. Враховуючи смаки цієї

аудиторії, персонаж має бути достатньо деталізованим, мати виражену індивідуальність, а дизайн – відповідати сучасним трендам у сфері sci-fi [2].

Таким чином, створення 3D-моделі для Unreal Engine вимагає поєднання технічної точності з художнім баченням, а врахування потреб і вподобань цільової аудиторії забезпечує її ефективне використання в ігровому проєкті.

2 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

2.1 Основи створення ігрової 3D графіки, особливості та відмінності від офлайн-рендер підходу

Створення 3D графіки є не простим процесом, який вимагає залучення одночасно художніх навичок, які включають в себе знання теорії кольору, анатомії, пропорцій, так і чисто технічних вмінь, розуміння принципів рендерингу, оброблення зображень, базового знання мов програмування.

3D графіка може використовуватися у різних напрямках, і від кінцевої цілі будуть істотно залежати ключові техніки, прийоми та програмне забезпечення. Загалом виділяють два напрями 3D графіки, найбільш відмінні один від одного: офлайн рендеринг, та рендеринг у режимі реального часу (онлайн, або real-time).

В залежності від кінцевої мети можуть різнитися багато аспектів роботи з тривимірною графікою. Офлайн рендеринг – це один із найреалістичніших методів комп'ютерної візуалізації, який широко використовується в тривимірній графіці, кіноіндустрії, та системах наукової візуалізації. Метод базується на точному моделюванні фізичних властивостей світла та його взаємодії з об'єктами в тривимірному середовищі. До основних методів офлайн візуалізації відносять метод трасування променів та растеризацію [3]. Суть трасування променів полягає у симуляції процесу проходження світлових променів у віртуальному просторі. На відміну від більш простих методів рендерингу, таких як растеризація, цей алгоритм не просто відображає об'єкти на основі їх положення у сцені, а моделює складну поведінку світла: відбиття, заломлення, розсіювання, затінення, каустики тощо.

Алгоритм трасування променів зазвичай починається з випуску променів від віртуальної камери (точки спостерігача) у напрямку кожного пікселя на екрані. Ці промені проходять через віртуальну «лінзу» камери, після чого перетинають простір сцени.

Офлайн рендеринг за останні два десятиліття став основним методом візуалізації для кінематографії, анімації та високоякісних візуалізацій. Завдяки трасуванню променів та передовим технікам обробки світла, таким як глобальне освітлення та методи зворотного трасування, стало можливим створення неймовірно реалістичних зображень з максимальною точністю. Офлайн рендеринг зазвичай використовує набагато більше часу на кадр, що дозволяє досягти більш складних ефектів та деталізації. Цей процес став стандартом у виробництві фільмів, візуальних ефектів та архітектурних візуалізацій, де висока якість є першочерговою.

Станом на 2025 рік індустрія рендер-двигунів у режимі реального часу дуже стрімко розвивається, зараз можна побачити великі проекти з дуже реалістичною графікою, та професійним освітленням, які використовують безкоштовні двигуни. Такий метод дозволяє миттєво бачити всі зміни, які користувач здійснює з віртуальною сценою [4].

Unreal Engine [5] є одним з найпотужніших двигунів для створення інтерактивного 3D-контенту, який використовує рендеринг у реальному часі. Головною перевагою цього метода є висока обчислювальна ефективність. Так як, на відміну від традиційних методів трасування променів, що потребують значних часових витрат на генерацію одного кадру, растеризаційні алгоритми забезпечують формування зображень у реальному часі з частотою від 30 до 120 кадрів на секунду. Це досягається завдяки фіксованому обмеженню тривалості рендерингу одного кадра, у межах від 8 до майже 30 мс, що є критично важливим для інтерактивних додатків. Така обчислювальна оптимізація має особливе значення у процесі розробки комплексних графічних систем з анімацією, значно скорочуючи час на фінальну візуалізацію. Застосування растеризації в онлайн-рендерингу також є ключовим чинником розвитку технологій доповненої та віртуальної реальності, де необхідна мінімальна затримка між дією користувача та її візуальним відображенням.

На відміну від офлайн-рендеру (як у V-Ray, I-Ray, Arnold), Unreal Engine генерує зображення з частотою 30 – 120 кадрів на секунду, дозволяючи користувачеві рухатися по сцені або грати в ній без попереднього рендеру кожного кадру. Система матеріалів PBR (Physically Based Rendering) Unreal Engine використовує фізично коректні шейдери, що дозволяє досягти фотореалізму навіть у реальному часі, з урахуванням таких властивостей, як відбивання, розсіювання, металевість, прозорість.

У нових версіях рушія використовується система Lumen [6] – гібридна повністю динамічна система глобального освітлення та віддзеркалень, розроблена для консолей наступного покоління, яка за замовчуванням працює на Unreal Engine. Lumen поєднує техніку трасування променів і растеризації, рендерить відбиття світла від поверхні з нескінченними відскоками та непрямими дзеркальними відображеннями у великих деталізованих середовищах у масштабах від міліметрів до кілометрів. Перевагою системи є створення м'яких, реалістичних тіней без необхідності попередньо запікати тіні та світло.

Серед недоліків рендер-двигунів у реальному часі є труднощі у розробці деяких матеріалів, таких як прозорі та напівпрозорі поверхні [7-10] (скло, вода, лід) – складнощі виникають через проблеми з відображенням та сортуванням прозорості, особливо в сценах з великою кількістю джерел світла. Підповерхневе розсіювання (SSS), наприклад, для шкіри чи воску, потребує правильного налаштування та може значно навантажувати систему. Матеріали з анімацією або параметричними змінами складні у створенні через логіку матеріальних графів.

2.2 Аналіз аналогів

У актуальний час існує доволі багато аналогів створення тривимірних моделей високої якості для ігрових двигунів, в особливості для Unreal Engine. Для залучення уваги користувачів, тобто гравців, слід притримуватися заданої індустрією планки якості 3D моделей, що включає в себе: складність моделей, реалістичність шейдерів, текстур, волосся, освітлення. Серед аналогів можна

розглянути як закордонні проекти великих та середніх за бюджетами студій, так і вітчизняні проекти, так як розвиток ігрової індустрії дає змогу вітчизняним розробникам досягати високої якості, порівняної з американськими студіями.

Для порівняння були взяті 3D моделі з таких проектів як: Marvel's Spider Man [11], Wolfenstein 2 [12], Mortal Kombat 1 [13].

Середній полігональний бюджет для моделі персонажа середньої складності сягає від 100 до 250 тис. полігонів. Особлива увага приділяється тим місцям та ділянкам моделі, які є найчастіше видимі для гравця, тобто обличчя, волосся, бюст.

3D модель персонажа Скорпіон з гри Marvel's Spider Man, що була випущена 2022 року та орієнтована на консолі та персональні комп'ютери, має 96 тис. полігонів, складається з 22 об'єктів, та 15 матеріалів (рис. 2.1). Серед особливостей можна відмітити об'єднання об'єктів за матеріалами, які, в свою чергу, визначаються за типом поверхні, яку потрібно імітувати. Модель має доволі щільну топологію, яка зумовлена складністю рівної та відполірованої поверхні.

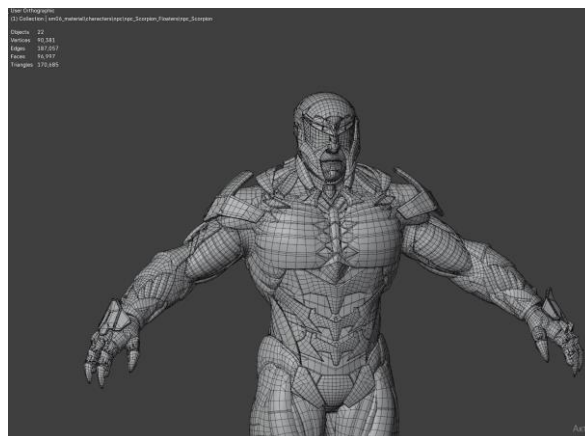


Рисунок 2.1 – 3D модель героя з гри Marvel's Spider Man 2.1

Розглянемо 3D модель з гри Wolfenstein 2. Модель складається з 34000 полігонів, 18 різних об'єктів, 18 матеріалів (рис. 2.2, 2.3).

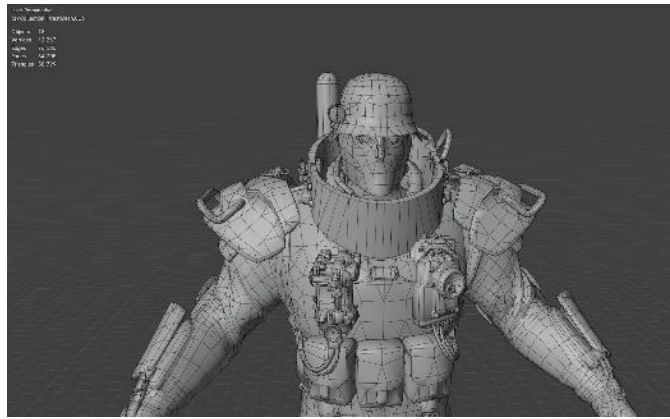


Рисунок 2.2 – 3D модель персонажа з гри Wolfenstein 2 – сітка



Рисунок 2.3 – 3D модель персонажа з гри Wolfenstein 2 – рендер

Серед особливостей моделі можна зазначити її мінімалізм у технічних вимогах. Модель має дуже низьку кількість полігонів, але видно, яку велику кількість деталей вдалося запекти у вигляді текстури. Оптимізація моделі однозначно є її великим плюсом, проте є дещо застарілою, як для технологій рушіїв 2025 року. У сучасних іграх технології дозволяють використовувати більші ресурси процесора та оперативної пам'яті, що призводить до збільшення полігонального бюджету для кожного асету.

Розглянемо 3D модель персонажа Конан Варвар з гри Mortal Combat 1 (рис. 2.4).

Модель була створена для версії гри 2023 року для консолей нового покоління (Playstation 5 та Xbox Series X). Модель має значний полігонаж (150 тис.), включає в себе лише 5 об'єктів, та 5 матеріалів. Серед особливостей слід зазначити стандартний для ігрових моделей спосіб відокремлення тіла від

голови невидимим швом. Проте також слід зазначити, серед недоліків зовелику кількість полігонів у статичних регіонах, таких як передпліччя.

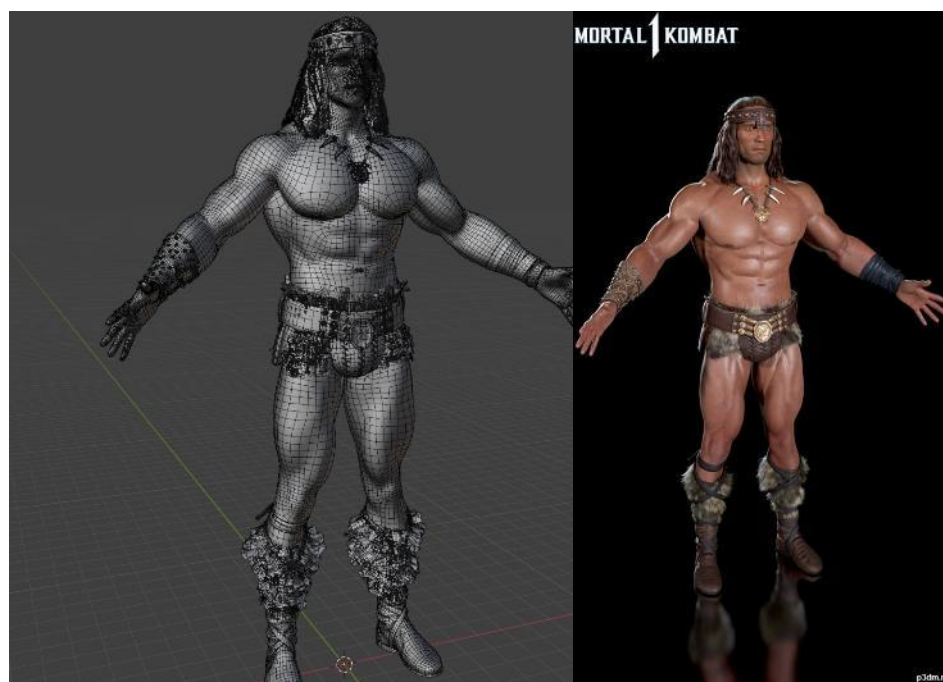


Рисунок 2.4 – 3D модель персонажу з гри Mortal Kombat 1.

Сітка (зліва) і рендер (справа)

3 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ 3D МОДЕЛІ

Для кращого втілення концепції sci-fi у персонажа був використаний концепт персонажа знайдений в інтернеті [14] (рис. 3.1). Серед особливостей стилю, які мають зберігатися для створення потрібного ефекту – висока контрастність у костюмі та механічних елементах тіла, яскраві неонові елементи що світяться. Риси персонажа – різкі, зухвалі, що підтримують панк стиль персонажа.



Рисунок 3.1 – Концепт персонажа

Серед ключових особливостей стилю, що зберігатимуться для створення потрібного ефекту, – висока контрастність у костюмі та механічних елементах тіла. Цього планується досягти через використання переважно темної кольорової гами для основних елементів одягу та кібернетичних частин, що вигідно підкреслюватиме яскраві неонові елементи, які світяться. Такі неонові акценти не лише додають футуристичності, але й візуально виділяють важливі

деталі дизайну. Риси обличчя та загальний вигляд персонажа – різкі, зухвалі, що ефективно підтримують його панк-стилістику та характер.

Як вже було з'ясовано, для 3D персонажа для комп'ютерних ігор є певні технічні обмеження, до яких слід адаптуватися для збереження функціональності гри. Продуктивність ігрових додатків критично залежить від складності та методів обробки тривимірних активів. Найзначніші чинники, що впливають на навантаження рендерингу, – це кількість полігонів моделей, параметри текстур та складність шейдерів. Кількість полігонів у 3D моделі прямо пропорційна до обсягу обчислень, необхідних від графічного процесора (GPU) і центрального процесора (CPU). Кожен полігон вимагає перетворення вершин, освітлення і растеризації. Крім того, високо полігональні моделі вимагають більше відеопам'яті (VRAM) для зберігання даних про вершини, а також збільшують навантаження на шину пам'яті. Коли йдеться про скелетну анімацію, деформація великої кількості вершин значно збільшує навантаження на CPU.

Текстури визначають візуальні властивості поверхні. Слід враховувати наступні аспекти: велика кількість текстур високої якості призводить до втрати розподілу VRAM, тому їх можна додатково класифікувати на високу роздільну здатність і помірну кількість областей. Застосування форматів стиснення (наприклад, BCn) і генерація міп-рівнів є стандартними практиками для зниження займаної пам'яті та поліпшення продуктивності вибірки текстур на різних відстанях, хоча останні незначно збільшують загальний обсяг зберігання текстури.

Шейдери – це програми, що виконуються на графічному процесорі (GPU), які диктують візуальне представлення поверхонь у тривимірній сцені. Їхній вплив на продуктивність гри колосальний, оскільки кожен піксель, що відмальовується на екрані, обробляється одним або кількома шейдерами. Складність цих програм безпосередньо корелює з навантаженням на GPU. Основним фактором є кількість інструкцій, які шейдер повинен виконати для кожного пікселя або вершини. Що більше математичних операцій, логічних

розгалужень і вибірок із текстур містить шейдер, то більше часу потрібно GPU для його опрацювання.

В реалізації прозорих і напівпрозорих поверхонь використовують особливі технології рендерингу, що збільшують навантаження на GPU. У випадку Unreal Engine 5, в якому матеріали створюються в графічному редакторі нодів, кожен нод та зв'язок трансформується в шейдерний код. Отже, в певний момент, складні графи матеріалів неминуче призводять до втрати продуктивності. Варіанти оптимізації шейдерів завжди пов'язані із зменшенням кількості інструкцій, регулювання кількості і якості текстур, економнішими алгоритмами для досягнення необхідного візуального результату, що потребує найжорсткішої економії ресурсів для плавності гри.

Виходячи з аналізу актуальних технічних можливостей двигуна Unreal Engine 5 і методів, які використовуються для створення високоякісних ігрових асетів, можна сформулювати технічне завдання.

Полігонаж моделі – від 100 до 150 тис. полігонів, з яких 20% допустимо виділити на волосся персонажа. Кількість матеріалів – 19 – розділені наступним чином:

- обличчя;
- очі;
- матеріал для створення затінення очей;
- матеріал для імітації вологого сльозового шару;
- матеріал для внутрішнього кута ока;
- вії та брови;
- волосся;
- матеріали що світяться;
- білий метал;
- металеві елементи;
- шкіряна куртка;
- скло;
- шийний відділ костюму;

- рука;
- візор для окулярів;
- внутрішній кут ока;
- тканинний синтетичний костюм;
- механічні елементи на обличчі;
- трубки та металеві елементи на куртці.

4 СХЕМА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОЗРОБКИ МОДЕЛІ

Розробка 3D моделі може відбуватися нелінійно, через велику кількість ітерацій, для того, щоб структурно та логічно спростити технологічний процес.

На рис. 4.1 зображено діаграму, яка має структурувати процес створення 3D моделі.

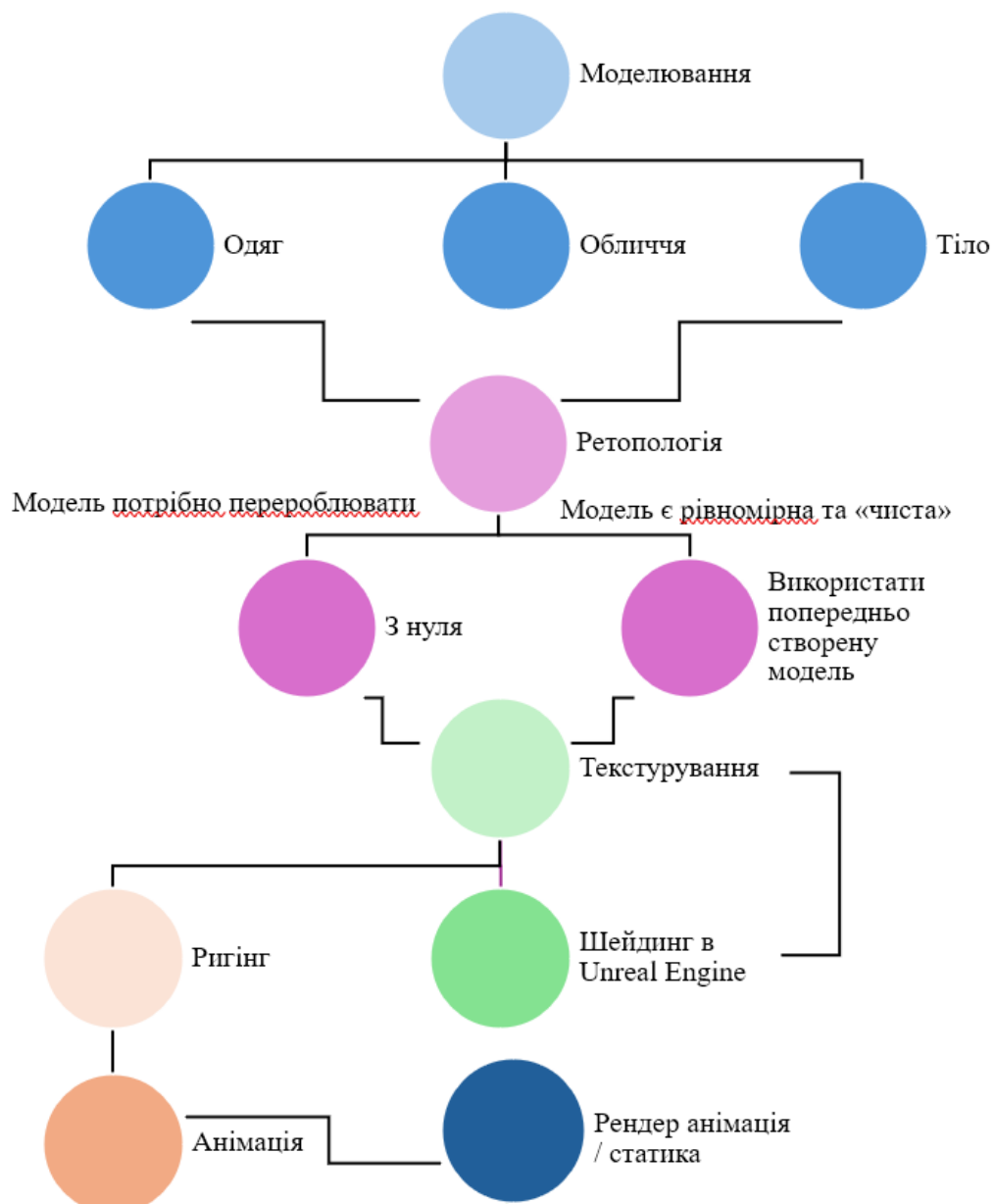


Рисунок 4.1 – Схема технологічного процесу розробки моделі

1. Концептуалізація та попереднє моделювання/скульптинг базових форм.

Початковим етапом має бути аналіз художнього стилю та концепту персонажа. Для даного проекту потрібно буде обрати концепт персонажа в жанрі наукової фантастики (sci-fi), з характерними рисами, такими як висока контрастність костюму, механічні елементи тіла та яскраві неонові деталі. Риси обличчя персонажа мають бути задумані як різкі та зухвалі, що підкреслить панк-стилістику.

Розробку 3D-моделі потрібно буде розпочати зі створення базових форм в ZBrush. Ця програма надає високу пластичність у роботі з формами та не вимагає чіткої послідовності використання інструментів, що дозволить на ранніх етапах зосередитись на досягненні художньої якості та виразності. Розроблена на цьому етапі модель буде "сирим" ескізом, що використовуватиметься як тривимірний референс для подальшого моделювання логічної чистої моделі з правильною топологією.

2. Високо полігональний скульптинг.

Скульптинг – це сучасний спосіб моделювання, що імітує ліплення, де художник використовуватиме спеціальні «пензлі» та графічний планшет. Цей етап буде призначений для створення органічних форм, текстур, персонажів та дрібних деталей.

3. Моделювання (полігональне, для твердих поверхонь та елементів костюму).

Полігональне моделювання є фундаментальним процесом у 3D-графіці, під час якого створюватиметься форма об'єкта з використанням інструментальних засобів обраної програми.

Важливо, щоб частини моделі, що мають згинатися чи деформуватися, були логічно підігнані одна до одної, щоб уникнути заломів чи зіткнень.

Результатом цього етапу має стати високоякісна модель з усіма необхідними деталями.

4. Ретопологія.

Ретопологія – це етап оптимізації моделі, під час якого створюватиметься нова, спрощена сітка поверх високодеталізованої моделі, отриманої після скульптингу або 3D-сканування. Основна мета – отримати модель зі зменшеною кількістю полігонів, правильною топологією ребер для анімації та відповідністю технічним вимогам ігрового рушія.

Для даного проекту ретопологія виконуватиметься в Autodesk Maya. Процес буде націлений не тільки на зменшення кількості полігонажу, а й на впорядкування сітки, щоб вона була чистою, симетричною та рівномірною, особливо в місцях, які будуть піддаватися деформаціям. Після ручної ретопології використовуватиметься інструмент CleanUp в Maya для виявлення та виправлення дефектів, таких як "non-manifold geometry", трикутники, замалі полігони або ребра. Результатом етапу має стати готова низько полігональна модель, оптимізована для використання в ігровому рушії.

5. UV-розгортка.

UV-розгортка – це процес створення відповідності між вершинами тривимірної моделі та координатами на плоскій двовимірній текстурі. Якісна UV-розгортка є критично важливою для коректного накладання текстур.

Цей етап виконуватиметься в Autodesk Maya за допомогою вбудованого UV-редактора (UV Editor). На ребрах моделі відмічатимуться шви (seams), які створюватимуть «надрізи» на двовірній проекції, відокремлюючи частини об'єкта (UV-острови) на текстурі. Шви розміщуватимуться на найменш помітних ділянках моделі, таких як внутрішні вигини, під іншими зовнішніми компонентами, або на природних текстурних розривах (наприклад, шви одягу).

Розташування UV-островів має бути логічним, рівним та симетричним, щоб полегшити роботу з текстурами, особливо для безшовних патернів та дрібних деталей. Важливою вимогою є підтримка однакової тексельної щільності (texel density) по всій моделі, що гарантуватиме рівномірний рівень деталізації. Для обличчя персонажа та інших важливих деталей, які часто з'являтимуться в кадрі, може бути виділено більше текстурного простору.

6. Запікання текстур.

Запікання текстур – це процес перенесення інформації (деталей поверхні, затінення тощо) з високо полігональної моделі на текстурні карти низько полігональної моделі. Це дозволить зберегти візуальну складність при низькому навантаженні на систему, яке забезпечить низько полігональна сітка.

Для даного проекту запікання текстур виконуватиметься в Substance Painter. У налаштуваннях проекту буде увімкнена підтримка UDIMs. Процес запікання зазвичай створюватиме базові карти, такі як карта нормалей (Normal), карта затінення (Ambient Occlusion), карта кривизни (Curvature), а також додаткові карти: карта нормалей глобального простору (World Space Normal), карта положення (Position) та карта товщини (Thickness). Створені текстурні карти автоматично прив'язуватимуться до відповідних слотів у Substance Painter.

7. Текстурування (PBR).

Текстурування – це процес створення кольорових або одноканальних зображень (текстур), що накладатимуться на 3D-модель відповідно до її UV-розгортки та імітуватимуть певні властивості поверхні об'єкта. Від якості текстур та рівня їх опрацювання залежатиме кінцевий вигляд моделі. Для досягнення реалізму використовуватиметься підхід PBR (Physically Based Rendering), який підтримується Unreal Engine, з обов'язковим набором карт: Base Color, Normal, Roughness, Metallic, AO тощо.

8. Моделювання волосся.

Створення реалістичного волосся для комп'ютерних ігор є окремим завданням. Зазвичай використовуватиметься техніка hair cards – напівпрозорі текстури волосся, яка накладається на полігональні стрічки. На шейдер волосся також накладатимуться запечені текстури глибини (depth maps), висот (height map) та напрямку (flow map).

9. Ригінг.

Ригінг – це процес створення скелетної системи (кісток, або «ригу») всередині 3D-моделі та прив'язки геометрії моделі до цих кісток (скінінг), що дозволить анімувати персонажа.

Для створення базового ригу для людиноподібного персонажа буде використаний безкоштовний веб-сервіс Mixamo від Adobe. У Mixamo користувач вручну відмітить ключові точки (плечі, зап'ястя, коліна, стегна), на основі яких сервіс автоматично розставляє кістки та розподіляє вагу. Отриманий базовий риг разом з моделлю експортується у форматі FBX до Autodesk Maya для подальшого доопрацювання.

У Maya, в режимі Weight Paint, проводитиметься корекція розподілу ваги. Це особливо важливо для складних регіонів, таких як шия, куртка, спина, де неправильний розподіл ваги може призвести до нереалістичних вигинів та розривів моделі під час анімації.

10. Інтеграція та налаштування в Unreal Engine.

Завершальним етапом буде інтеграція всіх створених асетів (модель, скелет, текстури) в ігровий рушій Unreal Engine та їх налаштування для коректного відображення та функціонування.

Перед початком роботи в Unreal Engine 5.4 потрібно буде завантажити ряд необхідних плагінів та змінити налаштування проекту за замовчуванням.

Далі відбуватиметься налаштування матеріалів. В Unreal Engine матеріали створюватимуться за допомогою нодового редактора. Створюватиметься Майстер-матеріал з усіма потрібними нодами (Multiply, Lerp, CheapContrast, Invert), значення яких потім змінюватимуться у дочірніх матеріалах для конкретних частин моделі. Особливу увагу потрібно буде приділити створенню шейдеру очей, який використовуватиме комплексну нодну структуру та 5 текстур для імітації ефекту паралаксу, підповерхневого розсіювання для склери та рельєфу райдужки.

Для статичних рендерів створюватиметься новий рівень, де модель розміщуватиметься з усіма потрібними джерелами світла. Для налаштування анімацій використовуватиметься вбудована система Motion Matching та ресурси з Game Animation Sample Project. Процес включатиме перенацілювання анімацій (Retarget Animation) зі стандартного скелета на скелет створеного персонажа.

Тестування моделі проводитиметься на спеціальному тестовому рівні в Unreal Engine для оцінки її поведінки в ігрових умовах та перевірки анімацій. Модель разом з асетами буде перенесена у тестовий проект за допомогою інструменту Migrate. Результати тестування мають підтвердити відповідність асета технічним вимогам та художнім цілям проекту.

5 ВИБІР ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ЗАСОБІВ

5.1 Вибір засобів моделювання

Полігональне моделювання – один з фундаментальних процесів у 3D графіці. Під час моделювання створюється форма об'єкта з використанням інструментальних програмних засобів. Наразі існує декілька домінуючих програм, які дозволяють ефективно створювати 3D моделі, враховуючи всі сучасні потреби.

Autodesk 3d`s Max [15] – галузевий стандарт, що використовується для моделювання у сферах архітектурній візуалізації, розробки інтерактивних додатків, комп'ютерних ігор. Робоче середовище програми оптимізоване під створення великих об'ємів моделей, таких як інтер'єри, будівлі, локації для рівнів. Програма використовується з самого початку розвитку 3D графіки, тому в інтернеті доступна велика кількість початкових матеріалів, як відеоуроків, так книг, статей і журналів. Проте, програма є менш затребуваною в сфері створення персонажів, бо надає менше інструментів для ригінгу та анімації, ніж конкуренти. Також деякі окремі сервіси, які використовуються у створенні персонажів, такі як Reallusion Character Creator, Unreal Engine Metahuman, Mixamo, не мають стабільної інтеграції з 3d`s Max. Програма є платною та коштує близько \$2500 на рік, що також є вищим за аналоги, які існують на ринку, при цьому краще адаптовані саме під технічну задачу проекту.

Autodesk Maya [16] – галузевий стандарт для індустрії кіно, ігрової анімації, створення персонажів. Робоче середовище оптимізоване під створення будь-якого роду 3D об'єктів, зокрема анімації. Функціонал дозволяє створювати об'єкти будь-якої складності, використовувати одну структуру для зміни параметрів моделі. Найвний інструментарій Xgen – технологія високоякісної, реалістичної симуляції волосся, що використовуються для

кінематографічних асетів. Maya добре інтегрується у типовий технологічний процес виготовлення ігрових асетів, маючи зручні плагіни для імпорту та експорту асетів, що значно прискорює процес розробки. Використання Autodesk Maya для створення персонажів також є рекомендованим розробниками Unreal Engine. Програма є платною та доступна приблизно за \$2300 на рік.

Blender [17] – програмне забезпечення з відкритим кодом, яке займає значне місце серед незалежних розробок, малих та великих проектів. Програма поєднує всі найважливіші аспекти 3D графіки, такі як моделювання, текстурування, шейдинг, ригінг та рендеринг; має велику бібліотеку користувацьких плагінів, додатків, та асетів. Серед недоліків – недостатньо глибокий функціонал програми. Так, наприклад, програма є слабо оптимізованою під великий полігонаж, що є критично важливим під час скульптингу обличчя. Також не вистачає інструментів роботи з UV розгорткою, яка зазвичай потребує встановлення сторонніх плагінів.

Отже, проаналізувавши всі наявні технічні рішення для моделювання доступні на сучасному ринку, Autodesk Maya була обрана як головний редактор 3D моделі, в якій буде виконано моделювання, ретопологія, UV розгортка та ригінг.

5.2 Вибір засобів скульптингу

Скульптинг – це сучасний спосіб моделювання, яке є імітацією ліплення з матеріалів, приміром, глини. Художник обходиться без традиційних інструментів полігонального моделювання і матеріалів, а використовує спеціальні «пензлі», а також графічний планшет з передом з чутливим до тиску. Здебільшого цей етап призначений для створення органічних текстур, істот, персонажів, та дрібних деталей.

Maxon ZBrush [18] є провідним рішенням для цифрового скульптингу надвисокої деталізації, водночас інтегруючи найважливіші функції полігонального моделювання через інструмент ZModeler для створення та

модифікації низько та середньо полігональних сіток, а також ефективні засоби ретопології, такі як ZRemesher. Програма поширюється Maxon переважно за передплатною моделлю, близько \$399 на рік. ZBrush відомий своїм незвичним інтерфейсом, що зумовлює складнощі під час початкового навчання, проте його статус галузевого стандарту забезпечив формування великої бази високоякісних навчальних ресурсів, підтримуваних як розробником, так і активною спільнотою користувачів. Серед недоліків програми – відсутність реалістичного рендеру, Zbrush використовує власну систему рендерингу, яка є далекою за рівнем деталізації та фотореалізму.

Допустимо використовувати вище згаданий Blender і для скульптингу, проте він має менше інструментів для роботи з поверхнею та гіршу оптимізацію.

Таким чином, ZBrush є незамінним інструментом для продвинутої роботи зі скульптингом, надаючи широкий функціонал, та гарну оптимізацію для роботи зі складними сценами.

5.3 Вибір засобів для ретопології та UV-розгортки

Ретопологія в 3D – це етап оптимізації моделі, під час якого створюється нова сітка поверх з наявної “брудної” чи високо деталізованої моделі. Зазвичай, такі моделі отримують після скульптингу або 3D-сканування. Основна мета – отримати модель зі зменшеною кількістю полігонів, дотримуючи правильний порядок ребер для анімацій. Після того як була отримана “чиста” модель виконується UV-розгортка, тобто зведення між координатами в тривимірному просторі з координатами плоскої текстури. Під час UV-розгортки потрібно остаточно розподілити модель на матеріали, щоб у двигуні задавати певні параметри саме потрібному матеріалу.

Blender має вбудовані інструменти ретопології, які дозволяють швидко та зручно відбудувати модель, проте враховуюче те, що програмою для моделювання була обрана Autodesk Maya, використання Blender для ретопології

створює потребу у частому реекспорті моделей з Zbrush до Maya і до Blender, що витрачає багато часу і не є оптимальним способом.

Autodesk Maya має вбудовані інструменти для ретопології, які називаються Quad Draw. Вони дозволяють точно та просто оптимізувати модель. Також можна використовувати всі інші інструменти полігонального моделювання, які використовувались для створення оригінальної форми. Такий функціонал є достатньо глибоким та не змушує витрачати час на експорт у сторонню програму. Також Maya має широкий функціонал для роботи з UV-розгортками, шарами, та ригом, що дозволяє створити оптимізований асет в одному середовищі, не витрачаючи час на реекспорт.

5.4 Вибір засобів для текстурювання

Текстурювання – процес створення кольорових, або одно каналних зображень, що накладаються на 3D модель у відповідності до UV-розгортки, та імітують певні властивості поверхні об'єкту. Від якості текстур, їхнього рівня опрацьованості буде залежати кінцевий вигляд моделі. Серед кінцевих карт, що експортуються до рендер двигуна, можуть бути задіяні:

- базовий колір (base color);
- карта нормалей (normal map);
- карта шороховатості (roughness Map);
- карта металевості (metallness map);
- карта затінення (ambient occlusion map);
- карта під поверхневого розсіювання (subsurface scattering map);
- спеціальні карти-маски для різних регіонів.

Програмне забезпечення Substance Painter [19, 20] є універсальним та прийнятним засобом для створення реалістичних та складних текстур. Програма використовує подібну до Photoshop систему шарів, яка дозволяє використовувати маски, враховує послідовність розташування шарів та обирати режими змішування, створюючи складні послідовності та

взаємозв'язки. Важливою перевагою Substance Painter є наявність вбудованого PBR рендеру у режимі реального часу, що дозволяє наочно та миттєво побачити результат змін у в'юпорті. Хоча цей метод через відмінності в алгоритмах трасування світла не дає ідентичного результату до Unreal Engine, можливість миттєво побачити результат змін суттєво полегшує процес. Substance Painter також дозволяє запікати текстурні карти, тобто, переносити інформацію з тривимірного простору на текстури. Здебільшого у цьому процесі беруть участь дві сітки: високо полігональна та низько полігональна. Високо полігональна сітка має величезну кількість полігонів (часто мільйони), що означає, що вона може відображати 3D деталі з високою роздільною здатністю. Низько полігональна сітка, у свою чергу, має набагато менший полігонаж (зазвичай, лише кілька тисяч), тому її дешевше зберігати та рендерити. Запікання текстур дозволяє отримати найкраще з обох сторін: високий рівень деталізації та низькі витрати на продуктивність низько полігональної сітки. У процесі запікання інформація з високо полігональної сітки переноситься на низько полігональну сітку і зберігається в текстурі. Програма розробляється та розповсюджується Adobe, та доступна за підпискою \$300 на рік.

Інше програмне забезпечення – Mari [21] – було створене для текстурування складних моделей з великою кількістю текстурних карт, інтегроване до просунутих технологій рендерингу, використовує нодову та шарову систему. Нодна система є значно складнішою до вивчення та адаптації, ніж шарова, так як оперує не тільки порядком шарів, а логікою обчислень та графів, з яких складається нодна система. Mari є стандартом, здебільшого, у кіно, а також у виробництві високо бюджетної анімації, завдяки своїй здатності впоратися з надзвичайно складними і ресурсоемними завданнями текстурування. Вона оптимізована для високої пропускну здатності даних і може бути інтегрована в складні промислові умови завдяки інтеграції з Python та підтримці форматів обміну даними, таких як Alembic і OpenEXR. Комерційна версія Mari доступна за \$950 на рік.

Розглянувши сучасні рішення для створення реалістичних текстур, можна прийти до висновку, що Substance 3d Painter є оптимальним рішенням для текстурування моделі ігрової середньої складності. Програма має вичерпний функціонал, добре співпрацює з Unreal Engine та має вбудовану систему запікання, щоб перенести деталі з високо полігональної моделі на низько полігональну.

5.5 Вибір засобів моделювання волосся

Для створення волосся в комп'ютерних іграх використовується напівпрозора текстура, яка накладається на зігнуту стрічку полігонів, потім на шейдер накладається запечена текстура глибини (depth map), карта висот (height map) і карта напрямку (flow map) (рис. 5.1). Створення текстури можливо створювати декількома способами.



Рисунок 5.1 – Карта прозорості волосся

За допомогою Adobe Photoshop [22] можна намалювати вручну потрібні пасма волосся, пізніше додавши за допомогою градієнта необхідні відтінки глибини, карту напрямку. Плюси цього способу: швидкість, доступність

інструментів. Серед мінусів варто відзначити, що вкрай важко змінити ширину пасма, його положення і кривизну.

Серед популярних методів створення волосся для ігор також використовують вбудовану в Maya систему Xgen. Хоча саме по собі волосся з Xgen є вкрай ресурсоемним, можна використовувати таке волосся як основу для рендеру текстури, яка потім буде накладена на полігони та утворить порібне оптимізоване ігрове волосся. Такий метод дозволяє отримати дуже реалістичну текстуру, крім того бачити, як саме виглядає така пасма волосся на рендері. Мінус цього методу полягає в тривалості кожної ітерації, так як при кожній зміні потрібно буде робити новий рендер і вручну експортувати текстури.

Оптимальним програмним засобом буде використання стороннього засобу FiberShop [22]. Ця програма створена спеціально для створення текстур волосся для ігор. Робоче середовище дозволяє у неруйнівний спосіб вносити зміни в такі параметри волосся, як довжина, кривизна, товщина. Отримані текстури є дуже реалістичними, також програма дозволяє експортувати всі текстури одночасно.

5.6 Вибір засобів для ригінгу та анімації

Ригінг є одним з найскладніших технічних завдань під час створення 3D контенту, який вимагає чіткої організації системи кісток, груп і розподілу ваги. Для полегшення роботи буде використано безкоштовний сервіс Міхато [26], який автоматично створює риг, базуючись на вказівках користувача. Таку систему кісток можна буде легко імпортувати до Maya, виправити недоліки та імпортувати до Unreal Engine.

Unreal Engine дозволяє використовувати власну бібліотеку анімацій або завантажити одну з користувацьких, у випадку, якщо користувач не заготував власну.

6 РОЗРОБКА ПРОЕКТУ

6.1 Моделювання

Розробку 3D моделі було розпочато зі створення базових форм, щоб впевнитися в коректності висоти і пропорцій персонажу, та виявити потенційно проблематичні місця [23]. Моделювання було розпочато в Zbrush, яке дає високу пластичність роботи с формами та не вимагає чіткої послідовності використання інструментів. Таким чином, на перших етапах можна зосередитися суто на досягненні художньої якості та виразності.

З інструментів ZBrush були використані наступні інструменти та функціонал: пензлі для скульптингу, Zmodeler (для полігонального моделювання деяких проблематичних форм), Zremesher (для перетворення хаотичної та брудної сітки на більш гладку, підходящу під моделінг), систему шарів (Layers) для забезпечення неруйнівного процесу праці, Polypaint щоб розмітити колірні зони.

Розроблена на першому етапі модель (рис. 6.1) є сирим нарисом, який використовується як тривимірний референс для моделювання чистої моделі з вірною топологією.



Рисунок 6.1 – Початкова версія моделі, набросок

Для полегшення експорту моделі до Maya був використаний безкоштовний плагін GoZ, який робить реімпорту майже миттєвим та дозволяє не створювати зайві копії моделей у сцені. У Maya за допомогою полігонального моделювання були змодельовані частини костюму та кінцівки. У Zbrush для деяких елементів був використаний Zremesher для того, щоб утворити чисту топологію для можливості роботи з рівнями підрозділення (Subdivision Levels).

Результатом цього етапу роботи є утворення високоякісної моделі, яка має всі необхідні деталі; частини моделі, що мають згинатися чи деформуватися, логічно пасують одна до одної, таким чином оминаючи заломлювання чи зіткнення. Важливо врахувати масштаб моделі, який має відповідати реальним розмірам людини, так як у рушії всі моделі відповідають реальним розмірам. Висота моделі 185 сантиметрів, що приблизно відповідає зросту людини.

6.2 Скульптинг обличчя

Створення лицевих структур, так само, як і моделювання аналогічних органічних об'єктів, є непростою задачею, що потребує певних художніх навичок, та здебільшого мануального підходу. Така складність задачі зумовлена складністю художнього відтворення обличчя людини та врахування всіх етнічних, расових, гендерних ознак. Для виконання цього завдання Zbrush надає широкий функціонал, що суттєво полегшує робочий процес. Зокрема, робота спрощується за допомогою використання широкої бібліотеки пензлів (brushes) та альфа текстур (alphas), які дозволяють опрацьовувати поверхні з високим ступенем деталізації.

6.3 Ретопологія, UV-розгортка

Після того, як була отримана високо полігональна, деталізована модель – результат скульптингу, важливо перенести її складні геометричні риси та дрібні деталі поверхні на текстури низько полігональної моделі, яка буде використовуватися у самому рушії. Але для цього спочатку потрібно провести ретопологію з метою оптимізації моделі та створення UV-розгортки. Ця фінальна, оптимізована, низько полігональна модель безпосередньо використовується в ігровому рушії, де вона може забезпечити високу ефективність, зберігаючи візуальну вірність з оригіналом через текстурування.

Перший етап – точна ретопологія, націлена не тільки на зменшення кількості полігонів, а й на впорядкування сітки, тобто топології, яка є чистою, симетричною та рівномірною, це особливо важливо для місць, які будуть зачеплені деформаціями під час анімації. Після виконання ручної ретопології слід впевнитися, що не залишилось жодних зайвих кривих полігонів, точок, ребер. Такі дефекти називаються non-manifold geometry та суттєво ускладнюють роботу над 3D моделлю, так як велика кількість функцій не працює коректно, коли в об'єкті наявні ці артефакти. Щоб прибрати їх та впевнитися в акуратності та коректності проведеної ретопології, було використано інструмент CleanUp в Maya. Цей інструмент може або підсвітити, або автоматично прибрати усі проблематичні частини 3D моделі, такі як, non-manifold geometry, трикутники, замалі полігони, або ребра. Після виправлення всіх недоліків 3D моделі, була отримана готова низько полігональна модель (рис. 6.2).

Другий етап – створення UV-розгортки моделі, яка інтерпретує об'ємну модель у двовимірному текстурному просторі. Для цього, використовуючи вбудований UV редактор (UV Editor), на ребрах моделі потрібно відмітити шви. Кожен шов створює надріз на двомірній площині, відокремлюючи частини об'єкту на текстурі.

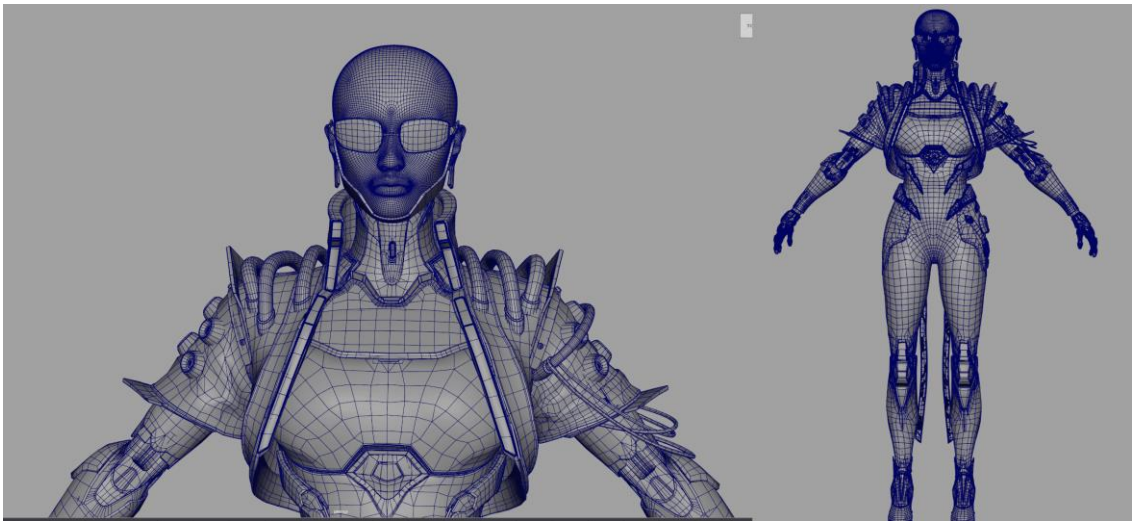


Рисунок 6.2 – Низькополігональна модель персонажа

Шви розміщуються на найменш помітних ділянках моделі, включаючи внутрішні вигини та вигини під іншими зовнішніми компонентами, а також на ділянках з природними текстурними розривами, наприклад, на швах одягу. Приділяється особлива увага точному розміщенню швів на ділянках моделі, які зазнають анімації або сильної деформації, оскільки ці ділянки можуть стати надто помітними і порушити візуальну цілісність.

Розташування UV-островів, тобто частин моделі, в UV-просторі відіграє важливу роль у цьому процесі текстурування. Вони мають бути розміщені логічно, рівно та симетрично на основі просторової геометрії моделі, щоб полегшити роботу з текстурами, особливо для безшовних патернів, які проходять уздовж певних напрямків, а також дрібних деталей або текстових елементів. Підтримка однакової тексельної щільності текстур по всій моделі є важливою вимогою. Цей підхід гарантує, що всі конкретні області об'єкта отримують однаковий рівень деталізації завдяки рівномірному розподілу доступного простору текстури. Важливі частини моделі потребують додаткової щільності текстурного простору, зокрема, обличчя персонажу і деталі об'єктів, які часто з'являються в кадрі.

Потужні інструментальні засоби, інтегровані в програмне середовище Maya, значно полегшують процес редагування UV-розгортки, надаючи інструменти, за допомогою яких можна керувати всіма важливими базовими

характеристиками. Функціонал дозволяє керувати всіма найважливішими факторами, включаючи щільність текстури для збереження рівномірної деталізації поверхні, оптимізацію кількості та розміру UV-острівців для ефективного використання UV-простору, а також візуальну демонстрацію ступеня розтягування геометрії моделі на текстурній площині для запобігання спотворення розгортки.

Для подальшого полегшення запікання моделі потрібно правильно найменувати всі частини моделі, а саме, надати коректне, логічне ім'я окремим об'єктам та додати суфікс `_low` до всіх об'єктів низько полігональної моделі, та суфікс `_high` до всіх об'єктів високо полігональної моделі. Таким чином, низько полігональна модель має повністю відповідати високо полігональній, індексація за допомогою суфіксів у назві буде незмінно потрібна у подальшому запіканні моделі у середовищі Substance Painter

Після всіх дій з геометрією та UV-розгорткою моделі ще раз була проведена очистка, а саме, модель перевірена через Clean-Up утиліту, видалена історія (опція Delete History) та видалена інформація про трансформацію (Freeze Transform). По завершенні цього етапу модель персонажа була повністю закінчена, створена логічна та уніфікована UV-розгортка, яка відповідає художнім цілям та технічним вимогам (рис. 6.3). Модель складається з 43 окремих об'єктів, та розділена на 17 матеріалів. Середня тексельна щільність моделі: 55 пікселів на сантиметр.

6.4 Текстурування

Отримана чиста модель (рис. 6.4) була експортована у форматі FBX з Maya та імпортована до Substance Painter. Перед початком роботи були ввімкнені наступні налаштування проекту: підтримка UDIM (UDIM support), що підвищує ефективність та якість накладення текстур (UDIM - "U Dimension"), і дає змогу розподіляти UV-острови за кількома текстурами,

фактично надаючи островам більше простору для роботи. Стандартна роздільна якість проекту – 4096 x 4096.

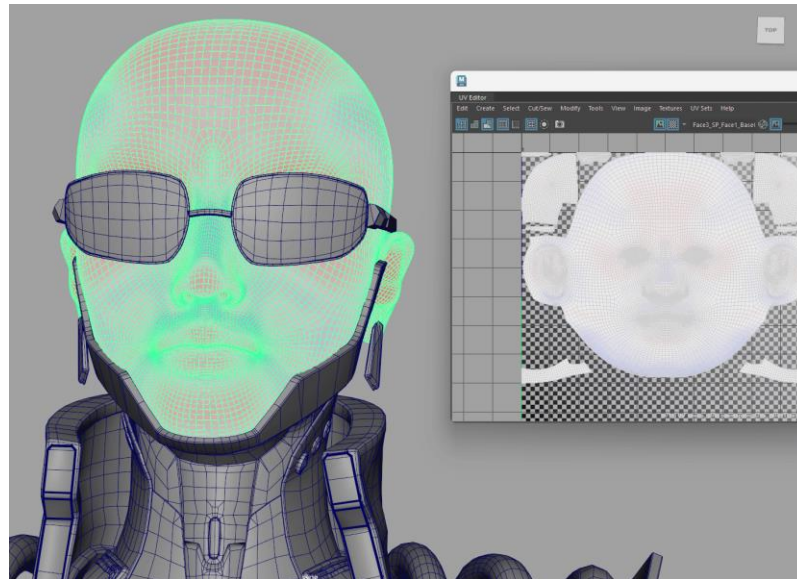


Рисунок 6.3 – UV-розгортка обличчя



Рисунок 6.4 – Модель у середовищі Substance Painter без запечених деталей

Після успішного імпорту до Substance Painter було налаштоване меню запікання моделі. Меню містить основні параметри, за допомогою яких створюються текстурні карти, що формують основу для подальших операцій текстурування. Звичайний процес запікання зазвичай створює чотири базові карти, які включають карту нормалей (Normal) для перенесення деталей

високо полігональної моделі в низько полігональну (якщо існують високо полігональні джерела), затінення (Ambient Occlusion) для створення ефекту м'якої тіні в западинах, і кривизни (Curvature) для виявлення опуклих і ввігнутих ділянок поверхні, а також додаткові карти, такі як карта нормалей глобального простору (World Space Normal), карта положення (Position) і карта товщини (Thickness).

Так як високо полігональна модель є досить об'ємним файлом, та її візуалізація може займати великий проміжок часу, вона була розділена на 5 менших частин, які зручніше реекспортувати та які вимагатимуть менше часу на обробку. Налаштування запікання вимагають вказівки шляху до окремої високо полігональної моделі, що є важливим для точної передачі деталей. Параметри проєкції променів, такі як Максимальна фронтальна відстань (Max Frontal Distance) і Максимальна задня відстань (Max Rear Distance), налаштовуються, щоб встановити відстань пошуку програмою поверхні високо полігональної моделі для проєкції деталі. Було вибрано роздільну здатність 4096, а також ступінь згладжування текстур (Anti-aliasing) 32, щоб зменшити ступень пікселізованості країв текстур під час запікання. Опція «Запикати за назвою мешу» (Bake by Mesh Name) порівнює частини моделі, переносить текстури виключно між відповідними компонентами, що запобігає помилкам перенесення і дефектам проєкції.

Процес запікання починається після завдання всіх потрібних значень. Substance Painter виконує послідовне створення карт поверхонь для кожного активного набору текстур. Створені текстурні карти автоматично прив'язуються до потрібних слотів, отримані зображення Substance Painter може відразу використовувати для створення фільтрів, генераторів, також всі додані шари у проєкту автоматично починають використовувати саме створені текстури, автоматично оновлюючи всі створені зв'язки (рис. 6.5).

Текстурування моделі слід починати з приблизної розмітки кольорових зон та властивостей матеріалів, які потім будуть ускладнюватися відповідно до референсних зображень з реального світу. Так, наприклад, середні значення

шорсткості (Roughness) пластику є значно нижчим, ніж у тканини, і дорівнює приблизно 0,4.

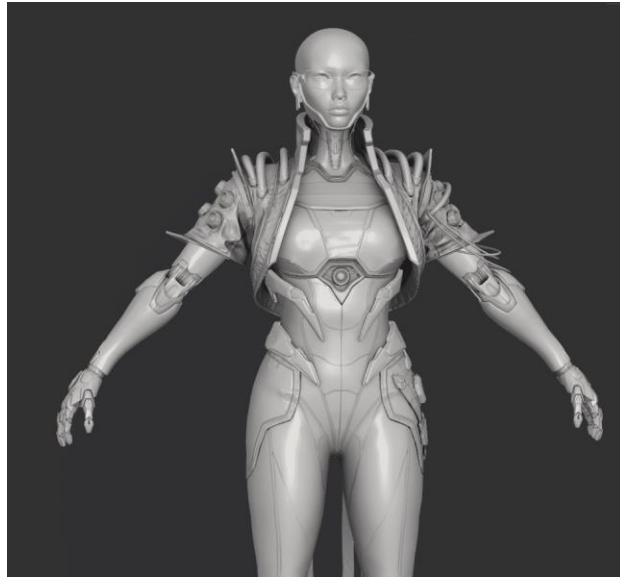


Рисунок 6.5 – Модель після запікання з застосованими картами

Також задаються значення металевості, які можуть дорівнювати 1 або 0, використання проміжкових значень призведе до нереалістичних результатів, які не будуть відповідати сучасним законам реального світу, де матеріали діляться на електропровідники та діелектрики (напівпровідники доволі рідко піддаються візуалізації, тому напівметалевість є зайвою у поточному проекті). Серед використовуваних ефектів також карта світіння (emission), яка створює псевдо світло в окремих ділянках моделі. Хоча таке світло не буде мати високоякісних тіней та не буде освітлювати навколишнє середовище, використання таких ефектів – відносно дешевий спосіб створити елементи, які мають випромінювати незначну кількість світла.

Substance Painter працює через систему шарів, щоб забезпечити гнучкість матеріалу і прогресивне вдосконалення матеріалу. Система функціонує, як зручна та недеструктивна завдяки інструментам для керування матеріалами та ефектами масок. Кожен шар матеріалу або ефекту містить індивідуальну маску, яка контролює його видимість і вплив на поверхню, аналогічно до Photoshop. Під час текстуровання моделі маски створюються різними методами, включаючи

мануальне малювання, малювальний шар (Paint Layer), імпортовані растрові зображення для растрових масок (Fill Layer) і процедурні генератори (Generators), які застосовуються на шари та маски для створення ефектів на основі текстурних карт, що були запечені раніше. Система забезпечує точне керування ефектами разом із розробкою досконалих структур матеріалів, які дозволяють керувати всіма атрибутами на рівні поверхні.

Відповідно до принципів неруйнівного робочого процесу, під час роботи в Substance Painter були використані режимі накладання масок з шарами, які дозволяють користувачам розробляти матеріали шляхом багаторазових ітерацій. Ефекти та текстури комбінуються різними методами, включаючи пряме малювання та імпортовані растрові зображення, а також процедурні генератори, які використовують текстурні карти моделі і ідентифікацію за ID картою. Таким чином, текстурні карти моделі були модифіковані для досягнення найбільш реалістичного та художнього вигляду (рис. 6.6).



Рисунок 6.6 – Повністю текстурована модель

7 СТВОРЕННЯ РИГУ ТА АНІМАЦІЇ

Ригінг – обов’язковий вступний етап перед анімацією моделі, який створює взаємозв’язки між кістками, всіма рухомими частинами моделі. Autodesk Maya надає всі потрібні інструменти для створення ригу для моделі та її подальшої анімації. Для людиноподібних істот зазвичай створюється подібний риг, який спрощено імітує анатомію скелета людини, включаючи всі найважливіші кістки тулуба, рук, ніг, голови [24]. Створення повністю нового ригу для персонажу включає в себе: створення кінцівок правильної довжини, захоплюючи потрібні об’єкти 3D моделі; створення ІК-кісток, тобто елементів інверсійної кінематики; розподіл ваги, який визначає об’єм моделі, який кістка захоплює собою. Не дивлячись на те, що для кожного персонажу риг може бути унікальним з огляду на його розміри, кількість додаткової атрибутики, такої як одяг, амуніція тощо, основа ригу є доволі уніфікованою, тому здебільшого створення базового налаштування допустимо проводити сторонніми засобами, для економії часу.

Сервіс Міхато [25] від Adobe був використаний для створення базового ригу. На початку, модель персонажу була імпортована до веб-сервісу, який пропонує вручну відмітити такі ключові точки, як плечі, зап’ястя, коліно, стегно. Базуючись на цих контрольних точках програма розставляє кістки і розподіляє вагу (рис. 7.1).

Міхато може одразу застосувати анімацію з вбудованої великої бібліотеки, перевіривши коректність розмітки і розподілу ваги. Утворений базовий риг повністю задовольняє базові потреби. Модель разом з вбудованим ригом була експортована у форматі FBX до Maya.

У Maya робочий простір був змінений на Rigging & Animation для спрощення доступу до специфічних функцій і інструментів. У режимі Weight Paint стає доступний функціонал для редагування розподілу ваги моделі.

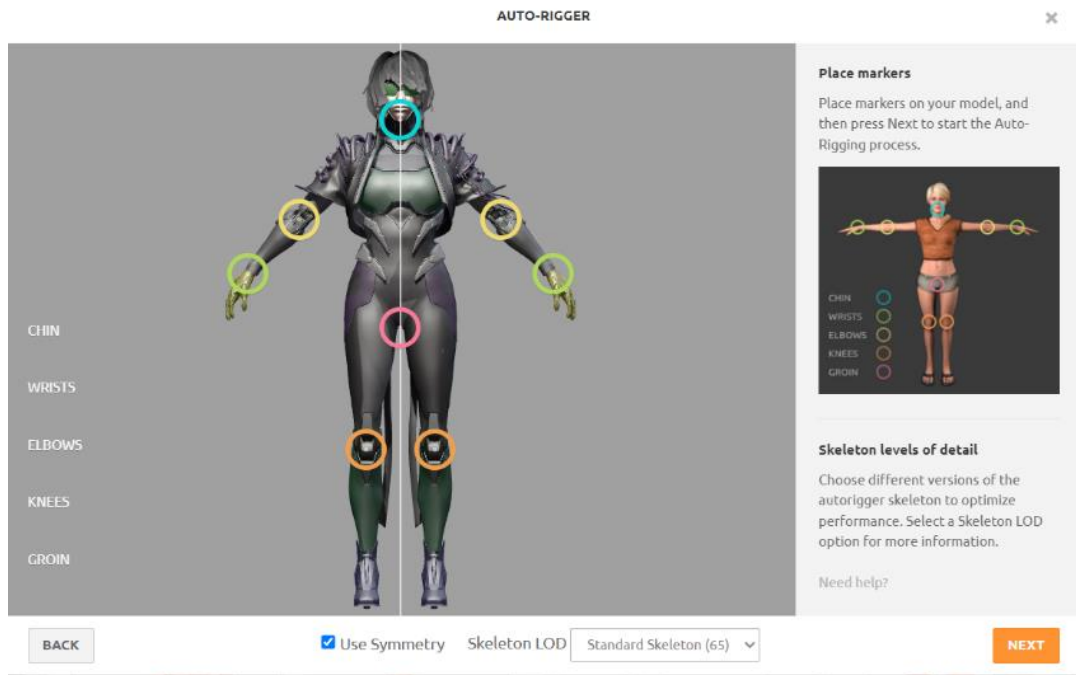


Рисунок 7.1 – Розмітка персонажу у Міхамо

Найскладніші регіони моделі, такі як шия, куртка, спина мають рівномірний розподіл, який впливає на нереалістичні та дуже різкі вигини під час анімації моделі. Для того, щоб оптимізувати карту деформації, був використаний інструмент Paint Weight. У місцях, які найщільніше прилягають до кісток та джоїнтів, вага має бути максимальною, тобто рівна 1. Що менш задіяний полігон конкретною кісткою, то меншим має бути значення. Якщо полігон, який не стикається з кісткою, має позитивне значення, модель буде розриватися і сильно деформуватися під час анімації.

Для того, щоб наочно впевнитися в коректності ригу, потрібно довести кожну кістку до її максимуму можливої трансформації. Так, плече максимально підняте до верху, тестує плечовий джоїнт у критичному значенні, тим самим, можна впевнитися, що навіть менші деформації не спричинять артефактів (рис. 7.2).

Особливу увагу приділяють областям зі складною геометрією або тим, де різні частини моделі близько взаємодіють, наприклад, пахви, внутрішня сторона стегон, а також елементи одягу, що можуть проникати крізь тіло персонажа або неприродньо деформуватися. Ретельне налаштування ваги

дозволяє досягти природної та коректної поведінки навіть для таких складних елементів, куртка або волосся.

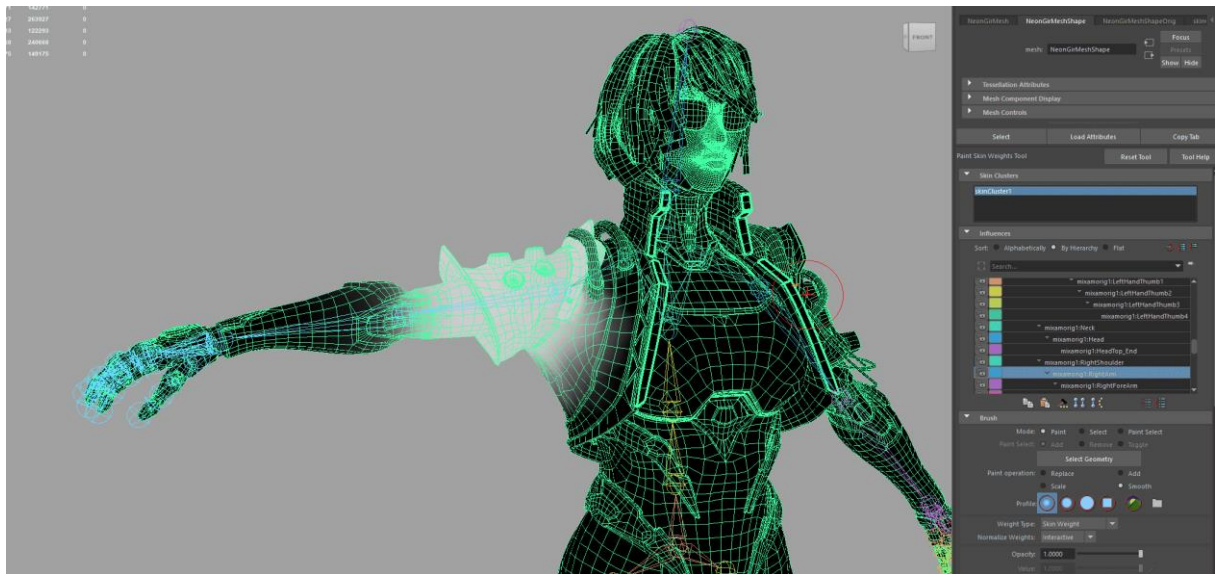


Рисунок 7.2 – Налаштування ваг, корекція ригу

Коли розподіл ваги повністю налагоджений і модель деформується коректно у всіх передбачених екстремальних тестових позах, основна частина роботи зі скелетом та його прив'язкою до геометрії вважається завершеною, та далі слідує процес інтеграції моделі і ригу до рушія.

8 ІНТЕГРАЦІЯ МОДЕЛІ ДО UNREAL ENGINE

8.1 Налаштування рушія

Маючи експортовану модель, набір текстур, та контрольних риг, потрібно звести всі наявні асети та компоненти моделі у рушії Unreal Engine версії 5.4. Перед початком роботи було завантажено ряд плагінів, які будуть потрібні для роботи:

- Movie Render Queue (надає високоякісні результати для фільмів. Система забезпечує покадровий рендеринг зі згладжуванням, підтримкою високої роздільної здатності та проходами рендерингу – глибина, маски, освітлення, – а також LUT, кольороподілом ACES і багатопотоковою обробкою);

- Animation Locomotion Library (система для анімації на основі масиву даних. Включає інструменти та набори анімації для адаптивного переміщення персонажів з використанням згладження узгодження рухів, ІК, викривлення кроку та плавного повороту. Працює в реальному часі, щоб більш природно поєднувати та контролювати логіку руху);

- Pose Search (система включає в себе базу даних і фреймворк для пошуку анімаційних поз. Функціонує для узгодження рухів, вибираючи ідеальну наступну позу анімації шляхом аналізу стану персонажа на основі збережених даних про позу. Система дозволяє створювати автоматичні анімаційні реакції, які не потребують ручного створення переходів);

- Motion Warping (дозволяє коригувати анімацію руху кореневої кістки root bone в реальному часі);

- Animaton Warping (викривлення рухів стає більш гнучким завдяки покращеному контролю деформації кісток. Система дозволяє користувачам точно маніпулювати рухами кінцівок, тулуба та ніг за допомогою налаштувань ІК у поєднанні з регулюванням положення кісток під час відтворення. Система усуває проблеми ковзання ніг, запобігаючи артефактам скручування, і

покращує змішування для модифікацій анімації, які адаптуються до динамічних умов);

- Chooser (система прийняття рішень, яка працює на основі введених даних, вибирає анімацію разом зі спецефектами або логікою на основі вхідних змінних або контекстних тегів);

- Deformer Graph (візуальна система відображення деформації, що оперує через GPU, дозволяє створювати деформацію вершин і сітки в реальному часі за допомогою графів на основі вузлів. Використовується для ML деформаторів, анімації обличчя, ефектів тканини FX).

Окрім плагінів, також були змінені деякі налаштування рушія. У меню Project Settings було ввімкнено опцію Enable Virtual Texture Support та Enable Virtual Texture on Texture Import – налаштування дозволяє використовувати UDIMS, кожен екстра текстуру для об'єкту не потрібно обирати двічі, всі зображення для певного типу текстури завантажаться автоматично.

8.2 Налаштування матеріалів

Після того, як всі потрібні асети, включаючи модель, текстури та скелет, були імпортовані до рушія, було розпочато розробку базового матеріалу, який буде використовуватися для більшості об'єктів. Редактор нодів в Unreal Engine дозволяє створювати два типи матеріалів – Майстер-матеріал та Дочірній матеріал. Майстер-матеріал має відповідати конкретному типу матеріалу, що розробляється, та містити усі потрібні ноди, значення яких можна змінювати на потребу у дочірніх матеріалах. Так, наприклад, для стандартного матеріалу, що імітує метал, пластик, штучну шкіру, був використаний Default Lit. Для матеріалів шкіри обличчя, напівпрозорих матеріалів були використані інші моделі, такі як Subsurface Skin, Transparent. Нодна структура матеріалу використовувала такі операції, як Multiply, Lerp, CheapContrast, Invert. Нодна логіка матеріалу дозволяє змінювати значення, контраст та яскравість

текстури, що була імпортована з Substance Painter, таким чином, зменшена потреба в ітерації текстур зі сторонньої програми.

У дочірньому матеріалі зміна параметрів відбувається за допомогою зміни значень в слайдерах. Так, наприклад, для текстури шорсткості обличчя був доданий модифікатор, який дозволяє висвітлити чи затемнити текстуру, значення, яке було додане до текстури – 0.9, воно робить обличчя менш шорстким та сухим, більш вологим та блискучим (рис. 8.1).

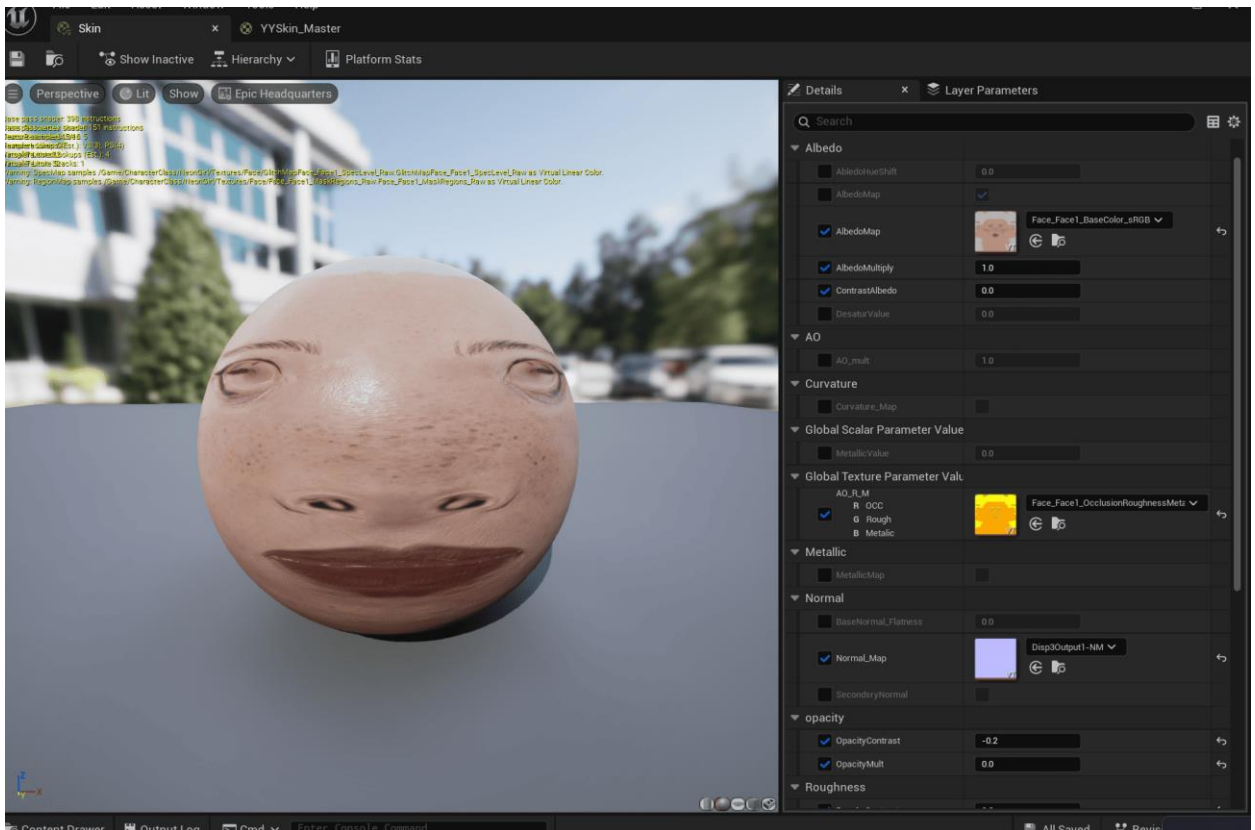


Рисунок 8.1 – Дочірній матеріал шкіри обличчя

Створення очей для персонажа є непростю задачею як в художньому плані, через свою виразність та запам'ятованість, так і через технічну складність створення шейдеру очей. Людське око має складну структуру, і складається з декількох шарів, які створюють комплексний світло-тіньовий рисунок на райдужній оболонці. Для створення такого ефекту в 3D використовується складна нодна структура, задіюючи відразу 5 текстур. Комплексна система створює ефект паралаксу, який імітує внутрішній простір ока, тобто шар між

рогівкою та зіницею. Для створення м'якого ефекту склери та натуральності застосовується ефект підповерхневого розсіювання, так само, як і для всієї шкіри персонажа. Текстура затінення (Ambient Occlusion) використовується для рельєфу райдужної оболонки, надаючи об'єм внутрішній частині ока. Таким чином, використовуючи лише просту модель ока, їй надається вкрай реалістичний та виразний ефект. Стандартний матеріал очей від Unreal Engine також дозволяє використовувати власні налаштування матеріалу.

Так як рендер у реальному часі не має можливості відкинути тінь на око, для створення більш реалістичного ефекту розташування ока в очниці була додана додаткова модель, що створює затінення на оці (рис. 8.2).

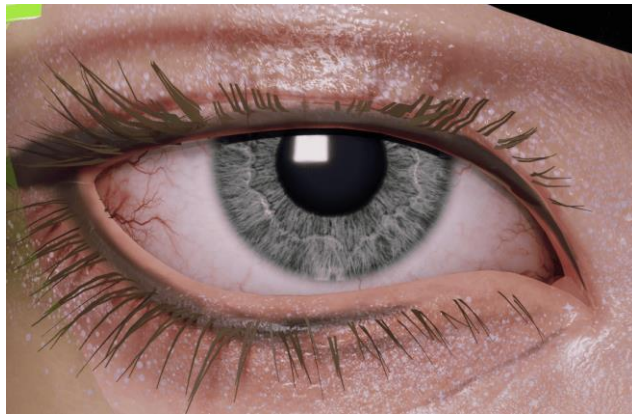


Рисунок 8.2 – Шейдер ока

8.3 Налаштування світла та рендеру

Для статичного рендеру був створений новий рівень, щоб розмістити на ньому всі потрібні асети. Так як Unreal Engine зберігає всі зміни в асет персонажа, можна дублювати персонажа між рівнями, та всі зміни будуть одночасно вноситися. Модель персонажа розміщена у нульових координатах зі звичайним масштабом, біля неї було додано 4 джерела світла, які освітлюють модель з різних сторін, створюючи рівномірний, «чистий» рендер (рис. 8.3).

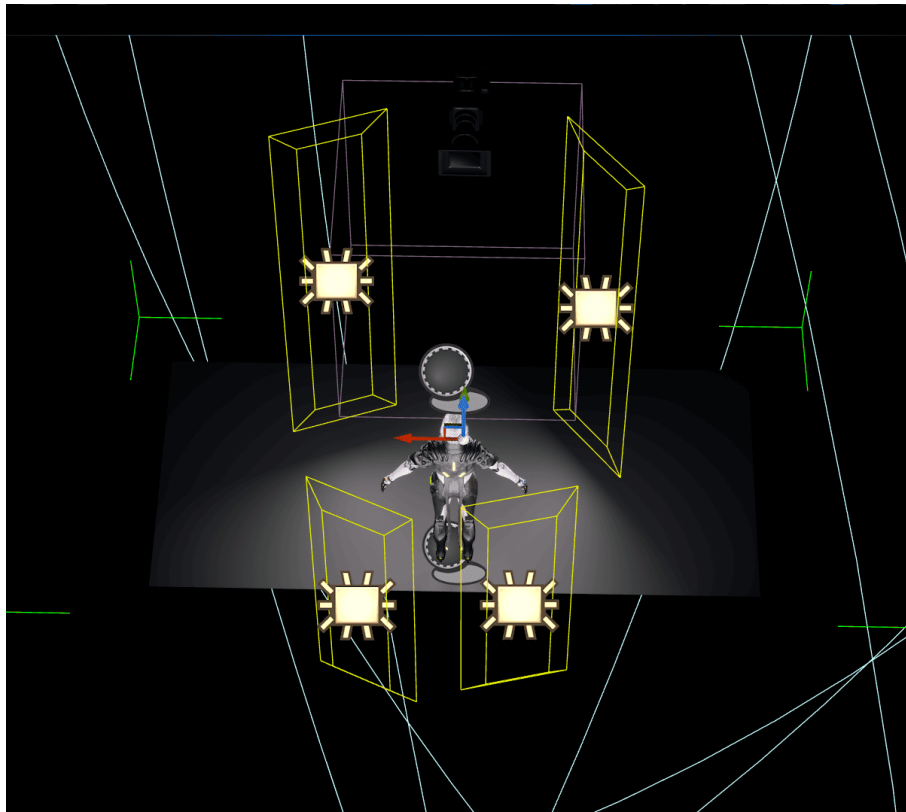


Рисунок 8.3 – Схема розташування джерел світла в сцені

До сцени було додано елементи `PostProcessVolume` – це специфічні налаштування для сцени, в якій розміщено елемент. Процес може змінювати налаштування світла, тіні, змінювати технологію, яка використовується під час рендеру. Для цієї сцени була обрана опція `Infinite Extent`, що робить елемент необмеженим за розміром та впливає на всю сцену цілком. У параметрах елементу був доданий ефект `Chromatic Abberation` зі ступінню 0.8 для створення більш цікавого ефекту глибини та футуризму. Також були змінені налаштування рендеру: `Transluceny Type Raster` – змінює алгоритм, який оброблює напівпрозорі матеріали, для більш коректного рендерингу очей та скла; `Ray Lighting Model Hit Lighting for Reflection` – просунена технологія обробки променів, яка дає більш реалістичне затінення; `Lumen Reflections Quality 2` – у два рази збільшує якість відскоків світла, може бути непомітне на рівні, однак, під час рендеру може суттєво підвищити якість світла.

Для рендерингу кожного статичного кадру була додана камера з фіксованим положенням. Більшість камер має фокусну відстань 50, найближча

до обличчя використовує 85. У папці проекту був створений елемент Level Sequence, в який імпортуються потрібні для рендеру камери та об'єкти, які будуть анімуватися. Перед рендерингом було проведене налаштування, щоб впевнитися в коректності всіх налаштувань, зокрема формат виводу зображення, та місце виводу. Для рендерингу у реальному часі використовується опція Deferred Rendering, деякі зображення, такі як близькі кадри, використовували просунений рендеринг, доступний у Unreal Engine – Path Tracer – він є довшим, проте дає більш реалістичну поведінку світла, зокрема у поєднанні з матеріалами шкіри та скла. Був обраний режим згладжування Temporal Anti-Aliasing (TAA) зі значенням 128. Також додано 3 додаткових консольних команди, які насильно змінюють глобальні параметри: `r.MotionBlurQuality 0`; `r.DepthOfFieldQuality 4`; `r.TemporalAASamples 128`.

Отримані рендери були збережені до відповідної папки проекту у форматі png.

8.4 Імпорт та налаштування анімацій

Для створення анімацій в Unreal Engine для персонажа була використана вбудована система анімацій Motion Matching. Завдяки попередньому налаштуванню скриптів, базовий, наданий розробником, рівень Game Sample Project став доступний для модифікації та заміщення стандартної моделі на власну.

Після налаштування середовища проводиться застосування вбудованих анімацій до самого ігрового персонажа. На початку запускається процес перенацілювання анімацій (Retarget Animation), для чого був вибраний стандартний блюпринт персонажа ABP_Sandbox_Character, та обрано «Retarget Animations» (Перенацілити анімації). У діалоговому вікні вибирається скелет персонажа, а перенацілені анімації експортуються, до спеціальної папки проекту. Важливим кроком тут є перейменування автоматично згенерованого ресурсу IK Retargeter (RTG) на ідентифікатор, що

запам'ятовується, так як у подальшому назва персонажа буде використана у налаштуванні інших блюпринтів.

Підготувавши анімації, на наступному етапі потрібно оновити шаблон `ABP_GenericRetarget`, який можна знайти в розділі `Blueprints > RetargetedCharacters`. Усередині цього шаблону потрібно змінити `Retargeter Map` у розділі `Default Values`. До цієї мапи додається новий елемент, а до його поля `name` вставляється раніше скопійована назва RTG. Відповідний актив RTG потім призначається до цього нового запису. Після компіляції та збереження створюється план символу для обраного персонажа. Це було зроблено шляхом дублювання існуючого шаблону персонажа в папці `RetargetedCharacters` і перейменування його відповідним чином. У цьому новоствореному шаблоні компонент `Skeletal Mesh` буде оновлено для використання сітки персонажа, і, що важливо, його властивість `Tag` на панелі `Details (Деталі)` має бути встановлена на скопійовану назву RTG.

Щоб зробити нового персонажа доступним для вибору в грі, було відредаговано віджет `GameAnimationWidget` (розташований у папці `Widgets`). У редакторі `UMG` дублюється наявна кнопка вибору персонажа, а її властивість `Object` переналаштовується так, щоб вона вказувала на новостворений шаблон персонажа.

Для того, щоб персонаж автоматично був ігровим після запуску рівня, у панелі `World Settings` у якості `Default Pawn Class` було обрано новостворений блюпринт персонажа.

9 ТЕСТУВАННЯ ДЕМО-ВЕРСІЇ ДОДАТКУ РАЗОМ З МОДЕЛЛЮ

Щоб достовірно перевірити справність моделі у справжніх ігрових умовах, був створений спеціальний тестовий рівень на рушії Unreal Engine. Цей рівень допоміг не лише оцінити саму модель, але й ретельно протестувати всі анімації персонажа. На його основі були підготовлені матеріали для трейлера та промо-матеріали для презентації проекту.

Для роботи був взятий вже готовий проект від Unreal Engine – Game Animation Sample Project. Розробниками рушія був створений цей прототип, щоб демонструвати та тестувати нові анімаційні техніки й перевіряти, як працюють складні системи ригінгу персонажів. Що важливо, цей зразок додали до Unreal Engine саме з виходом версії 5.4, що підтверджує його актуальність і сумісність з найновішими технологіями рушія.

Щоб перенести модель персонажа разом з усіма потрібними асетами – матеріалами, текстурами та анімаціями – у новий проект, був використаний вбудований інструмент Migrate. Цей інструмент дозволяє повністю перемістити всі компоненти, зберігаючи їхні зв'язки та цілісність (рис. 9.1-9.2).

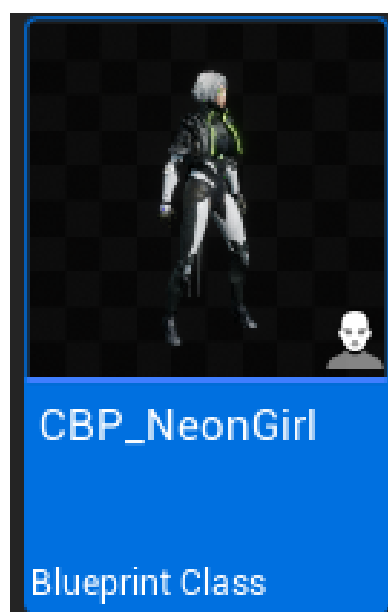


Рисунок 9.1 – Асет з прикріпленими анімаціями, текстурами

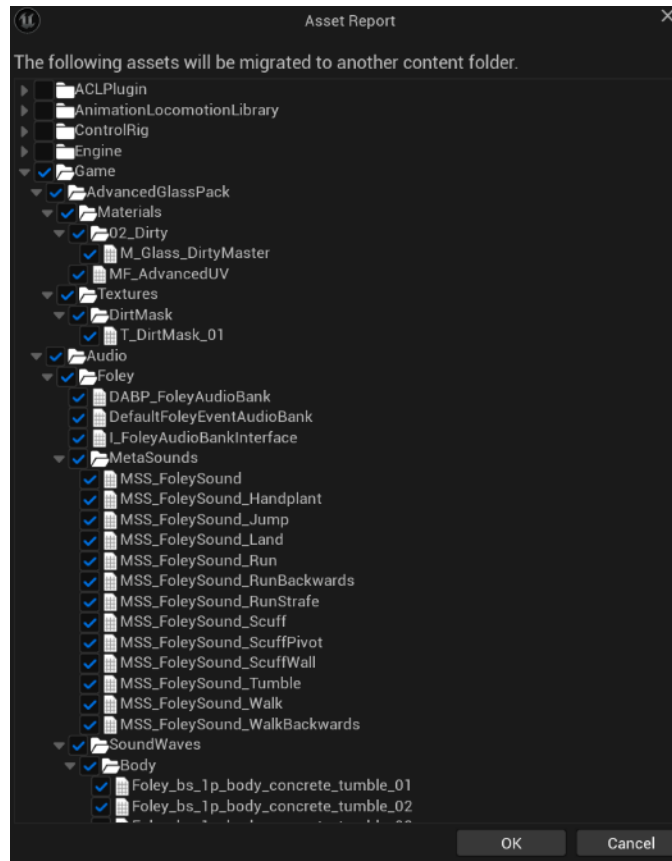


Рисунок 9.2 – Інструмент Migrate

Після того, як модель була протестована в умовах, максимально схожих на реальні (включно з тим, як вона взаємодіє з оточенням (рис. 9.3)), було доведено, що асет повністю відповідає і технічним вимогам, і загальним цілям проекту.

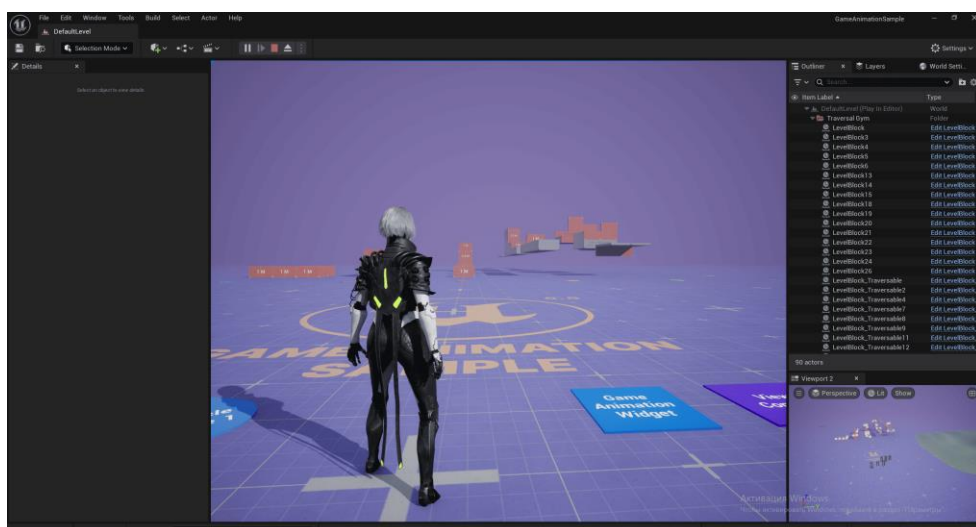


Рисунок 9.3 – Модель на тестовому рівні

10 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

У результаті виконання кваліфікаційної роботи створено 3D-персонажа для інтеграції в ігрове середовище. Впровадження такого персонажа є доцільним у рамках розширення контенту ігрового продукту та підвищення його візуальної привабливості.

Доцільність розробки полягає в можливості використання персонажа в комерційних проєктах (ігри, трейлери, маркетингові матеріали). Проєкт оцінюється з позиції витрат на розробку та потенційного прибутку від його реалізації або інтеграції.

На ринку 3D-моделей існує значна кількість розробників та студій, що створюють 3D-персонажів, включаючи інших фрілансерів-художників, студії 3D-моделювання та моделі, доступні на стокових сайтах. Конкурентними перевагами даної моделі є її унікальний художній стиль та дизайн, висока технічна якість виконання (оптимізація, PBR-текстури, якісний ріг) та відповідність вимогам популярного рушія Unreal Engine, що суттєво перевершує пропозиції з менш якісними розробками. Цінова політика конкурентів варіюється залежно від складності, якості, наявності анімацій та ексклюзивності моделі.

Для компанії-виробника віртуальних асетів для комп'ютерних ігор джерелом доходу є продаж розроблених моделей у ексклюзивній формі або масово на відкритих онлайн маркетплейсах. Канали збуту моделі включають онлайн-маркетплейси цифрових активів (наприклад, Unreal Engine Marketplace, Unity Asset Store, ArtStation Marketplace), прямі продажі студіям розробки та використання у власних комерційних проєктах. Ринок ігрової індустрії та цифрового контенту стабільно зростає, що зумовлює значний попит на високоякісні 3D-моделі.

Для замовників, джерелом економії є купівля стокових, тобто неунікальних моделей для прототипування, тестингу ранніх версій додатків; оптимізація створення 3D-асетів через впровадження ШІ технологій у етапи технічної та художньої розробки, також використання повністю віддаленої роботи надає можливість економити на оренді приміщення та оплаті електроенергії.

Етапи розробки детально описані в основній частині кваліфікаційної роботи і включають аналіз концепту, скульптинг, моделювання, ретопологію, UV-розгортку, запікання текстур, текстурування, створення волосся, рігінг та інтеграцію в Unreal Engine. Необхідні ресурси для розробки включають програмне забезпечення (Autodesk Maya, Maxon ZBrush, Adobe Substance Painter, FiberShop, Unreal Engine, Mixamo), потужний ПК та людські ресурси (в даному випадку – один розробник). Згідно з календарним планом, етап "Розробка ПЗ" тривав приблизно з 16.04.2025 до 10.05.2025.

Створення 3D-моделі персонажа для Unreal Engine включає такі етапи:

- концептуалізація та попереднє моделювання (аналіз художнього стилю та концепту персонажа, створення базових 3D-форм, високополігональний скульптинг (особливо обличчя) в ZBrush);
- оптимізація геометрії моделі (оптимізація високодеталізованої моделі через ретопологію (створення низькополігональної сітки) в Autodesk Maya);
- створення текстур (запікання карт (Normal, AO та ін.) з високополігональної моделі на низькополігональну. Створення реалістичних PBR-текстур та матеріалів);
- розробка елементів волосся (моделювання геометрії пасом волосся та створення спеціалізованих текстур);
- рігінг (створення скелетної системи (рігу) для анімації: розміщення кісток та скінінг);
- інтеграція та налаштування в ігровому рушії (імпорт моделі, скелету та текстур в Unreal Engine. Налаштування матеріалів, освітлення сцени та параметрів рендеру для демонстрації);

– налаштування анімацій (робота з анімаціями в Unreal Engine).

Просування моделі передбачає створення портфоліо на платформах ArtStation, Behance, публікацію рендерів та демонстраційних роликів, участь у професійних спільнотах та форумах, а також розміщення на маркетплейсах.

У собівартість розробки 3D-моделі входять наступні статті витрат:

- основна заробітна плата;
- додаткова заробітна плата;
- єдиний соціальний внесок;
- витрати на програмне забезпечення

Розробкою моделі подібної якості і складності можуть займатися 2 фахівці: скульптор-моделлер (відповідальний за створення моделі, її оптимізацію та текстурування), а також технічний художник / аніматор (відповідальний за інтеграцію до ігрового рушія та анімацію. Зарплата моделлера – 100,00 грн/год, технічного художника – 120,00 грн/ год. Розрахунок основної заробітної плати наведено у таблиці 9.1. При цьому тривалість робочого дня 8 годин. 3D-модель розробляється до 3 тижнів.

Таблиця 9.1 – Розрахунок заробітної плати

| Етап | Вид робіт | Виконавець | | Годинна ставка, грн | Тривалість виконання, дні | Заробітна плата, грн |
|----------------------------------|---|----------------|------------|---------------------|---------------------------|----------------------|
| | | Кількість, ос. | посада | | | |
| 1. Моделювання | Створення 3д моделі, скульптинг | 1 | інженер | 100,00 | 6 | 4800,00 |
| 2. Текстуриг | Створення текстур для моделей | | дизайнер | 100,00 | 5 | 4000,00 |
| 3. Технічна підготовка | Підготовка та технічна оптимізація моделі у рушії | | програміст | 120,00 | 0,5 | 480,00 |
| 4. Анімація | Створення ригу | 1 | програміст | 120,00 | 0,5 | 480,00 |
| | Створення анімацій | | програміст | 120,00 | 3 | 2880,00 |
| | Створення системи керування у грі | | програміст | 120,00 | 1 | 960,00 |
| Разом | | | | | 16 | 13600,00 |
| Додаткова заробітна плата (20 %) | | | | | | 2720,00 |
| Усього | | | | | | 16320,00 |

Ставка єдиного соціального внеску становить 22 % від величини основної і додаткової заробітної плати:

$$(13600,00 + 2720,00) * 0,22 = 3590,40 \text{ грн.}$$

До інших витрат слід віднести витрати на програмні засоби, такі як: ZBrush – 16800,00 грн/рік, Autodesk Maya – 20000,00 грн/рік, Fibershop – 2000,00 грн/рік, Substance 3d Painter – 12000,00 грн/рік. З врахуванням того, що розробка триватиме 20 днів витрати на програмні продукти складуть:

$$((16800,00 + 20000,00 + 2000,00 + 12000,00) / 365) * 16 = 2226,85 \text{ грн.}$$

Розрахуємо собівартість розробки 3D-моделі:

$$16320,00 + 3590,40 + 2226,85 = 22137,25 \text{ грн.}$$

Розрахуємо суму прибутку від реалізації розробки (виходячи з рівня рентабельності 30 %):

$$22137,25 * 0,3 = 6641,18 \text{ грн.}$$

Розрахуємо ціну розробки моделі без податку на додану вартість (ПДВ):

$$22137,25 + 6641,18 = 28778,43 \text{ грн.}$$

Розрахуємо суму ПДВ, що дорівнює 20 % від ціни без ПДВ:

$$28778,43 * 0,2 = 5755,69 \text{ грн.}$$

З урахуванням проведених розрахунків ціна розробки моделі з ПДВ:

$$28778,43 + 5755,69 = 34534,11 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків наведено у таблиці 8.2.

Таблиця 9.2 – Розрахунок витрат на розробку моделі

| № | Стаття витрат | Сума, грн |
|----|-----------------------------------|-----------|
| 1 | Основна заробітна плата | 13600,00 |
| 2 | Додаткова заробітна плата | 2720,00 |
| 3 | Єдиний соціальний внесок | 3590,40 |
| 5 | Витрати на програмне забезпечення | 2226,85 |
| 6 | Собівартість розробки сайту | 22137,25 |
| 7 | Прибуток | 6641,18 |
| 8 | Ціна без ПДВ | 28778,43 |
| 9 | Податок на додану вартість (ПДВ) | 5755,69 |
| 10 | Ціна з урахуванням ПДВ | 34534,11 |

Таким чином, у результаті виконання економічної частини, було визначено, що повна вартість розробки моделі дорівнює 34534,11 грн. Розробкою займалися два фахівці протягом 16 робочих днів. Прибуток складає 6641,18 грн, що свідчить про доцільність розробки.

ВИСНОВОК

У ході роботи над створенням тривимірної моделі персонажа для ігрового рушія були проаналізовані тенденції ринку комп'ютерних ігор та розробок 3D асетів. Були розроблені технічні вимоги, проаналізовано та втілено художню концепцію. Особливу увагу було зосереджено на вимогах до топології сітки, якості UV-розгортки, PBR-матеріалів та загальній готовності моделі до анімації.

Для основного етапу моделювання та скульптингу було задіяно програму ZBrush, що дозволило досягти високого рівня деталізації та анатомічної точності. Ретопологія, створення UV-розгортки та моделювання виконувалися в Autodesk Maya для забезпечення оптимальної сітки, придатної для ігрових застосунків. Для створення реалістичних та цікавих текстур та PBR-матеріалів було обрано Substance Painter.

Для практичної перевірки моделі в умовах, наближених до реальних, тестування її взаємодії з анімаційними системами та підготовки промо-матеріалів було пробний рівень в ігровому рушії Unreal Engine. Зокрема, модель персонажа разом з усіма асетами – матеріалами, текстурами та базовими анімаціями – була імпортована у проект Game Animation Sample Project.

Результати випробування моделі в Unreal Engine повністю підтвердили відповідність асетів заявленим технічним характеристикам, художнім цілям проекту, а також готовність моделі до використання у створенні гри, анімацій, та кінематографічних рендерів.

Також було проведено економічне обґрунтування проекту, повна вартість розробки моделі склала 30011,62 грн.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Кулішова Н.Є., Манскова Ю.Ю. Використання фізично коректного рендерингу (PBR) під час створення фотореалістичної 3D моделі для комп'ютерних ігор // Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. 2024. Т. 2. С. 166-168.
2. Sheldon L. Character Development and Storytelling for Games. [S. l.]: Taylor & Francis Group, 2022.
3. Кулішова Н.Є., Єламов Я.О. Растеризація та трасування променів: технічні принципи та перспективи розвитку // Поліграфічні, мультимедійні та web-технології. 2025. Т. 1. С. 212-213.
4. Cho Y., Kim J. Дослідження середовищ віртуальної реальності в Unity та Unreal Engine 4 // Journal of the Korea Computer Graphics Society. 2022. Т. 28, № 5. С. 1-11. URL: <https://koreascience.kr/article/JAKO202207347676605.page> (дата звернення: 07.05.2025).
5. Unreal Engine Download Page. URL: <https://www.unrealengine.com/en-US> (дата звернення: 30.05.2025)
6. Tan T. W. Mastering Lumen Global Illumination in Unreal Engine 5. DOI: 10.1007/978-1-4842-9824-4_6 (дата звернення: 07.05.2025).
7. Огляд технологій Unreal Engine 5 з розробниками: застосування, переваги та перспективи // Gamedev.dou.ua. URL: <https://gamedev.dou.ua/articles/unreal-enginetechnologies-review/> (дата звернення: 25.04.2025).
8. Борисенко А.Є. Оптимізація освітлення в Unreal Engine 5 // Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті. 2024. Т. 6. С. 390-392.
9. Козлов Д.О., Новіков Ю.С. Використання градієнта ambient освітлення для імітації зміни пори доби в 2D просторі платформи Unity // Science progress in European countries: new concepts and modern solutions. 2019.
10. Радіонов О.М., Новіков Ю.С. Використання карти нормалей у динамічному освітленні // Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті. 2023.

11. Marvel's Spider Man Remastered on PC. URL: <https://www.playstation.com/pl-pl/games/marvels-spider-man-remastered/pc/> (дата звернення 30.05.2025).
12. Wolfenstein II: The New Colossus. URL: https://store.steampowered.com/app/612880/Wolfenstein_II_The_New_Colossus/ (дата звернення 29.05.2025).
13. Mortal Kombat 1 on PC. URL: <https://www.mortalkombat.com/en-us> (дата звернення 29.05.2025).
14. Lao Lei. Cyberpunk Machina girl. URL: <https://www.artstation.com/artwork/yDgGPO> (дата звернення 03.04.2025)
15. Autodesk 3d's Max. URL: <https://www.autodesk.com/pl/products/3ds-max/overview> (дата звернення 30.05.2025).
16. Autodesk Maya. URL: <https://help.autodesk.com> (дата звернення: 07.05.2025).
17. Blender. URL: <https://www.blender.org/> (дата звернення: 30.05.2025).
18. Maxon ZBrush. URL: <https://www.maxon.net/en/zbrush?srsId=AfmBOoqErUH7OnZeF46j-qsu2UBkr05I-GHUtB9xoSMbNdMjwH0kRccY> (дата звернення: 30.05.2025).
19. Substance Painter. URL: <https://www.adobe.com/products/substance3d/apps/painter.html> (дата звернення: 30.05.2025).
20. Hudson D. Substance Painter: повний гайд. Харків: GameDev Press, 2021. 178 с.
21. Mari. URL: <https://www.foundry.com/products/mari> (дата звернення 30.05.2025).
22. Adobe Photoshop. URL: <https://www.adobe.com/pl/products/photoshop/> (дата звернення 29.05.2025).
23. Fibershop. URL: <https://cgpal.com/fibershop/> (дата звернення 29.05.2025).
24. Єламков Я.О., Кулішова Н.Є. Використання технологій METAHUMAN у середовищі UNREAL ENGINE для створення реалістичних моделей людини // Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті. 2025. Т. 6. С. 550-551.

25. Research and Development (ICCRD), Shanghai, China, 11-13 March 2011. DOI: 10.1109/iccrd.2011.5764150 (дата звернення: 07.05.2025).

26. Mixamo. URL: <https://www.mixamo.com/#/> (дата 29.05.2025).

27. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. Київ, 2016. 31 с.

28. Методичні вказівки з виконання кваліфікаційної роботи для студентів денної та заочної форми навчання першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 186 «Видавництво та поліграфія» за освітньою програмою «Видавничо-поліграфічна справа» / В.П. Ткаченко, А.В. Бізюк, О.В. Вовк, І.М. Єгорова, В.Ф. Челомбійко. Харків: ХНУРЕ, 2020. 68 с.