

**ПРИВАТНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО «ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ
ЗАКЛАД «МІЖРЕГІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ УПРАВЛІННЯ
ПЕРСОНАЛОМ»**

**Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерних інформаційних систем і технологій**

Добрянський Данило Ігорович

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: «Розробка 3D-персонажів та зброї засобами сучасної
комп'ютерної графіки »**

Група: ІК-9-22-Б1КНТ(4.0д)

Спеціальність: 122 «Комп'ютерні науки»

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів, текстів інших авторів мають посилання
на відповідне джерело.*



(підпис)

Добрянський Данило Ігорович

Науковий керівник

(підпис)

Допущено до захисту ЕК

Завідувач кафедри

(підпис)

Сергій КАВУН, д.е.н., професор

Київ 2026

ЗМІСТ

Вступ	3
РОЗДІЛ 1: ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ 3D-ПЕРСОНАЖІВ ТА ЗБРОЇ.	6
1.1 Поняття та сфери застосування 3D-графіки.	6
1.1.1 Індустрія відеоігор.	7
1.1.2 Кіноіндустрія та анімацій.	10
1.1.3 Архітектура.	14
1.1.4 Медицина.	16
1.1.5 Реклама та маркетинг.	19
1.2 Особливості створення стилізованих та реалістичних персонажів.	21
1.2.1 Особливості створення реалістичних персонажів.	22
1.2.2 Особливості створення стилізованих персонажів.	25
1.3 Принципи дизайну холодної зброї у 3D-графіці.	26
1.4 Основні етапи створення 3D-моделей для візуалізації.	30
1.4.1 Перший етап: концептуальне проектування.	31
1.4.2 Другий етап: тривимірне моделювання.	33
1.4.3 Третій етап: текстурювання та налаштування матеріалів.	35
1.4.4 Четвертий етап: освітлення та постановка.	37
1.4.5 П'ятий етап: візуалізація.	40
РОЗДІЛ 2: АНАЛІЗ ІНСТРУМЕНТІВ ТА СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ.	41
2.1 Програмне забезпечення для 3D-моделювання та скульптингу.	41
2.1.1 Blender 3D.	41
2.1.2 Autodesk Maya.	44
2.1.3 Autodesk 3Ds Max.	49
2.1.4 ZBrush.	53
2.2 Технології текстурювання та матеріалів.	56
РОЗДІЛ 3: ПРАКТИЧНА РОЗРОБКА 3D-ПЕРСОНАЖА (ЛИЦАРЯ) З ЗБРОЄЮ.	58
3.1 Пошук концепту персонажа та зброї.	58

3.2 Створення 3D-зброї.	61
3.2.1 Блокінг зброї.	62
3.2.2 Деталізація зброї.	63
3.2.3 Текстурування зброї.	63
3.3 Створення 3D-персонажа.	64
3.3.1 Блокінг персонажа.	64
3.3.2 Деталізація персонажа.	65
3.3.3 Текстурування персонажа.	69
3.4 Ригінг, постановка персонажа та рендеринг.	71
3.4.1 Ригінг персонажа.	71
3.4.2 Постановка персонажа.	72
3.4.3 Освітлення сцени.	72
3.4.4 Рендерінг.	74
Висновок	75
Список використання джерел	77
Додатки	78

ВСТУП

Швидкий розвиток технологій комп'ютерної графіки суттєво вплинув на сучасну індустрію цифрового мистецтва, розваг, реклами та дизайну. Тривимірне (3D) моделювання стало фундаментальним інструментом для створення високоякісного візуального контенту, дозволяючи художникам створювати детальні та реалістичні зображення персонажів та об'єктів. Зокрема, розробка 3D-персонажів відіграє важливу роль не лише у відеоіграх, але й у кінематографічному рендерингу, концепт-арті та візуалізації портфоліо. Зростаючий попит на візуально привабливі та високо деталізовані ресурси зробив вивчення процесів створення 3D-персонажів особливо актуальним.

В останні роки швидкий розвиток технологій штучного інтелекту (ШІ) суттєво вплинув на сферу 3D-графіки та створення цифрового контенту. Інструменти на основі ШІ все частіше використовуються для автоматизації та вдосконалення різних етапів виробничого конвеєра, включаючи генерацію концепцій, створення текстур, ригінг та рендеринг. Нейронні мережі можуть допомогти у створенні візуальних референсів, прискоренні процесу проектування та покращенні якості рендерингу за допомогою передових методів шумозаглушення та оптимізації. Інтеграція ШІ не тільки підвищує ефективність, але й розширює творчі можливості для художників, дозволяючи їм більше зосереджуватися на художніх аспектах, а не на повторюваних технічних завданнях. Тому вивчення застосування штучного інтелекту в 3D-моделюванні та візуалізації є важливим та перспективним напрямком розвитку сучасної індустрії.

Ключовим аспектом дизайну персонажів є інтеграція додаткових елементів, таких як зброя та аксесуари, які сприяють загальній ідентичності та візуальній розповіді персонажа. У цій роботі особлива увага приділяється дизайну середньовічного лицаря, оснащеного мечем, доповнюючим декоративними природними елементами. Поєднання реалістичних обладунків, зношених матеріалів та стилізованих деталей створює візуально виразну

композицію, яка відображає як функціональність, так і художній намір. На відміну від ігрових моделей, які потребують оптимізації для роботи в реальному часі, цей проект зосереджений на якості рендерингу, підкреслюючи деталі, освітлення, матеріали та остаточну презентацію.

Метою цієї роботи є розробка 3D-персонажа лицаря з зброєю, використовуючи сучасні інструменти та методи, охоплюючи весь виробничий процес від концептуального дизайну до остаточного позування та рендерингу. Для досягнення цієї мети необхідно проаналізувати існуючі методи 3D-моделювання, вивчити інструменти, що використовуються для створення персонажів та об'єктів, та реалізувати повний робочий процес для отримання високоякісного візуального результату.

Цілі дослідження:

1. Аналізувати сучасні підходи до створення 3D-персонажів;
2. Вивчити інструменти та технології, що використовуються в 3D-моделюванні та цифровому скульптуруванні;
3. Розробити концепцію персонажа лицаря та мечя;
4. Створити детальну 3D-модель зброї;
5. Змоделювати 3D-персонажа з обладунками, одягом та аксесуарами;
6. Виконати текстурювання та налаштування матеріалів для різних поверхонь, таких як метал, тканина та шкіра;
7. Реалізувати риггінг та підготувати модель до позування;
8. Створити остаточну позу та виконати високоякісний рендеринг.

Об'єктом дослідження є процес створення 3D-об'єктів у комп'ютерній графіці.

Предметом дослідження є методи та інструменти, що використовуються під час розробки 3D-персонажа та зброї, з акцентом на візуальну якість, матеріали та методи рендерингу.

Методи дослідження включають аналіз науково-технічної літератури, порівняння існуючих підходів до 3D-моделювання, вивчення сучасних програмних засобів та практичну реалізацію 3D-проекту. Крім того, для досягнення реалістичного та візуально виразного кінцевого результату застосовуються методи моделювання, текстурювання, ригінгу та рендерингу.

Структура роботи складається зі вступу, трьох основних розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. У першому розділі описано теоретичні основи створення 3D-персонажа та зброї. У другому розділі проаналізовано інструменти та технології, що використовуються в процесі. У третьому розділі представлено практичну розробку 3D-персонажа лицаря з зброєю, включаючи моделювання, текстурювання, ригінг, позування та рендеринг.

РОЗДІЛ 1: ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ 3D-ПЕРСОНАЖІВ ТА ЗБРОЇ.

1.1 Поняття та сфери застосування 3D-графіки.

3D-графіка (тривимірна комп'ютерна графіка) — це розділ комп'ютерної графіки, що займається створенням, зберіганням, обробкою та візуалізацією об'єктів і сцен у тривимірному просторі. Її ключовою особливістю є те, що всі об'єкти описуються не лише на плоскій площині (як у 2D-графіці), але й у системі трьох координат: X (ширина), Y (висота) та Z (глибина). Наявність третьої координати дозволяє створювати об'ємні моделі, які мають відчуття простору, глибини та реалістичної форми.

По суті, 3D-графіка базується на математичному моделюванні простору. Будь-який тривимірний об'єкт у цифровому середовищі — це математична структура, описана за допомогою геометричних примітивів. До них належать точки (вершини), лінії (ребра) та багатокутники (найчастіше трикутники або чотирикутники), які утворюють поверхні. Поєднання цих елементів створює структуру об'єкта, відомого як 3D-модель (Рис.1.1.1).

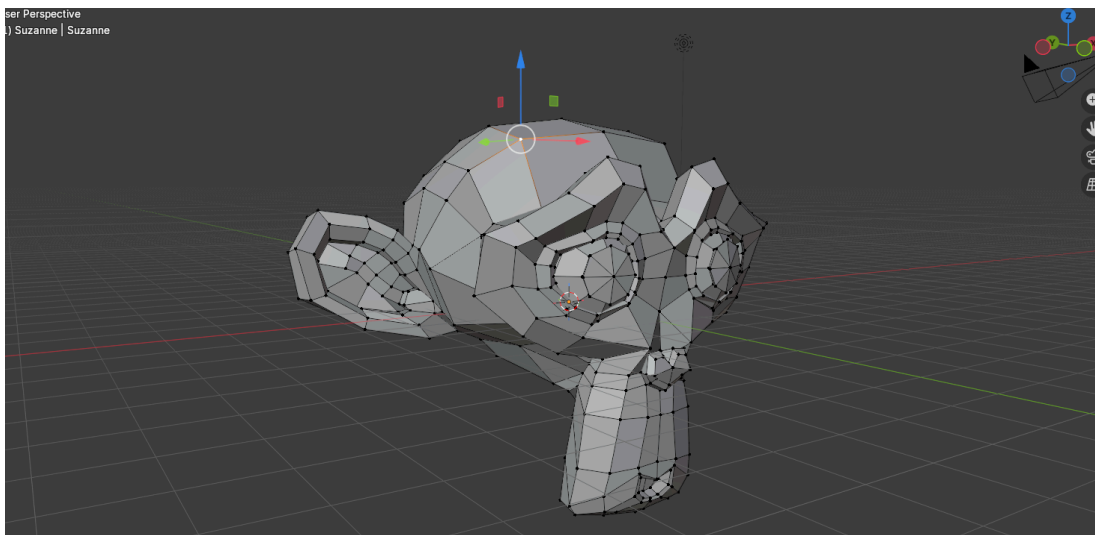


Рис.1.1.1 - модель об'єкта у вигляді сітки з полігонів у Blender.

Важливою характеристикою 3D-графіки є те, що вона дозволяє розглядати об'єкти як абстрактні математичні структури. Це означає, що кожен

елемент сцени має чітко визначені координати, параметри форми, масштаб, орієнтацію в просторі та взаємозв'язки з іншими об'єктами. Завдяки цьому 3D-сцени можуть бути динамічними, тобто вони можуть змінюватися з часом або під впливом зовнішніх факторів.

Ще одним важливим аспектом 3D-графіки є сприйняття простору. Хоча зображення відображається на плоскому екрані, система комп'ютерної графіки створює ілюзію об'єму за допомогою математичних перетворень координат та перспективної проекції. В результаті глядач сприймає двовимірне зображення як тривимірне середовище.

Суть 3D-графіки полягає у створенні цифрового тривимірного простору, в якому об'єкти можна розміщувати, переміщувати, масштабувати та змінювати, а також взаємодіяти з ними у віртуальному середовищі. Отже, 3D-графіка — це не просто метод створення зображень, а цілісна система цифрового просторового моделювання, що робить її універсальним інструментом для цифрового представлення як реальних, так і вигаданих об'єктів.[1,2,3,4]

Технології 3D-графіки активно використовуються в різних сферах діяльності: [12]

1.1.1 Індустрія відеоігор.

Однією з найбільш розвинених і технологічно насичених сфер застосування 3D-графіки є індустрія відеоігор. Саме тут тривимірна графіка відіграє ключову роль у створенні інтерактивних цифрових світів, які забезпечують високий рівень занурення користувача у віртуальне середовище.

У відеоіграх 3D-графіка використовується для створення всіх візуальних компонентів: персонажів, оточення, об'єктів, спецефектів та анімацій. Завдяки тривимірному моделюванню розробники можуть відтворювати складні ігрові світи з високим рівнем деталізації, включаючи реалістичні ландшафти, архітектурні споруди та динамічні елементи середовища. Особливістю 3D-графіки у відеоіграх є її інтерактивність —

користувач має можливість безпосередньо впливати на події у віртуальному просторі, що відрізняє її від інших форм цифрового мистецтва (Рис.1.1.2).



Рис.1.1.2 - Скріншот з гри "Elden ring".

На мою думку є два важливих аспектів: Перший аспект є створення персонажів. 3D-графіка дозволяє формувати як реалістичних, так і стилізованих героїв, які мають складну геометрію, текстури та анімацію рухів. Це сприяє підвищенню емоційного зв'язку між гравцем і персонажем, а також покращує загальне сприйняття гри. Другим аспектом є імітація фізичних явищ, таких як освітлення, тіні, відбиття та взаємодія матеріалів. Завдяки цьому створюється правдоподібна атмосфера, яка наближає віртуальне середовище до реального. Сучасні ігри активно використовують технології реалістичного освітлення, що дозволяє досягати кінематографічної якості зображення. Ці два аспекти необхідні емоційного сприйняття гри. щоб головний герой за якого ти граєш був приємним для ока і не викликав якихось негативних емоцій. або навпаки для головного лиходія можна зробити не приємний вигляд, що б він викликав у нас лише негативні емоції. Також і з атмосферою, наприклад: для затишної локації (мирне село, сонячне поле квітів, свій будинок) створюється яскраве, але м'яке освітлення з м'якими тінями для затишку та безпеки. А для похмурої

локації (занедбана будівля, цвинтар, темний провулок) створюється менше відтінків квітів та освітлення, але жорсткіші тіні для очищення тривожності чи трагедії. [5, 6]

За все це відповідають 3D-художники, левел артисти, концепт художники. Завдяки їм — персонажі, локації, оточення та освітлення викликають у нас щирі емоції та бажання взаємодіяти з ними. Ось що пише 3D-художник який працював над грою DYING LIGHT 2 (Рис.1.1.3): — “У нас була невелика команда – 20 осіб, які роблять моделі. І нам треба було створити ціле місто. Тому ми працювали одразу над цілими ігровими сценами: стінами, обладнанням та рештою. Тоді я взаємодівав із концепт-художницею: щось моделював, вона малювала поверх моделі як фідбек, і я знову моделював. Ми разом дивилися, що добре виглядатиме у грі. Інша людина, з якою я працював у зв'язці, - це левелл-артист. Разом ми розбиралися для того, щоб моделі не заважали геймплею. У нашій грі з кожною поверхнею можна було взаємодіяти, тому необхідно було пам'ятати, з якого боку персонаж зможе зачепитися за об'єкт, а з якого ні.” [7]



Рис.1.1.3 - 3D-Моделі частин міста з гри “Dying light 2”.

Таким чином, у сфері відеоігор 3D-графіка виступає не лише інструментом візуалізації, але й основою для створення інтерактивного досвіду. Вона поєднує художні та технічні підходи, що дозволяє створювати складні цифрові продукти, орієнтовані на найбільшу аудиторію.

1.1.2 Кіноіндустрія та анімацій.

Однією з найпопулярнішою сфер застосування 3D-графіки є кіноіндустрія та анімація. Використання тривимірних технологій значно розширило можливості створення візуального контенту, підвищило рівень реалізму та дозволило реалізувати складні творчі ідеї, які раніше були технічно неможливими або надзвичайно дорогими.

У сучасному кінематографі 3D-графіка широко використовується для створення візуальних ефектів (VFX). Вона дозволяє кінематографістам покращувати або повністю замінювати реальні сцени цифровими елементами, такими як фантастичні істоти, масштабні руйнування, природні явища або вигадані світи. В результаті режисери можуть реалізовувати складні сценарії без обмежень, пов'язаних з фізичними умовами зйомки.

Робота 3D-художників у кіноіндустрії — це складний багатоетапний процес, інтегрований у загальний виробничий конвеєр фільму. Після етапів написання сценарію, розкадровки та зйомок (часто з використанням хромакей або зеленого екрану) записаний матеріал передається до відділів постпродакшну, де 3D-художники починають відігравати ключову роль. Ось що говорить 3D-художник, який створив фантастичне місто для фільму “ЛЮДИНА ІЗ СТАЛІ” (Рис.1.1.4): —“Це насправді величезний конвеєр, де задіяні тисячі людей. Все починається зі сценарію та розкадрування, потім знімають акторів на зеленому фоні або тканині. Далі матеріал потрапляє до нас, 3D-художників. Ми замінюємо це тло на якусь планету чи будь-який інший фантастичний світ, орієнтуючись на ескізи, зроблені від руки іншим

художником. Так виходять міста, краєвиди, монстри. Ми їх будуємо, немов із кубиків LEGO, а потім поєднуємо все із реальними акторами.” [8]



Рис.1.1.4 - 3D-модель міста з кіно “Людина із сталі”.

Робота в командах VFX зазвичай розподіляється між спеціалістами з різних галузей. Одні зосереджуються на моделюванні (створення форми об'єктів), другі — на деталізації, а треті — на інтеграції сцени. Такий розподіл обов'язків дозволяє командам ефективно обробляти великі обсяги роботи та досягати високоякісних результатів.

У сфері анімації 3D-графіка дозволяє створювати як реалістичні, так і стилізовані візуальні елементи. Це відкриває широкі можливості для художнього вираження та розробки унікальних візуальних стилів. Більше того, сучасні технології дозволяють моделювати фізичні процеси, такі як рух тканини, динаміка волосся, поведінка води та освітлення, значно покращуючи кінцевий візуальний результат.

Але в індустрії анімації створювати 3D-моделі та анімацію набагато складніше ніж у кіно. Це підмітив Джон Лассетер, засновник та виконавчий віце-президент Пікара, при створенні мультфільму “ТАЧКИ”: — “Якщо ви раптом думаєте, що робити комп'ютерні мультфільми простіше,

ніж мальовані, ви глибоко помиляєтеся. У нас середній виробничий цикл чотири роки! Ви можете це собі уявити? Кіно швидше знімають! Чотири роки обійнявшись із мережею з трьох тисяч комп'ютерів!”(Рис.1.1.5)[9]



Рис.1.1.5 - Скріншот з мультфільму “Тачки”.

Складність полягає не лише в тому, що сама анімація — це надзвичайно дуже складний процес, де кожен кадр вимагає значного обсягу роботи та може займати понад 17 годин для рендерингу (зі стандартом приблизно 25 кадрів на секунду). Для досягнення най швидкого результату в розумні терміни, потрібні потужні обчислювальні ресурси, включаючи так звані рендер-ферми — великі мережі комп'ютерів, що працюють паралельно для ефективної обробки кадрів.

Ще один аспект складності полягає в фундаментальній відмінності у створенні 3D-моделей та персонажів для фільмів та анімації. У кіноіндустрії, особливо в проектах, що включають візуальні ефекти, високо реалістичні моделі зазвичай створюються на основі реальних референсів. Це необхідно для досягнення відчуття правдоподібності та забезпечення безшовної інтеграції цифрових елементів у кадри з живими діями. Глядач повинен сприймати ці об'єкти як частину реального світу, тому велика увага приділяється деталям, фізично точному освітленню та реалістичній поведінці матеріалів.

Натомість у сфері анімаційних фільмів підхід значно відрізняється. Вони побудовані навколо створення унікальних, часто стилізованих моделей, які не обмежені реалізмом. Ці моделі розробляються на основі художнього бачення та уяви творчої команди. Персонажі можуть мати перебільшені пропорції, спрощені форми або, навпаки, дуже деталізовані риси, що підкреслюють їхню індивідуальність та емоційний вираз. Такий підхід дозволяє створювати самобутні та запам'ятовувані візуальні стилі, які ефективно передають настрій та наративний намір.

Хорошим прикладом є мультфільм “Людина павук: крізь всесвіт”.
(Рис.1.1.6)

Кожен персонаж у фільмі має власний візуальний стиль, який відображає його походження та світ, з якого він прийшов. Наприклад, світ Майлза Моралеса виглядає більш насиченим і “графічним”, тоді як інші всесвіти мають свої унікальні колірні палітри та ефекти.

Такий підхід робить фільм не просто 3D-анімацією, а художньо стилізованим твором, де візуальний стиль є частиною оповідання і допомагає краще передати характер історії та емоції персонажів.



Рис.1.1.6 - Скріншот з мультфільму “Людина павук: крізь всесвіт”.

Отже, 3D-графіка у кіно та анімації є потужним інструментом, який забезпечує створення складних, реалістичних і візуально привабливих

сцен. Вона дозволяє поєднувати реальний і цифровий світи, розширюючи межі творчості та технічних можливостей сучасного аудіовізуального мистецтва.

1.1.3 Архітектура.

3D-моделювання в архітектурі – це процес створення тривимірного цифрового зображення будівлі або простору на основі креслень, планів або концептуальних ідей. На початковому етапі архітектор визначає основну геометрію конструкції, таку як стіни, перекриття та дахи. Після цього додаються додаткові елементи, включаючи вікна, двері, меблі, освітлення та різні архітектурні деталі. В результаті формується детальна та реалістична візуалізація архітектурного об'єкта, яка показує, як виглядатиме проект після завершення будівництва.

Основна мета архітектурного 3D-моделювання – візуалізація будівель до початку процесу будівництва. Це дозволяє архітекторам та дизайнерам чіткіше представляти свої ідеї клієнтам, узгоджувати дизайнерські рішення та заздалегідь демонструвати атмосферу простору. Архітектурна візуалізація перетворює технічні креслення на реалістичне та зрозуміле зображення навіть для людей без технічної освіти. (Рис.1.1.7)

З цієї причини архітектурна 3D-візуалізація стала стандартною практикою в сучасному дизайні та плануванні, починаючи від приватних житлових будинків і закінчуючи масштабними міськими проектами.



Рис.1.1.7 - Візуалізація креслення.

3D-архітектурна візуалізація стала важливим інструментом для сучасних архітекторів та дизайнерів. Це допомагає покращити якість презентації, зменшити кількість помилок у дизайні та підвищити довіру клієнтів до запропонованих проектів.

Основні переваги архітектурної візуалізації включають:

1. Реалізм – клієнти можуть бачити дуже детальне зображення майбутньої будівлі, включаючи матеріали, освітлення та текстури.
2. Виявлення помилок – пропорції, масштаби та елементи дизайну можна перевірити та скоригувати до початку будівництва.
3. Покращена комунікація – візуальні матеріали полегшують обговорення та затвердження змін у дизайні.
4. Маркетингова цінність – високоякісні візуалізації допомагають залучити інвесторів та переконати клієнтів у життєздатності проекту.

Архітектурну 3D-візуалізацію можна розділити на кілька ключових категорій, кожна з яких має певну мету.

Зовнішня візуалізація зосереджена на зовнішньому вигляді будівлі, включаючи її форму, фасад, матеріали та оточення. Вона допомагає оцінити, як споруда інтегрується в навколишнє середовище, міське чи природне.

Візуалізація інтер'єру зосереджена на внутрішніх просторах, включаючи меблі, освітлення, текстури та загальну атмосферу. Вона широко використовується дизайнерами інтер'єрів для демонстрації гармонії стилю та просторової композиції.

Ландшафтна візуалізація відображає навколишню територію, таку як зелень, доріжки, водні об'єкти та елементи ландшафтного дизайну. Це допомагає створити повне уявлення про те, як виглядатиме все середовище після забудови.

Разом ці типи утворюють повноцінний робочий процес архітектурної 3D-візуалізації, що дозволяє розглядати проект цілісно — від екстер'єрів будівлі до найдрібніших деталей інтер'єру. [10]

1.1.4 Медицина.

3D-графіка вже давно вийшла за рамки ігрової та розважальної індустрій, ставши важливим інструментом у медицині. З кожним роком 3D-технології стають все більш популярними в діагностиці, плануванні операцій, створенні медичних пристроїв та навчанні фахівців. Давайте розберемо, як 3D графіка допомагає рятувати життя і відкриває нові горизонти для медицини.

Одним із найбільш вражаючих застосувань 3D-графіки в медицині є створення анатомічних моделей. Лікарі можуть сканувати тіло пацієнта за допомогою томографії або МРТ та створювати точні 3D-моделі органів. Ці моделі дозволяють краще зрозуміти анатомію пацієнта, планувати складні хірургічні втручання та навіть проводити віртуальні симуляції операцій.

Наприклад, при підготовці до складних операцій на серці хірурги створюють 3D моделі органу, щоб заздалегідь продумати всі дії. Це не лише підвищує шанси на успіх операції, а й знижує її тривалість, що є критично важливим для пацієнтів.

3D-друк, заснований на 3D-моделюванні, став справжнім проривом у створенні імплантів та протезів (Рис.1.1.8). Використовуючи дані пацієнта, фахівці розробляють унікальні конструкції, що ідеально підходять під його анатомічні особливості.

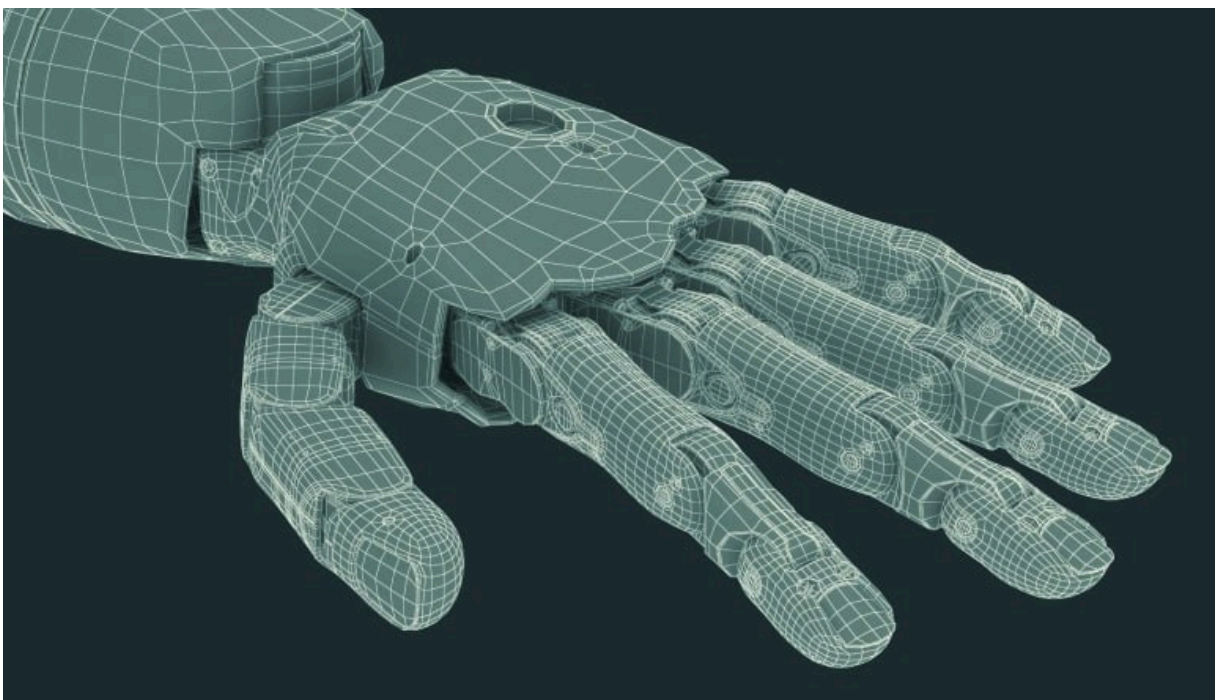


Рис.1.1.8 - 3D-модель протеза.

Наприклад, при реконструкції кісток після травм чи видалення пухлин лікарі можуть надрукувати індивідуальний імплант, який відновить форму, а й функціональність пошкодженої ділянки. В області протезування 3D-друк дозволяє створювати легкі та зручні протези, що враховують усі особливості тіла пацієнта.

Традиційні методи навчання лікарів, такі як робота на манекенах або участь в операціях часто обмежені. 3D-графіка пропонує унікальне рішення – віртуальні симулятори. За допомогою VR-технологій,

заснованих на 3D-графіці, студенти та молоді фахівці можуть практикувати складні процедури у безпечному віртуальному середовищі.

Наприклад, симулятори для ендоскопічних операцій дозволяють лікарям відточувати свої навички, працюючи з віртуальними пацієнтами, які реагують на дії користувача як і реальні. Це підвищує рівень підготовки фахівців та скорочує кількість медичних помилок.

3D-графіка допомагає у діагностиці складних захворювань, візуалізуючи внутрішні органи та патологічні зміни в них. Наприклад, в онкології 3D-моделі (Рис.1.1.9) допомагають визначити точне розташування пухлин та вибрати оптимальний метод лікування.

В галузі радіотерапії 3D-технології дозволяють створювати карти опромінення, які точно відповідають формі пухлини, мінімізуючи пошкодження здорових тканин.

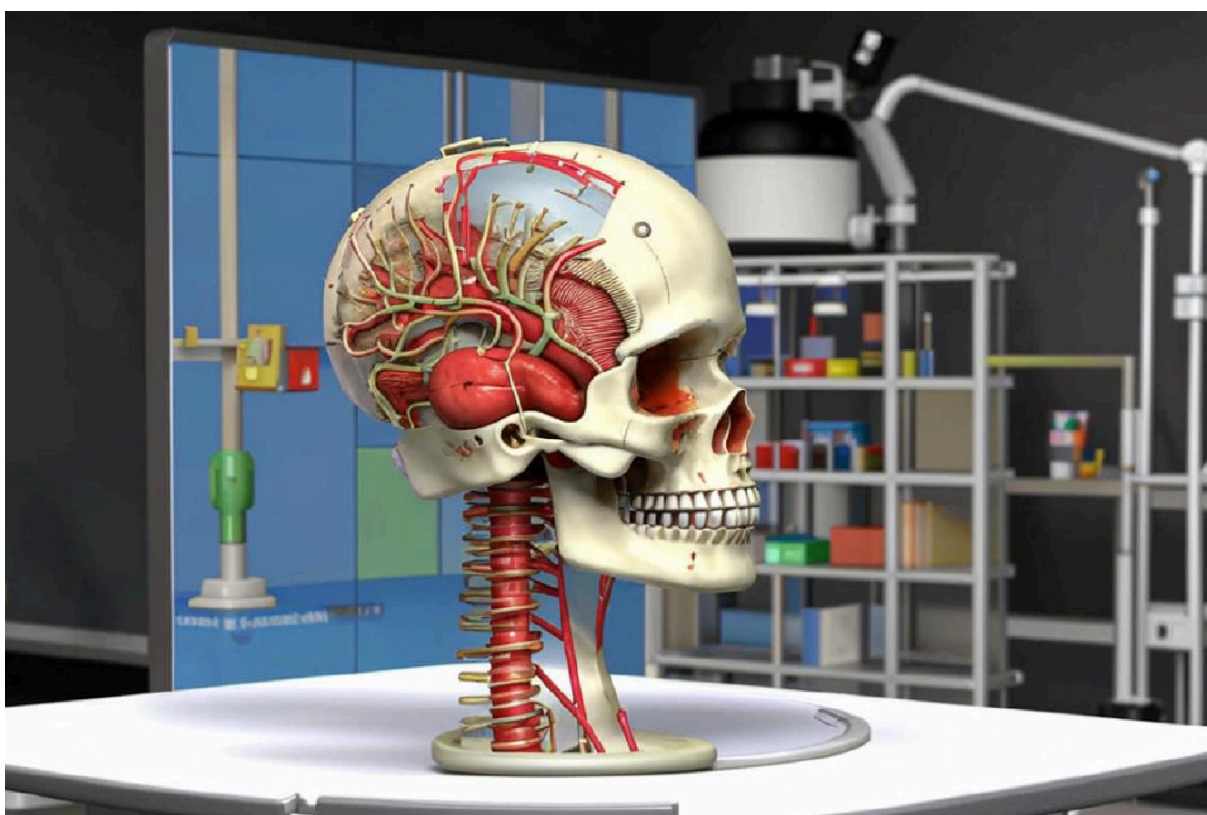


Рис.1.1.9 - 3D-модель нутрощів голови людини.

З розвитком технологій 3D-графіка продовжить змінювати медицину. Штучний інтелект вже починає інтегруватися з 3D-моделюванням, автоматизуючи процес створення моделей та покращуючи їх точність. Крім того, зростає роль 3D-графіки в телемедиці, де лікарі можуть віддалено дослідити моделі органів та обговорювати складні випадки з колегами.

Ці технології відкривають нескінченні можливості для діагностики, лікування та навчання. Можливо, у найближчому майбутньому 3D-графіка стане невід'ємною частиною кожного етапу медичної допомоги, роблячи її ще точнішою та персоналізованішою.[11]

1.1.5 Реклама та маркетинг.

3D-графіка відіграє важливу роль у рекламі та маркетингу, оскільки дозволяє створювати візуально привабливі, реалістичні та інноваційні матеріали для просування продуктів і послуг. У сучасному інформаційному середовищі, де конкуренція за увагу споживачів надзвичайно висока, використання тривимірної графіки стало ефективним інструментом для залучення уваги та формування позитивного іміджу бренду.

Однією з основних сфер застосування 3D-графіки є створення візуалізацій продуктів. Завдяки 3D-моделюванню можна відтворити продукт з високим рівнем деталізації ще до його фізичного виготовлення. Це особливо актуально в таких галузях, як автомобілебудування, електроніка, меблі та косметика. 3D-візуалізація дозволяє представляти продукти з різних ракурсів, з різними умовами освітлення, матеріалами та середовищем, значно розширюючи можливості презентації.

Важливою перевагою використання 3D-графіки в маркетингу є можливість створювати концептуальні та рекламні зображення, яких важко або неможливо досягти за допомогою традиційної фотографії. Наприклад, це можуть бути фантастичні сцени, динамічні ефекти або ідеалізоване середовище, що підкреслює переваги продукту (Рис.1.1.10). Такий підхід

допомагає встановити емоційний зв'язок зі споживачами та посилює вплив рекламних повідомлень.

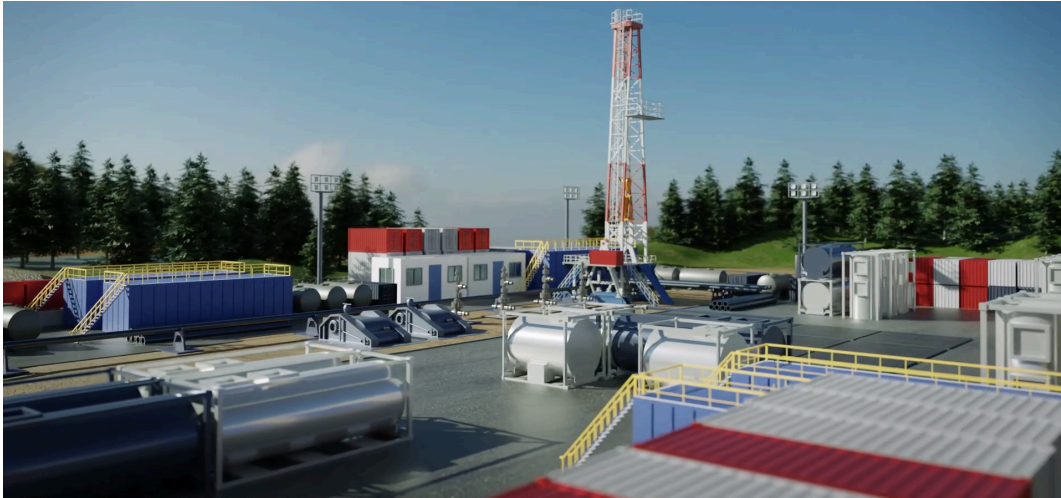


Рис.1.1.10 - 3D-модель нафтової бази.

Також 3D-графіка допомагає створювати 3D-рекламу. Вона стала найпотужнішим інструментом для зовнішньої реклами та створення історій про бренди.

Простіше кажучи, 3D-реклама використовує тривимірні зображення або відео для створення відчуття глибини та простору. 3D світлодіодні рекламні щити перетворять статичні, плоскі рекламні оголошення на візуально динамічні та інтерактивні враження. На відміну від традиційної 2D-реклами, 3D-реклама не просто привертає увагу. Більше того, вона захоплює глядачів у абсолютно новий світ. Уявіть, що ви проходитье повз торговий центр, і раптом реклама на стіні ніби вистрибує до вас, ніби взаємодіючи з вами. Ця ілюзія стає можливою завдяки таким технологіям, як проекційний маппінг, голографія та доповнена реальність (AR) – чаклунству 3D-реклами.

Приклади 3D-реклами є Marvel's Spider-Man 2 (Рис.1.1.11). Marvel вивела рекламу «Людини-павука 2» на новий рівень, розмістивши неймовірні 3D-проекції у кількох точках у всьому світі. Ці приклади 3D-реклами оживили Людину-павука за допомогою голографічних проекцій супергероя, який бореться з лиходіями. Ця 3D-рекламна кампанія

використовувала міські простори, використовуючи їх як полотна, щоб донести до аудиторії повний дій світ людини-павука 2. Люди почуваються частиною пригоди. [13]



Рис.1.1.11 - 3D-реклама гри “Людина-Павук 2” у Нью-Йорки.

На завершення, 3D-графіка в рекламі та маркетингу слугує потужним засобом візуальної комунікації, який не лише дозволяє ефективно презентувати продукт, але й допомагає створювати унікальний користувацький досвід, підвищувати впізнаваність бренду та впливати на прийняття рішень споживачами.

Таким чином, 3D-графіка є важливим інструментом у сучасних цифрових технологіях, що поєднує математику, програмування та мистецтво для створення високоякісного візуального контенту.

1.2 Особливості створення стилізованих та реалістичних персонажів.

У сучасній 3D-графіці створення персонажів — це дуже складний художній процес, який поєднує знання анатомії, композиції, теорії кольору та візуального сприйняття. Залежно від цілей проекту, його жанру та цільової аудиторії, художники зазвичай обирають один із двох основних підходів: реалістичний та стилізований дизайн персонажів. Кожен із цих

підходів встановлює власні принципи, які впливають на зовнішній вигляд персонажа, його сприйняття та емоційний вплив на глядача або гравця.

1.2.1 Особливості створення реалістичних персонажів.

Реалістичний підхід базується на намірі наймаксимально точно відтворити реальність. Із за цього анатомічна правильність стає фундаментальною вимогою, оскільки навіть незначні відхилення від природних пропорцій можуть порушити відчуття правдоподібності. Важливо не лише досягти точних зовнішніх пропорцій, але й зрозуміти внутрішню структуру тіла, включаючи взаємозв'язок між кістками та м'язами та їхню поведінку в русі. Це розуміння гарантує, що персонаж виглядає переконливо як у статичних позах, так і під час анімації.

Визначальною характеристикою реалістичних персонажів є високий рівень деталізації. Візуальна автентичність досягається завдяки включенню мікродеталей, які імітують складність реальних поверхонь. Шкіра, наприклад, не ідеально гладка; Вона містить пори, зморшки, ледь помітні нерівності та варіації, що сприяють природному вигляду. Ці елементи запобігають штучному вигляду моделі та створюють враження живого організму. Не менш важливим є використання фізично обґрунтованих матеріалів, які дозволяють точно симулювати взаємодію світла з різними поверхнями. Зокрема, людська шкіра демонструє складну поведінку, оскільки світло частково проникає та розсіюється під поверхнею, створюючи м'який та органічний візуальний ефект.

Колір також відіграє вирішальну роль у створенні реалістичного персонажа. На відміну від спрощених зображень, реальні поверхні рідко складаються з однорідних або чистих кольорів. Натомість вони демонструють поєднання тонких відтінків, на які впливають умови освітлення, кровотік та властивості матеріалів.

Якщо ці принципи не дотримуються лише на долю або ігноруються навіть у невеликій мірі, персонаж втрачає відчуття реалізму та більше не виглядає переконливим чи серйозним (відповідно до задуму автора). Це явище тісно пов'язане з природою людського сприйняття. Протягом життя людина постійно взаємодіє з реальним світом і несвідомо накопичує візуальний досвід. Люди мабуть цього не помічали але вони спостерігали, як поводить ся світло, як формуються відблиски та тіні, як рухається людське тіло, як виглядає шкіра за різних умов і як змінюється її колір залежно від освітлення чи фізичного стану. Всі ці спостереження формують, так би мовити, “внутрішню візуальну базу даних”, яка автоматично використовується для оцінки будь-якого зображення.

Навіть не маючи професійних знань у 3D-графіці чи анатомії, глядач все ще здатний інтуїтивно розпізнавати те, що здається не реалістичним. Це сприйняття часто проявляється у тонких деталях: неправильна поведінка світла на поверхнях, надмірно однорідні текстури шкіри, відсутність недосконалостей, неприродні пропорції або матеріали, які виглядають занадто “пластичними”. Такі неточності рідко розпізнаються свідомо, проте вони створюють загальне відчуття штучності, яке руйнує ілюзію реалізму. Таким чином, чим більше уваги приділяється дрібним елементам, тим сильнішим стає відчуття автентичності. Це стосується не лише очевидних аспектів, таких як деталі волосся чи точна структура тіла, але й менш помітних рис: незначна асиметрія обличчя, нерівномірний тон шкіри, видимі пори, зморшки, ознаки втоми чи незначні недоліки поверхні. Насправді ідеально гладких і симетричних поверхонь майже ніколи не існує, тому невеликі відхилення від ідеальності значно посилюють сприйняття реалістичності.

Саме тому, створення реалістичних 3D-персонажів — це дуже складний процес. Ось що говорить про створення реалістичної моделі персонажа (Рис.1.2.1) 3D-художник, який робив 3D-персонажів для Warner

Bros, HBO, Tencent, PUBG та Game of Thrones: “На те, щоб домогтися створення дуже реалістичних персонажів, можуть піти, і швидше за все, підуть роки тренувань. Початківець може зробити щось і через кілька місяців, але така модель може виглядати не дуже професійно. Є такий термін “моторошна долина” - коли ми дивимося на персонажа і розуміємо, що це чужий нам об’єкт, який взагалі не сприймається як щось природне. З цієї точки зору простіше зробити транспортний засіб, а не персонажа - просто тому, що якусь машину не зроби, вона не викликатиме ефект зловісної долини.”



Рис.1.2.1 - Реалістична 3D-модель дівчини.

Отже, реалізм персонажа визначається не лише масштабними формами, а й, перш за все, накопиченням дрібних деталей та тонких нюансів. Ці елементи забезпечують узгодженість із реальним досвідом глядача. Чим ретельніше вони розроблені, тим важче людському оку виявити штучність, і, як наслідок, тим правдоподібнішим і повнішим виглядає кінцевий персонаж. [16]

1.2.2 Особливості створення стилізованих персонажів.

На відміну від реалізму, стилізований підхід не має на меті відтворити реальність, а радше переосмислити її. Стилiзація базується на художній абстракції, що дозволяє творцям підкреслити певні риси, спрощуючи інші. Цей процес часто передбачає зменшення складності на користь ясності та виразності. Замість того, щоб зосереджуватися на деталізованій точності, більше значення надається загальному силуету та візуальній читабельності, гарантуючи, що персонаж залишається впізнаваним навіть у спрощеному вигляді.

Одним із найвиразніших аспектів стилізованих персонажів є навмисна зміна пропорцій. Художники часто перебільшують або спотворюють певні риси, щоб ефективніше передати індивідуальність чи емоції. Збільшені очі, видовжені кінцівки або зменшені пропорції тіла – це поширені прийоми, що використовуються для створення сильнішої візуальної ідентичності. Завдяки такому перебільшенню риси персонажа стають одразу очевидними, що дозволяє самому дизайну передавати значення, не покладаючись сильно на додаткові деталі (Рис.1.2.2).



Рис.1.2.2 - Персонажі мультфільму “Суперсімейка”.

Використання кольору в стилізованих персонажах зазвичай більш виразне та менше обмежене реалізмом. Художники часто використовують сміливі контрасти, обмежені палітри та спрощені текстури, щоб створити чіткий та привабливий візуальний стиль. Замість імітації реального освітлення та матеріалів, акцент робиться на естетичній цілісності та емоційному впливі. Збереження стилістичної узгодженості є важливим, оскільки будь-який надмірно реалістичний або невідповідний елемент може порушити загальну візуальну гармонію.

На завершення, створення стилізованих та реалістичних персонажів являє собою два різні, але взаємопов'язані напрями в 3D-графіці. Реалістичний дизайн зосереджується на точності, деталізації та фізичній правдоподібності, прагнучи якомога точніше відтворити реальний світ. Стилізований дизайн, з іншого боку, підкреслює художню інтерпретацію, спрощення та візуальну виразність. Вибір між цими підходами залежить від творчих та технічних цілей проекту, а їх продумане застосування дозволяє розробляти переконливих та запам'ятовуваних персонажів.

1.3 Принципи дизайну холодної зброї у 3D-графіці.

У 3D-графіці дизайн холодної зброї (мечі, ножі, сокири, списи тощо) базується не лише на “красивій формі”. Високоякісний дизайн зброї поєднує художню виразність, технічну точність та функціональність. Під час моделювання необхідно враховувати як реальні конструктивні особливості зброї, так і вимоги до оптимізації та візуальної читабельності у віртуальному середовищі. Ось ключові принципи, які зазвичай використовують у роботі:

1. Силует і читабельність форми: Силует дозволяє глядачеві швидко визначити тип зброї навіть без детальних текстур або дрібних декоративних елементів. У 3D-графіці це особливо важливо для відеоігор, де гравці часто бачать об'єкти з великої відстані або в русі.

Чіткі контури клинка, гарди, рукоятки та декоративних деталей роблять модель більш впізнаваною та візуально привабливою.

2. Функціональна логіка: Навіть фентезійна або стилізована зброя повинна виглядати правдоподібно. Форма клинка, розмір рукоятки, баланс ваги та розташування конструктивних елементів повинні створювати враження реального об'єкта, придатного для практичного використання. Якщо моделі бракує логічної побудови, вона виглядає безглуздо та менш реалістичною для глядача.

3. Реалістичність або стилізація: При створенні холодної зброї в 3D-графіці використовуються два основні підходи: реалістичний та стилізований дизайн. Рішення на вибір реалізму або стилізації, суттєво впливає на процес моделювання, текстуркування, пропорції, рівень деталізації та загальний візуальний стиль проекту. Обидва підходи широко використовуються в сучасному цифровому мистецтві, відеоіграх, анімації та кінематографічному виробництві.

3.1. Реалістичний дизайн зброї базується на вивченні реальних історичних або сучасних зразків холодної зброї. Художники приділяють пильну увагу точним пропорціям, правдоподібним матеріалам, структурній логіці та фізичній функціональності. У реалістичному моделюванні кожен елемент зброї повинен виглядати практичним та технічно можливим у реальному житті. Такі моделі часто включають детальні подряпини, знос металу, вм'ятини та інші недоліки, що підвищують візуальну достовірність. Ось що пише 3д-художник (зробивши 3д-модель Штурмової гвинтівки TR-1 для Джона Уіка 2) про створення реалістичної зброї(Рис.1.3.1):



Рис.1.3.1 - Реалістична 3D-модель холодної зброї.

“Коли я вирішив створити власний проект, я витратив деякий час на обмірковування того, що я хотів зробити. Зрештою я зупинився на мечі, викованому Іллею Олексієвим, відомим своєю незвичайною майстерністю. Моею метою було втілити красу та реалізм його робіт у 3D-модель, досліджуючи скульптуру з високою деталізацією, хитромудрі гравюри та матеріали у стилі Дамаска, зберігаючи при цьому правдоподібність як функціональну зброю. Оскільки в мережі не так багато згадок про цей меч, я зібрав як найбільше корисних скріншотів з відео. Я зосередився на зображеннях, на яких виразно простежувався силует клинка, гравірувальні візерунки, матеріальний потік, що допомогло мені максимально точно реконструювати меч у 3D.” [15]

- 3.2. **Стилізований дизайн зброї**, з іншого боку, більше зосереджений на художньому вираженні, ніж на фізичній точності. У стилізованих проектах пропорції можуть бути навмисно перебільшені, щоб створити сильніший візуальний ефект або відповідати художньому напрямку гри чи анімації.



Рис.1.3.2 - Стилїзована 3D-модель зброї з гри “DOOM Eternal.”

Прикладом є зброї з гри DOOM Eternal (Рис.1.3.2). Їхні конструкції вирізняються перебільшеними формами, великими декоративними елементами та фентезійним виглядом, який не відповідає реальним історичним дизайнам зброї. Модель характеризується масивним клинком, ефектами світіння енергії, агресивним силуетом та складними орнаментальними деталями, що підкреслюють похмуру атмосферу гри. У цьому стилі основний акцент робиться на візуальному впливі та емоційному вираженні, а не на реалізмі чи практичній функціональності.

4. Деталізація: Рівень деталізації також є важливим аспектом створення 3D-зброї. Робочий процес зазвичай починається з великих форм, а потім йдуть середні та дрібні деталі (гравіювання, подряпини, сліди зносу та декоративні вставки). Однак надмірна деталізація може перевантажити модель, тому важливо підтримувати баланс між деталізацією та візуальною читабельністю.

5. Референси та дослідження: Референси також дуже важливі в процесі проектування. Художники та 3D-модельєри вивчають

історичні зразки холодної зброї, концепт-арт, роботи інших дизайнерів та референси з фільмів та відеоігор. Наприклад, за таким принципом розробники серії ігор “Mortal Kombat” зробили зброю Бойові віяла для персонажа Кітану. Ці зброї цілком існували і використовувалися насправді (Рис.1.3.3).



Рис.1.3.3 - Ліворуч персонаж Кітана зі своєю зброєю з гри "Mortal Kombat", а праворуч реальна зброя “Тессен”.

Їх використовували у Японії, Китаї та Кореї. У Японії частіше використовували бойові віяла, призначені для подачі сигналів на полі бою, але існували так само й укріплені простими або заточеними пластинами для битви. Саме цей тип віяла використовує Китана і називається він “тессен”. Використання референсів допомагає створити більш переконливий та професійний кінцевий результат.

1.4 Основні етапи створення 3D-моделей для візуалізації.

Створення 3D-моделей для візуалізації – це складний та багатоетапний процес, який поєднує художні навички, технічні знання та використання спеціалізованого програмного забезпечення. Якість кінцевої моделі залежить від правильного виконання кожного етапу робочого процесу.

1.4.1 Перший етап: концептуальне проектування.

Будь-який 3D-проект починається з ідеї. Концептуальне проектування - фундаментальний етап, що визначає успіх усієї роботи. У

цьому етапі відбувається кристалізація задуму: від туманної ідеї до конкретних візуальних орієнтирів.

Етап концептуального проектування включає такі ключові елементи:

1. Збір референсів — дослідження існуючих робіт, фотографій та матеріалів на тему для натхнення та точності.
2. Створення мудбордів — колажів візуальних елементів, що допомагають визначити стилістику та настрій проекту.
3. Ескізування - розробка попередніх нарисів з різних ракурсів для визначення пропорцій та форм.
4. Деталізація концепт-арту – створення більш опрацьованих зображень майбутньої 3D моделі.
5. Узгодження концепції - затвердження фінальної ідеї перед переходом до технічного етапу.

Фахівці або розробники(ігор, кіно, тощо) приділяють концептуальному етапу до 30% всього проекту. Чим більш продуманий і деталізований концепт, тим менше коригування потрібно на наступних етапах, що економить ресурси і підвищує якість підсумкового результату. Ось що говорить Олексій Морозов арт-директор про проблему створення концепту арту персонажа: “Пригадую, як ми працювали над персонажем для інді-гри. Клієнт хотів “незвичайного, але симпатичного інопланетянина”. Ми витратили тиждень на створення десятків концептів, але всі вони отримували відмову. Ситуація змінилася, коли я запропонував зібрати мудборд разом із клієнтом. За годину ми зібрали колаж із форм, кольорів та текстур, які подобалися замовнику. Виявилось, що його бачення "незвичайного" сильно відрізнялося від нашого - він уявляв істоту з біомеханічними елементами, натхненну роботами Гігера(швейцарський художник, представник біопанку та боді-горору в науковій фантастиці). Завдяки цьому прозрінню наступний концепт схвалено з мінімальними правками. Цей випадок навчив мене завжди починати з детального збору

візуальних референсів і спільного створення мудбордів, щоб буквально побачити бачення клієнта, а не намагатися вгадати його.”

Для структурування концептуальної фази корисно використовувати методологію проектування:

Таблиця 1.4.1 - Основні етапи концептуального проектування.

Етап	Завдання	Інструменти	Результат
Дослідження	Аналоговий аналіз, доменне дослідження.	Pinterest, ArtStation, Google images	Настройка, тематичні папки з посиланнями
Ескіз	Швидкі ескізи ідей та варіацій	Олівець і папір, Procreate, Photoshop	10-20 концептів з різних ракурсів
Деталь	Опрацювання обраної концепції	Цифрові графічні редактори	Детальне концепт-арт, ортогональні види
Препродакшн	Підготовка матеріалів для 3D моделювання	Photoshop, Illustrator, PureRef	Кінцеві малюнки, колірні схеми, текстурні карти

1.4.2 Другий етап: тривимірне моделювання.

Перехід від двовимірної концепції до тривимірної — моделі є ключовим моментом у створенні 3D об'єкта. Саме тут ваша ідея починає набувати об'ємності і форми в цифровому просторі.

Процес моделювання можна розділити на кілька підходів, кожен зі своїми перевагами та застосуванням:

- Полігональне моделювання — побудова об'єкта з багатокутників (полігонів), найбільш універсальний підхід.
- NURBS-Моделювання — створення гладких кривих і поверхонь, ідеально підходить для промислового дизайну.
- Ліплення — цифрове моделювання, чудово підходить для органічних форм і персонажів.
- Процедурне моделювання — генерація моделей на основі алгоритмів і параметрів.
- CAD Моделювання — точне інженерне проектування з розмірами.

Незалежно від обраного методу, процес зазвичай починається зі створення низькополігональної основи (або примітивів), яка поступово деталізується до бажаного рівня складності. Ось що говорить Сергій Комаров, 3D-моделіст про складність створення 3д будинку: “Колись мені доручили створити макет історичної будівлі для віртуального туру. Я вирішив піти "класичним" шляхом багатокутного моделювання, витративши тиждень на ретельне відтворення кожної архітектурної деталі фасаду. Результат був непоганий, але коли справа дійшла до численних подібних елементів — колон, карнизів, ліпнини —, я зрозумів, що моя ефективність прагне до нуля. Порадившись з колегою, я повністю переосмислив підхід, розбивши будівлю на модульні елементи і створивши бібліотеку повторюваних деталей. Для складної ліпнини він використовував ліплення в ZBrush з подальшою ретопологією. Завдяки поєднанню технік я закінчив другу половину будівлі всього за два дні, з кращою деталізацією.”

Вибір програмного забезпечення для 3D моделювання залежить від специфіки проекту, бюджету та особистих уподобань. Ось порівняльна характеристика популярних програм:

Таблиця 1.4.2 - Основні програми для 3D-моделювання.

Програми	Сильні сторони	Складність освоєння	Ідеально підходить для
Blender	Безкоштовні, універсальні, регулярні оновлення	Середнє	Незалежні художники, студенти, універсальні проекти
Maya	Анімація, моделювання, інтеграція з конвеєром VFX	Високий	Кіно, телебачення, AAA ігри
3DS Max	Архівізуалізація, модифікатори, плагіни	Високий	Архітектура, інтер'єри, предметний дизайн
ZBrush	Цифрова ліплення, органічні форми	Високий	Персонажі, істоти, скульптурні деталі

1.4.3 Третій етап: текстурювання та налаштування матеріалів.

Після створення геометрії моделі починається етап, який буквально "оживляє" 3D-об'єкт — текстурювання та налаштування матеріалів. Цей процес перетворює сіру базову модель в реалістичний об'єкт з певними візуальними і фізичними характеристиками поверхні.

Текстурювання включає наступні основні кроки:

- УФ-сканування — процес проектування тривимірної поверхні на двовимірну площину для подальшого відображення текстури.

- Створення текстурних карт — розробка зображень, які визначають колір, рельєф та інші характеристики поверхні.
- Налаштування шейдерів — програмування математичних функцій, які визначають взаємодію матеріалу з освітленням.
- Тестування матеріалу — перевірка реалістичності поведінки матеріалів при різному освітленні.

Сучасні матеріальні системи базуються на принципах фізично обґрунтованого рендерингу (PBR), які дозволяють створювати матеріали, що реалістично взаємодіють зі світлом за різних умов освітлення. Такий підхід гарантує, що поверхні зберігають послідовний та правдоподібний вигляд незалежно від навколишнього середовища, що робить їх широко використовуваними в сучасній 3D-графіці.

Такі матеріали визначаються набором властивостей, які контролюють їхній візуальний вигляд та поведінку. Колір поверхні представляє базовий тон матеріалу без будь-якого впливу освітлення, тоді як шорсткість поверхні визначає, наскільки різкими або розмитими виглядають відблиски. Металеві характеристики визначають, чи поводить матеріал як метал, впливаючи на те, як він відбиває або поглинає світло. Додаткові карти використовуються для моделювання дрібних деталей поверхні без збільшення геометричної складності, а також для створення ілюзії глибини та нерівностей поверхні. Інші важливі ефекти включають навколишнє оклюзію, яка посилює затінення в зонах контакту між поверхнями, та випромінювання, яке дозволяє матеріалам виробляти власне світло для ефектів світіння.

Під час роботи з текстурами важливо підтримувати баланс між візуальною якістю та продуктивністю системи. Для досягнення цього використовуються методи оптимізації, які допомагають ефективно

керувати даними текстур та автоматично знижувати рівень деталізації залежно від відстані від камери або важливості об'єкта в сцені.

Текстури можна створювати різними методами. Вони можуть бути намальовані вручну в програмному забезпеченні для цифрової графіки, згенеровані з реальних фотографій за допомогою методів обробки, створені процедурно за допомогою математичних алгоритмів, нанесені безпосередньо на 3D-моделі за допомогою робочих процесів малювання або отримані з існуючих бібліотек текстур, а потім адаптовані до вимог конкретного проекту.

Для різних типів проектів оптимальними є різні підходи до текстуровання:

Таблиця 1.4.3 - Підходи до текстуровання різних типів проектів

Тип проекту	Оптимальний підхід	Карти текстур ключів
Ігрові моделі	Оптимізовані текстури з атласами, запечені ефекти	Albedo, Normal, Metallic-Roughness, AO
Архітектурна візуалізація	Високодеталізовані текстури розморожування	Diffuse, Reflection, Glossiness, Bump/Normal
Персонажі	Детальний ручний розпис або вишкрібання з подальшим випіканням	Color, SSS, Specularity, Normal, Displacement
VFX для кіно	Ультрадеталі з багат шаровими	Повний набір карт з численними спеціалізованими

	шейдерами	картами
--	-----------	---------

1.4.4 Четвертий етап: освітлення та постановка.

Навіть ідеально змодельований і фактурний об'єкт може виглядати посередньо без належного освітлення. Світло не просто робить модель видимою — воно підкреслює форму, створює атмосферу і спрямовує увагу глядача. Грамотне освітлення може перетворити технічно просунуту, але "мертву" модель в виразну і емоційно насичену сцену.

3D-графіка використовує різні типи джерел світла, кожен зі своїми характеристиками та застосуванням:

1. Точкове світло (Точкове світло) — випромінює в усіх напрямках з однієї точки, як лампочка.
2. Спрямоване світло — імітує нескінченно віддалене джерело з паралельними променями, такими як сонце.
3. Точкове світло (прожектор) — випромінює конусоподібний промінь світла в певному напрямку.
4. Площа Світло (Квадратне Світло) — випромінює світло з певної поверхні і створює м'які тіні
5. IES Світло — використовує фотометричні дані реальних ламп, щоб точно імітувати їх світіння.
6. Освітлення HDRI — використовує панорамні зображення реальних місць для створення комплексного освітлення.

Окрім освітлення, кілька інших аспектів відіграють вирішальну роль у налаштуванні сцени.

Одним із ключових елементів є композиція, яка стосується того, як об'єкти розташовані в кадрі відповідно до принципів візуальної гармонії. Це може включати такі підходи, як правило третин, золотий перетин або використання діагональних ліній для спрямування уваги глядача та створення більш збалансованого та захопливого зображення.

Налаштування камери є ще одним важливим фактором, оскільки вони визначають, як сприймається сцена. Такі параметри, як фокусна відстань, глибина різкості та експозиція, безпосередньо впливають на перспективу, фокус та загальну візуальну чіткість, формуючи кінцевий вигляд візуалізованого зображення.

Навколишнє середовище також значною мірою сприяє результату, забезпечуючи контекст для основного об'єкта. Елементи фону, навколишні деталі та атмосферні ефекти допомагають створити настрій та зробити сцену більш правдоподібною та повноцінною.

Нарешті, важливе значення має презентація об'єкта, тобто вибір найефективнішого кута огляду. Вдало підібрана перспектива підкреслює ключові особливості моделі та покращує її загальну візуальну читабельність і привабливість.

При налаштуванні освітлення для різних видів рендерингу важливо враховувати технічні особливості використовуваних алгоритмів:

Таблиця 1.4.5 - Порівняння типів рендерингу та особливостей освітлення.

Тип рендера	Особливості освітлення	Оптимальні джерела світла	Час налаштування
Фізично правильно (Path Tracing)	Реалістична поведінка світла, включаючи каустику та підповерхневе розсіювання	Джерела площі, HDRI, випромінювальні матеріали	Високий

Biased (Hybrid)	Компроміс між швидкістю і реалістичністю вимагає додаткових налаштувань	Поєднання прямих і непрямих джерел	Середнє
Real-time (ігрові рушії)	Спрощені моделі освітлення, запечені картки, обмежена кількість динамічних джерел	Спрямоване світло, точкові джерела, світлові зонди	Низький
Нефотореалістичний (NPR)	Стилізоване освітлення, акцент на виразності, а не на фізичній точності	Спеціалізовані шейдери, контрастні джерела	Середнє

1.4.5 П'ятий етап: візуалізація.

Заключним етапом 3D-виробництва є візуалізація та пост-обробка моделей, де підготовлена сцена перетворюється на відшліфоване кінцеве зображення

На цьому етапі фокус зміщується з технічного налаштування на візуальне вдосконалення та якість презентації. Відрендерений результат покращується для досягнення більш реалістичного або стилістично узгодженого результату, залежно від цілей проекту. Це часто включає коригування балансу освітлення, градації кольорів, контрастності та загального тону зображення, щоб забезпечити цілісний візуальний вигляд.

Пост-обробка також включає покращення чіткості та візуального впливу. Такі ефекти, як розмиття, розмиття в русі, покращення глибини різкості та тонкі атмосферні корекції, зазвичай застосовуються, щоб зробити сцену більш кінематографічною та захопливою. Ці доповнення допомагають підкреслити настрій та спрямувати увагу глядача на важливі елементи композиції.

Крім того, на цьому етапі можна виправити незначні недоліки або артефакти рендерингу, щоб покращити загальну якість зображення. Кінцевий результат ретельно оцінюється, щоб переконатися, що він відповідає як художнім, так і технічним вимогам, перш ніж бути представленим як готовий результат.

Створення 3D-моделі — це не просто технічне завдання, а справжнє мистецтво, яке поєднує творче бачення з математичною точністю. Від першої чернетки до остаточного рендеру кожен етап вносить свій внесок у загальну картину. Розуміння цього процесу в цілому, де кожне рішення впливає на наступні кроки, відрізняє професіонала від новачка. [16]

РОЗДІЛ 2: АНАЛІЗ ІНСТРУМЕНТІВ ТА СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ.

2.1 Програмне забезпечення для 3D-моделювання та скульптингу.

Сучасна 3D-графіка неможлива без спеціалізованого програмного забезпечення, яке дозволяє художникам створювати, редагувати, текстурувати та анімувати тривимірні об'єкти. У процесі створення 3D-моделей для візуалізації, ігор, кіновиробництва чи концепт-арту використовуються різні програми, кожна з яких має свої інструменти, функції та сферу застосування. Програмне забезпечення для полігонального моделювання та цифрового скульптування особливо важливе, оскільки воно формує основу для створення персонажів, зброї, оточення та інших тривимірних ресурсів.

2.1.1 Blender 3D.

Blender 3D — потужна та безкоштовна програма для 3D-моделювання, анімації та рендерингу. Вона широко використовується користувачами по всьому світу завдяки своїм широким можливостям та гнучким інструментам, які дозволяють створювати високоякісні моделі та анімації (Рис.2.2.1).

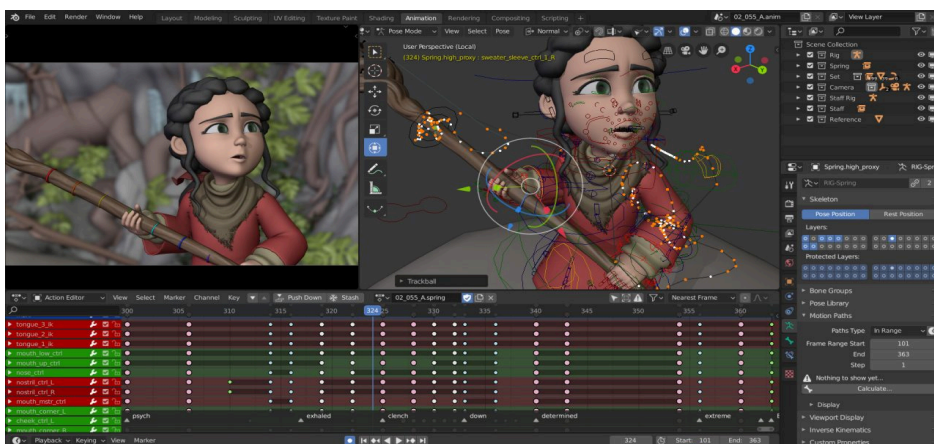


Рис.2.1.1 - Створення персонажа та анімацію у Blender 3D.

Програма дозволяє користуватися різними видами та техніками моделювання, починаючи від стандартного полігонального моделювання за жорсткою поверхнею (`hard_surface`) і закінчуючи моделюванням кривими та скульптингом (процесом, схожим на ліплення скульптур у реальному житті).

Blender може використовуватися для створення 2D-анімації та графіки. Один з ключових компонентів для роботи з 2D у Blender – це Grease Pencil, який дозволяє малювати та анімувати прямо в 3D-просторі. Grease Pencil дозволяє створювати малюнки та анімацію з використанням традиційних 2D-технік. Користувачі можуть малювати лінії та форми, створювати ключові кадри та використовувати інструменти трансформації для анімації об'єктів. Це робить Blender чудовим інструментом для створення короткометражних мультфільмів, коміксів та концепт-арту.

2D-аніматори можуть використовувати Blender для створення аніматиків - простих чорно-білих розкадрувань, які допомагають планувати та візуалізувати сцени перед створенням остаточної анімації.

Blender підтримує роботу з векторною графікою, що дозволяє створювати чіткі та масштабовані зображення. Векторні малюнки можна редагувати та анімувати, використовуючи ключові кадри та криві анімації.

У програмі можна створювати анімації будь-якої складності — для цього у Blender передбачено безліч інструментів, що дозволяють анімувати практично будь-який параметр та будь-яку властивість об'єктів. Для просунутих анімацій (на кшталт анімації персонажа) існує ригінг – це процес, у якому створюється скелет персонажа. Ригінг також можна зробити повністю і повністю, не виходячи з Blender.

У “Blender 3D” можна накладати текстури. Вони створюються як у самій програмі, і імпортуються з інших джерел. На об'єкти можна накладати завантажені текстури, створювати їх самостійно за допомогою

ручного малювання (hand-paint) або процедурно (за допомогою потужної системи нодів). Для правильного накладання текстур можна створювати та використовувати UV-розгортки.

Дизайнери інтер'єру можуть використовувати Blender для створення високоякісних 3D-моделей приміщень та меблів, що дозволяє візуалізувати проекти в деталях та подати їх клієнтам. За допомогою інструментів вони можуть створювати точні плани та розміщення меблів, експериментувати з різними текстурами та матеріалами, а також налаштовувати освітлення для досягнення реалістичних рендерів.

Крім того, Blender дозволяє анімувати інтер'єри, демонструючи різні варіанти дизайну та створюючи віртуальні тури приміщеннями, що допомагає клієнтам краще зрозуміти та оцінити проект. [17]

Переваги програми Blender 3D є:

1. **Безкоштовність.** Blender поширюється як вільне та відкрите програмне забезпечення. Це open-source проект (з відкритим кодом), тому програма завжди буде відкрита і безкоштовна для всіх користувачів. До того ж, будь-яка людина з навичками програмування може взяти участь у розробці.
2. **Висока швидкість роботи.** Порівняно з іншими 3D-пакетами, Blender запускається і працює набагато швидше. Багато в чому завдяки тому, що він важить у рази менше, ніж будь-який інший подібний софт.
3. **Широкий функціонал.** Blender дозволяє вирішувати величезну кількість завдань в області 2D та 3D без використання додаткового софту. Програму можна завантажити, встановити та одразу користуватися, тоді як аналоги можуть вимагати встановлення додаткових плагінів для кожного інструменту. Blender також має велику кількість плагінів, що спрощують роботу і покращують

користувальницький досвід, але всі вони строго опціональні і можуть підключатися та відключатися користувачем залежно від завдань.

4. **Робота на EEVEE.** Серед плюсів Blender - двигун, який дозволяє дуже швидко рендерувати всі текстури та накладені ефекти в режимі реального часу. Це спрощує та полегшує процес роботи.

5. **Універсальність.** Завдяки інструментам можна одразу займатися кількома напрямками роботи без використання додаткового програмного забезпечення.

6. **Зручний інтерфейс.** Він інтуїтивно зрозумілий та доступний користувачеві без досвіду роботи з програмами для 3D-моделювання. Метою розробників Blender є створення сучасного продукту, що відповідає потребам ринку, тому програма регулярно оновлюється.

2.1.2 Autodesk Maya.

Для професійного моделювання в ігровій та кіноіндустрії широко використовується Autodesk Maya. Maya — це програма для тривимірного комп'ютерного моделювання, візуалізації моделей та комп'ютерної 3D-анімації (Рис.2.1.2).



Рис.2.1.2 - Створення персонажа у Autodesk Maya.

Розробник ПЗ (програмне забезпечення) - Autodesk. Він відомий ще за однією популярною програмою для рендерингу — 3ds Max. Однак саме в Maya функції моделювання персонажів та анімування моделі вирішені більш ґрунтовно та глибоко(Рис.2.1.2). Програма відмінно підходить для розробки реалістичних і мультиплікаційних персонажів.

Ця програма відома потужними можливостями анімації, ригінгу та роботи з персонажами. Тому понад 20 років ПЗ активно використовують дизайнери, творці ігор та кінофільмів, маркетологи та скульптори. Розробники 3D Maya передбачили великий набір інструментів для текстурювання та анімації, які відкривають широкі можливості для створення 3D-графіки:

1. система візуального програмування Bifrost - середовище розробки реалістичних ефектів руху об'єктів, що має наочний інтерфейс і не знає коду;
2. готові анімаційні криві - набори параметрів руху об'єктів (прискорення, уповільнення тощо), які спрощують анімацію;
3. інтерактивне укладання волосся для створення реалістичних ефектів;
4. візуалізація ефектів рідких тіл Bifrost Fluids;
5. система моделювання реалістичної морської поверхні;
6. велика бібліотека фізичних ефектів та тощо.

У програмі Maya від Autodesk для створення моделей використовують полігони. Проста геометрія на основі ребер, граней та вершин інтуїтивно зрозуміла навіть новачкові. Професіоналам теж є що вивчити: в ПЗ можна створювати моделі за допомогою геометричних примітивів і кривих за допомогою NURBS. Розробники передбачили зручні інструменти для редагування UV текстур. Вони дозволяють переглядати та вносити зміни в текстури для полігонів, згладжених поверхонь та 2D-розгортки NURBS. У Maya можна створювати скульптури, але для друку на 3D-принтері ПЗ необхідно доповнити кількома плагінами.

Завдання перегляду змін у сценах у режимі реального часу вирішує вбудований модуль Arnold та вікно Render View. Останнє дозволяє швидко та точно відобразити колірні характеристики моделі. Сам рендеринг задіює потужності як графічного, і центрального процесорів. Стандартний шейдер поверхні відкриває широкі можливості з фотореалістичного моделювання матеріалів: пластик, матове скло та фарба на корпусах автомобілів виглядають жваво та природно. Інструмент Hypershade, призначений для розробки зовнішнього вигляду моделей, допомагає вибудовувати мережі тонування, створюючи та з'єднуючи вузли візуалізації (джерела світла, матеріали та текстури). (Рис.2.1.3)

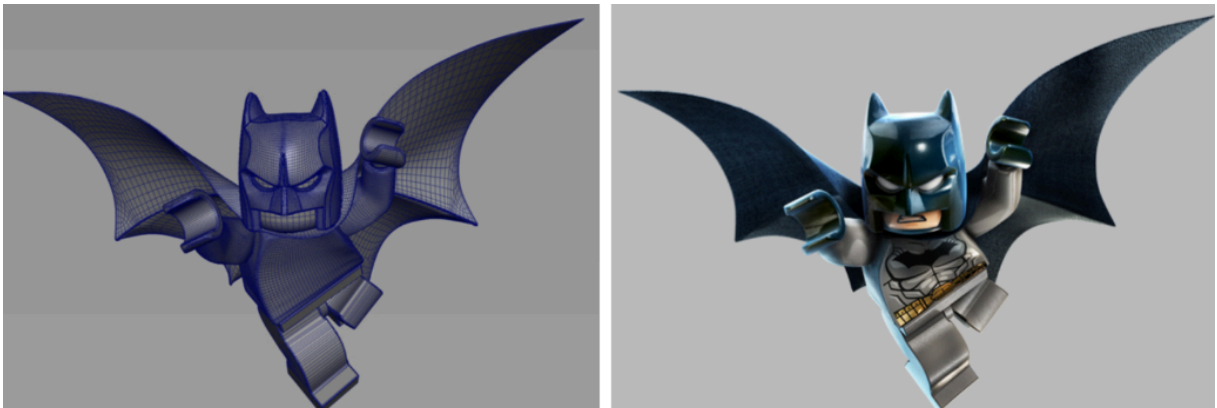


Рис.2.1.3 - 3D Модель у Maya та результат рендерингу.

Для скорочення часу роботи над проектом розробники Maya передбачили функцію швидкого відтворення. Вона відтворює кешовані файли в Viewport 2.0, за рахунок чого зменшується кількість створених у Playblast презентацій. За створення, редагування та перегляд анімаційних кривих відповідає відповідний редактор. Потужні двигуни деформації дозволяють зробити об'єкти більш живими та природними. Розробники програми Maya передбачили і модуль бібліотеки руху, що підключається. З ним у аніматорів з'являється доступ до даних про захоплення руху, які отримують від датчиків, прямо в Maya.

Щоб отримати реалістичні рухи персонажа, аніматор може використовувати різні деформатори, самостійно створювати скелети та

анімувати їх безпосередньо за допомогою ІК-ручок. Скінінг дозволяє прив'язати до скелета будь-яку змодельовану поверхню. Ще один приємний бонус, який покликаний прискорити та спростити роботу: анімацію можна переносити між кістками, причому вони можуть мати як схожу, так і зовсім різну кісткову структуру. [18, 21]

Переваги програми Autodesk Maya є:

1. **Розширюваність.** Maya можна доповнювати різними опціями та плагінами, підлаштовуючи програму під завдання. Наприклад, у Autodesk можна завантажити низку доповнень безкоштовно, щоб удосконалити роботу програми. У розширеннях передбачено готові сценарії для створення високодеталізованих симуляцій. Останні версії Maya підтримують мову програмування Python, а також активно використовують вбудовану мову сценаріїв MEL. Останній є актуальним для тих, хто не володіє Python.
2. **Широкий набір інструментів.** Користувачам Maya є велика бібліотека, за допомогою якої можна створювати докладні полігональні сітки, а також симетричні моделі. Пакет інтуїтивного моделювання стане в нагоді тим, хто хоче створювати об'єкти нестандартних форм. Варто відзначити і інструменти для проектування скульптур: незвичайний параметр змішування фігур дозволяє отримувати тривимірні моделі органічного вигляду без тимчасових витрат.
3. **Високий рівень анімації.** Рендер Arnold у програмі Maya є одним із найбільш популярних у сфері створення тривимірних анімованих персонажів та сцен. Він працює із зображеннями високої якості, швидко обробляючи та відображаючи їх. Користувач із досвідом зможе створювати анімацію, близьку за своїм рівнем до сучасних голлівудських мультфільмів.

4. **Різноманітність візуальних ефектів.** Maya чудово підходить для поживавлення будь-яких об'єктів. Персонажів можна змушувати як рухатися окремо, а й взаємодіяти між собою: зіштовхуватися, пересуватися по колу тощо. Моделювати матеріали, що деформуються, можна за допомогою інструмента nCloth. Він буде особливо актуальним під час опрацювання складок одягу та елементів текстилю. Як уже говорилося вище, у Maya закладено широкі можливості по створенню фотореалістичного волосся та хутра, і йдеться не тільки про наявність функції укладання: текстури, світло та траєкторію руху можна налаштувати таким чином, щоб шевелюра персонажа виглядала максимально природно.
5. Але є великі недолики які неможливо ігнорувати:
6. **Складнощі з інтерфейсом.** Для тих, хто тільки починає свій шлях у 3D-моделюванні та анімації, Maya може здатися складною програмою. В інтернеті можна знайти безліч навчальних відеороликів, але більшість із них немає української мови.
7. **Найвища ціна.** Додаток Maya коштує 174 євро на місяць, через це його не можна віднести до доступних більшості користувачів: його вигідно оплачувати або великої компанії, або тим, хто має регулярний і високий дохід.

2.1.3 Autodesk 3Ds Max.

3Ds Max — це програма для створення 3D-об'єктів, рендерингу та анімування на 3D. Це також продукт компанії Autodesk, як і Maya, але вона спеціалізується на роботі з тривимірними зображеннями для інженерного та дизайн-проектування (Рис.2.1.4).

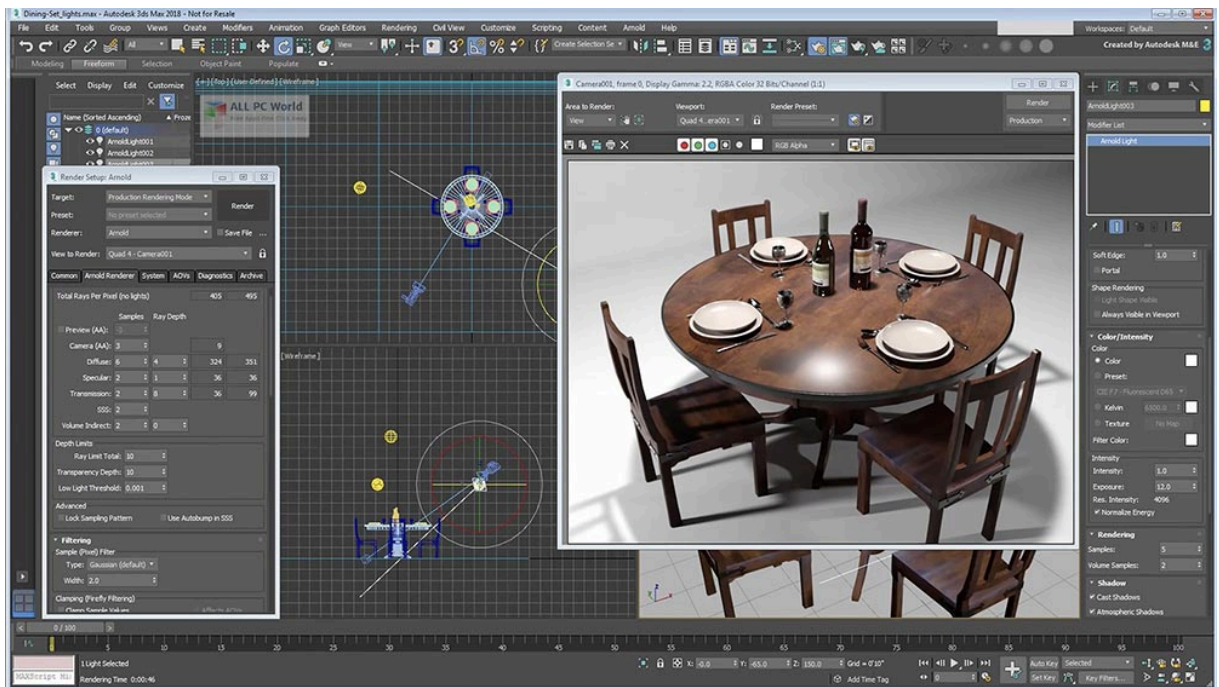


Рис.2.1.4 - Створення 3D моделі та сцени у 3Ds Max.

3ds Max має зручні інструменти полігонального моделювання, підтримку модифікаторів та великий набір плагінів, що дозволяє значно розширювати функціональність програми. У 3Ds Max можна моделювати 3D-об'єкти кількома способами:

1. **Полігональне моделювання.** Полігон (від англ. polygon) - це найпростіша одиниця площини, частина складнішої поверхні. Найбільш наочно це можна показати на прикладі паперових полігональних інтер'єрних фігур. Відомі голови єдинорогів складені з дрібніших простих елементів — плоских трикутників. Аналогічно можна створювати об'єкти у 3Ds Max. Якщо «незграбний» вид об'єкта необхідний дизайнеру, можна зберегти полігони на фінальному рендері. Така стилізована графіка іноді використовується в рекламі та іграх. Якщо потрібно, щоб полігони в підсумковому об'єкті були невидимими, а поверхня гладкою і рівною, використовують інструмент Turbosmooth (згладжування). За допомогою полігонів можна змоделювати предмети меблів, автомобілі та техніку, обличчя персонажів та ін.

2. **Моделювання з урахуванням примітивів.** У 3Ds Max є вбудована бібліотека примітивів – простих об'єктів. Це можуть бути як універсальні геометричні фігури, які використовуються у всіх сферах дизайну, так і специфічні для різних сфер об'єкти, наприклад, архітектурні примітиви — двері, вікна, поручні, сходи та ін.
3. **Моделювання на основі сплайнів.** Сплайни – це прості лінії, які не мають об'єму, але позначають контури об'єкта. Їх можна відредагувати за точками та надати обсяг шляхом видавлювання (наприклад, за допомогою модифікатора Extrude). Серед сплайнів є лінія, еліпс, коло, зірка та інші.
4. **Моделювання на основі NURBS-кривих.** NURBS розшифровується як Non-uniform rational B-spline. Це різновид сплайнів, який є плавною лінією. Спосіб моделювання підходить для створення об'єктів із вигнутими поверхнями. Це найпоширеніший метод моделювання меблів, ландшафтів, автомобілів, техніки без гострих граней. Якщо в полігональному моделюванні на об'єкті помітні полігони, то при роботі з NURBS-кривими цієї "незграбності" немає з самого початку: криві, з яких складається фігура, малюються відразу плавно вигнутими.
5. **Моделювання на основі поверхонь Безьє (Рис.2.1.5).** Такі поверхні є сіткою, яку можна згинати і витягувати по точках в будь-якому напрямку. Причому зміна форми також буде плавною, без гострих кутів.

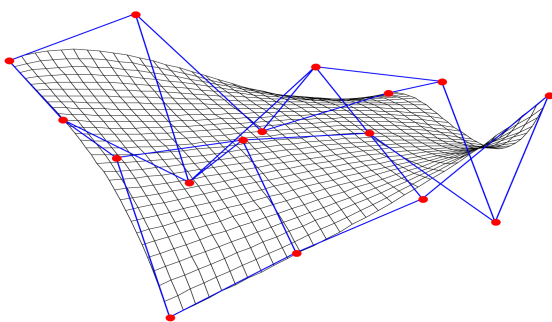


Рис.2.1.5 - Сетка (лоскут) Безьє.

Щоб виконати остаточний рендер, використовуються візуалізатори. Це спеціальні підпрограми, які розраховують всі задані для проекту параметри (освітленості, напрями світла, особливостей текстур тощо) та формують кінцеву двовимірну картинку, зняту під кутами, заданими дизайнером. Одні з найвідоміших візуалізаторів – Mental Ray, Arnold, V-Ray, RenderMan, FinalRender.

Анімація в 3Ds Max реалізована дуже якісно. У програмі є ефекти руху окремих частинок снігу, диму, вогню та інших середовищ, ефекти природного переміщення рідких матеріалів. Дуже натурально передається рух тканин, м'яких, пружних тіл. Є можливість задавати детальні траєкторії об'єктів. Програма дозволяє створювати якісні спецефекти для кіно та реклами. [19, 22]

Переваги програми 3Ds Max є:

1. Створення мультиплікаційних, ігрових персонажів, предметів, інженерних елементів, будівель та споруд, інтер'єрів та інших, у тому числі складних об'єктів з безліччю деталей.
2. Можливість не лише малювати статичні моделі, а й робити анімацію високої якості та рівня деталізації.
3. Легке керування частинками диму, вогню, водяних бризок, роси і т.д.
4. Безліч можливостей передачі текстур матеріалів.
5. Наявність важливих елементів інтерфейсу у прямій доступності. Для виклику функції достатньо натиснути гарячу клавішу або кілька разів клацнути мишкою.
6. Багато безкоштовних уроків за програмою, які полегшують самостійне навчання.
7. Безліч додаткових текстур та примітивів, які можна застосовувати в роботі (доступні як для покупки, так і для безкоштовного скачування).

8. Широка база плагінів, що дозволяють створювати додаткові візуальні ефекти та складні об'єкти спрощеним способом (наприклад, природні ландшафти з водоймищами).

Але також є великі недоліки:

1. **Високі вимоги до системи.** Це зворотний бік широкого функціоналу. Чим складніший проект, тим більше ресурсів комп'ютера потребує програма. Виробник вказує такі системні вимоги для встановлення версії Autodesk 3Ds Max 2022.

Операційна система: 64-бітна Microsoft Windows 10.

Процесор: 64-бітовий процесор Intel або AMD багатоядерний процесор із підтримкою інструкцій SSE4.2.

Відеокарта: будь-яка зі списку сертифікованого обладнання відповідної версії 3Ds Max.

Оперативна пам'ять: мінімум 4 Гб, але краще за 8 Гб і більше.

Місце на жорсткому диску: 9 Гб вільного простору.

2. **Сумісність лише з Microsoft Windows.** Якщо ви власник комп'ютера або ноутбука від Apple з процесорами M1 або вище, працювати в програмі не вдасться.
3. **Найвища ціна.** Така сама проблема як із Майєю. Вартість використання програми на місяць такі ж 174 євро. І більшість користувачів така ціна занадто велика.

2.1.4 ZBrush.

ZBrush — одна з топових програм для 3D-моделінгу, головна особливість якої наявність інструментів, що роблять роботу схожою на звичайне ручне ліплення з додаванням, відсіканням, згладжуванням та текстурюванням «цифрової глини». Ліплення - з англійської sculpting, тому щодо ZBrush часто вживають саме термін скульптинг (Рис.2.1.6).



Рис.2.1.6 - Скульптинг 3D-персонажа у ZBrush.

Важлива особливість ZBrush є принципом так званого 2.5D-моделювання. Незважаючи на те, що це програма для тривимірного малювання, на технологічному рівні процес є псевдотривимірним. Тобто програма не обраховує розташування всіх змодельованих об'єктів у просторі кожну секунду своєї роботи, а поєднує принципи 2D та 3D. Робочий простір програми, який називається канва, або полотно, складається з піксолів (pixols) - одиниць, що нагадують звичайні пікселі растрової графіки. Але якщо пікселі мають лише певні координати та колір, то піксолі йдуть далі і мають додаткові параметри: глибину, орієнтацію у просторі та матеріал. Тобто піксоль - це «розумний» піксель, що поєднує можливості 2D і 3D.

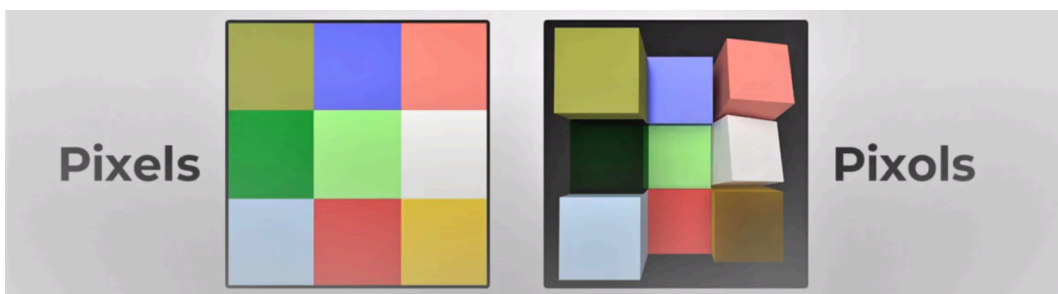


Рис.2.1.7 - Наочна різниця між пікселями та піксолями.

Такий принцип роботи ZBrush робить її легкою щодо використання ресурсів комп'ютера. Якщо багато інших програм для моделювання задіють

центрального процесора та відеокарти, то ZBrush використовує в основному оперативну пам'ять. Тому програма може швидко працювати навіть на порівняно слабких у плані процесора та відеокарти машинах. Головне подбати про достатній обсяг оперативної пам'яті.

Завдяки роботі з піксолями ZBrush дозволяє обробляти високодеталізовані моделі, які потрібні в сучасних іграх і кіно.

Принцип 2.5D дає ще одну важливу перевагу: можна малювати ілюстрації просто на моделях. Наприклад, зобразити візерунок на одязі персонажа, татуювання на шкірі чи написи на предметах.

Основними способами 3д-моделювання у програмі є: скульптинг за допомогою великої кількості кистей та другий спосіб за допомогою інструменту ZModeler.

У першому способі накладають на модель «глину» та зрізають її різними алгоритмами. Наприклад, кисті можуть мати власний профіль перерізу (круглий, квадратний тощо), щоб отримувати виїмки різної форми. Дуже важлива для роботи пензель, що згладжує. Вона вирівнює поверхню моделі. Це можна порівняти з тим, як при ручному ліпленні майстер рівняє поверхню руками, змоченими у воді, або губкою. Пензлики для ZBrush можна зробити самим або завантажити з відкритих безкоштовних джерел або з платних ресурсів. Скульптинг відмінно підходить для створення моделей живих істот, персонажів, рослинного світу, оточення загалом.

У другому способі моделювання – за допомогою інструмента ZModeler. Це пензель, що працює не з «цифровою глиною», а з полігональними формами, тобто простими геометричними фігурами та поверхнями. Такий принцип моделювання добре знайомий тим, хто працює в інших 3D-програмах (3ds Max, Blender та ін.). За допомогою ZModeler зручно моделювати предмети, які мають більш-менш чітку геометрію: машини, механізми, ігрову зброю, будівлі та ін. [20, 23]

До переваг програми можна віднести:

1. **Широкі можливості** для ручного скульптингу за методологією, що нагадує звичайне ручне ліплення;
2. **Можливість моделювання на основі примітивів** - простих фігур;
3. **Безліч автоматизованих функцій** для моделінгу, що спрощують роботу (наприклад, швидке текстурування);
4. **Велика кількість пензлів**;
5. **Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс**;
6. **Велика кількість плагінів** із додатковим функціоналом;
7. **Можливість детального налаштування інтерфейсу** під свої потреби (у тому числі, наприклад, розміру шрифту);
8. **Невисокі вимоги** до ресурсів комп'ютера.

У програми є й мінуси:

1. **Платне використання**: ціна може бути високою для новачків. Користування програмою на місяць буде коштувати 73 євро, але набагато дешевше ніж Maya або 3Ds Max;
2. **Слабкий рендерер** у порівнянні з іншими програмами для 3D-графіки.

2.2 Технології текстурування та матеріалів.

Текстура – це двовимірне зображення, нанесене на поверхню 3D-об'єкта за допомогою UV-картування. Воно містить інформацію про колір, рельєф, шорсткість, металеві властивості та інші характеристики поверхні. Матеріал, у свою чергу, – це набір параметрів, що визначає, як поверхня взаємодіє зі світлом.

Одним з етапів текстурування є створення UV-карти (UV-картування). UV-координати дозволяють «розгорнути» тривимірну модель у плоску поверхню для нанесення текстури. Якість UV-карти

безпосередньо впливає на точність та деталізацію текстур. Погано створені UV-карти можуть призвести до розтягнутих текстур, видимих швів та втрати якості зображення.

Для створення текстур використовується спеціалізоване програмне забезпечення, зокрема Substance 3D Painter, Adobe Photoshop, Quixel Mixer та Blender. Одними з найпопулярніших сучасних рішень є Substance 3D Painter, оскільки він дозволяє художникам працювати безпосередньо на поверхні моделі в режимі реального часу, використовуючи шари, маски, процедурні матеріали та генератори зносу або пошук текстур з сайтів Poly Haven, ambientCG, BlenderKit.[28, 29,30]

Важливу роль у сучасній 3D-графіці відіграє технологія PBR (Physically Based Rendering). Цей підхід базується на фізично точному моделюванні взаємодії між світлом і поверхнями. Завдяки PBR матеріали виглядають реалістично за різних умов освітлення та в різних механізмах рендерингу. Основний принцип цієї технології полягає у використанні кількох спеціалізованих карт текстур. [24]

Основні карти PBR включають:

1. **Albedo (Base Color)** — визначає основний колір поверхні без інформації про освітлення;
2. **Normal Map** — імітує дрібні деталі поверхні без збільшення кількості полігонів;
3. **Roughness Map** — контролює, наскільки шорстким або гладким виглядає матеріал;
4. **Metallic Map** — визначає, чи поводить się поверхня як метал;
5. **Ambient Occlusion (AO)** — додає тіні у важкодоступних місцях для посилення глибини;

6. **Height або Displacement Map** — створює додатковий фізичний рельєф поверхні.



Рис.2.2.1 - Зліва об'єкт із звичайними текстурами, праворуч із застосуванням PBR-властивостей.

Технологія PBR дозволяє створювати реалістичні матеріали, такі як дерево, метал, тканина, шкіра, пластик і камінь. Наприклад, під час створення моделі холодної зброї важливо точно відтворити металеві властивості клинка, подряпини, сліди зносу та текстуру рукоятки. Текстури відповідають за створення ефекту реалізму та історії об'єкта.

РОЗДІЛ 3: ПРАКТИЧНА РОЗРОБКА 3D-ПЕРСОНАЖА (ЛИЦАРЯ) З ЗБРОЄЮ.

3.1 Пошук концепту персонажа та зброї.

На етапі пошук уконцепції персонажа та зброї, формується загальне уявлення про майбутнього персонажа, включаючи його зовнішній вигляд, стиль, індивідуальність, спорядження та дизайн зброї. Добре розроблена концепція робить процес 3D-моделювання більш організованим, оскільки художник або 3D-моделіст має чітке візуальне уявлення про кінцевий результат.

Перед початком моделювання збираються довідкові матеріали. Вони можуть включати зображення, концепт-арт, фотографії або скріншоти з ігор та фільмів, які допомагають визначити стиль майбутньої моделі. Для цієї мети зазвичай використовуються різні онлайн-ресурси, такі як ArtStation, Pinterest, Behance та офіційні книги з ігрового арту. Довідкові матеріали допомагають зрозуміти форму, пропорції, кольорову палітру, матеріали та дрібні деталі об'єкта. [25, 26, 27]

На етапі розробки концепції було вирішено створити персонажа середньовічного лицаря, який поєднує елементи як реалістичного, так і стилізованого дизайну. Основна ідея полягає у створенні персонажа, який зберігає впізнаваний вигляд класичного середньовічного лицаря, водночас маючи більш художній та візуально виразний стиль.

Дизайн персонажа включатиме реалістичні елементи обладунків, натхненні історичним середньовічним спорядженням, такі як металеві пластини, шолом, захисні елементи обладунків, пояси та деталі з тканини. Ці елементи допомагають зробити персонажа правдоподібним та створити враження справжнього середньовічного воїна. Водночас модель не буде повністю реалістичною. Для досягнення більш візуально привабливого та унікального дизайну також будуть додані декоративні елементи на шоломі,

незвичайні прикраси зброї, тканинні вставки, символіка ордену, рослинні мотиви або інші художні деталі, які можуть не бути історично точними, але покращують загальний художній вигляд персонажа.

Особлива увага буде приділена балансу між деталями та простотою. Персонаж не повинен виглядати перевантаженим надмірними дрібними деталями, оскільки це може зробити модель візуально важкою та важкою для сприйняття. З цієї причини деякі елементи будуть спрощені або стилізовані, щоб зберегти чистий та читабельний силует. Важливо, щоб лицар залишався легко впізнаваним навіть здалеку або за мінімальних умов освітлення сцени.

Мені дуже подобається як виглядає персонаж “Страж” з гри “For Honor” від студії “Ubisoft” (Рис.3.1.1). Його дизайн є хорошим прикладом поєднання реалістичного середньовічного образу та художньої стилізації. Обладунки персонажа мають переконливу конструкцію та впізнаваний силует лицаря, але водночас містять стилізовані елементи, які роблять образ більш виразним і атмосферним.

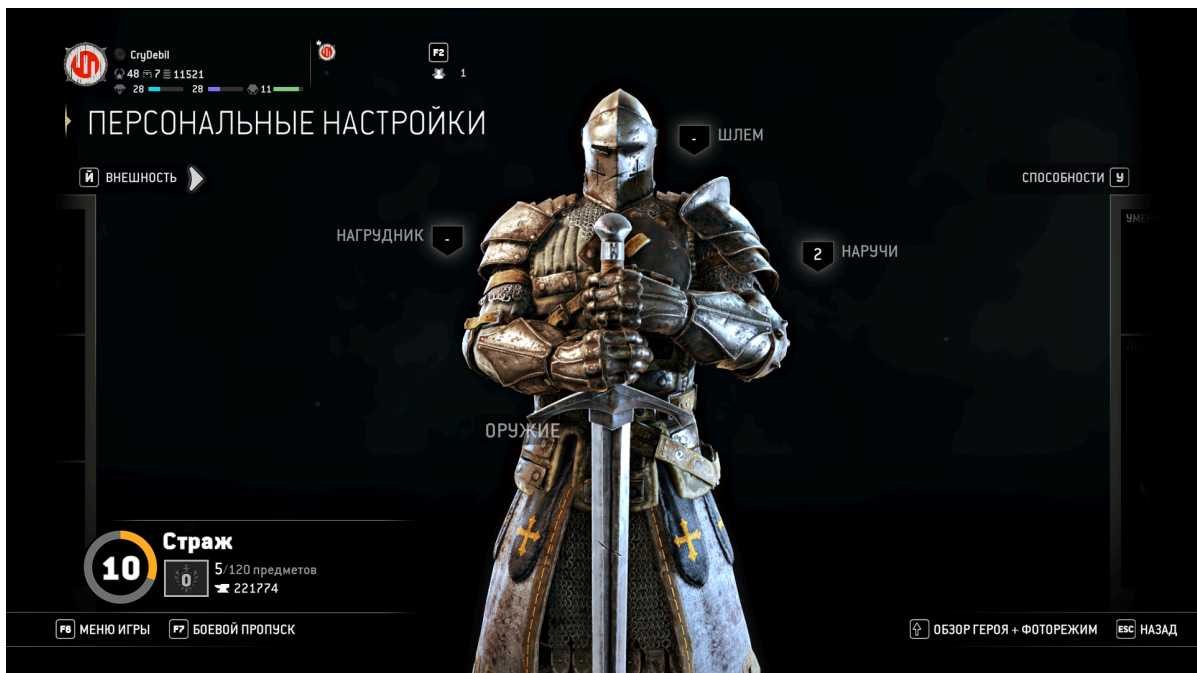


Рис.3.1.1 - Персонаж “Страж” з гри “For Honor”.

Також у дизайні персонажа та його зброї вдало поєднуються практичність і художня виразність. Наприклад, форма шолома, тканинні елементи, металевий матеріал на зброї, символіка та потертості на броні створюють відчуття реального воїна, який брав участь у битвах, але при цьому образ залишається стилізованим і візуально привабливим. Саме цей баланс між реалізмом і стилізацією я хочу передати у своєму персонажі.

Пошукавши на багатьох сайтах схожість дизайну, я знайшов кінцевий результат концепта персонажа та його зброю, який мені потрібен для моделювання.



Рис.3.1.2 - Концепт персонажа Лицаря.

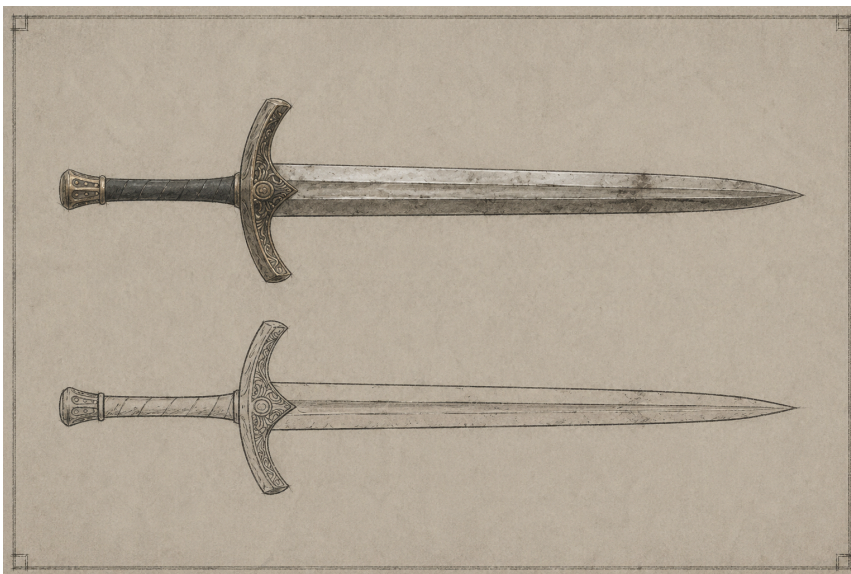


Рис.3.1.3 - Концепт зброї персонажа.

3.2 Створення 3D-зброї.

Ми будемо використовувати програмне забезпечення Blender. Вибір цієї платформи обумовлений її широкими можливостями для повного циклу створення 3D-об'єктів: від моделювання до текстурування, налаштування матеріалів, освітлення та фінальної візуалізації сцени. Також на його вибір вплинув безкоштовне використання цієї програми. Завдяки якому я можу вільно користуватися та працювати над 3D-моделюванням.

3.2.1 Блокінг зброї.

Після визначення референсів наступним етапом є блокінг — створення базової форми майбутньої 3D-моделі. Метою блокінгу є формування загального об'єму та пропорцій об'єкта без глибокого опрацювання деталей. Цей процес дозволяє швидко перевірити правильність конструкції, співвідношення частин моделі та її силуету.

Для створення базової форми я почну зі створенням: леза, рукоятки, протизахисного та гарду. Лезо в кінці і з боків ми робимо тонким, щоб воно виглядало гострим та небезпечним (Рис.3.2.1). Рукоять ми робимо довгим, щоб було легко вхопитися двома руками. Протизахисного робимо спеціально товстим, щоб був баланс при маханні мечем. Після цього робимо гарду щоб лезо та рукоять логично поєднались (Рис.3.2.2).

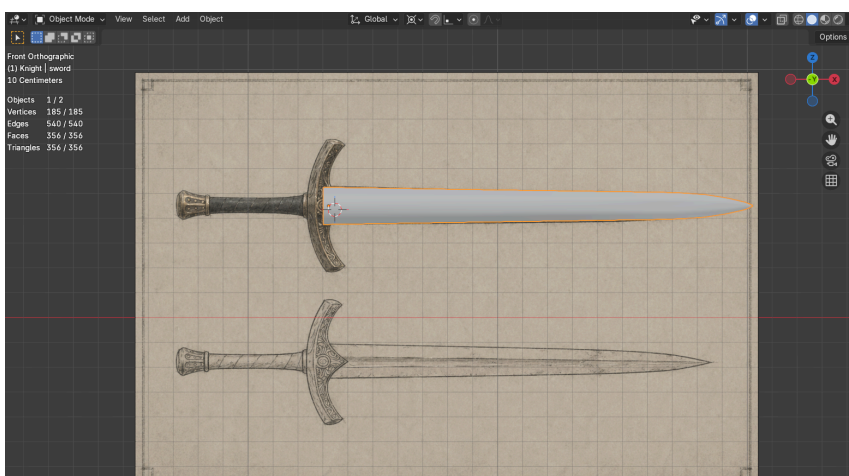


Рис.3.2.1 - Блокінг леза.

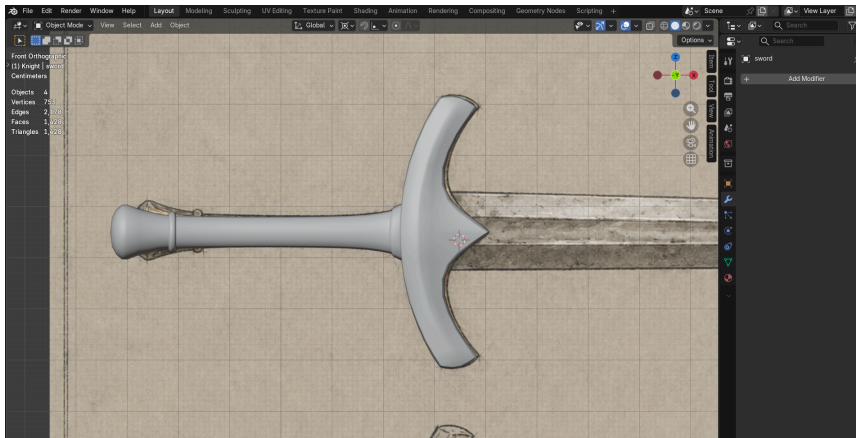


Рис.3.2.2 - Блокінг рукоятки, протизаги та гарди.

3.2.2 Деталізація зброї.

Після завершення блокінгу наступним етапом є деталізація моделі, під час якої базова форма поступово доповнюється складними елементами, дрібними деталями та характерними рисами, що надають об'єкту реалізму та індивідуальності. Так як у нас зміцнений меч з небагато нудним дизайном, деталей ми додаємо менше.

На цьому етапі використовуємо інструменти полігонального моделювання: екструзія (extrude), лупінг (loop cut), бриджінг (bridge), а також модифікатори, наприклад, Subdivision Surface або Bevel, для згладження кутів і додання об'єму.

Також вручну посередині леза по довжині робимо виїмку як на реальному мечі. (Рис.3.2.3)

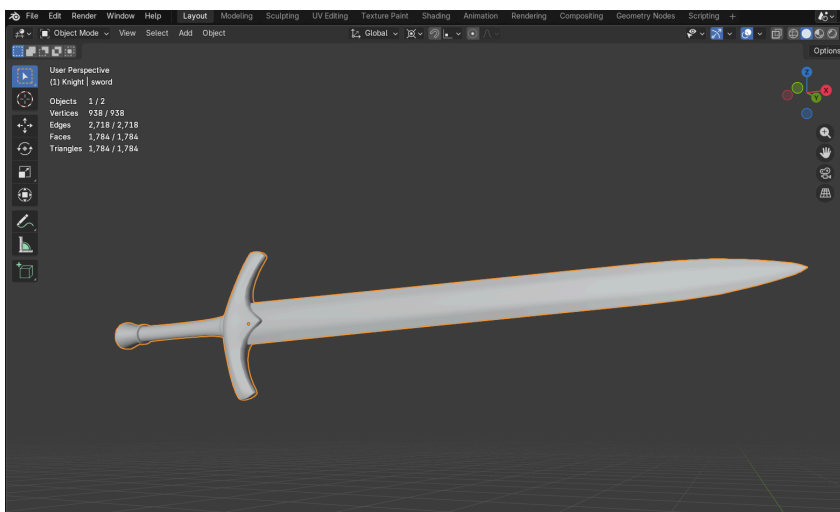


Рис.3.2.3 - Деталізація зброї.

3.2.3 Текстурування зброї.

Після завершення етапу деталізації моделі наступним кроком стало текстурування — процес надання об'єкту візуальних характеристик, таких як колір, блиск, шорсткість, рельєфність тощо. Якраз програма Blender, має вбудовані інструменти для роботи з матеріалами та шейдерами, а також підтримує node-based систему для створення складних текстурних комбінацій. Для цього я знайшов дуже круті PBR-текстури (Рис.3.2.4) з сайтів Poly Haven, ambientCG, BlenderKit.

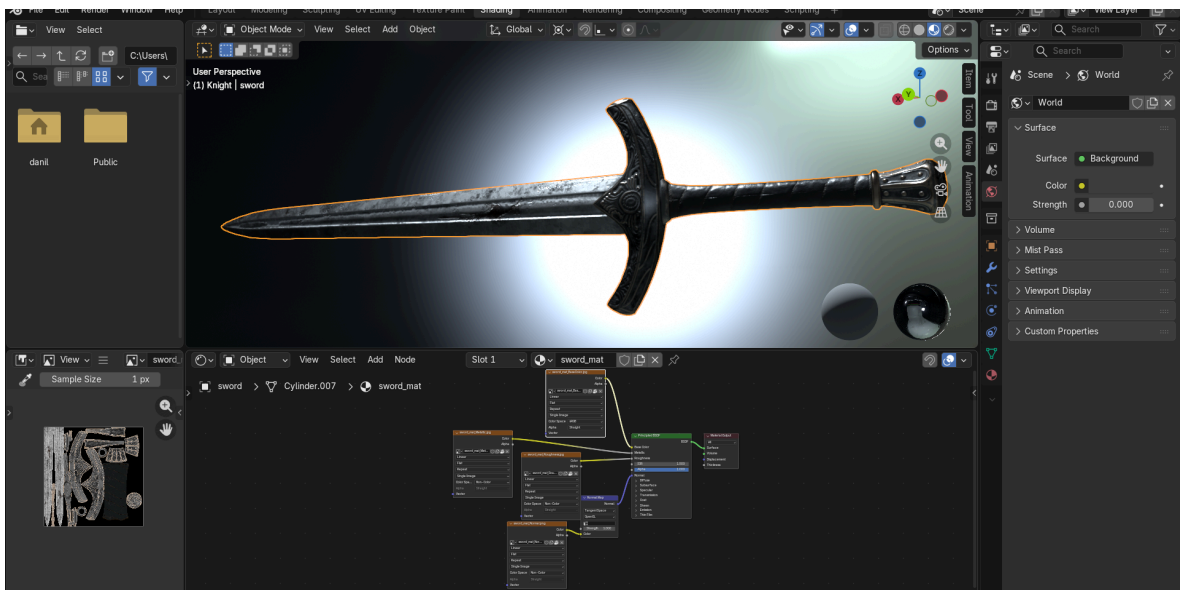


Рис.3.2.4 - Текстурування моделі.

Тепер за допомогою цих текстур можна помітити реальні подряпини на лезо, гарні малюнки на гарді та пов'язки на рукоятці.

3.3 Створення 3D-персонажа.

Зброя створена, тепер переходимо до створення 3D-персонажу.

3.3.1 Блокінг персонажа.

Починається блокінг - створення простої форми персонажа з базових примітивів. На цьому етапі важливо правильно побудувати пропорції та загальну форму, не заглиблюючись у дрібні деталі. Але мій середній рівень створення 3D-модель Персонажу і маленькі знання в анатомії людини не дозволяє правильно створити ключову і важливу форму для блокінгу. Тому я візьму початкову форму разом з одягом з інтернету. (Рис.3.3.1)

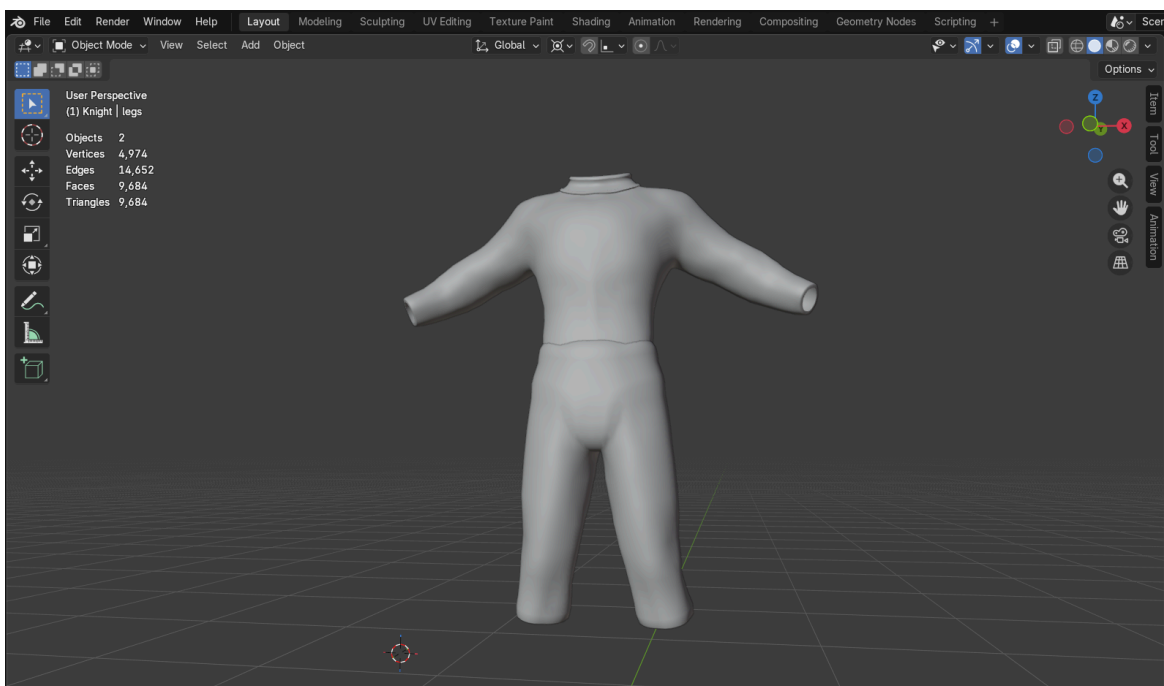


Рис.3.3.1 - Початкова форма персонажа.

3.3.2 Деталізація персонажа.

Коли форму затверджено, починаємо поступове опрацювання деталей: додається броня, складки тканини, елементи зброї та декоративні частини. Паралельно продумуються матеріали та текстури.

Першим ділом створюється нагрудник разом із ремнями, що фіксують його на тілі персонажа. Конструкція броні складається з базової основи та трьох додаткових пластин. Основна частина покриває тулуб, тоді

як пластини розташовуються поверх неї, створюючи враження посиленого захисту та багат шаровості обладунку.

Потім моделюється поясний ремінь із жорсткими, чітко вираженими краями. Далі створюється додатковий ремінь, що проходить через плече і кріпиться до задньої частини пояса. Після, додаються ще чотири ремені із пряжками, що з'єднують центральну частину броні із задньою системою кріплення. У місцях фіксації ременів створюються декоративні металеві заклепки, що підкреслюють конструкцію обладунків. (Рис.3.3.2)

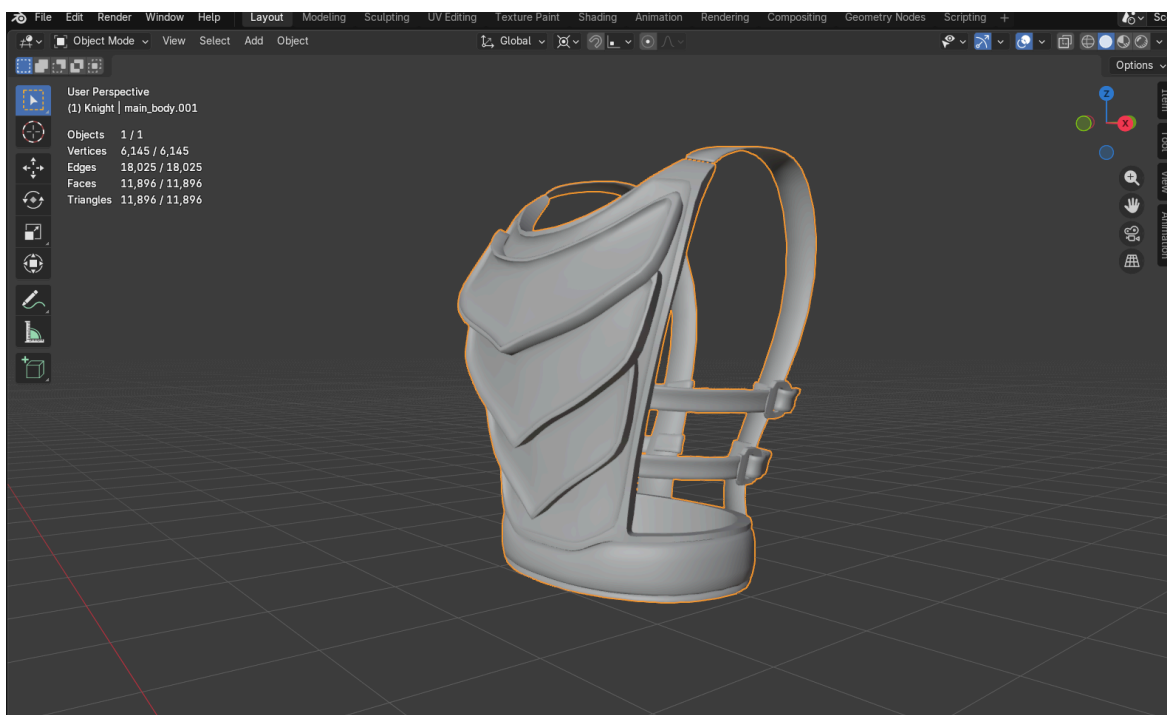


Рис.3.3.2 - Створення нагрудника.

Наступним етапом створюються наплічники, наручі та рукавиці. Конструкція наплічників побудована за аналогічним принципом, як і нагрудник: вони складаються з основної частини та трьох додаткових пластин. Базова основа щільно прилягає до плеча, тоді як інші пластини розміщуються поверх неї, забезпечуючи додатковий захист і візуально збільшуючи об'єм обладунку. Верхня пластина спеціально деформується для створення декоративного елемента, що робить дизайн більш виразним та стилізованим.

Після цього моделюються наручі, основа яких покриває передпліччя та кисть руки. Додатково на них створюються невеликі декоративні елементи у вигляді шипів. Далі створюються рукавиці, які гармонійно поєднуються із загальним стилем броні. Усі елементи закріплюються системою ременів, що обгортають руку та забезпечують цілісність конструкції обладунку. (Рис.3.3.3)

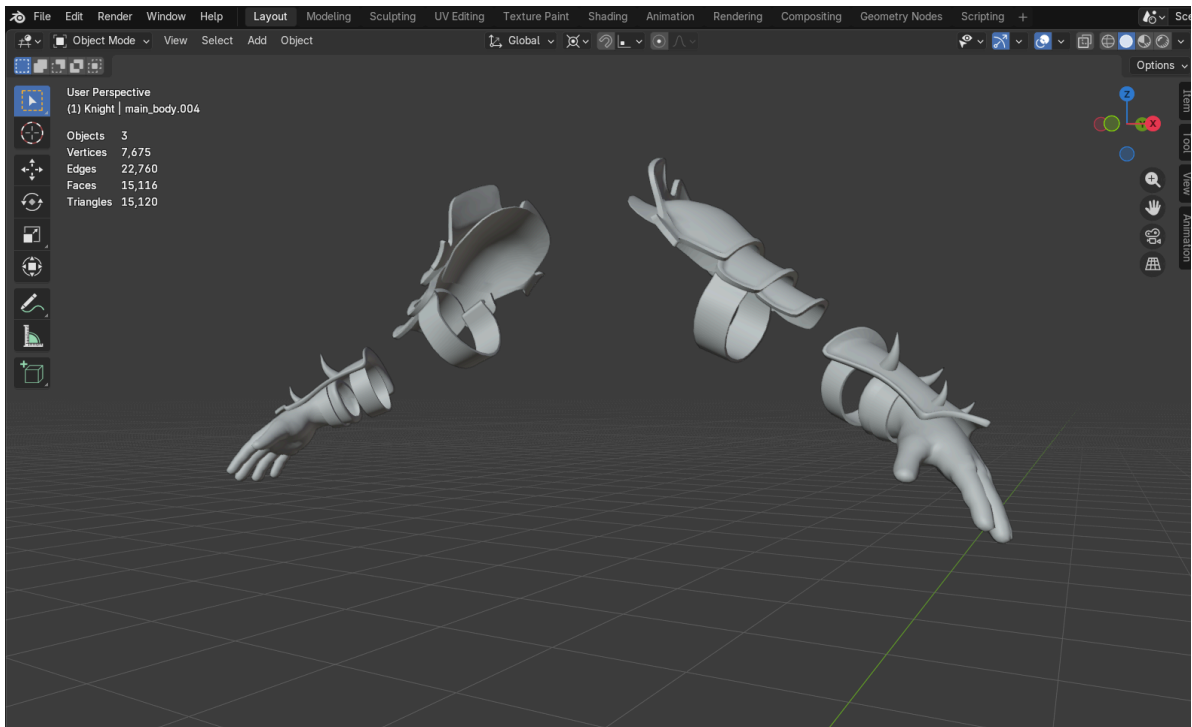


Рис.3.3.3 - Створення наплічників, наручів та рукавиць.

Далі переходимо до створення нижньої частини обладунків. Спочатку моделюється масивна нижня частина одягу, що за формою нагадує спідницю. Вона доповнюється ремнями, заклепками та пряжками, які з'єднують верхню частину костюма з елементами броні та підкреслюють конструкцію спорядження.

Під шаром одягу створюються наколінники, конструкція яких складається з трьох окремих пластин. Додатково вони деталізуються заклепками та ремнями для більш реалістичного вигляду кріплення. Нижче моделюється взуття, яке також має броньовані елементи у вигляді

трьох захисних пластин та системи ременів, що фіксують обладунок на ногах персонажа. (Рис.3.3.4).



Рис.3.3.4 - Створення нижньої частини обладунків.

Поверх всіх елементів обладунку створюється плащ, доповнений декоративними заклепками. Плащ моделюється довгим і тонким, щоб передати властивості справжньої тканини та створити більш реалістичний вигляд матеріалу. Для поєднання плаща з бронею використовуються декоративні заклепки у формі герба, які не лише виконують функцію кріплення, а й підкреслюють стилістику та унікальний дизайн персонажа. (Рис.3.3.5)

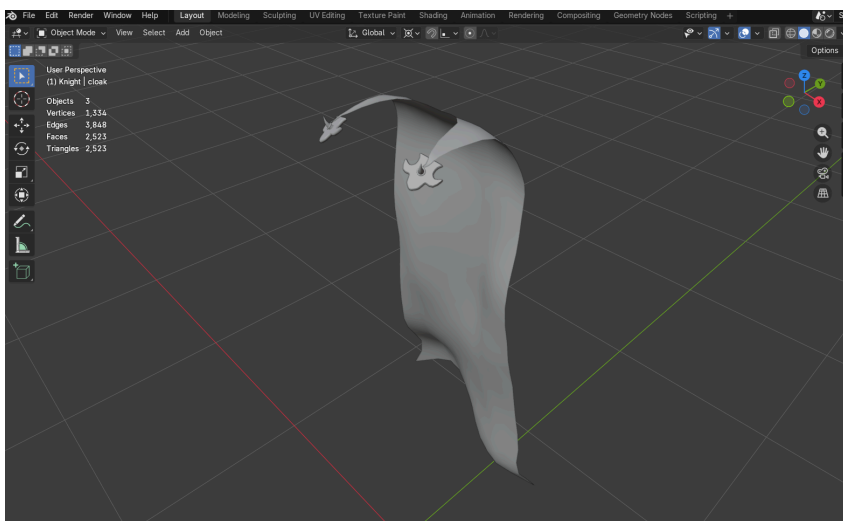


Рис.3.3.5 - Створення плаща з декоративними заклепками.

Шолом є одним із найбільш декоративних елементів обладунку, оскільки саме він має привертати основну увагу до образу персонажа. За основу береться дизайн, подібний до шолома персонажа “Стража” з гри “For Honor”. Конструкція шолома складається з задньої захисної секції, передньої частини яка закріплюється к задньої ременями та кольчужного елемента, який прикриває шию.

Після створення основної форми додаються декоративні деталі. У центральній частині між отворами для очей розміщується емблема, що підкреслює індивідуальність дизайну. Задня частина шолома доповнюється елементами, стилізованими під роги, які роблять силует більш впізнаваним, агресивним і виразним. (Рис.3.3.6)

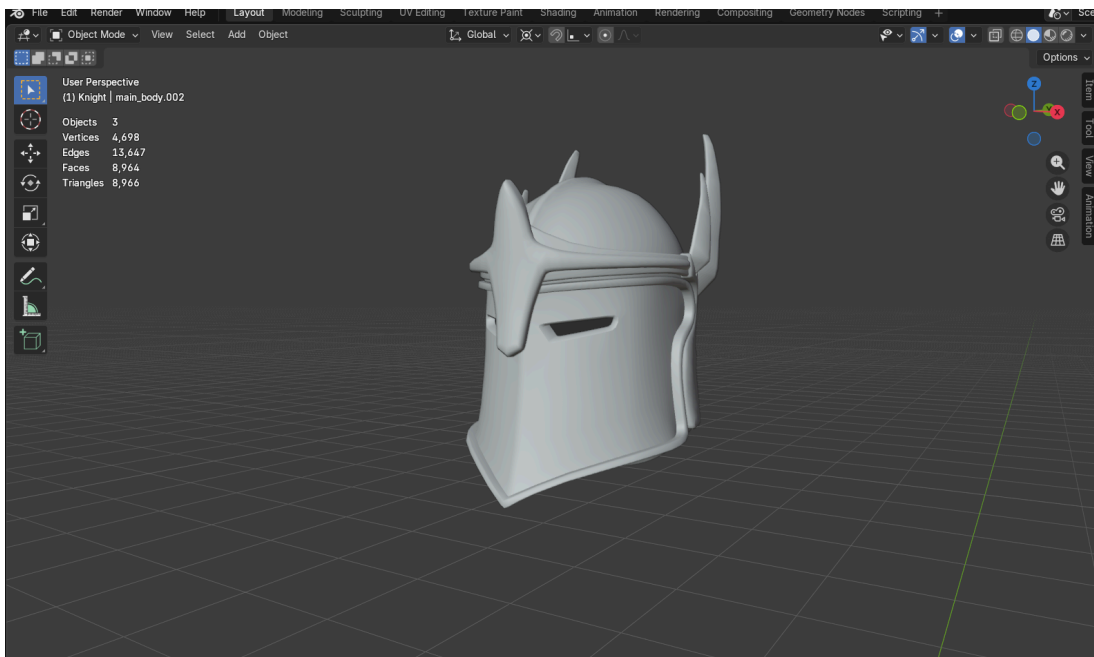


Рис.3.3.6 - Створення шолому.

3.3.3 Текстурування персонажа.

Після завершення етапу деталізації переходимо к текстуруванню.

Для кожної частини броні та окремих деталей були підібрані текстури, які найбільш вдало підходять до загального стилю персонажа. Основою дизайну стали білі металеві обладунки, доповнені червоними символами та декоративними елементами. Також до шолома були додані червоні роги, що підсилюють візуальну виразність образу.

У результаті була сформована основна кольорова палітра персонажа, яка поєднує білий та червоний кольори. Білий колір підкреслює чистоту й лицарський стиль обладунку, тоді як червоні акценти додають агресивності, контрасту та роблять персонажа більш впізнаваним. (Рис.3.3.7)

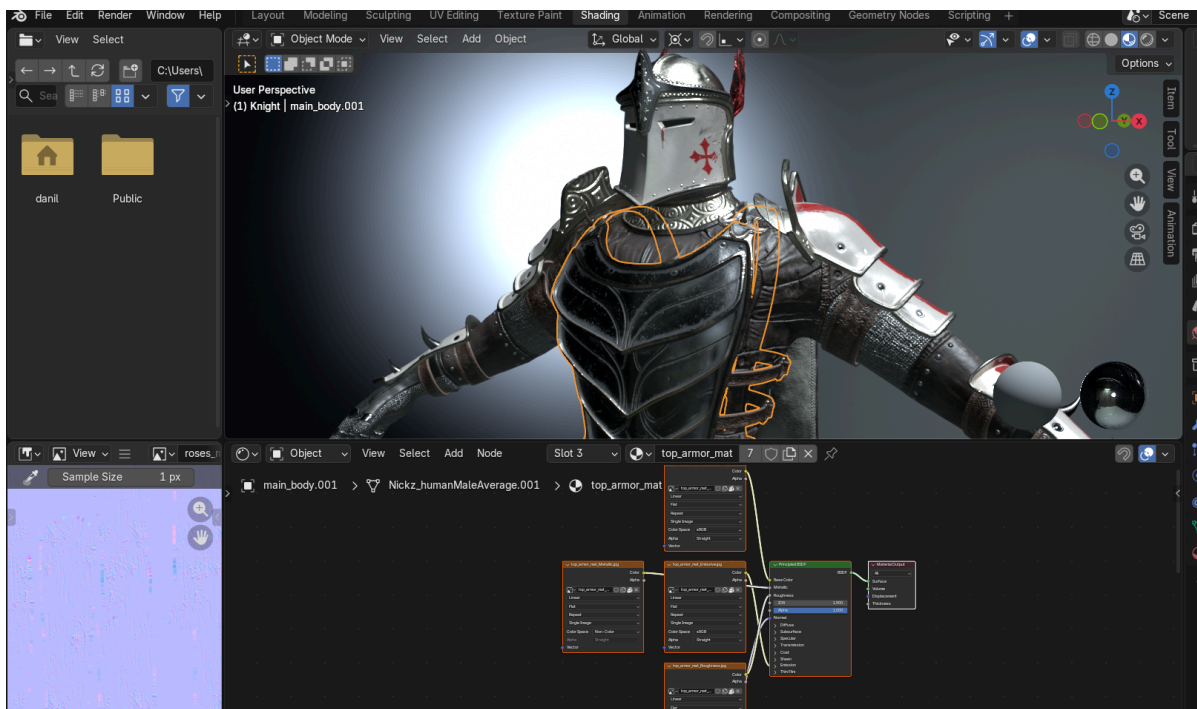


Рис.3.3.7 - Текстурування персонажа.

3.4 Ригінг, постановка персонажа та рендеринг.

Після завершення моделювання та текстурування виконується етап ригінгу персонажа, його постановка та рендеринг. Та імпортуємо меч у сцену із персонажем.

3.4.1 Ригінг персонажа.

На цьому етапі всередину 3D-моделі додається скелет (Armature), який складається з набору кісток для керування рухами персонажа. Основні кістки створюються для хребта, рук, ніг, шиї та голови. Додаткові кістки використовуємо для окремих елементів броні, плаща або ременів.

Після створення скелета модель прив'язується до нього за допомогою системи ваг (Weight Paint). Це дозволяє кожній частині тіла правильно деформуватися під час руху. Особлива увага приділяється місцям згинів, таким як лікті, коліна та плечі, щоб уникнути неприродних деформацій броні чи тканини. Наприкінці етапу перевіряється коректність усіх рухів персонажа та виправляються можливі помилки. (Рис.3.4.1)



Рис.3.4.1 - Створення Ригінгу персонажу.

3.4.2 Постановка персонажа.

Після ригінгу створюється фінальна поза персонажа. Для цього кістки скелета переміщуються та обертаються таким чином, щоб персонаж виглядав виразно. Було обрано стійку як концепт артi, яка підкреслює характер лицаря та демонструє основні елементи обладунку.

На цьому етапі також налаштовується положення зброї, плаща та інших декоративних деталей. Важливо, щоб поза виглядала природно, а композиція сцени дозволяла добре роздивитися дизайн персонажа з різних ракурсів. Додатково виконується корекція дрібних елементів для уникнення перетинання об'єктів між собою. (Рис.3.4.2)



Рис.3.4.2 - Постановка персонажа.

3.4.3 Освітлення сцени.

Наступним етапом є налаштування освітлення сцени. Для цього використовуються три однакових джерела світла — Спрямоване протяжне джерело світла (Area). Така система дозволяє підкреслити форму броні, об'єм персонажа та дрібні декоративні деталі.

Для створення відповідної атмосфери сцени використовується кольорове освітлення, яке підкреслює форму персонажа та окремі елементи обладунку. Перше джерело світла розташовується знизу та має червоний колір. Воно направляє на меч, щоб підкреслити металеву поверхню леза, створити виразні відблиски та додати сцені більш драматичного вигляду.

Друге джерело світла має біло-рожевий відтінок і розміщується трохи вище від першого. Його основне завдання — освітлення верхньої частини броні та підкреслення об'єму нагрудника, наплічників і декоративних деталей персонажа.

Третє джерело світла є білим та встановлюється над головою персонажа. Воно направляє безпосередньо на шолом, акцентуючи увагу на його формі, декоративних елементах і текстурах. Завдяки такому розташуванню освітлення створюється більш кінематографічний та виразний вигляд фінальної сцени. (Рис.3.4.3)

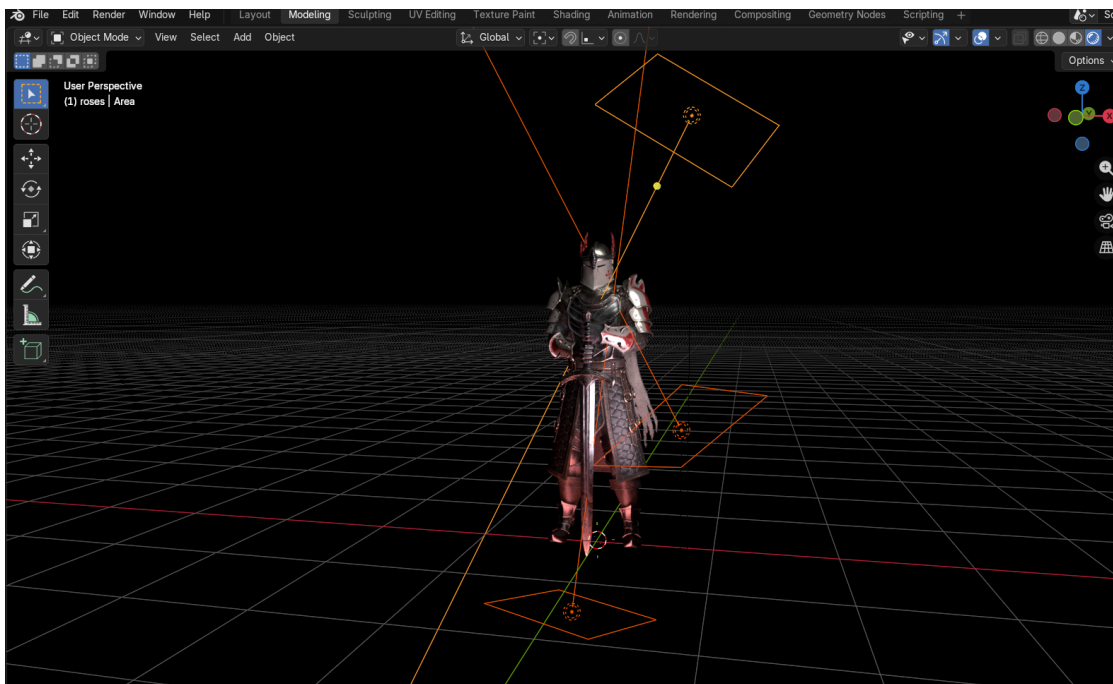


Рис.3.4.3 - Освітлення сцени.

3.4.4 Рендерінг.

Завершальним етапом створення 3D-моделі є рендеринг. Цей процес дозволяє отримати якісні зображення моделі з налаштованим освітленням і матеріалами для демонстрації результату роботи.

Для отримання більш реалістичного вигляду сцени були виконані такі дії:

1. Камера: Була розміщена під відповідним кутом, щоб найкраще підкреслити форму моделі. Для кращої композиції використовувалась глибина різкості (Depth of Field).
2. Роздільна здатність рендеру: Зображення було виведено у високій якості (наприклад, 1920x1920 пікселів) з достатньою кількістю семплів для уникнення шуму.



Рис.3.4.4 - Кінцевий результат.

ВИСНОВОК

В результаті виконання цього дипломного проекту було вивчено сучасні підходи до створення 3D-персонажів та холодної зброї, а також реалізовано повний процес розробки тривимірного персонажа лицаря з унікальним мечем — від концептуальної стадії до фінального рендерингу.

Під час теоретичного дослідження було проаналізовано основні галузі застосування 3D-графіки, включаючи відеоігри, кіновиробництво, анімацію, архітектуру, медицину та рекламу. Було встановлено, що 3D-графіка є універсальним інструментом сучасного цифрового середовища, що поєднує як художні, так і технічні аспекти створення візуального контенту. Особливу увагу було приділено відмінностям між реалістичним та стилізованим підходами до створення персонажів, а також принципам проектування холодної зброї в тривимірному середовищі.

У практичній частині проекту було розроблено концепцію персонажа лицаря та меча, підібрано референси та визначено загальний художній стиль проекту. У процесі моделювання було використано сучасні методи полігонального моделювання та цифрового скульптування для створення детальних елементів броні, зброї та аксесуарів. Також було виконано текстуркування з використанням PBR-матеріалів, що дозволило досягти реалістичної взаємодії між поверхнями та освітленням.

Особливу увагу було приділено налаштуванню матеріалів, освітленню сцени та рендерингу, що дозволило досягти візуально високоякісного кінцевого результату. Для підготовки персонажа до фінальної презентації було реалізовано ригтінг та створено фінальну позу, щоб підкреслити індивідуальність та візуальний образ персонажа.

Крім того, у проекті було досліджено сучасний вплив технологій штучного інтелекту на сферу 3D-графіки. Було визначено, що інструменти на основі ШІ можуть значно пришвидшити процеси генерації концепцій,

текстурування, створення референсів та рендерингу, що робить їх перспективним напрямком розвитку цифрового мистецтва та комп'ютерної графіки.

Отримані результати демонструють практичну цінність сучасних методів 3D-моделювання та підтверджують важливість комплексного підходу до створення високоякісного цифрового контенту. Розроблений персонаж та зброя можуть бути використані як основа для подальших проектів в ігровій індустрії, цифровому мистецтві, анімації або як частина професійного портфоліо 3D-художника.

СПИСОК ВИКОРИСТАННЯ ДЖЕРЕЛ

1. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0097849314000260>
2. <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/3d-graphics>
3. <https://www.webopedia.com/definitions/3-d-graphics/>
4. https://en.wikipedia.org/wiki/3D_computer_graphics
5. <https://dev.epicgames.com/documentation/unreal-engine/lighting-the-environment-in-unreal-engine>
6. <https://www.creativebloq.com/3d/how-to-create-an-atmospheric-painterly-environment-in-unreal-engine>
7. <https://3dvf.com/en/redaction/interview-how-techland-created-the-world-and-characters-of-dying-light-2-stay-human/>
8. <https://www.fxguide.com/fxfeatured/man-of-steel-vfx-milestones/>
9. <https://chud.com/6839/interview-john-laseter-cars/>
10. <https://www.visual360-studio.com.ua/blog-page/arhitekturna-3d-vizualizacziya-yak-cze-praczyuye/>
11. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8368739/>
12. <https://cgischool.ua/zastosuvannia-3d-grafiky-industriyi/>
13. <https://www.youtube.com/watch?v=EocBcZhNgeY>
14. <https://gamedev.dou.ua/blogs/creating-a-photorealistic-character/>
15. <https://80.lv/articles/how-to-experiment-with-metals-textures-and-materials-to-create-a-sword>
16. <https://www.youtube.com/watch?v=F1hVX7hrFq8>
17. docs.blender.org/manual/en/latest/
18. help.autodesk.com/view/MAYAUL/2026/ENU/
19. <https://help.autodesk.com/view/3DSMAX/2026/ENU/>
20. <https://www.maxon.net/en/zbrush>
21. https://www.autodesk.com/de/products/maya/overview?mktvar002=3466774|SEM|23619282866|189029358450|kwd-354361812674&utm_source=GGL&utm_medium=SEM&utm_campaign=GGL_M-E_All-Products_EMEA_DE_eComm_SEM_BR_New_EX_0067_4277222&utm_id=3466774&utm_term=kwd-354361812674&gad_source=1&gad_campaignid=23619282866&gclid=Cj0KCQjwk_bPBhDXARIsACiq8R12gBsH437I9oVwdl_k_mAeRXbc258NugqoQOzAd1bE4T-gij8UGtIEaAmcDEALw_wcB
22. https://www.autodesk.com/de/products/3ds-max/overview?mktvar002=4277222|SEM|23619282866|189029358410|kwd-13133432&utm_source=GGL&utm_medium=SEM&utm_campaign=GGL_M-E_All-Products_EMEA_DE_eComm_SEM_BR_New_EX_0067_4277222&utm_id=4277222&utm_term=kwd-13133432&gad_source=1&gad_campaignid=23619282866&gclid=Cj0KCQjwk_bPBhDXARIsACiq8R14VVebox3JpKBE5BgtjwQS9TAiU7N3szj5JkFsRrXJKHlHys6k7Q4aApLtEALw_wcB
23. https://www.softwarebox.de/software/maxon/zbrush/?gad_source=1&gad_campaignid=67388730&gclid=Cj0KCQjwk_bPBhDXARIsACiq8R1UA7a2jR1UJfsORBHla6kmMRuLuic30dGidfX16mghqrB8ycdm5saAk30EALw_wcB
24. <https://www.adobe.com/ua/products/substance3d/discover/pbr.html>
25. https://www.artstation.com/?sort_by=community&dimension=all
26. <https://ru.pinterest.com>
27. <https://www.behance.net>
28. <https://polyhaven.com>
29. <https://ambientcg.com>
30. <https://www.blenderkit.com>

ДОДАТКИ



