

Київський столичний університет імені Бориса Грінченка
Факультет інформаційних технологій та математики
Кафедра комп'ютерних наук

Допущено до захисту

Завідувач кафедри комп'ютерних наук,
кандидат технічних наук, доцент

_____ Ірина МАШКІНА
(підпис)

«___» _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «бакалавр»

Спеціальність 122 Комп'ютерні науки

Освітня програма 122.00.01 Інформатика

Тема: РОЗРОБКА 3D МОДЕЛІ ПЕРСОНАЖА ДЛЯ МУЛЬТФІЛЬМУ

Виконала студентка групи
ІНБ-1-21-4.0д Олексійчук Каріна
Олександрівна

(підпис)

Науковий керівник кандидат
педагогічних наук, доцент Глушак
Оксана Михайлівна

(підпис)

Київ – 2025

Київський столичний університет імені Бориса Грінченка
Факультет інформаційних технологій та математики
Кафедра комп'ютерних наук

Затверджую

Завідувач кафедри комп'ютерних наук,
кандидат технічних наук, доцент

_____ Ірина МАШКІНА
(підпис)

«___» _____ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА «РОЗРОБКА
3D МОДЕЛІ ПЕРСОНАЖА ДЛЯ МУЛЬТФІЛЬМУ»**

Виконавець – студентка групи ІНб-1-21-4.0д

Олексійчук Каріна Олександрівна

- 1. Вихідні дані:** літературні та інтернет джерела.
- 2. Основні завдання:** вивчення теоретичних аспектів
3D-моделювання персонажів; дослідження програмних
засобів, що використовуються для 3D-моделювання; розробка
концепт-арту персонажа; створення 3D-моделі персонажа;
оцінка якості створеної моделі.
- 3. Пояснювальна записка:** обсяг – до 60 сторінок формату А4
комп'ютерного набору з дотриманням вимог стандарту і
методичних рекомендацій кафедри.
- 4. Графічні матеріали:** презентація.
- 5. Додатки:** відсутні.
- 6. Строк подання роботи на кафедру:**
- 7. Науковий керівник** **Виконавець**

к.п.н., доцент

Глушак О.М.

Дата

Олексійчук К.О.

Дата

Календарний план

№	Етап виконання роботи	Термін виконання	Примітка
1	Формування та затвердження теми дипломної роботи бакалавра	11.11.24	виконано
2	Ознайомлення з методичними рекомендаціями до дипломної роботи	26.11.24	виконано
3	Складання змісту та завдань роботи	27.11.24	виконано
4	Аналіз предметної області	28.11.24-15.05.25	виконано
5	Написання реферату та вступу	20.03.25-25.03.25	виконано
6	Написання першого розділу	26.03.25-14.04.25	виконано
7	Написання другого розділу	15.04.25-30.04.25	виконано
8	Створення 3D-моделі	15.04.25-08.05.25	виконано
9	Написання тез до науково-практичної конференції «ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ – 2025»	29.04.2025-02.05.25	виконано
10	Написання третього розділу	11.05.25-30.05.25	виконано
11	Створення презентації до передзахисту	20.05.2025-21.05.25	виконано
12	Передзахист матеріалів дипломної роботи на засіданні кафедри	22.05.25	виконано
13	Написання висновків	03.06.25-05.06.25	виконано
14	Захист дипломної роботи на засіданні експертної комісії	18.06.25	

Здобувач: студентка групи ІНб-1-21-4.0д
Олексійчук К.О.

Керівник роботи: к.п.н., доцент кафедри комп'ютерних наук
Глушак О.М.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 57 с., 47 рис., 1 табл., 51 посилання.

Актуальність роботи пояснюється високим попитом на спеціалістів з 3D-моделювання персонажів для створення конкурентоспроможних анімаційних проєктів.

Об'єкт дослідження: 3D-моделювання в анімаційних проєктах.

Предмет дослідження: етапи, техніки та програмні засоби для створення 3D-моделі персонажа, придатної до використання в мультфільмі.

Мета роботи: розробка 3D-моделі персонажа для мультфільму.

Завдання:

- вивчення теоретичних аспектів 3D-моделювання персонажів;
- дослідження програмних засобів, що використовуються для 3D-моделювання;
- розробка концепт-арту персонажа;
- створення 3D-моделі персонажа; - оцінка якості створеної моделі.

Результати: розроблено 3D-модель персонажа з урахуванням технічних вимог сучасної анімації.

Практичне значення полягає у можливості застосування 3D-моделі персонажа у анімаційному виробництві, також цю роботу можна використовувати для розробки навчальних матеріалів з 3D-моделювання.

Ключові слова: концепт, 3D-моделювання, персонаж, анімація, топологія, текстурування, ріггінг, Blender, Autodesk Maya, Autodesk 3ds Max.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ЕТАПИ СТВОРЕННЯ 3D-МОДЕЛІ ПЕРСОНАЖА ДЛЯ МУЛЬТФІЛЬМУ	8
1.1 Концепт-арт	8
1.2 Створення геометричної форми	10
1.3 Додавання текстур	14
1.4 Ріггінг та скіннінг	18
РОЗДІЛ 2 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ	21
2.1 Blender	21
2.2 Autodesk 3ds Max	24
2.3 Autodesk Maya	27
2.4 Вибір програми для створення 3D-моделі персонажа	30
РОЗДІЛ 3 ВИКОРИСТАННЯ BLENDER ВЕРСІЇ 4.4 ДЛЯ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРСОНАЖА	33
3.1 Концепт	33
3.2 Моделювання тіла	35
3.3 Створення одягу	39
3.4 Деталізація голови	42
3.5 Додавання аксесуарів	44
3.6 Використання модифікаторів	45
3.7 Текстурування	45
3.8 Тестування моделі	48
ВИСНОВКИ	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	52

ВСТУП

Анімаційні фільми відіграють значну роль у сучасній культурі. Вони є не лише засобом розваги, а й потужним інструментом впливу на суспільство, здатним передавати важливі ідеї та духовні цінності глядачам різного віку.

З розвитком комп'ютерних технологій індустрія анімації зазнала великих змін. Зокрема, впровадження тривимірної графіки відкрило художникам простір для експериментів з освітленням, ракурсами, текстурами, спецефектами, деталізацією оточення, відтворенням емоцій і рухів, що дозволило створювати мультфільми більш цікавими та візуально привабливими.

Під час виробництва 3D-мультфільмів особливу увагу приділяють моделюванню персонажів, оскільки саме через них глядачі взаємодіють із сюжетом. 3D-моделювання є комплексним процесом, що включає концептуальний дизайн, побудову геометричної форми, текстуркування та налаштування скелетної структури (ріггінг). Існує багато підходів до створення 3D-моделей, серед них найбільш поширені полігональне моделювання і скульптинг. Все це потребує високого рівня знань та навичок, тому дана кваліфікаційна робота спрямована на дослідження теоретичних основ 3D-моделювання персонажів із використанням здобутих компетенцій на практиці.

Вагомий внесок у розвиток 3D-моделювання персонажів здійснюють анімаційні студії Pixar, Disney, DreamWorks, Illumination, Sony Pictures та інші, а також розробники програмного забезпечення для роботи з тривимірною графікою, такого як Autodesk Maya, Autodesk 3ds Max, ZBrush чи Blender. Попри всі досягнення у цій галузі, залишається низка питань, що вимагають подальших досліджень. Наприклад, пошук балансу між реалістичністю і стилізацією, оптимізація полігональної сітки моделей для збереження хорошої якості при мінімальних витратах ресурсів, автоматизація процесів текстуркування, ріггінгу та анімації, інтеграція штучного інтелекту у виробничий процес.

Актуальність даної кваліфікаційної роботи пояснюється високим попитом на спеціалістів з 3D-моделювання персонажів для створення конкурентоспроможних анімаційних проєктів.

Метою роботи є розробка 3D-моделі персонажа для мультфільму.

Для досягнення поставленої мети передбачено виконання наступних завдань:

- вивчення теоретичних аспектів 3D-моделювання персонажів;
- дослідження програмних засобів, що використовуються для 3D-моделювання;
- розробка концепт-арту персонажа;
- створення 3D-моделі персонажа; - оцінка якості створеної моделі.

Об'єкт дослідження — 3D-моделювання в анімаційних проєктах. **Предмет дослідження** — етапи, техніки та програмні засоби для створення 3D-моделі персонажа, придатної до використання в мультфільмі.

Методами дослідження є аналіз вітчизняних та зарубіжних інтернет джерел, порівняння різних програмних засобів для створення 3D-моделей, художнє проєктування концепту персонажа, практичне 3D-моделювання, тестування готової моделі.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості застосування готової 3D-моделі персонажа у анімаційному виробництві. Також, цю роботу можна використовувати для розробки навчальних матеріалів з 3D-моделювання.

Галузь застосування охоплює анімаційну індустрію, відеоігри, віртуальну та доповнену реальність.

РОЗДІЛ 1 ЕТАПИ СТВОРЕННЯ 3D-МОДЕЛІ ПЕРСОНАЖА ДЛЯ МУЛЬТФІЛЬМУ

1.1 Концепт-арт

Робота над персонажем мультфільму розпочинається з малювання концепт-арту – художнього зображення, яке допомагає візуалізувати ідею ще до етапу тривимірного моделювання [2]. Для цього використовують графічні редактори, такі як Adobe Photoshop, Krita, Procreate, Clip Studio Paint та інші.

Перед створенням концепту важливо розуміти стилістику мультфільму, роль персонажа в сюжеті (протагоніст, антагоніст або другорядний герой), а також мати уявлення про основні риси його характеру.

Далі варто провести підбір референсів, метою якого є пошук натхнення для формування унікального і гармонійного образу. Референсами можуть бути фотографії реальних людей чи тварин, кадри з мультфільмів, природні елементи, малюнки інших авторів, архітектурні об'єкти, будь що, здатне надихати [3]. Для зручності, всі допоміжні матеріали зазвичай організовують в одному просторі за допомогою мудборду (дошки настрою, приклад на рис.1.1).

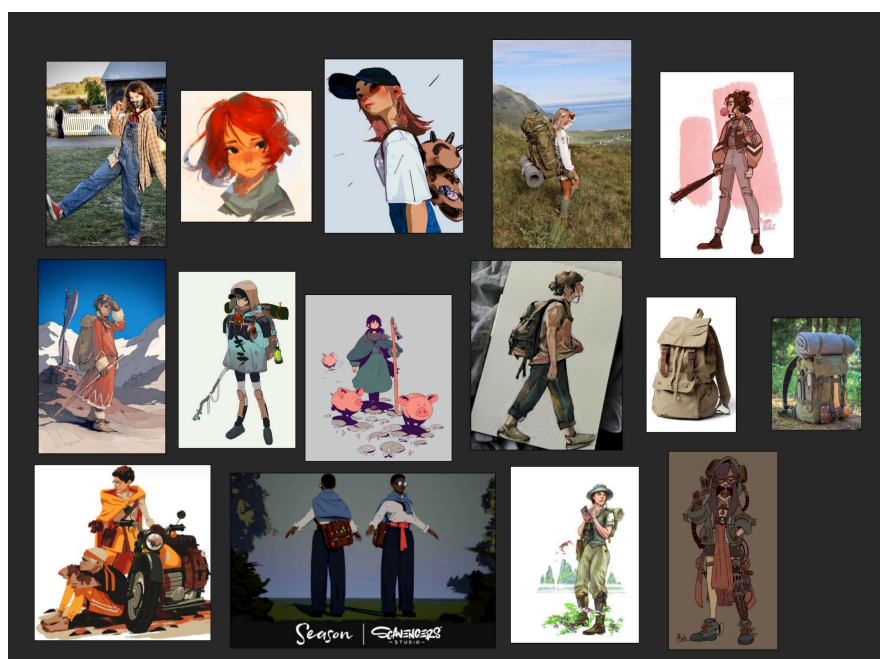


Рисунок 1.1. Мудборд з референсами до персонажа [4]

На початку малювання рекомендується зробити декілька ескізів, щоб поекспериментувати з пропорціями, позами, виразами обличчя та одягом персонажа і визначити, які з них найкраще передають його особистість. Після цього потрібно зобразити героя у трьох проєкціях — спереду, збоку та ззаду, для легшого відтворення у тривимірному просторі [5]. Щоб зберегти стилістичну єдність, поруч з малюнками часто розміщують якийсь об'єкт з того ж проєкту.

На етапі підбору кольорів можна використовувати готові палітри, або створити таку самостійно, враховуючи характер персонажа та асоціації, які викликають певні кольори (наприклад, жовтий символізує радість, а червоний – небезпеку). Зазвичай вибирають три основні кольори: базовий, комплементарний і акцентний, їх потім доповнюють додатковими відтінками. Щоб передати об'єм на двовимірному малюнку, треба уявити де знаходиться джерело світла, визначити які частини персонажа будуть освітлені і які залишатимуться у тіні, нанести градієнти для м'якості форм та додати рефлекси для більшої виразності. Крім того, можна використовувати різноманітні художні прийоми, наприклад “повітряну перспективу”, де віддалені частини персонажа зображаються із приглушеними кольорами та меншою деталізацією [6].

На рис.1.2 зображений концепт-арт головного героя мультфільму “Spider-Man: Across the Spider-Verse”.

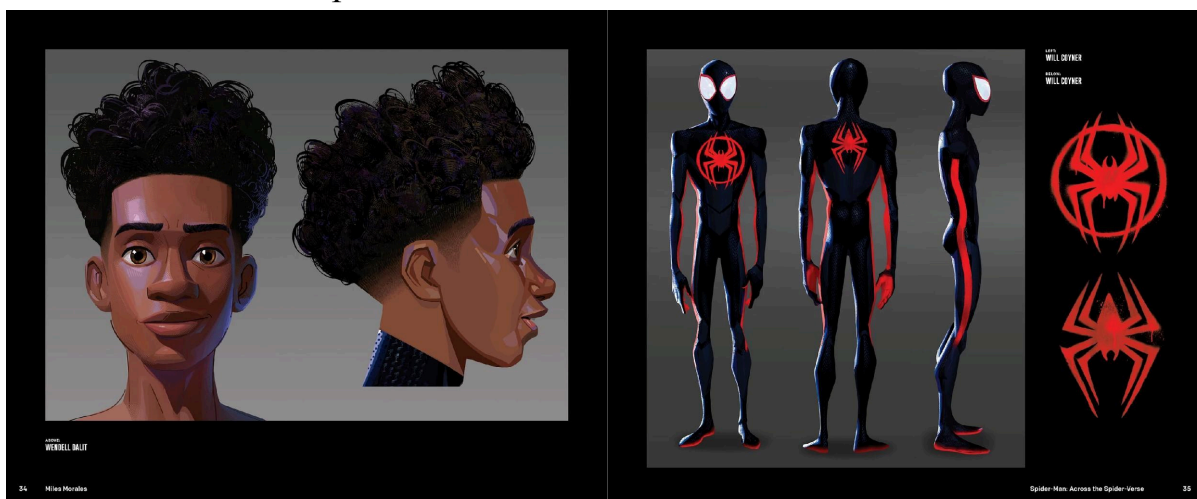


Рисунок 1.2. Концепт-арт персонажа [7]

1.2 Створення геометричної форми

Коли концепт готовий, наступним кроком є побудова геометричної форми персонажа. Це здійснюється у програмах для роботи з 3D-графікою, таких як Autodesk Maya, Blender, ZBrush, Autodesk 3ds Max, Cinema 4D, та інших.

Варто зазначити, що 3D-моделі складаються з вершин (точок у тривимірному просторі), ребер (відрізків, які з'єднують пари вершин) і полігонів (площин, обмежених ребрами). Сукупність цих елементів та спосіб їхнього розташування називають топологією [8].

У процесі побудови геометрії персонажа часто застосовують різні техніки 3D-моделювання [9, 10].

Для створення початкової форми добре підходить блокінг. Цей метод передбачає використання простих геометричних фігур (наприклад, кубів, сфер, циліндрів), які трансформуються, масштабуються та комбінуються, утворюючи головні об'єми тіла (рис.1.3).



Рисунок 1.3. Приклад блокінгу — формування пропорцій персонажа на основі примітивів [11]

Деталізувати модель можна технікою скульптингу, яка імітує ліплення у цифровому середовищі, де замість глини художник працює з високополігональною сіткою. Для цього існують спеціальні інструменти —

“пензлики” (brushes), вони дозволяють додавати або видаляти об’єм, згладжувати, витягувати, стискати, розрізати поверхню, а також накладати різноманітні штампи рельєфу. Скульптинг відкриває багато можливостей для моделювання органічних форм, чого складно досягти за допомогою інших методів. Приклад цифрової скульптури можна побачити на рис.1.4.



Рисунок 1.4. Цифрова скульптура персонажа [12]

Результати скульптингу часто містять мільйони полігонів і це унеможливорює анімацію та рендеринг. Тому виникає потреба в ретопології — створенні нової сітки моделі з меншою кількістю полігонів. Вона може здійснюватися вручну або автоматично. Автоматичні алгоритми значно пришвидшують процес, однак зазвичай вимагають доопрацювання. Для ручної ретопології використовується техніка полігонального моделювання. 3D-художник будує нову, оптимальну сітку поверх високополігональної моделі, виконуючи різноманітні операції з вершинами, ребрами та полігонами (такі, як видалення, додавання, з’єднання, злиття, розбиття, переміщення, копіювання, вирівнювання, тощо). При цьому важливо враховувати правила якісної топології, серед них [13]:

- 1) Використовувати чотирикутні полігони замість трикутників чи багатокутників, бо сітка з чотирикутників забезпечує коректне згладжування

(subdivision), зручну роботу з UV-розгорткою, текстурами та анімацією. Інші типи полігонів можуть ускладнювати подальшу розробку;

- 2) Формувати “петлі ребер” (edge loops) вздовж природних контурів моделі та в зонах високої деформації (навколо суглобів, очей, рота), приклад на рис.1.5;
- 3) Уникати розривів сітки, перекриття полігонів, зайвих вершин і ребер, занадто розтягнутих, вигнутих, чи не плоских полігонів;
- 4) Використовувати мінімальну кількість полігонів, необхідну для досягнення потрібної форми, щоб зменшити навантаження на систему.

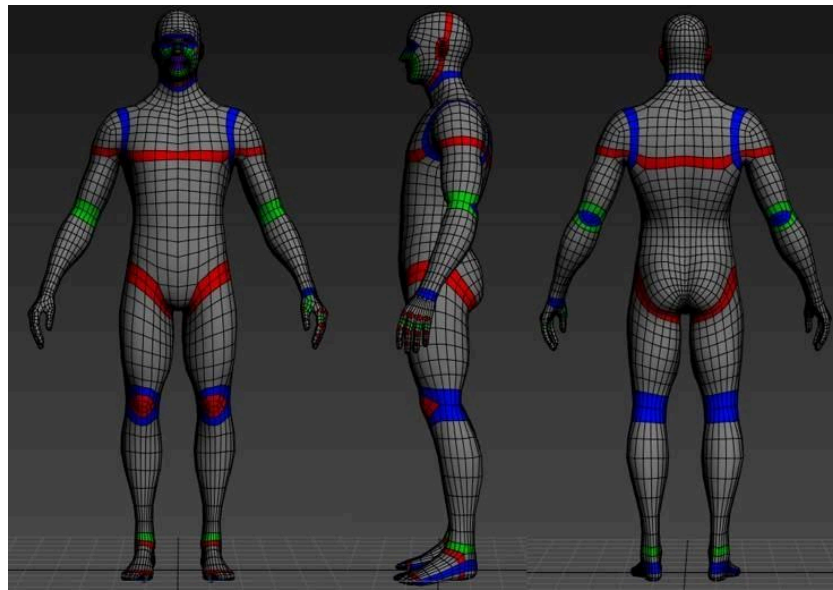


Рисунок 1.5. Розташування “петель ребер” на 3D-моделі людини [14]

Для збереження деталей з високополігональної моделі виконують “запікання” (baking). Спеціальне програмне забезпечення розраховує нормалі (вектори, перпендикулярні до поверхні, що визначають, як з нею взаємодіє світло) високополігональної моделі, ці дані виводяться у карту нормалей. Вона потім накладається на низькополігональну версію для досягнення потрібної деталізації без необхідності збільшувати кількість полігонів [15].

Ще одним методом створення геометрії персонажа є сплайнове моделювання. Його суть полягає у використанні кривих (сплайнів), зокрема Безьє (Bézier) або NURBS (Non-uniform rational B-spline), для побудови об'єктів шляхом окреслення їхнього контуру, який потім може бути обернений навколо осі, витягнутий у просторі або поєднаний з іншими кривими. Сплайни дозволяють

досягти високої плавності і точності поверхонь, а їхня форма визначається контрольними точками. Зазвичай сплайнове моделювання застосовуються для створення окремих елементів персонажа, таких як волосся (рис.1.6) чи аксесуари, але основна маса роботи все ж таки виконується полігональним методом.

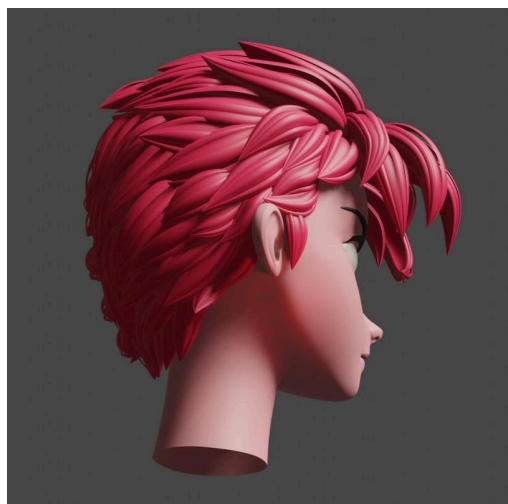


Рисунок 1.6. Зачіска, зроблена за допомогою сплайнів [16]

Для моделювання реалістичного волосся часто використовують технології симуляції (рис.1.7). Програма автоматично генерує велику кількість волосинок на потрібній ділянці моделі, а користувач налаштовує їхню довжину, густоту і напрямок росту. Завдяки симуляції, волосся може природно реагувати на гравітацію, вітер та зіткнення з іншими об'єктами [17].



Рисунок 1.7. Зачіска, зроблена за допомогою симуляції волосся [18]

Симуляцію застосовують і для створення одягу (рис.1.8). Вона дозволяє задавати фізичні властивості тканин, в залежності від чого одяг може по різному згинатися, розтягуватись, спадати під власною вагою або тягнутися за тілом персонажа, коли той рухається [19].



Рисунок 1.8. Приклад одягу із симуляцією тканин [20]

1.3 Додавання текстур

Текстурування є дуже важливим для вираження особистості персонажа. Це процес накладання двовимірних зображень на поверхню тривимірного об'єкта, що надає йому кольоровості, оптичних властивостей різних матеріалів і рельєфності. Без якісних текстур навіть найдосконаліша 3D-модель виглядатиме нудною та безжиттєвою [21].

Перед додаванням текстур необхідно виконати UV-розгортку, тобто розгорнути 3D-модель на 2D-площині. Кожній вершині моделі при цьому присвоюються двовимірні координати U (горизонталь) та V (вертикаль), що вказують, яка частина текстури відповідає конкретній ділянці [22]. 3D-художник може прискорити процес розгортки за допомогою автоматичних інструментів, але вони зазвичай працюють погано, створюючи хаотичну, надмірно фрагментовану чи, навпаки, недостатньо фрагментовану розгортку. Це призводить до спотворення текстур.

Ручний підхід передбачає контроль над розміщенням швів (місць розрізу 3D-моделі), пропорціями UV-островів (окремих частин розгортки, що утворюються після нарізання моделі швами) та їхнім розташуванням у межах UV-простору. Під час ручної розгортки важливо дотримуватися наступних правил [23, 24]:

- 1) UV-острови не повинні накладатися один на одного;
- 2) Варто прагнути до повного використання UV-простору задля кращої якості текстур;
- 3) Шви слід розташовувати у малопомітних місцях, щоб зменшити візуальний ефект від розривів;
- 4) UV-острови бажано розміщувати логічно (наприклад, верх моделі займає верхню частину UV-простору). Вони також мають бути вирівняні по осях UV, без нахилів;
- 5) Потрібно дотримуватися однакової щільності текстури на всіх UV-островах для рівномірного відображення деталей.

Однією з головних проблем, що виникають під час UV-розгортки, є розтягування текстур. Наявність розтягувань можна перевірити за допомогою тестової текстури, яка складається з рівномірного візерунка. Більшість 3D-редакторів надають інструменти для легкого виявлення і згладжування місць розтягнень.

Приклад UV-розгортки із застосуванням тестової текстури зображено на рис.1.9.

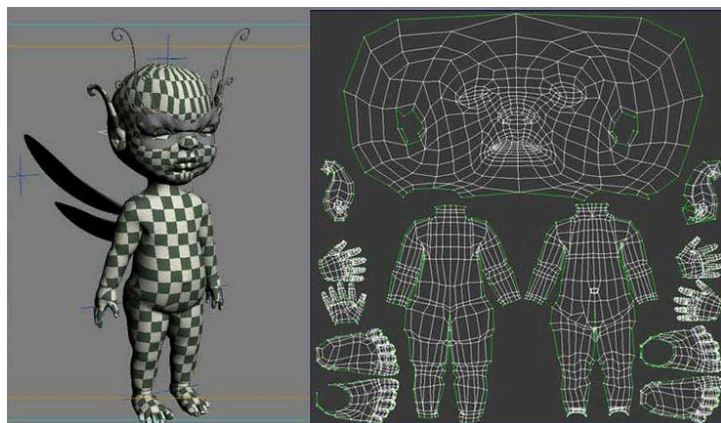


Рисунок 1.9. UV-розгортка персонажа [25]

Коли UV-розгортка готова, до моделі можна застосувати текстурні карти, які визначають різноманітні характеристики її поверхні. Найчастіше використовують такі карти [26]:

Albedo/Base Color Map — основна текстура, що містить забарвлення поверхні без урахування освітлення;

Metalness Map — визначає, наскільки різні частини поверхні виглядають як метал. Вона представлена у вигляді чорно-білого зображення, де чорний колір позначає неметалеву поверхню, а білий — металеву;

Roughness Map — також представлена чорно-білим зображенням, де чорний вказує на дуже гладку поверхню із сильним рівнем відбиття світла, а білий — на шорстку поверхню, яка розсіює світло і має матовий вигляд; Opacity Map — використовується для контролю прозорості певних частин поверхні. Є чорно-білим зображенням, на якому чорні області відображають повну прозорість, а білі — повну непрозорість;

Emission Map — кольорова текстура, де ділянки поверхні, що випромінюють світло, мають яскраві відтінки (близькі до білого), тоді як області, що не світяться — чорні;

Ambient Occlusion Map — створює тіні в місцях, куди погано потрапляє світло, теж представлена у вигляді чорно-білого зображення, де темні області затінені;

Normal Map — використовується для імітації дрібних деталей на поверхні, таких як зморшки, шрами, текстури тканин, тощо. Вона не змінює геометрію об'єкта, а лише коригує напрямок нормалей. Представлена кольоровим зображенням, де кожен канал (RGB) відповідає за зміщення нормалей в певному напрямку: червоний канал — по осі X, зелений — по осі Y, синій — по осі Z;

Displacement Map — містить інформацію про висоту точок на поверхні об'єкта та дозволяє змінювати його геометрію. Виглядає як чорно-біле зображення, де світлі ділянки вищі, а темні — нижчі.

Приклад застосування текстурних карт зображено на рис.1.10.

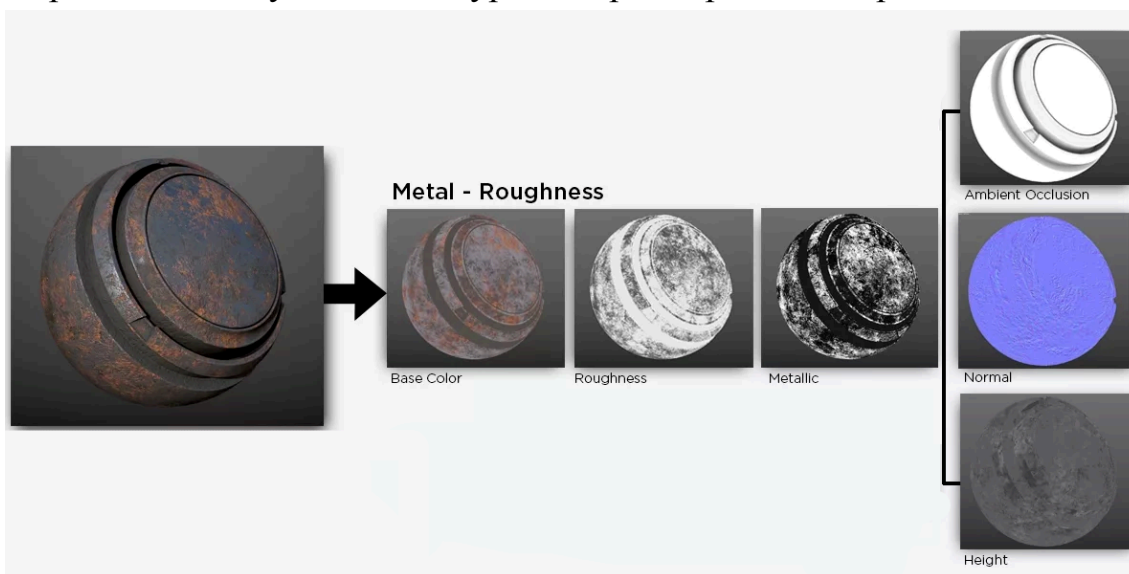


Рисунок 1.10. 3D-об'єкт і накладені на нього текстурні карти: Base Color, Roughness, Metalness, Ambient Occlusion, Normal, Displacement [27]

Існує багато інтернет-ресурсів, де містяться як безкоштовні, так і платні текстури для використання в 3D-проектах. Самостійно зробити текстури можна у графічних редакторах. До того ж, більшість програм для 3D-моделювання надають вбудовані інструменти для малювання текстур прямо на поверхні моделі та дозволяють використовувати процедурні текстури, які генеруються за допомогою математичних формул, а не створюються вручну.

Для професійного текстурювання найкраще підходить спеціалізоване програмне забезпечення, таке як Substance Painter, куди можна імпортувати 3D-модель і створювати текстури безпосередньо на ній. Програма відома своєю підтримкою багатошаровості, великою бібліотекою готових реалістичних матеріалів, які можна легко модифікувати під свої потреби, а також наявністю різноманітних масок, пензлів, трафаретів та штампів рельєфу для художньої обробки поверхні. А завдяки вбудованому попередньому перегляду користувач може одразу оцінити, як модель виглядатиме при фінальному рендері [28].

1.4 Рігінг та скіннінг

Тривимірне моделювання персонажа не обмежується лише побудовою його геометричної форми і текстуруванням. Щоб надати моделі здатність до руху, необхідно виконати рігінг (rigging) — створити внутрішню “скелетну” структуру, яка дозволить керувати деформаціями полігональної сітки під час анімації.

Скелет 3D-моделі складається з кісток та суглобів. Суглоби виконують роль точок обертання, навколо яких відбувається рух кісток. Під час створення скелету важливо враховувати анатомічну будову персонажа, зазвичай його формують від таза до голови, з подальшим додаванням кісток кінцівок та пальців (рис.1.11). Скелет має ієрархічну організацію із батьківсько-дочірніми зв'язками. Рух батьківської кістки автоматично впливає на всі пов'язані з нею дочірні кістки [29].

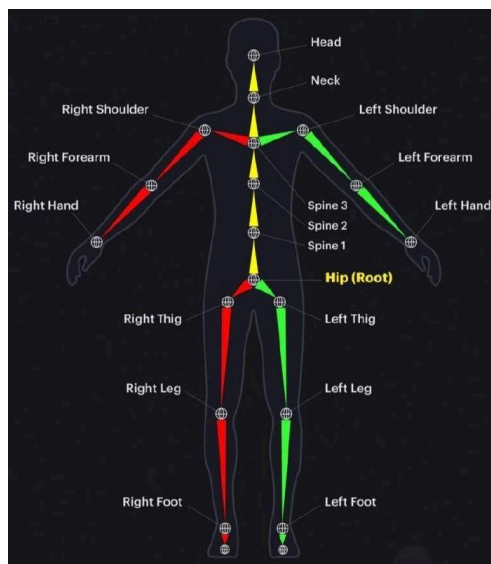


Рисунок 1.11. Приблизна структура скелету 3D-моделі персонажа [30]

Коли скелет готовий, його потрібно прив'язати до геометрії моделі, тобто виконати скіннінг (skinning). У процесі скіннінгу кожна вершина сітки отримує вагові значення, що визначають рівень її залежності від руху певної кістки.

Наприклад, вершини у ділянці ліктя будуть частково підпорядковані кістці плеча і частково кістці передпліччя. Більшість 3D-редакторів надають можливість автоматичного призначення ваг, де вплив кожної кістки розраховується на основі її близькості до вершин моделі. Хоча такий метод є досить ефективним, він не завжди забезпечує бажаний результат. виправити це можна у режимі “розфарбовування ваг” (weight painting), де 3D-художник буквально малює зони впливу кісток на поверхні моделі за допомогою пензля (рис.1.12). Кольори відображають силу впливу: червоний — максимальний вплив (вага = 1), синій — відсутність впливу (вага = 0).

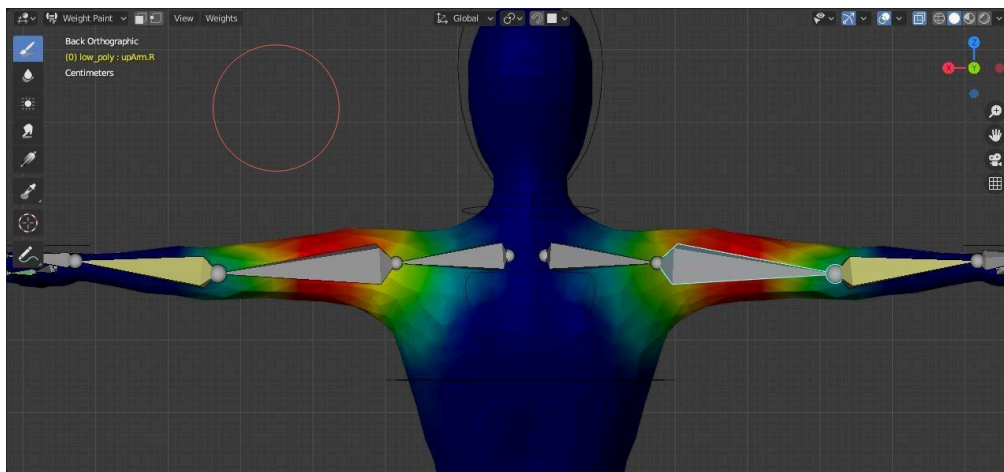


Рисунок 1.12. “Розфарбовування ваг” для кісток плечей [31]

Щоб полегшити роботу для аніматорів, до ріггу додають контролери — спеціальні елементи, завдяки яким можна керувати рухами персонажа не взаємодіючи безпосередньо зі скелетом. Вони часто створюються на базі кривих та зв’язуються з кістками за допомогою обмежень (constraints), що визначають характер їхнього впливу — обертання, переміщення, масштабування, або комбінацію цих трансформацій. Також можна задати обмеження по осях чи встановити діапазон допустимих рухів. У складних проєктах контролери налаштовують на керування кількома кістками одночасно, чи на автоматизацію певних дій, наприклад, перемикання виразів обличчя використовуючи повзунок. Для кращого візуального сприйняття контролери

зазвичай мають різні форми, а також відрізняються кольором залежно від розташування на тілі персонажа

(рис.1.13).

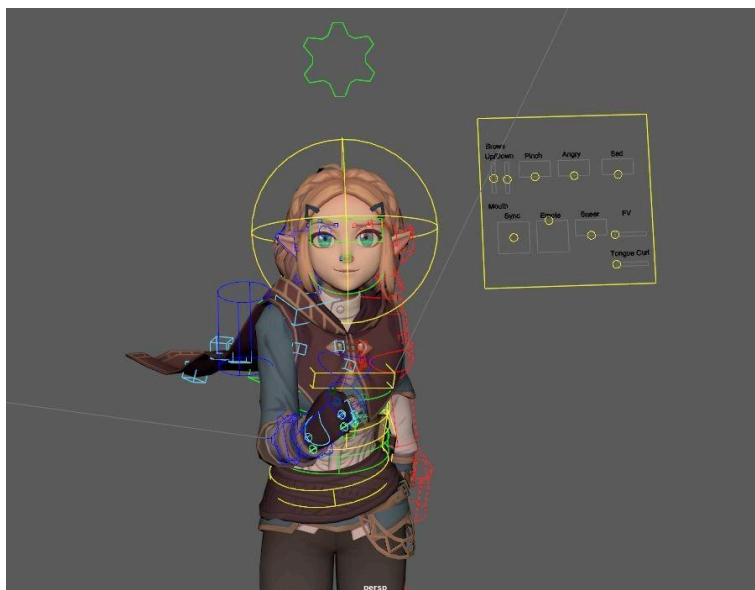


Рисунок 1.13. Система контролерів руху 3D-моделі [32]

Існують два головних підходи до керування рухами скелету — пряма кінематика (Forward Kinematics) та зворотна кінематика (Inverse Kinematics). У першому випадку аніматор задає рух кожної кістки ланцюга у послідовності від основи до кінця (наприклад, від плеча до кисті). У другому достатньо керувати лише кінцевою ланкою (наприклад, кистю), а положення проміжних кісток (ліктя і плеча) система розрахує автоматично. Зазвичай застосовують поєднання FK та IK із можливістю перемикання між ними. Це забезпечується створенням паралельних ланцюгів кісток — одного для FK, другого для IK і третього деформуючого, який безпосередньо впливає на 3D-модель. Через систему обмежень ці ланцюги синхронізуються, а спеціальний перемикач дозволяє аніматору вибирати потрібний режим [33, 34].

РОЗДІЛ 2 ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ

2.1 Blender

Blender (на рис.2.1 зображено інтерфейс програми) — це безкоштовна програма, яка забезпечує повний цикл створення 3D-контенту: моделювання, текстурювання, ріггінг, анімацію, рендеринг та навіть базовий відеомонтаж. Поєднання універсальності, гнучкості та високої доступності зробило Blender одним із найпопулярніших рішень серед студентів, фрилансерів і невеликих студій.

Програму було створено у 1994 році як внутрішній інструмент нідерландської анімаційної студії NeoGeo. Автором Blender є Тон Розендал, який у 1998 році заснував компанію Not a Number Technologies (NaN) з метою комерційного розвитку продукту. Після банкрутства компанії у 2002 році він ініціював збір коштів для викупу прав на Blender, що дозволило випустити його з відкритим вихідним кодом під ліцензією GNU General Public License. Відтоді розвитком програми займається Blender Foundation у співпраці з активною міжнародною спільнотою [35].

ПЗ охоплює всі основні техніки 3D-моделювання, серед них використання примітивів, полігональне моделювання, скульптинг, моделювання на основі кривих. Для полегшення ручної ретопології Blender надає інструмент Poly Build та режим прив'язки (Snap). Автоматична ретопологія виконується за допомогою модифікатора Remesh, що містить кілька режимів роботи: Blocks (створює стилізовану кубічну сітку), Smooth (генерує згладжену топологію), Sharp (зберігає різкі кути та ребра), Voxel (формує рівномірну сітку з високою точністю відтворення початкової форми) [36]. Він дозволяє досягати доволі непоганих результатів, хоча для кращої якості часто застосовують сторонні доповнення, наприклад комерційний Quad Remesher.

Blender підтримує різні методи UV-розгортки, зокрема автоматичний, ручне позначення швів та подальше редагування UV-островів у робочому просторі UV Editing. Для текстурювання Blender пропонує вузловий редактор матеріалів Shading, який забезпечує фізично коректний рендеринг (PBR), а також робочий простір Texture Paint для малювання текстур безпосередньо на моделі.

Ріггінг реалізується за допомогою системи Armature, через яку додаються кістки. Для скіннінгу передбачено використання автоматичного призначення ваг або режиму Weight Painting. Щоб пришвидшити створення рігів, можна завантажити безкоштовне доповнення Rigify, яке містить готові набори скелетів з контролерами для людей та тварин.

Крім того, програма має потужні інструменти для симуляції фізичних явищ, зокрема частинок, твердих і м'яких тіл, тканин, волосся, рідин, диму та вогню.

Для автоматизації повторюваних задач та модифікації роботи програми можна використовувати скрипти на мові програмування Python, що глибоко інтегрована у Blender.

ПЗ містить три вбудовані рендер-руші — Workbench, Eevee та Cycles. Перший призначений для попереднього перегляду сцени, застосовуючи лише базове освітлення та колір об'єктів. Другий працює в режимі реального часу і забезпечує високу швидкість візуалізації при збереженні хорошої візуальної якості, використовує рендеринг на основі растеризації та ідеально підходить для інтерактивних проєктів чи відео. Третій — фізично коректний рушій з трасуванням променів, що дозволяє досягти фотореалістичного зображення, хоча потребує більше обчислювальних ресурсів [37].

Важливо згадати про унікальну особливість Blender — інструмент Grease Pencil, який дає змогу створювати 2D-зображення та анімації безпосередньо у 3D-просторі, що значно розширює творчі можливості художників.

Мінімальні системні вимоги для роботи програми [38]:

ОС: Windows 8.1 (64-біт), macOS 11.2, Linux дистрибутив з glibc 2.28

Процесор: 4-ядерний з підтримкою SSE4.2

Оперативна пам'ять: 8 ГБ

Відеокарта: 2 ГБ VRAM з підтримкою OpenGL 4.3

Місце на диску: 1 ГБ

Хоча Blender довго вважався програмою для ентузіастів, останнім часом він здобуває все більше визнання у професійній анімації. Вперше програма була використана у голлівудському фільмі “Spider-Man 2” (2004) для анімації раскадровок та превізуалізації сцен, а згодом стала основним інструментом у таких проєктах, як “Next Gen” (2018), “I Lost My Body” (2019) та “Flow” (2024), що здобув “Оскар” за найкращий анімаційний повнометражний фільм 2025 року. Також Blender був активно задіяний у виробництві мультфільму “Spider-Man: Across the Spider-Verse” (2023) для додавання 2D-ефектів поверх 3D [35].

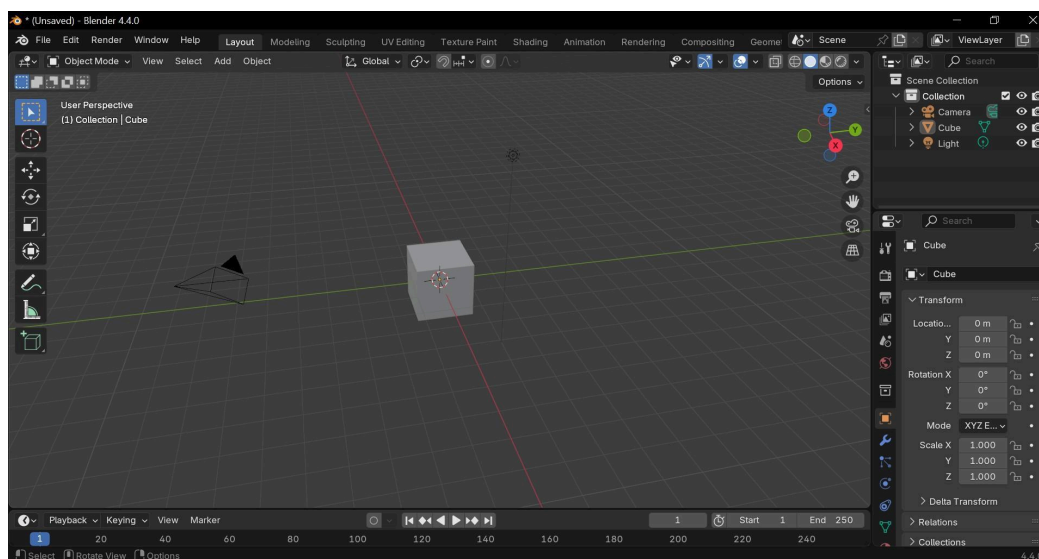


Рисунок 2.1. Інтерфейс Blender

2.2 Autodesk 3ds Max

Autodesk 3ds Max (на рис.2.2 зображено інтерфейс програми) — це комерційне програмне забезпечення, яке часто використовують для

3D-моделювання та візуалізації в ігровій індустрії, кінематографі, архітектурі та дизайні.

Перша версія програми під назвою 3D Studio була створена студією Yost Group для платформи DOS та видана компанією Autodesk у 1990 році. У 1996 продукт повністю переписали для Windows NT і перейменували на 3D Studio MAX, розробку знову виконувала Yost Group, а випуском займався Kinetix — підрозділ Autodesk у сфері медіа та розваг. У 1999 році Autodesk придбала компанію Discreet Logic і об'єднала її з Kinetix, утворивши новий підрозділ Discreet, під брендом якого почали виходити наступні версії 3ds max. У 2005 році, після реорганізації, підрозділ став називатися Autodesk Media and Entertainment, а сам продукт отримав сучасну назву — Autodesk 3ds Max [39]. Програма надає широкий функціонал для 3D-моделювання, який вважається більш професійним порівняно з Blender. Особливо це помітно при створенні твердотільних об'єктів (hard surface), наприклад, механізмів, будівель, транспортних засобів, зброї тощо. Водночас інструменти для скульптингу в 3ds Max (у Freeform Tools) хоч і забезпечують прості деформації, та значно поступаються засобам Blender.

3ds Max відомий своєю стековою системою модифікаторів, яка дозволяє комбінувати десятки модифікаторів у довільному порядку та вносити правки на будь-якому етапі роботи. Blender також має модифікатори, проте їх менше.

Автоматична ретопологія у програмі виконується за допомогою модифікатора Retopology з трьома алгоритмами: ReForm (власною розробкою Autodesk, що забезпечує високу якість результатів зі збереженням

UV-розгортки, груп згладжування, ID матеріалів), QuadriFlow та Instant Mesh (відкритими рішеннями) [40]. На відміну від модифікатора Remesh у Blender, 3ds Max пропонує розширений набір налаштувань.

Модифікатор Unwrap UVW у 3ds Max є ключовим інструментом для створення та редагування UV-розгортки. Він підтримує роботу з підоб'єктами (вершинами, ребрами, полігонами), пропонує різні типи проєкцій, інструменти для розмітки

швів, автоматичне або ручне розташування UV-островів, а також можливість створення кількох UV-каналів для різних задач.

Текстурування можливе у спрощеному табличному інтерфейсі Compact Material Editor (де матеріали представлені як слоти-кульки) та у сучасному вузловому редакторі Slate Material Editor. Великою перевагою є те, що програма містить готові бібліотеки матеріалів, які можна використовувати за основу для створення власних. Малювання текстур безпосередньо на 3D-моделях реалізоване через інструмент Viewport Canvas, однак його функціонал обмежений.

Для спрощення ріггінгу 3ds Max надає вбудовані інструменти Biped (що дозволяє швидко створити скелет гуманоїдного персонажа із простими рухами) та CAT (для більш складних анімацій, містить готові скелети двоногих, чотириногих персонажів, а також риб, птахів, комах, змій тощо). Альтернативно, ріг можна будувати вручну, використовуючи об'єкти Bones, що забезпечує повний контроль над його структурою та поведінкою. Для прив'язки сітки персонажа до кісток використовується модифікатор Skin, що дозволяє як автоматичне, так і ручне налаштування ваг.

Для автоматизації робочих процесів 3ds Max підтримує MAXScript (внутрішню мову скриптів) та Python.

Autodesk 3ds Max також пропонує широкий набір інструментів для симуляції фізичних процесів — твердих та м'яких тіл, тканин, частинок, рідин.

Однак набагато частіше для цього застосовують додаткові плагіни, наприклад Phoenix FD (для рідин, диму, вогню) чи FumeFX (для складних газових ефектів і вибухів).

На сьогодні основним вбудованим рендер-рушієм у 3ds Max є Arnold — фізично коректний трасувальник променів. Серед інших вбудованих рушіїв варто відзначити Scanline Renderer (використовує растеризацію, орієнтований на швидку попередню візуалізацію) та ART Renderer (трасувальник променів, оптимізований для архітектурних проєктів). Крім того, 3ds Max підтримує

інтеграцію зі сторонніми рендер-рушіями, зокрема V-Ray, Corona, Octane та Redshift [41].

Мінімальні системні вимоги для роботи програми [42]:

ОС: Windows 10

Процесор: 64-бітний багатоядерний Intel або AMD з підтримкою SSE4.2

Оперативна пам'ять: 4 ГБ

Відеокарта: сумісна з DirectX 11 (для оптимальної продуктивності рекомендується використовувати відеокарти зі списку сертифікованого обладнання Autodesk)

Місце на диску: 9 ГБ

3ds Max є професійним програмним забезпеченням, тому його активно використовували для створення візуальних ефектів та анімації в багатьох відомих фільмах, зокрема “Avatar” (2009), “2012” (2009), “Alice in Wonderland” (2010), “Harry Potter and the Deathly Hallows – Part 1 & 2” (2010–2011), “Iron Man” (2008), “Transformers” (2007–2011), “X-Men” (2000–2011) та інших [43].

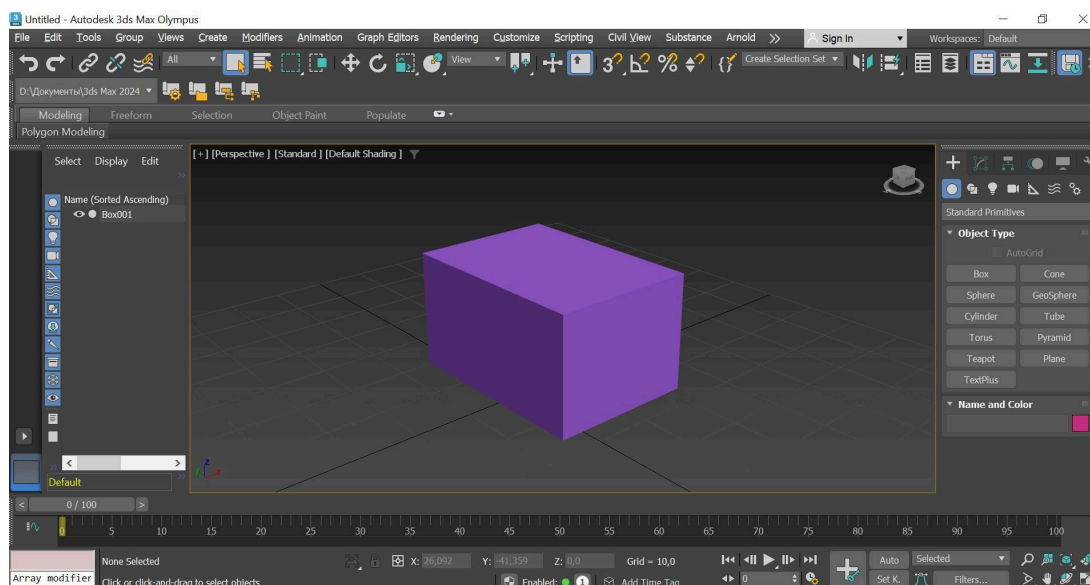


Рисунок 2.2. Інтерфейс 3ds Max

2.3 Autodesk Maya

Autodesk Maya (на рис.2.3 зображено інтерфейс програми) — комерційний програмний продукт, який є галузевим стандартом у сфері 3D-анімації та візуальних ефектів.

У 1995 році компанія Silicon Graphics Inc. придбала дві провідні компанії в галузі комп'ютерної графіки — Alias Research та Wavefront Technologies, об'єднавши їх у нову структуру під назвою Alias|Wavefront. У 1998 році ця структура випустила першу версію Maya для операційної системи IRIX. Згодом підтримка була розширена на Windows, macOS та Linux. Важливу роль у розвитку Maya відіграла співпраця зі студією Walt Disney, яка використовувала програму під час створення фільму Dinosaur. У 2003 році компанія Alias|Wavefront була перейменована на Alias Systems Corporation, а у 2005 її придбала компанія Autodesk. З того часу програмне забезпечення відоме під назвою Autodesk Maya [44].

Оскільки 3ds Max та Maya належать до однієї компанії, вони мають багато спільних функцій для побудови геометрії. Водночас, Maya вважається кращим вибором для органічного моделювання, зокрема завдяки більшій кількості інструментів для скульптингу (проте вони все ще поступаються Blender) і тривалішій історії застосування у сфері анімації.

У Autodesk Maya відсутня стекова система модифікаторів, характерна для 3ds Max або Blender, та програма містить історію моделювання (Construction History), що зберігає послідовність операцій у вигляді вузлів графу залежностей, і деформатори, які можна застосовувати до об'єктів.

Основним інструментом для ручної ретопології є Quad Draw, його можливості нагадують Poly Build із Blender. Функція Live Surface забезпечує точне прилягання оптимізованої сітки до оригінальної геометрії. Автоматична ретопологія здійснюється за допомогою команди Retopologize, яка не надає вибору між різними алгоритмами, та натомість містить багато параметрів налаштування, таких як цільова кількість полігонів, симетрія, збереження жорстких кутів тощо.

У Autodesk Maya створення та редагування UV-розгорток здійснюється через вікно UV Editor і панель інструментів UV Toolkit, які мають більш інтуїтивно зрозумілий інтерфейс та ширший набір функцій порівняно з 3ds Max.

Для текстуровання у програмі є вузловий редактор Hypershade, а також малювання текстур безпосередньо на 3D-моделях, реалізоване через інструмент 3D Paint Tool (функціонал якого поступається Blender).

Як галузевий стандарт з 3D-анімації, Maya пропонує найрозвиненішу систему ріггінгу з усіх згаданих програм. Основу скелета складають об'єкти Joints, що утворюють ієрархію. Вбудована система HumanIK дозволяє швидко створювати базові ріги для гуманоїдних персонажів, сумісні з даними захоплення руху (Motion Capture). Для прив'язки сітки персонажа до скелета використовується вузол skinCluster, який створюється під час застосування методів скіннінгу, таких як Smooth Bind (плавний розподіл ваг між кількома кістками) або Rigid Bind (обмеження впливу до однієї кістки на вершину). Налаштування ваг здійснюється через інструменти Paint Skin Weights (візуальне фарбування) та Component Editor (точне чисельне редагування). Та окрім цього стандартного набору, Maya дозволяє використовувати скрипти на мовах програмування MEL (Maya Embedded Language) і Python, а також плагіни, наприклад Advanced Skeleton або Rapid Rig, які розширюють можливості автоматичного генерування контролерів та налаштування складних деформацій (для обличчя, м'язів, зв'язок тощо).

Центральною системою для багатьох типів симуляцій у Maya є Nucleus — фізичний рушій, який об'єднує компоненти nCloth (тканини), nHair (волосся) і nParticles (частинки). Також варто згадати Bifrost — потужний фреймворк для симуляції рідин, газів та ефектів руйнування.

Серед рендер-рушіїв Maya надає Software Renderer (растеризатор), Hardware 2.0 Renderer (ще один растеризатор, для швидкого попереднього перегляду сцени), Vector Renderer (забезпечує вивід стилізованої графіки). Та основним рушієм є Arnold, який використовується і у 3ds Max. Окрім цього, Maya підтримує інтеграцію з низкою сторонніх рендер-рушіїв, зокрема Redshift, Octane, V-Ray, Corona та іншими [45].

Мінімальні системні вимоги для роботи програми [46]:

ОС: Windows 10, macOS 11, Rocky Linux 8.7

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

Оперативна пам'ять: 8 ГБ

Відеокарта: сумісна з DirectX 11 (для оптимальної продуктивності рекомендується використовувати відеокарти зі списку сертифікованого обладнання Autodesk)

Місце на диску: 9 ГБ

Autodesk Maya широко застосовується провідними анімаційними студіями, такими як Walt Disney, Pixar, Blue Sky та Illumination. До відомих анімаційних проєктів, створених із використанням Maya, належать мультфільми “Monsters, Inc.” (2001), “Finding Nemo” (2003), “The Incredibles” (2004), “Up” (2009), “Frozen” (2013), “Big Hero 6” (2014), “Zootopia” (2016), “Moana” (2016), “Spider-Man: Into the Spider-Verse” (2018). Щодо художнього кіно, програма знайшла застосування у стрічках “The Matrix” (1999), “Transformers” (2007–2011), “The Lord of the Rings” (2001–2003), “Star Wars: Episode III – Revenge of the Sith” (2005) та багатьох інших [47].

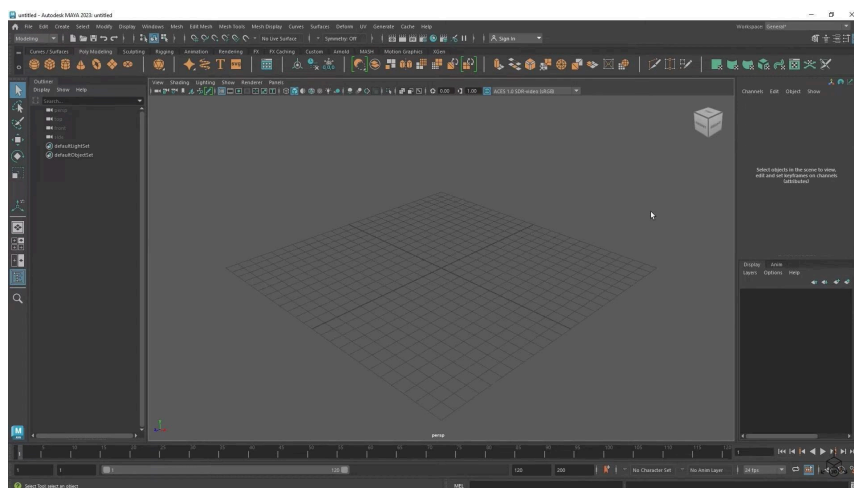


Рисунок 2.3. Інтерфейс Maya

2.4 Вибір програми для створення 3D-моделі персонажа

Для дослідження та порівняння були взяті саме Blender, Autodesk 3ds Max і Autodesk Maya, оскільки вони є одними з найпопулярніших інструментів для

3D-модельовання [48]. На відміну від вузькоспеціалізованого ПЗ, наприклад ZBrush (що орієнтоване переважно на скульптинг), ці рішення охоплюють повний цикл виробництва 3D-персонажів. Крім того, володіння Maya, 3ds Max і Blender створює значну перевагу при працевлаштуванні, оскільки роботодавці цінують фахівців, здатних працювати з різними програмами та швидко адаптуватися до вимог конкретного проєкту.

На основі розглянутих вище можливостей кожного програмного продукту було сформовано таблицю, що полегшує вибір одного з них для виконання практичної частини дипломної роботи:

Таблиця 2.1

Переваги та недоліки програм для 3D-модельовання

Назва програми	Переваги	Недоліки
Blender	- безкоштовна, з відкритим кодом; - підтримує всі техніки модельовання; - широкі можливості для скульптингу, динамічна топологія; - має зручний UV-редактор, вузловий Shader Editor, PBR; - велика кількість доповнень; - дуже активна спільнота та багато безкоштовних навчальних матеріалів; - висока кастомізація; - може використовуватися на середніх ПК;	- іноді може вилітати; - немає доступу до професійних плагінів, які використовуються у Maya чи 3ds Max; - гірша інтеграція з комерційними програмами; - деякі функції не доступні напряму через інтерфейс.

	- підтримує фотореалістичний рендер, рендер у реальному часі; - працює на Windows, macOS, Linux; - інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, середня крива навчання; - більше можливостей для малювання текстур прямо на моделі.	
3ds Max	- підтримує всі техніки моделювання; - має велику кількість модифікаторів; - широка підтримка сторонніх рендер-рушіїв; - вбудовані системи для швидкого ріггінгу; - професійна UV-розгортка, PBR, вузловий редактор Slate Material Editor; - містить готові бібліотеки матеріалів; - фотореалістичний рендер, рендер у реальному часі; - професійні плагіни.	- висока вартість (\$2010/рік, ~300\$/рік для інді-розробників); - мінімальні можливості для скульптингу; - курси у відкритому доступі орієнтовані переважно на дизайн та візуалізацію; - працює тільки на Windows; - високі системні вимоги; - середня кастомізація; - крута крива навчання.

Maya	- має інструменти для всіх технік моделювання; - професійна UV-розгортка, PBR, вузловий редактор Hypershade; - індустриальний стандарт з ріггінгу та анімації;	- висока вартість (\$2010/рік, ~300\$/рік для інді-розробників); - обмежені можливості скульптингу; - високі системні вимоги; - дуже крута крива навчання.
	- висока кастомізація; - багато курсів; - фотореалістичний рендер, рендер у реальному часі; - широка підтримка сторонніх рендер-рушіїв; - професійні плагіни; - працює на Windows, macOS, Linux.	

Незважаючи на те, що Autodesk Maya та Autodesk 3ds Max широко застосовуються у професійному середовищі та мають переваги над Blender у певних аспектах, для створення 3D-моделі персонажа обрано саме Blender. Основним аргументом на користь такого вибору є безкоштовність програми. Це дуже важливо для студентів, які часто не мають фінансової можливості придбати комерційні ліцензії. Хоча Autodesk надає безкоштовні студентські ліцензії, на практиці іноді виникають труднощі з їх отриманням та активацією. Другим чинником стала наявність великої кількості відкритих навчальних матеріалів по Blender. Третім — широкі вбудовані можливості для скульптингу, що часто використовується для створення персонажів. Крім того, значну роль відіграли апаратні можливості комп'ютера, на якому виконувалася практична частина.

РОЗДІЛ 3 ВИКОРИСТАННЯ BLENDER ВЕРСІЇ 4.4 ДЛЯ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРСОНАЖА

3.1 Концепт

Було вирішено змодельовати стилізованого персонажа — хлопчика для умовного мультфільму, орієнтованого на дитячу аудиторію. Своїм зовнішнім виглядом він має передавати легкість, енергійність і дружелюбність.

Щоб цього досягти, було обрано кольорову палітру, де переважають жовті та зелені відтінки. Жовтий викликає асоціації із сонцем, теплом і радістю, а зелений символізує природу, молодість та гармонію [49]. Важливими також є форми персонажа, вони повинні бути заокруглені для створення позитивного і безпечного образу.

Одяг підібрано повсякденний: футболка, шорти, кофта, туристичні чоботи, що підкреслили б активний спосіб життя героя та його наближеність до глядача — звичайної дитини. Додаткові елементи, наприклад значки на рюкзаку або брелок, відображали б його грайливу натуру, а пластирі — непосидючість та рішучість попри труднощі.

Для збору референсів та створення мудборду (рис.3.1) використано Pinterest — платформу візуального пошуку, де користувачі зберігають і поширюють ідеї, переважно у форматі зображень та відео.

На основі наданого вище текстового опису та мудборду було намальовано концепт-арт персонажа у двох ракурсах — спереду та ззаду (рис.3.2).



Рисунок 3.1. Референси для створення персонажа



Рисунок 3.2. Концепт-арт персонажа

3.2 Моделювання тіла

Серед геометричних примітивів у Blender доступні куб, два типи сфер (UV Sphere, Icosphere), циліндр, конус, тор і площина. Початкові форми персонажа було побудовано на основі циліндрів і кубів (рис 3.3).

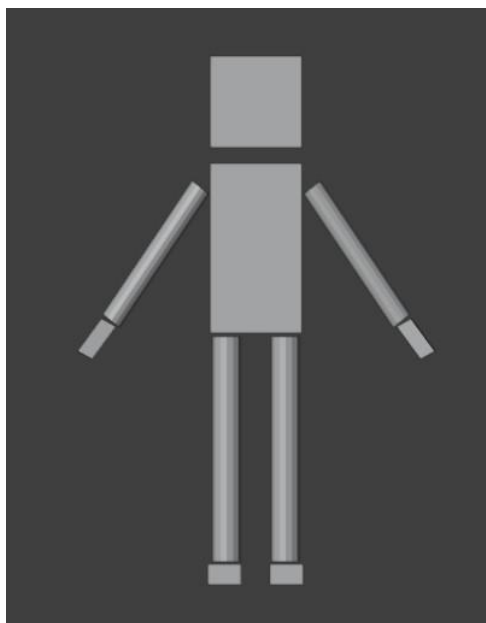


Рисунок 3.3. Визначення пропорцій за допомогою примітивів

Деталізація форми персонажа здійснювалася із поєднанням полігонального моделювання та скульптингу. При цьому, скульптинг здебільшого використовувався для грубих деформацій сітки, а полігональне моделювання — для виправлення нерівностей і більш точної обробки поверхні. Полігональне моделювання в програмі здійснюється через режим редагування (Edit Mode), основні інструменти якого винесені у панель швидкого доступу (рис. 3.4).

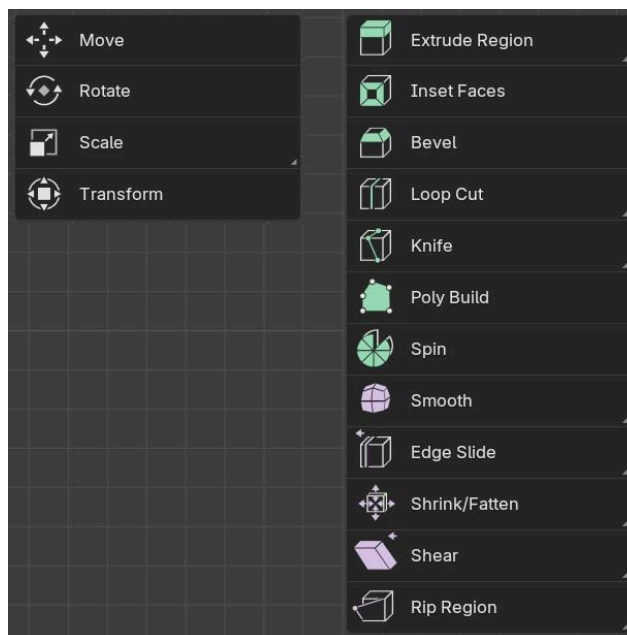


Рисунок 3.4. Панель інструментів полігонального моделювання в інтерфейсі Blender

Для скульптингу Blender надає режим Sculpt Mode, що містить понад 60 вбудованих пензлів (рис 3.5). За характером дії їх можна умовно поділити на групи:

- Накладання об'єму (Draw, Clay, Layer);
- Формування заглиблень (Crease, Draw Sharp, Clay Thumb);
- Роздування або стискання форми (Blob, Inflate/Deflate);
- Згладжування поверхні (Smooth, Flatten, Relax);
- Витягування геометрії (Grab, Snake Hook, Pull);
- Імітації тканини (Grab Cloth, Bend/Twist Cloth, Drag Cloth, Pinch Cloth);
- Скручування (Twist).

З усього цього набору, на ранніх етапах моделювання найкориснішими стали пензлі Grab, Inflate/Deflate і Smooth.

Варто згадати ще два важливі інструменти, які часто використовуються під час скульптингу: маскування, що дозволяє тимчасово захищати ділянки поверхні від змін, та Face Sets — групи полігонів, кожна з яких виділяється власним кольором і може бути ізольована від інших частин.

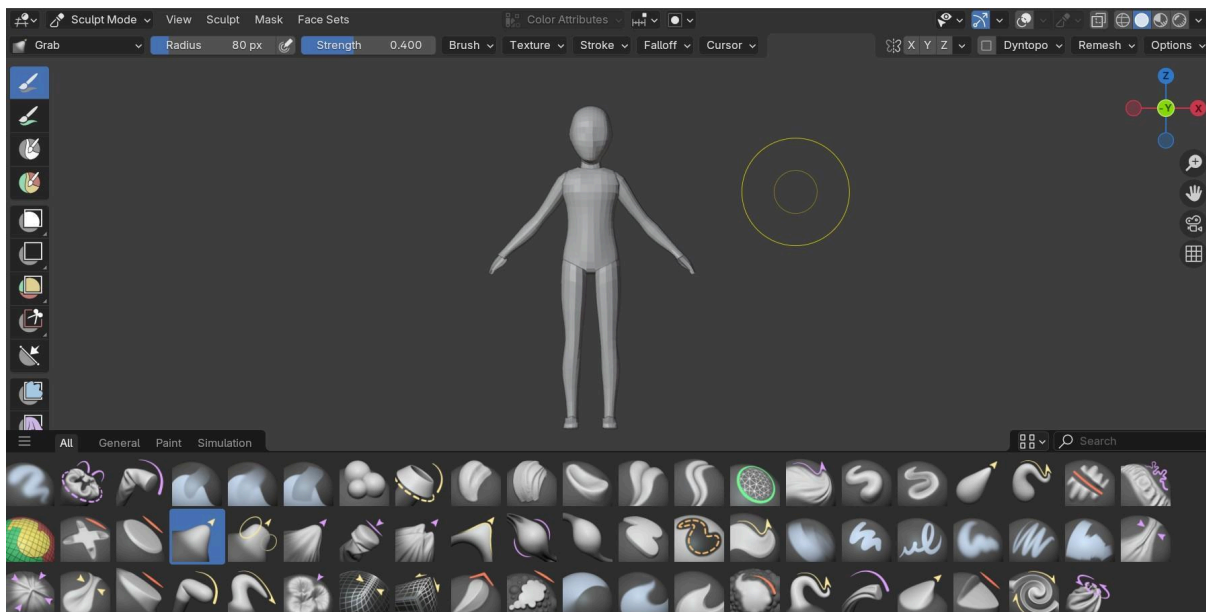


Рисунок 3.5. Інтерфейс режиму Sculpt Mode та незавершене тіло персонажа

Не достатньо лише підігнати форми так, щоб вони нагадували анатомію тіла, варто до того ж врахувати правила топології.

Як було зазначено у першому розділі, для якісних деформацій під час анімації необхідно правильно розмістити “петлі ребер” у ключових зонах руху (рис.3.6 та рис.3.7).

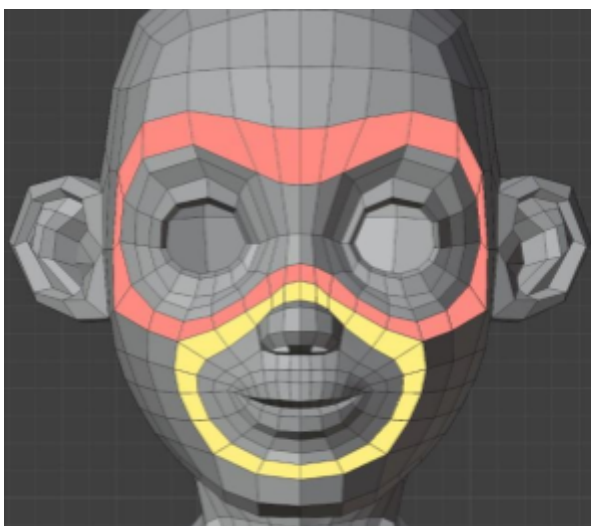


Рисунок 3.6. Позначення “петель ребер” на обличчі персонажа

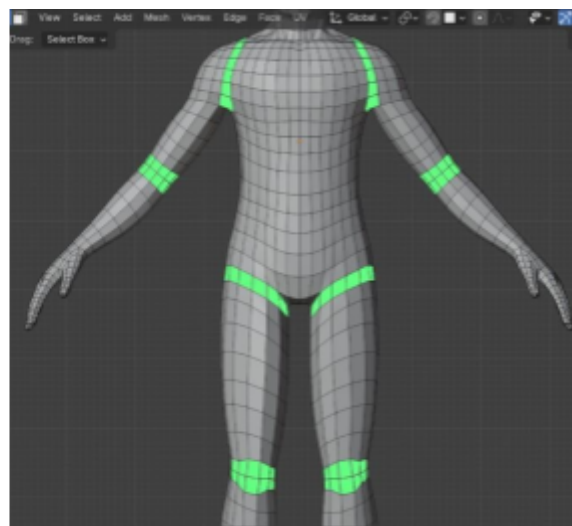


Рисунок 3.7. Позначення “петель ребер” на тілі

Крім того, у процесі моделювання було забезпечено відсутність трикутників та n-gons (площин із більш ніж чотирма вершинами), а також виключено поламану геометрію — перекриття полігонів, зайві вершини чи ребра.

Фінальну версію тіла персонажа представлено на рисунках 3.8–3.10.

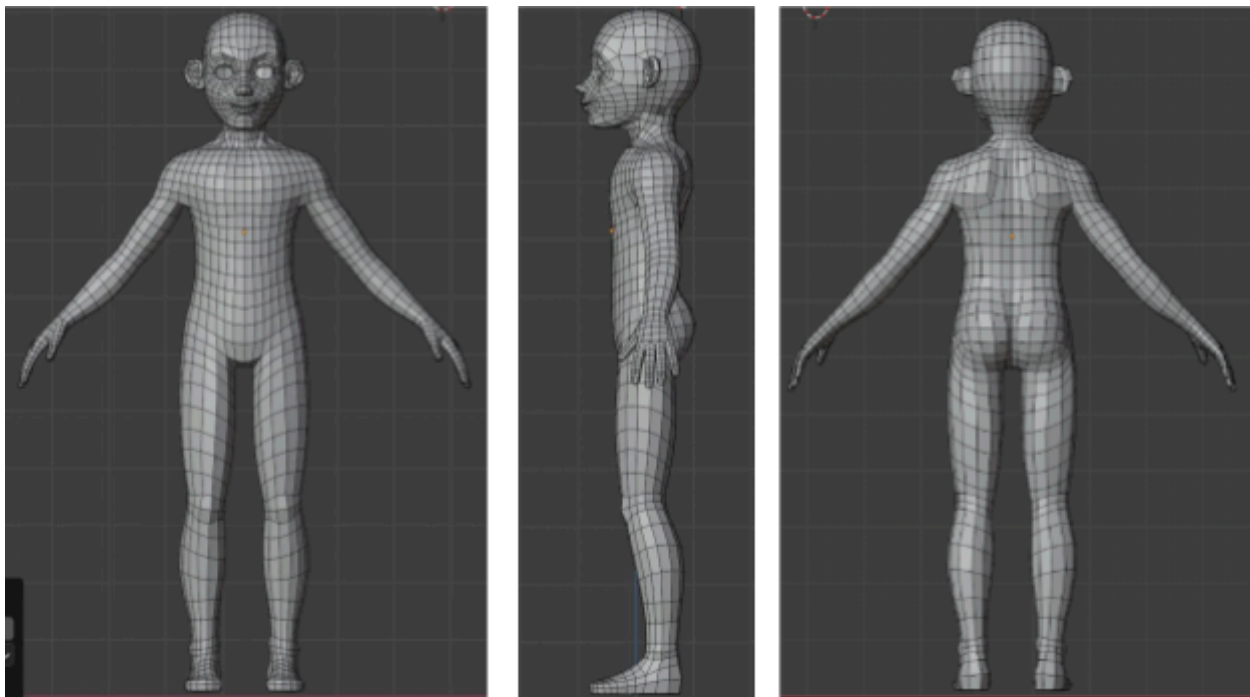


Рисунок 3.8. Вигляд персонажа спереду
Рисунок 3.9. Вигляд персонажа збоку
Рисунок 3.10. Вигляд персонажа ззаду

Можна помітити, що обличчя та руки мають вищу щільність сітки, оскільки саме через міміку та жести передається найбільша частина емоційного наповнення.

Перевірка моделі на придатність до анімації здійснювалася за допомогою Міхато — онлайн-сервісу для автоматичного ріггінгу. Після завантаження 3D-об’єкта на платформу було вручну встановлено ключові маркери у зонах підборіддя, зап’ясть, ліктів, колін і паху (рис. 3.11), на основі яких система згенерувала скелетну структуру. Потім до тіла персонажа було застосовано кілька тестових анімацій (рис. 3.12). Результати підтвердили, що модель придатна до подальшого використання у мультфільмі.

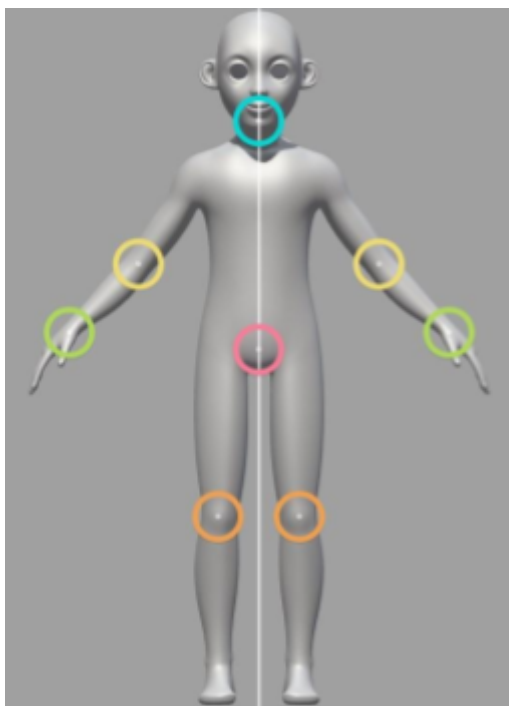


Рисунок 3.11. Встановлення
на моделі у Міхато тестових анімацій



Рисунок 3.12. Використання маркерів

3.3 Створення одягу

Основою для вбрання слугувала сітка тіла персонажа. В режимі редагування було скопійовано потрібні полігони з ділянок торсу, рук і ніг, після чого виділена геометрія відокремлювалася в окремі об'єкти за допомогою команди *Separate by Selection*. Далі одяг піддавався деформаціям, щоб зробити його вигляд цікавішим (рис.3.13). Такий підхід скорочує час моделювання та забезпечує прилягання одягу до анатомії, що полегшує подальшу анімацію, оскільки він має повторювати рухи тіла без спотворень.



Рисунок 3.13. Початкова форма вбрання персонажа

Для деталізації одягу можна було б збільшити кількість полігонів та застосувати спеціальні пензлі з режиму Sculpt Mode, щоб створити реалістичні складки, як це показано на рис.3.14. Проте, проєкт не передбачає високого рівня реалізму, тож у цьому немає потреби.



Рисунок 3.14. Високополігональна модель шортів зі складками

Важливо сказати і про можливість використання симуляції тканин, яка у Blender налаштовується через вкладку Physics Properties. Це дозволило б

імітувати природне утворення складок. Для коректної роботи необхідно, щоб модель відповідала справжнім масштабам (наприклад, зріст дитячого персонажа — приблизно 1,4 м), адже симуляції базуються на реальних фізичних величинах. Сітка одягу має містити велику кількість полігонів, а це суттєво підвищує навантаження на систему. Знову ж таки, оскільки досягнення реалізму не було метою, від застосування цього методу вирішено відмовитися.

Натомість, у режимах редагування та скульптингу було додано кишені на кофті і шортах, а також змодельовано два варіанти футболок (рисунки 3.15, 3.16). Складки сформовані за допомогою пензлів зі Sculpt Mode, але всі дії виконувалися над низькополігональною моделлю, що дозволило досягти стилізованих результатів зі збереженням продуктивності. Додатково, на футболці, шортах і кофті було створено шви.



Рисунок 3.15. Заправлена футболка



Рисунок 3.16. Незаправлена

футболка персонажа персонажа

Для взуття розроблено кілька варіантів підошви з різним дизайном (рис.3.17), додано декоративні виступи, а також отвори для шнурків. Щоб зберегти форму чобіт після згладжування, було використано “підтримувальні петлі” (supporting loops).



Рисунки 3.17. Чотири варіанти підошви для чобіт

На зображеннях нижче (рис.3.18–3.20) можна побачити остаточний вигляд одягу персонажа.



Рисунок 3.18. Персонаж



Рисунок 3.19. Персонаж



Рисунок 3.20.

Персонаж без кофти, ракурс
спереду спереду

без кофти, ракурс ззаду у кофті, ракурс

3.4 Деталізація голови

Для створення зачіски було використано метод сплайнового моделювання. У Blender сплайнове моделювання теж виконується в режимі редагування (Edit Mode), але має окремий набір інструментів, їх можна побачити на рисунку 3.21.

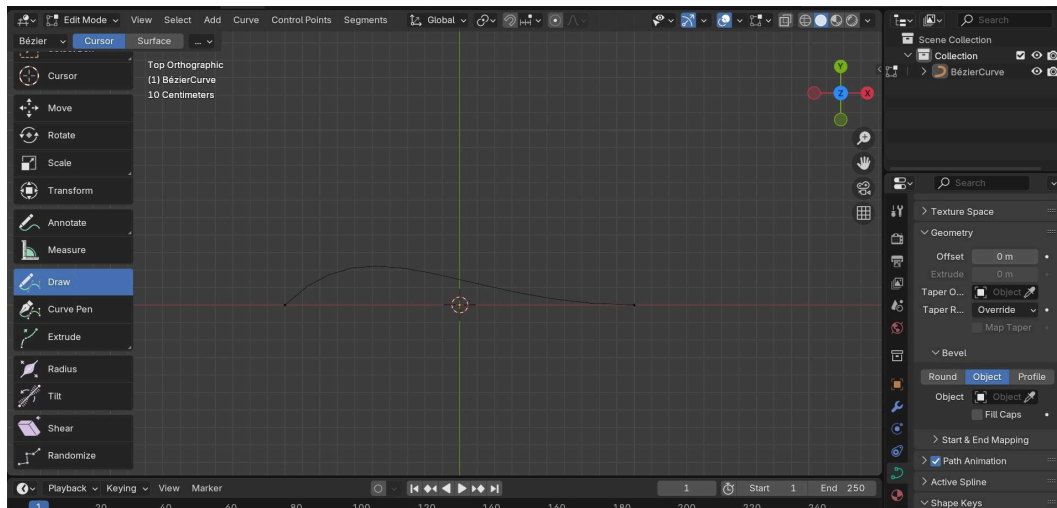


Рисунок 3.21. Інтерфейс Blender у режимі редагування кривих

Основу кожного пасма становить напрямна крива типу Path, яка визначає його довжину, вигин та орієнтацію у просторі. Щоб надати пасмам об'єму, було створено декілька допоміжних кривих, які виконували роль профілю перерізу (рис.3.22). Вони призначалися як Bevel Object у параметрах відповідної напрямної. Такий підхід забезпечує стилізований вигляд волосся та гнучке редагування, але за потреби криві можуть бути конвертовані в полігональні об'єкти (Convert to Mesh) для подальшої обробки.

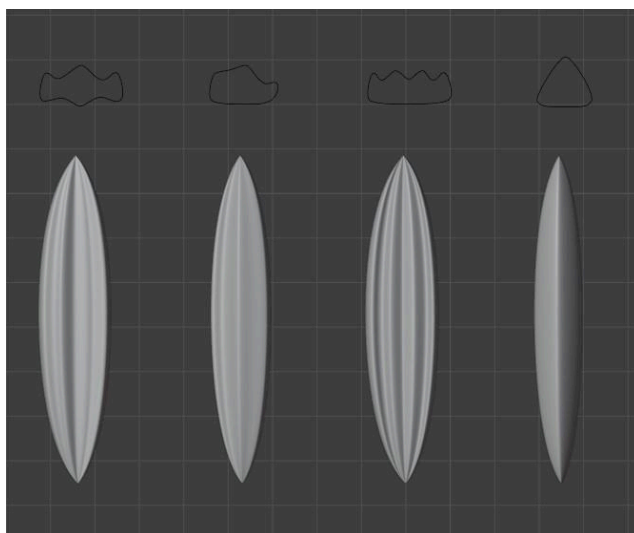


Рисунок 3.22. Варіанти пасм волосся, зроблені за допомогою напямної кривої та різних профілів перерізу

Очі були змодельовані на основі примітивів UV Sphere, для виділення райдужки та зіниці використовувався інструмент Extrude. Брови створені за допомогою кривих, аналогічно до волосся, проте з меншою деталізацією. Вії — окремі площини, розташовані по контуру повік. Також було додано язик і зуби, оскільки під час анімації персонаж може відкривати рот.

Деталізовану голову персонажа зображено на рисунку 3.23.



Рисунок 3.23. Вид на голову персонажа зблизька

3.5 Додавання аксесуарів

Завершальний етап роботи над геометричною формою включав створення рюкзака, брелка, пластирів, застібки для кофти, значків та шнурків на чоботях і шортах.

Рюкзак сформовано на основі куба, який, подібно до моделі тіла персонажа, було видозмінено інструментами полігонального моделювання та скульптингу. При цьому враховано можливість анімаційної взаємодії з кишнями, наприклад, щоб персонаж міг вкладати в них об'єкти.

Для застібки та значків також використано куби, деформовані у Edit Mode.

Брелок у вигляді кролика змодельовано шляхом поєднання примітивів, голова і вуха побудовані на основі кубів, а елементи ланцюжка — за допомогою торів. Пластирі реалізовано як площини. Для шнурків застосовано криві із круглим профілем.

3.6 Використання модифікаторів

Значну роль у 3D-модельюванні відіграють модифікатори, завдяки яким можна редагувати форму моделі без руйнування її початкової геометрії. У Blender вони додаються через вкладку Modifiers.

Для прискорення роботи було використано модифікатор Mirror, що автоматично віддзеркалює геометрію відносно вибраної осі (у даному випадку — осі X). Це дозволило працювати лише з однією половиною таких симетричних об'єктів як тіло чи елементи одягу, всі зміни синхронно відображалися на протилежному боці.

Щоб модель виглядала більш гладкою та природною, було застосовано модифікатор Subdivision Surface у поєднанні з опцією Shade Smooth.

Модифікатор Solidify знадобився для надання одягу товщини, оскільки плоским він виглядає не дуже правдоподібно.

3.7 Текстурування

UV-розгортка в програмі виконується у режимі редагування. Для її створення потрібно виділити модель або окремі частини та натиснути клавішу U, після чого з'явиться меню з різними методами розгортки, такими як Unwrap Angle Based (що використовується переважно для органічних моделей), Unwrap

Conformal (для технічних та більш простих об'єктів), Unwrap Minimum Stretch (застосовує ітеративний алгоритм мінімізації розтягнень та підходить для високодеталізованих моделей). Вони потребують попереднього позначення швів шляхом виділення ребер, які мають стати швами, та натискання Mark Seam. Окрім вищезгаданих методів, у програмі також є Smart UV Project, що автоматично розділяє модель на UV-острови.

Розгортка розміщується у вікні UV Editing, де UV-карту можна редагувати на рівнях вершин, ребер, граней та островів за допомогою таких інструментів, як переміщення, обертання і масштабування.

На рисунку 3.25 зображено частину розгортки, а саме UV-карту тіла персонажа, для якої було позначено шви (рис.3.24), застосовано метод Unwrap Minimum Stretch та логічно розташовано острови у межах UV-простору. З метою порівняння, розгортку також було створено автоматично (рис.3.26). Результати показали, що ручний підхід забезпечує більш акуратне та якісне розміщення UV-елементів.

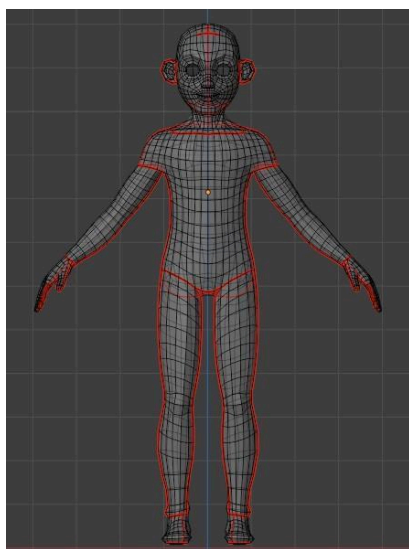


Рисунок 3.24. Модель тіла персонажа із позначеними швами

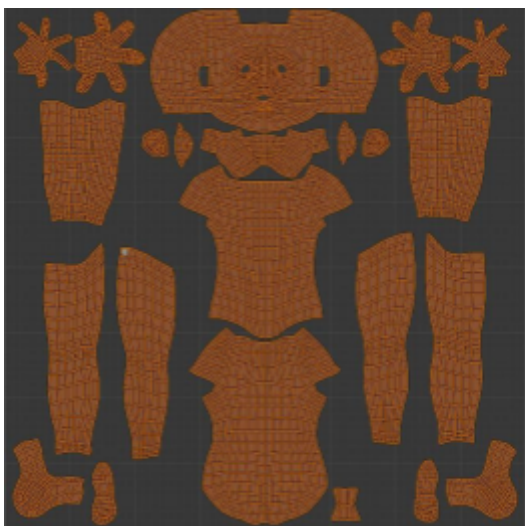


Рисунок 3.25. Ручна розгортка тіла персонажа



Рисунок 3.26. Автоматична розгортка тіла персонажа

Текстурування у Blender виконується в окремому робочому просторі Shading, який дозволяє керувати зовнішнім виглядом об'єктів за допомогою різноманітних вузлів. У межах проєкту було використано базовий вузол Principled BSDF, що забезпечує швидке налаштування основних параметрів матеріалу: кольору, металевості, шорсткості, коефіцієнта заломлення світла, прозорості, свічення тощо.

Серед інших вузлів, які часто застосовують для роботи з матеріалами, можна відзначити:

Image Texture — підключення растрових зображень;

Mapping — зміна положення, оберту й масштабу текстури;

Math, Vector Math — вузли для роботи з числовими або векторними даними, що допомагають тонко налаштувати логіку текстурування;

Noise Texture, Voronoi, Wave — процедурні текстури для створення складних поверхонь;

Mix — комбінування двох текстур або кольорів з використанням різних методів накладання;

ColorRamp — дозволяє створювати градієнти кольорів на основі вхідних значень.

На рисунку 3.27 представлено кольорову модель персонажа.



Рисунок 3.27. Модель персонажа з трьох ракурсів, із застосуванням матеріалів на основі Principled BSDF

3.8 Тестування моделі

Повторну перевірку 3D-моделі було знову виконано за допомогою онлайн-сервісу Міхато (рис. 3.28).



Рисунок 3.28. Використання тестових анімацій на завершеній моделі персонажа

Попри зручність автоматичного ріггінгу та наявність готових анімацій, сервіс не передбачає можливості гнучкого редагування кісткової структури, що

ускладнює подальшу інтеграцію моделі у складні проєкти. У зв'язку з цим було вирішено створити ріг безпосередньо в середовищі Blender. Для цього застосовано доповнення Rigify, яке дозволило швидко згенерувати базовий скелет людини. Його кістки були вручну підлаштовані відповідно до пропорцій персонажа (рис.3.29).



Рисунок 3.29. Персонаж зі скелетною структурою

Для прив'язки сітки до скелета використано автоматичний розподіл ваг, однак у результаті було виявлено некоректні деформації певних ділянок, зокрема пальців, плечей та ніг. Ці проблеми частково усунуто шляхом редагування ваг у режимі Weight Paint. На рисунках 3.30, 3.31 можна побачити одну з тестових поз персонажа.



Рисунок 3.30. Пози персонажа у Рисунок 3.31. Пози русі,
 вигляд збоку персонажа у русі, вигляд
 спереду із видимим рiгом

Якщо підсумувати, створений 3D-персонаж відповідає початковому концепту та придатний для використання в анімації. Проте він все ще має потенціал для подальшого вдосконалення. Зокрема, доцільно було б поекспериментувати з топологією, щоб досягти кращої візуальної та технічної якості. Також модель можна доповнити ручним розфарбовуванням поверхні, щоб створити ефект схожого на 2D-анімацію стилю, який наразі набув високої популярності в мультиплікації та іграх. Крім того, створення скелетної системи “з нуля” дозволило б реалізувати ширший спектр рухів і зробити модель цікавішою.

ВИСНОВКИ

У межах кваліфікаційної роботи було створено стилізовану 3D-модель персонажа — хлопчика для умовного мультфільму, орієнтованого на дитячу аудиторію, з використанням безкоштовного програмного забезпечення Blender. Перший розділ присвячено аналізу етапів розробки моделі персонажа — від пошуку референсів до рiгiнгу. Розглянуто основні техніки моделювання, такі як блокiнг, скульптинг, полігональне моделювання, використання кривих,

симуляції волосся та тканин. Окрему увагу приділено оптимізації моделі для анімації, зокрема правилам побудови геометричної форми, ретопології та “запіканню” нормалей.

У другому розділі проведено дослідження можливостей трьох популярних програм для тривимірного моделювання — Blender, 3ds Max та Maya, а також здійснено їхнє порівняння з метою визначення найбільш оптимальної з них для виконання практичної частини роботи. За результатами дослідження обґрунтовано доцільність вибору саме Blender, який, попри свою безкоштовність, забезпечує потужний набір інструментів, що ледве поступається комерційним аналогам.

Третій розділ охоплює повний процес створення 3D-персонажа: малювання концепт-арту, моделювання тіла, одягу та аксесуарів, створення UV-розгортки, базове текстурування, побудову скелетної структури за допомогою системи Rigify, а також перевірку моделі через онлайн-сервіс Mixamo. Розроблений 3D-персонаж відповідає початковому концепту і за результатами тестування виявився технічно придатним для подальшої анімації. У розділі також наведено ідеї щодо подальшого вдосконалення проєкту.

Актуальність обраної теми підтверджено постійною появою нових наукових публікацій, онлайн-курсів і навчальних матеріалів з 3D-моделювання та активним розвитком професійних спільнот, зокрема навколо платформи Blender.

Таким чином, під час виконання кваліфікаційної роботи було не лише поглиблено та закріплено теоретичні знання у сфері 3D-моделювання, а й здобуто цінний практичний досвід, який може бути застосований у майбутній професійній діяльності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Yurchenko A. 3D Character Modeling: Complete Guide to 3D Character Design. *iLOGOS*. 15.01.2025. URL: <https://ilogos.biz/3d-character-modeling-complete-guide-to-3d-character-design/> (дата звернення: 03.03.2025).
2. Концепт-арт. *Wikipedia*. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%86%D0%B5%D0%BF%D1%82-%D0%B0%D1%80%D1%82> (дата звернення: 04.03.2025).
3. Ладуба М. Що таке референс, коли він потрібен і де шукати джерела натхнення. *MC.today*. 28.09.2023. URL: <https://mc.today/uk/shho-take-referens/> (дата звернення: 04.03.2025).
4. В Машкіна, ВО Абрамов, ТІ Носенко, ЄВ Іваніченко. Навчально-методичний посібник до виконання і захисту кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальностей 122 Комп'ютерні науки для здобувачів вищої освіти денної форми навчання, Київський столичний університет імені Бориса Грінченка. Київ, 2024.- 43 с.
5. Теоретичні та практичні аспекти використання математичних методів та інформаційних технологій в освіті й науці: моногр. / за заг. ред. О. Литвин. — К.: Київ. ун-т ім. Б. Грінченка, 2021. — 332 с.
6. Devlog #02 — Moodboards. *ModDB*. 15.04.2023. URL: <https://www.moddb.com/news/devlog-02-moodboards> (дата звернення: 04.03.2025).
7. Singh B. What makes concept art useful from a 3D Character Artist's point of view. *LinkedIn*. 31.08.2017. URL: <https://www.linkedin.com/pulse/what-makes-concept-art-useful-from-3d-character-artists-baj-singh#:~:text=If%20you%20have%20any%20shapes,kept%20consistent%20throughout%20the%20character> (дата звернення: 05.03.2025).
8. A beginner's guide to character design. *IAMAG MASTER CLASSES*. URL: <https://masterclasses.iamag.co/pages/free-guide-character-design> (дата звернення: 05.03.2025).
9. Spider-Man: Across the Spider-Verse: The Art of the Film. On-Sale Now. *MARVEL*. 03.07.2023. URL:

<https://www.marvel.com/articles/culture-lifestyle/spider-man-across-the-spider-verse-the-art-of-the-film-on-sale-now> (дата звернення: 05.03.2025).

10. Radivojevic.F. Understanding Topology in 3D Modeling: A Practical Guide. *RenderHub*. 23.10.2023. URL:

<https://www.renderhub.com/blog/understanding-topology-in-3d-modeling-a-practical-guide> (дата звернення: 07.03.2025).

11. The Ultimate Guide to Creating 3D Characters in 2025. *YouTube*. 02.11.2024. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=zXm-mYeApQQ> (дата звернення: 06.03.2025).

12. 12 Best 3D Modeling Techniques Every 3D Designer Should Know.

MAPSystems.

03.02.2023.

URL:

<https://mapsystemsindia.com/resources/Beginners-3d-modeling-techniques.html>

(дата звернення: 06.03.2025).

13. A block out I did for a character. *Facebook*. 12.06.2020. URL: <https://www.facebook.com/photo.php?fbid=1980517762092879&id=1504484893029504&set=a.1576507595827233> (дата звернення: 06.03.2025).

14. Olivera P. Alvaro (3d character modeling / sculpting). *ArtStation*. 2018. URL: <https://www.artstation.com/artwork/A8oKW> (дата звернення: 07.03.2025).

15. Lampel J. The Art of Good Topology Guide. *CG Cookie*. 17.10.2024. URL: <https://cgcookie.com/posts/the-art-of-good-topology-blender> (дата звернення: 09.03.2025).

16. Huta L. Human mesh, showing edge loops for animation ready character. *Pinterest*. URL: <https://in.pinterest.com/pin/719731584233319057/> (дата звернення: 09.03.2025).

17. Thorne E. What is baking 3D modeling: Understanding the Process and its Importance in 3D Design. *Coohom*. 04.03.2025. URL:

<https://www.coohom.com/article/what-is-baking-3d-modeling> (дата звернення: 13.03.2025).

18. Plaza Lopez V. Study of how hair works using curves in Blender. *ArtStation*. 2020. URL: <https://www.artstation.com/artwork/nYY9d6> (дата звернення: 11.03.2025).
19. Blender Hair System: Step-by-Step Tutorial. *YouTube*. 31.07.2023. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=rd3RkBVJMQA> (дата звернення: 12.03.2025).
20. Hairflow 1.2 - Simulate Blender's New Hair System. *Superhive*. 2025. URL: <https://superhivemarket.com/products/hairflow> (дата звернення: 14.03.2025).
21. Cloth Physics for Beginners (Blender Tutorial). *YouTube*. 12.01.2023. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=c5LOOoSHh9c> (дата звернення: 14.03.2025).
22. Master 3D Cloth Simulation | Blender. *Skillshare*. URL: <https://www.skillshare.com/en/classes/master-3d-cloth-simulation-blender/215689942> (дата звернення: 14.03.2025).
23. Fallesen E. Unveiling the artistry of 3D texturing. *CADA*. URL: <https://cada-edu.com/guides/texturing> (дата звернення: 15.03.2025).
24. UV mapping. *Wikipedia*. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/UV_mapping?utm_source (дата звернення: 16.03.2025).
25. The golden rules of UV unwrapping. *Something Like Games*. 04.03.2024. URL: <https://www.somethinglikegames.de/en/blog/2024/uv-unwrapping/#:~:text=And%20finally%2C%20once%20again%20the,only%20rotated%20in%2090%C2%BA%20increments> (дата звернення: 16.03.2025).
26. UV requirements. *CG Trader*. 26.01.2023. URL: <https://help.cgtrader.com/hc/en-us/articles/12485759132177-UV-requirements#:~:text=UV%20Unwrapping,No%20obvious/unnecessary%20UV%20seams> (дата звернення: 16.03.2025).
27. Зображення. *Pinterest*. URL: <https://de.pinterest.com/pin/786652259949597031/> (дата звернення: 16.03.2025).

17.03.2025).

28. Texture Maps Explained. *LotPixel*. URL: <https://www.lotpixel.com/faq/texture-maps-explained> (дата звернення: 20.03.2025).

29. Gomez O. de la Hera. What is Texture Mapping in Spatial Computing? *delasign*. 27.03.2024. URL: <https://www.delasign.com/blog/what-is-texture-mapping-in-spatial-computing/> (дата звернення: 20.03.2025).

30. Everything you need to know about Substance Painter! *YouTube*. 06.03.2023. URL: https://www.youtube.com/watch?v=uBgDLmvK_U8 (дата звернення: 22.03.2025).

31. The Role of Joints in 3D Character Rigging. *Whizzy Studios*. 03.07.2024. URL: <https://www.whizzystudios.com/post/the-role-of-joints-in-3d-character-rigging#:~:text=The%20basic%20anatomy%20of%20a,the%20joint%20rotates%20or%20moves> (дата звернення: 24.03.2025).

32. Bones naming in the human character rig. *CGTyphoon*. URL: <https://cgtyphoon.com/rigging/bones-naming-in-the-human-character-rig/> (дата звернення: 25.03.2025).

33. Kerekes P. Both side of the Weight Painting went to the right side. *Blender Stack Exchange*. 2020. URL: <https://blender.stackexchange.com/questions/194633/both-side-of-the-weight-painting-went-to-the-right-side> (дата звернення: 25.03.2025).

34. Rig Controller moved off mesh. *Autodesk Community*. 16.03.2020. URL: <https://forums.autodesk.com/t5/maya-animation-and-rigging-forum/rig-controller-moved-off-mesh/td-p/9380392> (дата звернення: 27.03.2025).

35. 3D Rigging is Beautiful, Here's How It Works! *YouTube*. 29.12.2023. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=3RSwjZLCIRc> (дата звернення: 24.03.2025).

36. How to Rig Anything in Blender! *YouTube*. 03.10.2024. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=Y2SWwZmwrwM> (дата звернення: 24.03.2025).

24.03.2025).

37. Blender (software). *Wikipedia*. URL:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Blender_\(software\)#:~:text=](https://en.wikipedia.org/wiki/Blender_(software)#:~:text=) (дата звернення:

16.04.2025).

38. Remesh Modifier. *Blender 4.4 Manual*. URL:

<https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/modifiers/generate/remesh.html> (дата звернення: 18.04.2025).

39. Rendering. *Blender 4.4 Manual*. URL:

<https://docs.blender.org/manual/en/latest/render/index.html> (дата звернення: 20.04.2025).

40. System Requirements for Blender. *blender.org*. URL:

<https://www.blender.org/download/requirements/> (дата звернення: 21.04.2025).

41. Autodesk 3ds Max. *Wikipedia*. URL:

https://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk_3ds_Max (дата звернення: 22.04.2025).

42. Retopology Tools Interface. *Autodesk*. URL:

<https://help.autodesk.com/view/3DSMAX/2026/ENU/?guid=GUID-5A960813-FBCC-4A5D-A423-3FCD60825B10> (дата звернення: 23.04.2025).

43. To Choose a Renderer. *Autodesk*. URL:

<https://help.autodesk.com/view/3DSMAX/2024/ENU/?guid=GUID-792B6657-DBC1-4102-9CC3-3EED0AAA969A> (дата звернення: 24.04.2025).

44. System requirements for Autodesk 3ds Max 2025. *Autodesk*. URL:

<https://www.autodesk.com/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/System-requirements-for-Autodesk-3ds-Max-2025.html> (дата звернення: 24.04.2025).

45. List of films made with Autodesk 3ds Max. *Wikipedia*. URL:

https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_films_made_with_Autodesk_3ds_Max (дата звернення: 24.04.2025).

46. Autodesk Maya. *Wikipedia*. URL:
https://en.wikipedia.org/wiki/Autodesk_Maya (дата звернення: 25.04.2025).
47. Select a renderer. *Autodesk*. URL:
<https://help.autodesk.com/view/MAYAUL/2024/ENU/?guid=GUID-1B5419EA-A848-4A92-A266-F6C7E7C7F6B3> (дата звернення: 26.04.2025).
48. System Requirements for Autodesk Maya 2024. *Autodesk*. URL:
<https://www.autodesk.com/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/System-Requirements-for-Autodesk-Maya-2024.html> (дата звернення: 27.04.2025).
49. List of works created with Autodesk Maya. *Autodesk Maya Wiki*. URL:
https://autodeskmaya.fandom.com/wiki/List_of_works_created_with_Autodesk_Maya (дата звернення: 28.04.2025).
50. Pickavance M., Loeffler J., Clark S. Best 3D modeling software of 2025. *TechRadar*. 01.04.2025. URL:
<https://www.techradar.com/best/best-3d-modelling-software> (дата звернення: 15.04.2025).
51. Психологія кольору: роль кольору в нашому житті. *Lihtaryk*. URL:
<https://lihtaryk.com.ua/psihologiya-koloru-rol-koloru-v-nashomu-zhitti/> (дата звернення: 10.05.2025).