Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук
(повна назва)

Кафедра Медіасистем та технологій
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

Розробка методики моделювання анімованих тривимірних персонажів
(тема)

Виконав:
студент 2 курсу, групи ТЕМВм-20-1

Нечаєв В.О.

Спеціальності 186 Видавництво та поліграфія

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма
Технології електронних
та мультимедійних видань

Керівник проф. Бізюк А.В.

Допускається до захисту
Зав. кафедри МСТ _____ Дейнеко Ж.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

2021 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

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

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

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові *Нечаєв Владиславу Олеговичу*
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка методики моделювання анімованих тривимірних персонажів
затверджена наказом по університету від " 29 " жовтня 2021 р. № 1612 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 30 листопада 2021р.

3. Вихідні дані до роботи
Тип продукції: тривимірна модель анімованого персонажа;
Призначення дослідження: Методика підготовки 3D-моделі до згладжування

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі
Вступ; 1 Аналіз завдання на кваліфікаційну роботу; 2 Аналітичний огляд літератури за темою роботи; 3 Огляд і аналіз існуючих підходів до створення моделей; 4 Розробка рекомендацій щодо створення моделі; 5 Розробка методики і складання плану проведення експерименту; 6 Проведення експерименту, оцінка ефективності результату; 9 Економічне обґрунтування дослідження. Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) Вихідні дані та мета роботи; Актуальність дослідження, Мета роботи, Задачі дослідження, Аналіз існуючих підходів до розробки тривимірних моделей анімованих персонажів; Розробка рекомендацій щодо створення моделі; Розробка методики і складання плану проведення експерименту; Проведення експерименту, оцінка ефективності результату; Економічне обґрунтування дослідження. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Номер	Назва етапів роботи (проекту)	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз завдання на кваліфікаційну роботу	01.11.2021	
2	Аналітичний огляд літератури за темою роботи	01.11.2021	
3	Огляд і аналіз існуючих підходів до створення моделей	01.11.2021	
4	Розробка рекомендацій щодо створення моделі	07.11.2021	
5	Розробка методики технологічного процесу створення та опрацювання моделі	07.11.2021	
6	Розробка методики і складання плану проведення експерименту;	14.11.2021	
7	Проведення експерименту, оцінка ефективності результату	21.11.2021	
8	Економічне обґрунтування дослідження	25.11.2021	
9	Оформлення пояснювальної записки	28.11.2021	
10	Оформлення графічної частини	28.11.2021	

Дата видачі завдання «*29*» *жовтня* 20*21* р.

Студент _____ Нечаєв В.О.
(підпис) (прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____ проф. Бізюк А.В.
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить 71 стор., 7 табл., 38 рис., 23 джерела.

3D, ТРИВИМІРНА МОДЕЛЬ, ПОЛІГОН, КІНЕМАТИКА, АНІМАЦІЯ, ЗГЛАДЖУВАННЯ.

Проблемою дослідження є необхідність створення обґрунтованої методики підготовки 3D персонажів для подальшої анімації.

Актуальність проблеми визначається витрачанням великої кількості часу на розуміння методики згладжування, зокрема молодими фахівцями.

Об'єкт дослідження – алгоритми опрацювання тривимірних полігональних поверхонь. Предмет дослідження – розробка методики моделювання згладжування тривимірних персонажів для наступної анімації.

Мета кваліфікаційної роботи полягає в створенні методики для підготовки персонажів для наступної анімації, яка могла б допомогти молодим фахівцям прискорити опрацювання цього етапу моделювання без значних втрат якості.

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка содержит 71 стр., 7 табл., 38 рис., 23 источника.

3D, ТРЕХМЕРНАЯ МОДЕЛЬ, ПОЛИГОН, КИНЕМАТИКА, АНИМАЦИЯ, СГЛАЖИВАНИЕ.

Проблемой исследования является необходимость создания обоснованной методики подготовки 3D персонажей для дальнейшей анимации.

Актуальность проблемы определяется расходованием большого количества времени на понимание методики приглаживания, в частности молодыми специалистами.

Объект исследования – алгоритмы проработки трехмерных полигональных поверхностей. Предмет исследования – разработка методики моделирования приглаживания трехмерных персонажей для следующей анимации.

Цель квалификационной работы заключается в создании методики для подготовки персонажей для следующей анимации, которая могла бы помочь молодым специалистам ускорить проработку этого этапа моделирования без значительных потерь качества.

ABSTRACT

The explanatory memorandum contains 71 p., 7 tabl., 38 pic., 23 sources.

3D, THREE-DIMENSIONAL MODEL, POLYGON, KINEMATICS, ANIMATION, SMOOTHING.

A research problem is a necessity of creation of reasonable methods of preparation 3D personages for further animation.

Actuality of problem is determined by the expense of plenty of time on understanding of smoothing methods, in particular by young specialists.

A research object is algorithms of working of three-dimensional полигональных surfaces. The article of research is development of methods of design of smoothing of three-dimensional personages for next animation.

The purpose of qualifying work consists in creation of methods for preparation of personages for next animation which would help young specialists to accelerate working of this stage of design without the considerable losses of quality.

ЗМІСТ

С.

ВСТУП 8
1 ОГЛЯД ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ 11
1.1 Підготовка до створення персонажа 11
1.2 Аналіз ринку існуючих 3D редакторів 11
1.3 Процес створення персонажа 17
1.4 Методи побудови поверхонь 20
1.5 Алгоритми згладжування 27
1.6 Висновки за розділом 32
2 ЗГЛАДЖУВАННЯ ТРИВИМІРНОЇ МОДЕЛІ ЯК ОСНОВА ЯКІСНОЇ АНІМАЦІЇ 34
2.1 Порівняння програмних алгоритмів згладжування 35
2.2 Висновки за розділом 42
3 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПІДГОТОВКИ МОДЕЛІ ПІД ЗГЛАДЖУВАННЯ 43
3.1 Згладжування на етапі моделюванні сітки 44
3.2 Згладжування на етапах експорту й рендерінгу 45
3.3 Висновки за розділом: 49
4 ПРАКТИЧНА АПРОБАЦІЯ МЕТОДИКИ 51
4.1 Якісна оцінка розробленої методики 57
4.2 Висновки за розділом 58
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА 59
5.1 Характеристика науково-дослідної роботи 59
5.2 Етапи виконання НДР, їх трудомісткість та заробітна плата 60
5.3 Розрахунок одноразових витрат на розробку НДР 62
5.4 Оцінка результатів науково-дослідної роботи 66
ВИСНОВКИ 68
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ 70

ВСТУП

У сучасному світі комп'ютерна графіка – це один з напрямів інформаційних технологій, що найбурхливіше розвиваються. За допомогою комп'ютерної графіки можливо візуалізувати такі явища і процеси, які не можуть існувати насправді. Візуальна форма подачі інформації найбільш продуктивна. Численні дослідження доводять, що наочні образи активізують увагу слухачів, що сприймають інформацію. Зорові аналізатори мають значно більшу пропускну спроможність, чим слухові. Слухаючи, людина запам'ятовує лише 15% інформації, тоді як сприймаючи візуально інформацію – близько 25%. Таким чином, комп'ютерна графіка стала невід'ємною частиною медіаіндустрії. Практично кожна її сфера (реклама, комп'ютерні ігри, кіно, мультфільми, презентаційні ролики) не обходиться без можливостей комп'ютерної графіки [1].

Розвиток комп'ютерної графіки йде бурхливо і нерівномірно – щось дивне швидко застаріває, щось набуває виразніших форм, з'являється і дуже багато нового. Можливості доступних обчислювальних засобів, що постійно розширюються, коригують набір використовуваних методів і ефективно вживаних алгоритмів [5].

В індустрії комп'ютерної графіки велике місце відводиться створенню персонажів, як носіїв образів, що доносять необхідну інформацію до глядача. Створення персонажів – це тривалий процес, що має безліч стадій розробки. У цій роботі особлива увага приділяється одному з самих ранніх східців створення тривимірного персонажа, а саме його підготовці до згладжування. На даний момент не існує єдиної методики для цієї операції. Існує лише розрізнена інформація у вигляді уроків, рад на форумах і відео-підручниках. Початкуючим фахівцям представляє велику проблему зібрати цю інформацію і систематизувати її для успішного використання у своїх роботах.

Проблемою дослідження є необхідність створення обґрунтованої методики підготовки 3D персонажів для подальшої анімації.

Актуальність проблеми визначається витрачанням великої кількості часу на розуміння методики згладжування, зокрема молодими фахівцями. Подібні питання були розглянуті в роботах кафедри МСТ ХНУРЕ в ході Школ-семінарів Міжнародної науково-технічної конференції PMW в 2020 та в 2021 роках. Так було розглянуто особливості анімації тривимірного персонажа [1], застосування low poly моделей [2], проблеми оптимізації 3D моделей [3].

Об'єкт дослідження – алгоритми опрацювання тривимірних полігональних поверхонь. Предмет дослідження – розробка методики моделювання згладжування тривимірних персонажів для наступної анімації.

Мета роботи полягає в створенні методики для підготовки персонажів для наступної анімації, яка могла б допомогти молодим фахівцям прискорити опрацювання цього етапу моделювання без значних втрат якості.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

– аналіз ринку 3D редакторів, пристосованих для моделювання персонажів;

– дослідження методів побудови поверхонь сплайнів;

– дослідження існуючих алгоритмів згладжування;

– дослідження програмних можливостей згладжування поверхонь у вибраному 3D редакторові;

– розробка методики підготовки моделі персонажів під згладжування у вибраному 3D редакторові з використанням вибраного алгоритму;

– практична значущість розробки на прикладі створеного персонажа.

Теоретична значущість дослідження полягає в розробці та систематизації методичної інформації, необхідної для якісного опрацювання анімованих тривимірних персонажів.

Практична значущість полягає в застосуванні отриманих знань для самостійної розробки та вдосконалення процесу підготовки тривимірних персонажів до анімації, робота може бути використана в інформаційних цілях для зацікавлених осіб.

Для досягнення мети були використані такі методи дослідження, як аналіз літературних джерел, систематизація зібраного за темою матеріалу, класифікація і узагальнення, виявлення структури, проектування, практичне опрацювання.

Структура кваліфікаційної роботи магістра обумовлена предметом, метою і завданнями дослідження. Робота складається з введення, 11 розділів й висновків.

У першому розділі наведено огляд предметної області дослідження, зокрема, порівняльний аналіз сучасних 3D-редакторів та основні етапи процесу створення тривимірної моделі персонажа. Розглянуті тенденції використання алгоритмів згладжування, особливості топології поверхонь. В другому розділі розглянуто специфіку підготовки персонажа до анімації за рахунок згладжування, зокрема рігінг та спінінг, тобто підготовка скелетного каркасу та текстурованої поверхні. В третьому розділі описані особливості процесу підготовки моделі під згладжування. В четвертому розділі наведено аналіз практичного застосування запропонованої методики та виконано якісну оцінку створеної моделі за допомогою експертного оцінювання методом попарного порівняння. В економічному розділі визначено витрати замовника на науково-дослідну роботу щодо розробки такої методики. Наведені узагальнені висновки з проведеного дослідження.

1 ОГЛЯД ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Визначимо основні етапи в процесі створення тривимірного персонажа.

1.1 Підготовка до створення персонажа

Створення персонажа завжди починається з опису майбутньої концепції. Процес створення персонажа включає величезну кількість художніх аспектів, таких як вибір розміру, форми, кольору і текстури. Персонаж повинен мати правдоподібні пропорції, бути цікавим і привабливим для ока. Важливим вважається і технічний аспект, розумно спроектований персонаж значно полегшує роботу аніматора, тобто можна стверджувати, що добре продуманий персонаж один з аспектів хорошої анімації.

1.2 Аналіз ринку існуючих 3D редакторів

Візуальні ефекти, прийоми поєднання реального відео з комп'ютерною графікою вражають уяву і викликають у багатьох інтерес до тривимірного моделювання і анімації. Проте молодому фахівцеві, який тільки починає освоювати професію 3D-художника або аніматора, важко відразу зорієнтуватися у виборі програмного забезпечення. У кожному 3D редакторові існують свої слабкі і сильні сторони.

Програма Blender – безкоштовний, але незважаючи на це, досить хороший 3D редактор. Ця програма практично ні в чому не поступається своїм комерційним аналогам. Blender має свій відкритий початковий код, підтримує такі сфери комп'ютерної графіки, як: моделювання, рігінг, симуляція, рендерінг, композитінг, а також редагування відео і створення ігор. Секрет успіху полягає в тому, що до роботи над Blender може підключитися будь-який охочий. Численні інструменти, які з'явилися в цій програмі, були додані абсолютно різними людьми, що створювали ті або інші функції для вирішення своїх завдань. Проте, варто відмітити, що Blender починався як комерційний

проект, але пізніше був закритий і відроджений вже з відкритими початковими кодами. Порівняно з комерційними розробками розмір цього редактора дуже маленький – всього декілька десятків мегабайт. Головна перевага програми – кросплатформеність. Blender однаково добре і стабільно працює в Windows і Linux. Також, програма може функціонувати навіть на ПК з дуже слабкими характеристиками, аж до нетбуків.

Програма включає великий арсенал засобів для створення тривимірної графіки. Наприклад, в Blender можна контролювати ваги окремих часток при текстуруванні, оперувати системами часток, застосовувати що направляють при анімації і використовувати зовнішні сили, такі як, вітер [12].

Крім того, в програмі є симулятор флюїдів, який дає можливість користувачам створювати ефекти текучих тіл, таких як дим або рідини. У режимі реального часу користувач може прораховувати фізичні завдання, наприклад моделювати поведінку м'яких тел. Програма дає можливість редагувати NURBS-поверхні [10].

Програма 3ds Max користується в нашій країні величезною популярністю, і чималу роль в цьому зіграло те, що редактор від Autodesk орієнтований на архітектурну візуалізацію. Ще до початку будівельних робіт в 3ds Max можна створити тривимірну фотореалістичну модель приміщення, показавши замовникові кінцевий результат [18].

3ds Max має велику кількість інструментів, необхідних при моделюванні самих різних архітектурних проектів, – від заготівель вікон і дверей різних форм до рослинності, огорож і сходів. Крім того, в 3ds Max присутні засоби для аналізу і налаштування освітленості тривимірного проекту.

При усій своїй складності 3ds Max легко вивчається, а нестача будь-якого інструменту з легкістю компенсується великою базою доповнень – плагинів, що істотно розширюють стандартні можливості додатка. Наприклад, за допомогою модуля Afterburn, що підключається, в програмі з'являється можливість створення реалістичних вибухів, а при установці Dreamscape редактор отримує додаткові інструменти для природних ландшафтів і

моделювання води. Крім того, у користувача 3ds Max є можливість використовувати альтернативні алгоритми візуалізації. Окрім вбудованого движка mentalray для 3ds Max можна задіювати швидші і точніші системи візуалізації сцени, такі як V-ray, finalrender, Maxwellrender. Цей тривимірний редактор дає можливість дуже гнучко управляти частками, створюючи найрізноманітніші ефекти – від моделювання анімованих масивів об'єктів до імітації всіляких природних явищ. Такі можливості мав модуль ParticleFlow ще до появи в програмі інструментів для імітації тривимірного волосся і шерсті (модуль HairandFur).

Інструменти, які включають спеціальний модуль HairandFur, нагадують арсенал цирульника : віртуальне волосся можна причісувати, підрізувати і навіть робити укладання по заданій формі. До його появи створенням волосся могли займатися виключно професіонали, що мають величезний досвід роботи з 3D і знаючі секрети імітації шерсті за допомогою текстур і власноручно написаних додаткових скриптів.

Редактори ZBrush і Sculptris, стали частинами єдиного цілого інструменту для тривимірного скульптинга. На відміну від інших тривимірних редакторів ZBrush і Sculptris використовують тільки одну техніку 3D-моделирования – тривимірне ліплення. Суть цього способу створення тривимірних моделей полягає в тому, що 3D-художник за допомогою віртуальних кистей надає необхідної форми об'єкту, витягаючи або вдавлюючи з поверхні окремі ділянки. Такий спосіб моделювання дуже нагадує ліплення з пластиліну. Цей метод давно використовується в продакшен-индустрії.

Спочатку, додаток Sculptris мав бути самостійним і безкоштовним. Темпи його розвитку були приголомшуючими, і популярність програми стала нестримно рости. Це змусило замислитися творців комерційної програми для тривимірного ліплення ZBrush, що представляють компанію Pixologic. Сьогодні це застосування можна рахувати практично одноосібним лідером в області тривимірного ліплення (не рахуючи менш популярного пакету Mudbox). Після переговорів з розробником-ентузіастом компанії Pixologic вдалося переманити

автора Sculptris, шведського програміста Томаса Петерсона, на свою сторону. Як результат, програма була включена в ZBrush [10].

Такий інструмент, як Sculptris, абсолютно даремний для володарів пакету ZBrush. Функції Sculptris просто дублюють ряд інструментів ZBrush, який найчастіше використовується в роботі. Та все ж навіть ті функції, які розробник встиг впровадити в програму, корисні для тих, хто займається складним моделюванням, особливо органіки. Якщо необхідно швидко змоделювати яка-небудь тварина, створити обличчя тривимірного персонажа, Sculptris можна сміливо рекомендувати. Проте із-за мізерного інструментарію програма не самодостаточна, і повноцінний фільм в ній зробити не можна. У додатку бракує засобів для візуалізації і текстурування, не кажучи вже про можливість роботи з анімацією [18].

Sculptris підтримує експорт і імпорт моделей в популярному форматі OBJ. Ви можете, наприклад, перенести в цю програму об'єкт з 3ds Max або Maya і завершити його моделювання, швидко підкоригувавши форму і збільшивши деталізацію.

Ще не так давно позиції тривимірного редактора Cinema4D були куди слабкіше, ніж у Maya або 3ds Max. Проте на сьогодні ця програма на рівних конкурує з такими програмами тривимірної графіки, як Softimage і Lightwave.

Програмістам німецької компанії MAXON Computer вдалося дуже точно вгадати нішу, яка довгий час залишалася вільною. Річ у тому, що більшість професійних програм, орієнтованих на виробництво ігор і фільмів, завжди коштували тисячі, а то і десятки тисяч доларів. А ось концепція Cinema 4D була побудована таким чином, що ціна програми виявилася демократичною, але при цьому додаток залишався цікавим для професіоналів в області 3D і постійно розвивалося. Його архітектура дуже логічна, і новачкові тут досить просто розібратися

Інструментарій програми поступово удосконалювався і розширювався дуже корисними доповненнями. На даний момент в Cinema 4D можна знайти кошти для створення персонажной анімації, зручне середовище для роботи з

частками, потужну систему фотореалістичної візуалізації і зручні інструменти моделювання. У останніх версіях Cinema 4D істотно перероблений алгоритм візуалізації і розширені можливості обробки тривимірних сцен. Програма дозволяє прораховувати ефекти глобальної освітленості, каустику і враховує підповерхневе розсіювання світла, яке можна спостерігати, наприклад, при просвічуванні воску свічки [18].

У програмі Maya є усе, що необхідно для створення тривимірної графіки. Maya дозволяє пройти усі етапи створення 3D – від моделювання і анімації до текстурування, композитінга і пошарового рендерінга. Цей тривимірний редактор може моделювати фізику твердих і м'яких тіл, прораховувати поведінку тканини, емулювати текучі ефекти, дозволяє детально настроювати зачіску персонажів, створювати сухе і мокре хутро, анімувати волосся і т. д. Візитною карткою програми є модуль PaintEffects, який дає можливість малювати віртуальною кистю такі тривимірні об'єкти, як квіти, трава, об'ємні візерунки і інші. Програма досить складна в освоєнні, що компенсується великою кількістю уроків по цьому редакторові.

Одне із завдань, яке часто доводиться вирішувати 3D-художникам, – моделювання природного оточення. Тривимірні декорації значно спрощують процес зйомки фільму, а в деяких випадках і знижують витрати на його створення. Реалістичність тривимірного світу також важлива при розробці комп'ютерних ігор. Проте рішення цієї задачі має свою специфіку. Природне оточення змоделювати не так просто, як, скажімо, створити модель автомобіля або потягу. Усі об'єкти природи мають унікальну форму, тому в природному середовищі ви не знайдете, скажімо, двох абсолютно однакових дерев. Створення тривимірного лісу класичним способом, наприклад методом полігонального або NURBS-моделювання, вкрай незручно і вимагає величезної кількості часу. Програма Vue допомагає розв'язати цю проблему за лічені хвилини, саме ця особливість є головною перевагою тривимірного редактора від e-onsoftware [10].

У цьому тривимірному генераторі ландшафтів дуже мало інструментів для безпосереднього моделювання тривимірних об'єктів, але, з іншого боку, їх на порядок більше, чим, скажімо, в іншому популярному ландшафтному генераторі – DAZ 3D Bryce. По кількості функцій і пропонованим можливостям у Vue немає серйозних конкурентів. Програма має дуже велику бібліотеку різних елементів, необхідних при побудові 3D: попередні заготівлі матеріалів (десятки видів каменів з фрактальними текстурами, стекла, води і іншого), набори рослинності, налагоджені варіанти освітлення і багато що інше. Ще одна особливість програми, якої ви не знайдете в інших редакторах, – можливість імітації екосистеми. Це означає, що програма сама наповнює області, вказані користувачем, набором рослин, розташовуючи дерева, квіти і зарості кущів так, щоб вони виглядали реалістично. За допомогою віртуальної кисті користувач "малює" рослинність прямо в сцені. VuexStream має дуже "просунутий" движок візуалізації, який дозволяє отримати фотореалістичне зображення.

Редактор вимагає великих апаратних потужностей, а сам процес візуалізації віднімає дуже багато часу, причому складні сцени не рятує навіть спрощений варіант попереднього перегляду. Проте картинка, опрацьована рендером в програмі, з урахуванням глобальної освітленості і із застосуванням багатопрохідного згладжуючого фільтру, вражає своєю реалістичністю.

Тривимірна графіка розширює круг можливостей візуалізації творчих задумок. Частенько, для розкриття тієї або іншої ідеї в медіаіндустрії використовуються тривимірні персонажі, які можуть бути як цифровими дублерами реальних акторів, так і вигаданими істотами. У рекламних телевізійних роликах тривимірні персонажі можуть бути головними героями і рекламувати продукт або послугу. У комп'ютерних іграх персонажі потрібні для наповнення ігрового світу. У тривимірних, анімаційних, мультиплікаційних фільмах персонажі – це головні герої за якими стежить глядач і дізнається історію, які ці персонажі проживають. Тривимірні персонажі – один з головних атрибутів, без якого важко собі уявити сучасні медіа-проекти [6].

1.3 Процес створення персонажа

Процес створення персонажа визначається в першу чергу сферою його використання. Величезну роль в цій різноманітності технологій і методів розробки тривимірних персонажів зіграв стрімкий розвиток комп'ютерної техніки і програмного забезпечення для роботи з тривимірними моделями. Але, проте, багато етапів створення 3D персонажа для тієї або іншої індустрії схожі.

Створення починається з ідеї майбутнього персонажа. Як правило, вона є словесним описом або чорновим нарисом образу персонажа. Потім до роботи береться художник по концептах (concept artist), чиє головне завдання полягає в розробці візуального образу персонажа. Художник робить декілька чорнових нарисів, які показують можливі варіанти того, як виглядатиме персонаж. Коли образ вибраний, художник повинен його пропрацювати дуже детально з урахуванням особливостей персонажа, наприклад: де живе персонаж, в яких умовах, чим займається, який у нього характер, який вік і інші. Коли образ готів і затверджений, художник по концептах готує додаткові зображення персонажа. Такі як: різні види положення його тіла, різні фази руху, різні види міміки, великі види деталей персонажа (одяг, зброя). Увесь цей матеріал в майбутньому буде переданий на наступний етап виробництва – створення тривимірної моделі персонажа по намальованому концепту.

Модель складається з окремих полігонів. Полігон – це невелика ділянка поверхні, що має трикутну, чотирикутну і многокутну форму. Фактично кожна тривимірна модель персонажа складається з набору полігонів і чим їх більше, тим більше полігональною вважається модель. З одного боку, це збільшує якість моделі, оскільки великою кількістю полігонів можна передати більше деталей на поверхні моделі, а з іншою, це збільшує навантаження на устаткування на якому виконується робота з моделлю. Тому кожен з напрямів медіаіндустрії встановлює свої вимоги до тривимірних моделям [13].

Фахівець із створення тривимірних моделей (моделер) створює високополігональну модель. Такий процес називається цифровим скульптингом

або ліпленням. На цьому етапі фахівець практично ліпить модель в цифровому середовищі. Основними програмами, які використовуються для цієї мети, є Pixologic Zbrush, Autodesk Mudbox і 3D Coat.

Ці моделі мають велику кількість полигонів і досить нерівну сітку.

Одну і ту ж модель можна описати за допомогою різної топології.

Також моделеры прагнуть до зменшення кількості полігонів для опису потрібної форми. Це необхідно для меншого розміру файлу з моделлю, що цінується в ігрових движках і в анімації [6].

Процес перероблення "неправильної" сітки в "правильну" називається ретопологією сітки. На основі отриманої після цифрового скульптинга моделі створюють низькополігональну сітку, яку буде зручно надалі анімувати. Все ті деталі з високополігональної версії переносять на низькополігональну за допомогою різних прийомів, приміром, за допомогою карт дисплейсмента або нормалей.

Після створення сітки настає наступний етап моделювання – згладжування. Воно потрібне для надання моделі реалістичнішого виду, оскільки в реальному житті у предметів практично не буває прямих і гострих граней. Також для моделювання органічних об'єктів (персонажів, рослин) прямі грані недозволенні. Виконання операції згладжування з простими симетричними об'єктами не представляє складності. На рис. 1.1 представлені згладжена і незгладжена моделі особи.

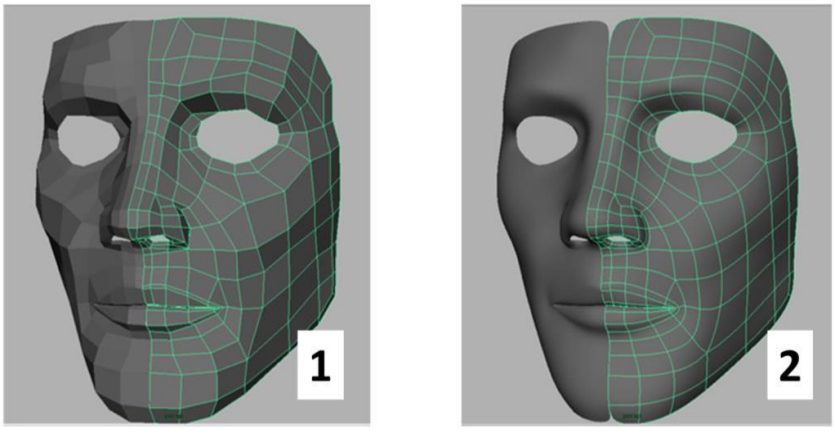

Рисунок 1.1 – Згладжена і незгладжена моделі

Чим складніше полігональний об'єкт, тим більше ретельне опрацювання сітки потрібно перед цією операцією. Згладжування сітки відбувається по певних алгоритмах, які закладені в програмі. Для отримання найкращого результату, потрібне розуміння, в яких саме частинах сітки потрібне менше або більше згладжування.

Одним з принципів моделювання є створення форми від простого до складного. Спочатку створюється деяка заготівля (наприклад, куб), потім до неї додаються деякі деталі, там, де це необхідно – при цьому користувач, як правило, економить кожну вершину. Перевага полігонів і сабдивов полягає в тому, що деталі можна додавати локально, тобто тільки в ті місця, де це необхідно. Нові алгоритми і програми, що використовують "кистьовий" підхід, дозволяють створювати дивні високодетальні моделі навіть на наявному, малопотужному устаткуванні. До цих програм відносяться програми цифрового скульптинга. Якщо ж йдеться про необхідність анімувати і деформувати модель, то вимоги до топології поверхні миттєво стають жорсткими. Тому у рамках традиційного підходу один з критеріїв якості моделі – її легкість. А основна кваліфікація користувача здатність, працюючи з грубою болванкою, розпізнавати в ній кінцеву форму [17].

У статті "Resampling Feature and Blend Regions in Polygonal Meshes for Surface Anti – Aliasing" говориться про методи ефективного перестроювання поверхні, заснованих на полігональному представленні сітки геометрії. Результуючі моделі виникають з кусково-лінійної інтерполяції набору точок дискретизації. Якість перебудованої геометрії залежить не лише від кількості і щільності точок вибірки, але і від їх положення на оригінальній геометрії. Погане вирівнювання може привести до поганої якості поверхні. У статті розглядається зразок дискретизації для накладення областей, яке зводить до мінімуму появу помилок. Основна ідея полягає у вирівнюванні сітки дискретизації до головних напрямів кривизни поверхні розгортки, щоб мінімізувати шум [8].

1.4 Методи побудови поверхонь

Сплайн (від англійського "spline") – функція, область визначення якої розбита на кінцеве число відрізків, на кожному з яких сплайн співпадає з деяким многочленом (поліномом) алгебри. Максимальна з мір використаних поліномів називається мірою сплайна. Різниця між мірою сплайна і гладкістю, що вийшла, називається дефектом сплайна. Наприклад, безперервна ламана є сплайн міри 1 і дефекту 1. У сучасному розумінні сплайни – це рішення багатоточкових крайових завдань сітковими методами [5].

У комп'ютерній графіці кривої сплайна називають будь-яку складену криву, сформовану поліноміальними ділянками, які задовольняють заданим умовам безперервності на межах ділянок [8].

Сплайни мають численне застосування в математичній теорії і в прикладній математиці, наприклад, в різноманітних обчислювальних програмах. Зокрема, сплайни двох змінних використовуються для завдання поверхонь в різних системах комп'ютерного моделювання. Сплайни двох аргументів називають бі-сплайнами (наприклад, бікубічний сплайн), які є двовимірними сплайнами, що моделюють поверхні. Їх часто плутають з B - сплайнами (базисними сплайнами), які є одновимірними і в лінійній комбінації складають криві – каркас для "натягування" поверхонь. Також з базисних сплайнів можливо скласти тривимірну конструкцію для моделювання об'ємних тіл [8].

Поверхню сплайна можна описати двома наборами ортогональних кривих сплайнів. Сплайни використовуються для розробки кривих і поверхонь, оцифрування рисунків і завдання шляхів анімації об'єктів або положень камери в сцені [7].

Крива сплайна задається через набір координат точок, звані контрольними, які вказують на загальну форму кривої. Потім по цих точках одних з двох способів підбирається кусково-безперервна параметрична поліноміальна функція. Якщо такі поліноміальні ділянки сполучають усі

контрольні точки (рис. 1.2), то крива, що вийшла, має називається інтерполяцією набору контрольних точок.

Рисунок 1.2 – Інтерполяція набору контрольних точок

Якщо ж генерована поліноміальна крива будується так, що деякі або ж усі її контрольні точки не лежать на шляху кривої (рис. 1.3), то ця крива називається апроксимацією набору контрольних точок.

Рисунок 1.3 – Апроксимація набору контрольних точок

Методи інтерполяції в основному застосовуються для оцифрування рисунків і завдання шляхів анімації. Методи апроксимації, у свою чергу, широко використовуються в засобах проектування для створення форм об'єктів.

Розглянемо різновиди представлення сплайна (рис. 1.4). Однією з перших кривих сплайнів, розроблених для графічних застосувань, став природний кубічний сплайн. Ця інтерполююча крива являється представлення первинного креслярського сплайна [5].

Основою такого сплайна є інтерполюючий кусково-кубічний поліном із заданою дотичною в кожній контрольній точці. На відміну від природних кубічних сплайнів, їх можна настроювати локально, оскільки кожна ділянка залежить тільки від умов в кінцевих точках.

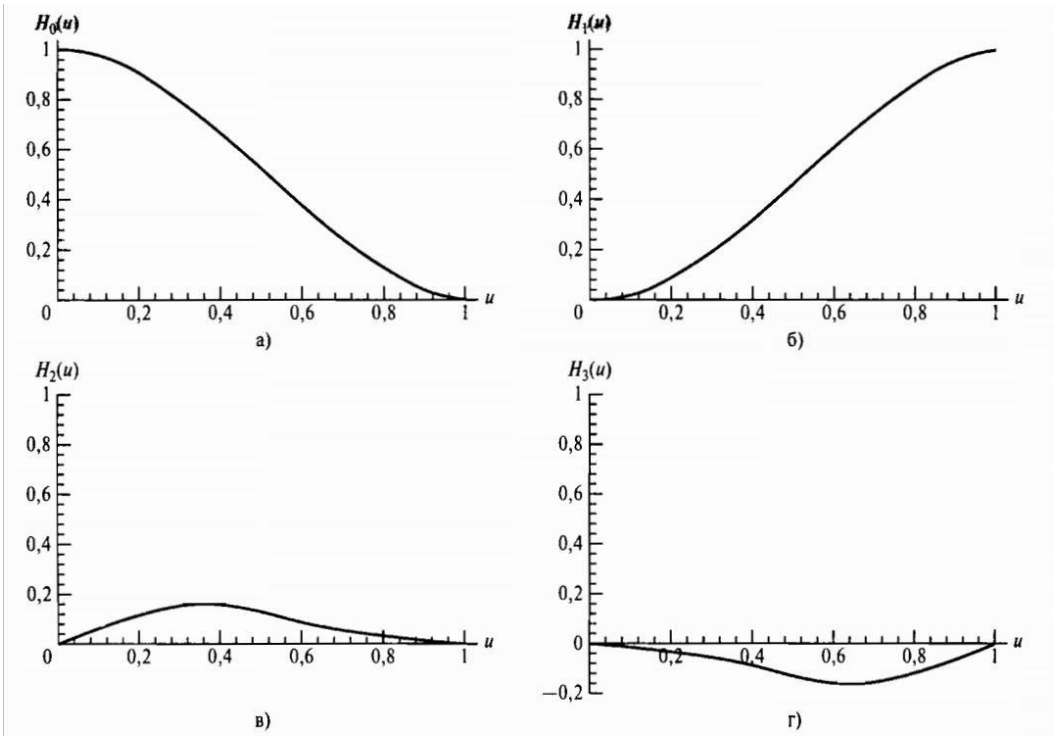

Рисунок 1.4 – Ермитові стикові функції

Корисні означені поліноми Ерміта в тих сферах оцифрування, в яких задавати більшості завдань комп'ютерної графіки корисно генерувати криві сплайнів, не вимагаючи введення значень нахилів кривих або іншої геометричної інформації, відмінної від координат контрольних точок.

Фундаментальні сплайни і сплайни Коханека-Бартелса (Kochaneka-Bartels) є модифікаціями ермітових сплайнів, які не вимагають введення похідних кривих в контрольних точках. У процедурах з використанням цих сплайнів параметричні похідні обчислюються по координатах контрольних точок.

Фундаментальні сплайни – це інтерполюючі кусково-кубічні поліноми із заданими дотичними в кінцевих точках (на межах ділянок кривої).

Сплайни Коханека-Бартелса є розширенням фундаментальних сплайнів. У рівняння умов вводиться два додаткові параметри, визначаючи сплайни Коханека-Бартелса і пропонуючи підвищену гнучкість в налаштуванні форм сегментів кривих. Сплайни Коханека-Бартелса розроблені для моделювання шляхів анімації. Вони дозволяють зімітувати різкі зміни руху об'єкту. Ця зміна

руху використовується в мультиплікації, наприклад, коли анімаційний персонаж швидко зупиняється, міняє напрям або стикається з деяким об'єктом.

Французький інженер Пьер Без'є розробив метод апроксимації сплайнами для використання в проектування кузова автомобіля Рено. Сплайни Без'є мають ряд властивостей, що роблять їх украй корисними і зручними при розробці кривих і поверхонь. Їх дуже легко реалізувати. З цих причин сплайни Без'є широко використовуються в різних системах автоматизованого проектування, а також в універсальних графічних пакетах і в змішаних пакетах малювання і живопису. Ділянка кривий Без'є можна підібрати по будь-якому числу контрольних точок, проте в деяких графічних пакетах число контрольних точок обмежене чотирма. Міра полінома Без'є визначається числом контрольних точок і їх відносним положенням. Також як і для інтерполюючих сплайнів, шлях кривий Без'є можна задати в околиці контрольних точок, використовуючи стикувальні функції, характеристичну матрицю або граничні умови. Для загальних кривих Без'є без обмеження числа контрольних точок найбільш зручним представленням є специфікація стикувальних функцій.

На рисунку 1.5 зображені приклади двовимірні кривих Без'є, згенерованих по трьох, чотирьох і п'яти контрольним точкам. Пунктирні лінії сполучають положення контрольних точок.

Крива Без'є, згенерована трьома контрольними точками, що лежать на одній прямій, є прямим відрізком. Крива Без'є для набору контрольних точок із співпадаючими координатами є однією точкою.

Багато графічних пакетів пропонують тільки функції відображення кубічних сплайнів. Це дає розумну гнучкість проектування, не вимагаючи збільшення розрахунків, необхідних при використанні поліномів вищих порядків. Графіки чотирьох кубічних стикувальних функцій Без'є приведені на рисунку 1.6.

Криві Без'є не допускають локального контролю за формою кривою.

Якщо перемістити будь-яку з контрольних точок, зміниться усе крива.

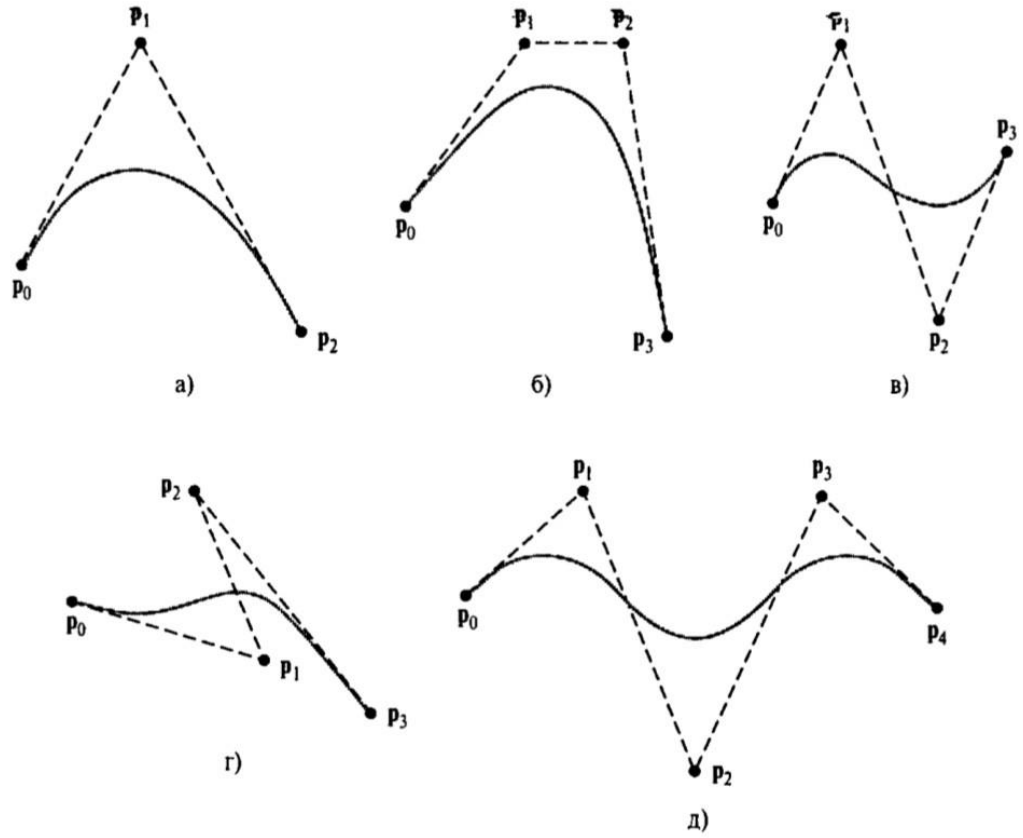

Рисунок 1.5 – Криві Без'є

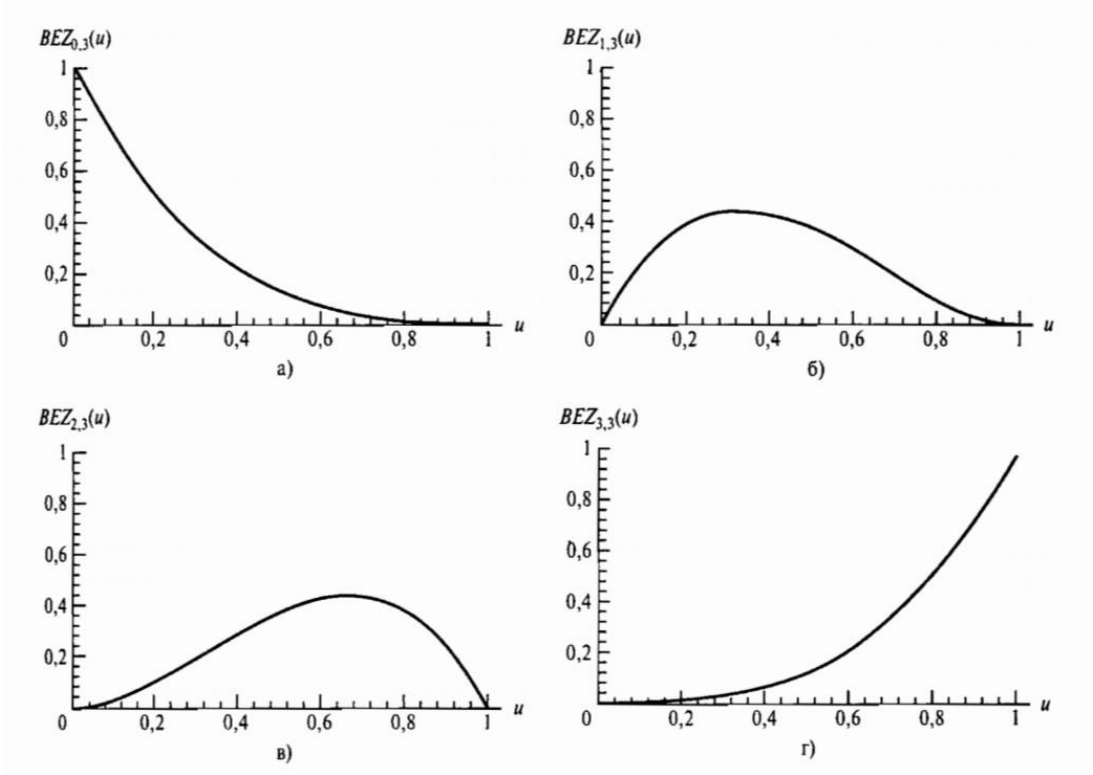

Рисунок 1.6 – Стикові функції Без'є

Набір ортогональних кривих Без'є можна використовувати для проектування поверхні об'єкту. На рисунку 1.7 зображена складна поверхня Без'є, побудована з двох ділянок Без'є, сполучених по вказаній граничній лінії.

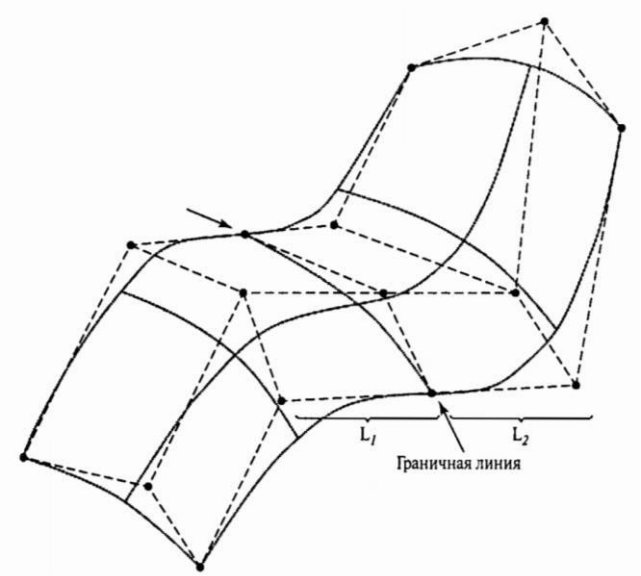

Рисунок 1.7 – Складна поверхня Без'є

Пунктирні лінії сполучають контрольні точки. Безперервність першого порядку, досягається таким чином: стосунки довжини L1 до довжини L2 підтримується постійним для усіх колінеарних ліній контрольних точок уздовж межі ділянок поверхні. Поверхні Без'є мають ті ж властивості що і криві Без'є і вони є зручним засобом в додатках інтерактивного проектування.

Особливо виділяють наступний різновид сплайнів – бі-сплайни. Ця категорія сплайнів є найбільш використовуваною. Функції бі-сплайнів широко застосовуються в системах автоматизованого проектування і багатьох пакетах графічного програмування. Подібно до сплайнів Без'є, бі-сплайни генеруються шляхом апроксимації набору контрольних точок. В той же час бі-сплайни мають дві переваги: по-перше, міру полінома бі-сплайна можна задати незалежно від числа контрольних точок (з певними обмеженнями), во- других, бі-сплайни допускають локальний контроль над формою кривою. Проте через це бі-сплайни складніші в порівнянні із сплайнами Без'є. На рисунку 1.8

зображена локальна модифікація бі-сплайни. Зміни однієї контрольної точки (А) дає криву (Б), яка відрізняється від попередньої тільки в околиці зміненої контрольної точки.

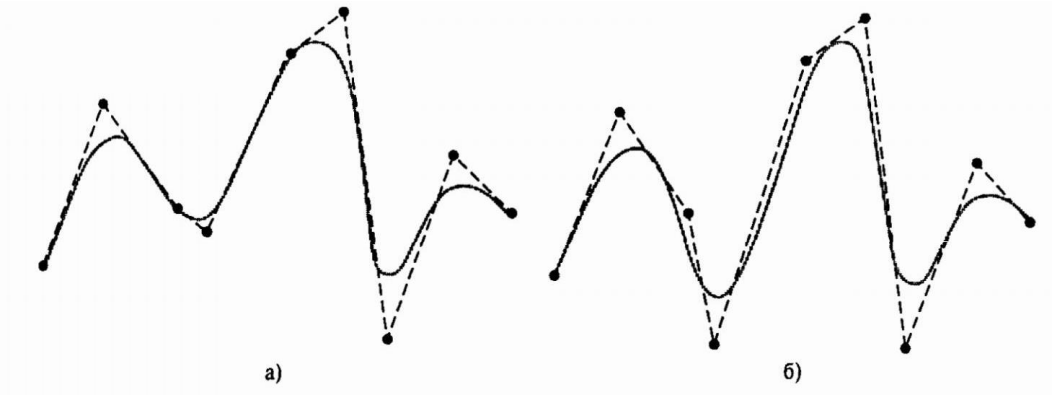

Рисунок 1.8 – Локальна модифікація бі-сплайна

Окрім локального контролю бі-сплайни дозволяють варіювати число контрольних точок, використовуваних в розробці кривій, без зміни міри полінома. Можна збільшити число значень у векторі вузлів, що полегшить проектування кривих.

Формулювання поверхні бі-сплайнами подібне до формулювання сплайнів Без'є. Поверхні бі-сплайнів демонструють ті ж властивості, що й складові їх бі-сплайнів.

Узагальненням би-сплайнів є бета-сплайни (β) які формулюються накладенням умови геометричної безперервності на першу і другу похідні по параметру. Параметри безперервності Бета- сплайнів називаються параметрами β. На рисунку 1.9 зображений вплив параметра β1 на форму бета-сплайна.

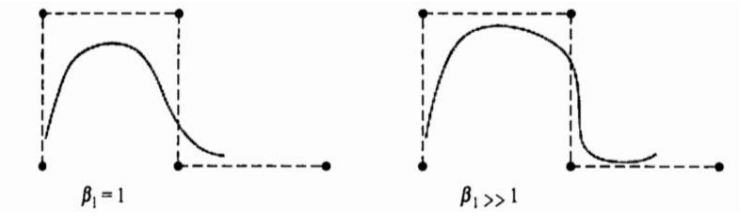

Рисунок 1.9 – Вплив параметра β1 на форму бета-сплайна

Раціональна функція є відношенням двох поліномів. Отже, раціональний сплайн – це відношення двох функцій сплайнів. Раціональні сплайни мають дві важливі переваги перед не раціональними. По-перше, вони точно представляють криві другого порядку, такі як кола і еліпси. Не раціональні сплайни можуть тільки апроксимувати конічні перерізи. Ця можливість дозволяє графічним пакетам моделювати усі форми кривих за допомогою одного представлення (раціональних сплайнів), не вимагаючи для обробки різних форм великої бібліотеки криволінійних функцій. Друга перевага раціональних сплайнів полягає в тому, що вони інваріантні відносно перспективної проекції. Це означає, що перспективне перетворення можна застосовувати до контрольних точок раціональної кривої, що дозволяє отримати правильну проекцію кривої. З іншого боку, не раціональні сплайни, не інваріантні відносно перспективній проекції. Тому зазвичай в проектах графічної розробки для побудови раціональних би-сплайнов використовується нерівномірні представлення вектору вузлів. Ці сплайни називаються "NURBS" (Nonuniform Rational B-splines – нерівномірні раціональні бі-сплайни). Раціональний сплайн можна розцінювати як проекцію чотиривимірного не раціонального сплайна в тривимірний простір.

1.5 Алгоритми згладжування

Різновиди існуючих алгоритмів згладжування поверхонь вказані в таблиці 1.1 [19].

Таблиця 1.1 – Класифікація алгоритмів згладжування поверхонь

Апроксимуючі схеми	**Інтерполюючі схеми**
Catmull – Clark	Butterfly
Doo – Sabin	Midedge
Loop – Hoppe	Kobbelt
Mid – Edge subdivision scheme	Deng – Ma
√3 Subdivision scheme	

Серед розроблених алгоритмів згладжування в цій роботі будуть розглянуті три основних і найвідоміших алгоритму: Дуо-Сабина (Doo – Sabin), Кетмула-Кларка (Catmull – Clark) і алгоритм Лупа-Хоппе (Loop – Hoppe) [18].

Алгоритм Дуо-Сабіна. Цей метод працює на довільних сітках довільної топології і породжує локально b-квадратичну и-сплайн поверхню (виключаючи кінцеве число контрольних точок).

Центри осередків (як середнє вершин) усереднюються з самими вершинами. Ці усереднювання і будуть вершинами в новій сітці. Багатокутники формуються трьох типів:

– багатокутники подібні до початкових зосереджені в центрах початкових багатокутників;

– чотирикутники пов'язані з ребрами початкової сітки;

– багатокутники пов'язані з вершинами початкової сітки.

На рисунку 1.10 показано як змінюється початкова геометрія фігури після використання алгоритму Дуо-Сабіна.

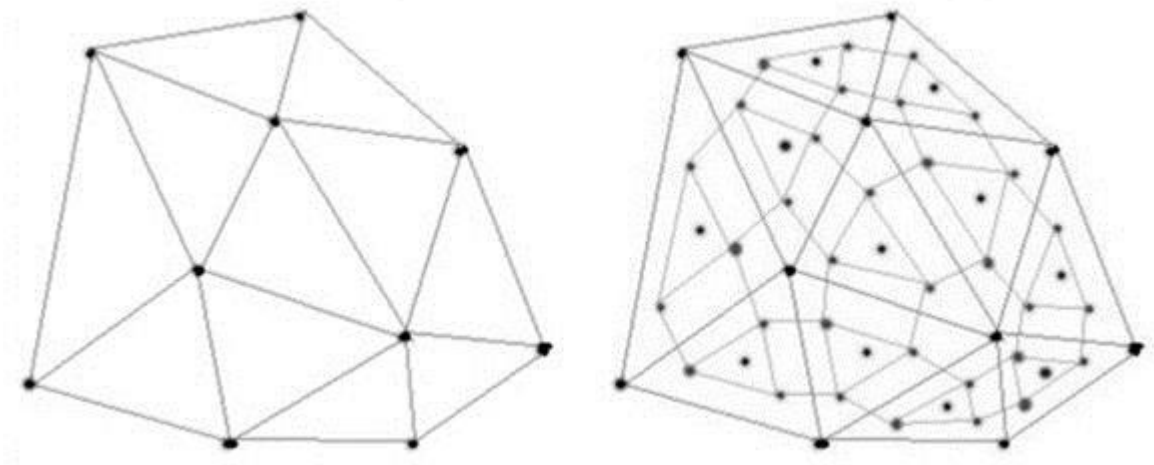

Рисунок 1.10 – Алгоритм Дуо-Сабіна

У схемі Дуо-Сабіна вершина, оточена n гранями, розбивається на n вершин, кожна з яких відповідає одній грані (рис. 1.11).

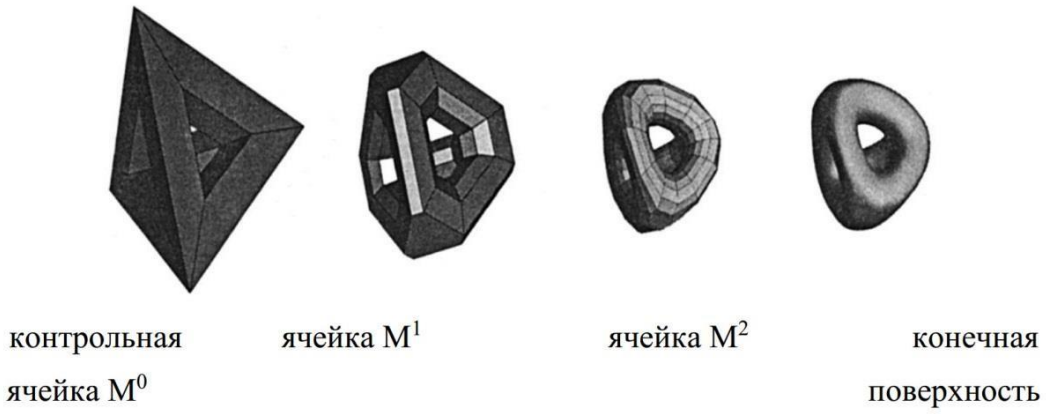

Рисунок 1.11 – Послідовне ділення за схемою Дуо-Сабина

Алгоритм Лупа-Хоппе розроблений Чарльзом Лупом в 1987 році для трикутних сіток. Він працює на сітках з трикутної довільної топології, що породжує локально однорідну квадратичну сплайн поверхня. Методика цього алгоритму полягає в тому, що кожен трикутник розділяється на чотири менших.

Реброві вершини і обурені вершини старої сітки будуть вершинами в новій сітці. Реброві вершини виходять усереднюванням усіх вершин трикутників, прилеглих до ребра. Вершини старої сітки обурюються шляхом їх усереднювання з вершинами трикутників, прилеглих до цієї вершини. Трикутники (по чотири в одному старому) формуються з обурених і реброві вершин.

На рисунку 1.12 Показано як змінюється початкова геометрія фігури після використання алгоритму Лупа-Хоппе.

Алгоритм Кетмула-Кларка. Цей метод працює на довільних сітках довільної топології, генеруючи на кожному кроці сітку з чотирикутників, що породжує локально б-кубическую однорідну б-сплайн поверхня (виключаючи кінцеве число контрольних точок).

Алгоритм Кетмула-Кларка є найбільш широко використовуваним методом, в процесі якого ділення поверхні відбувається в геометричній прогресії [13].

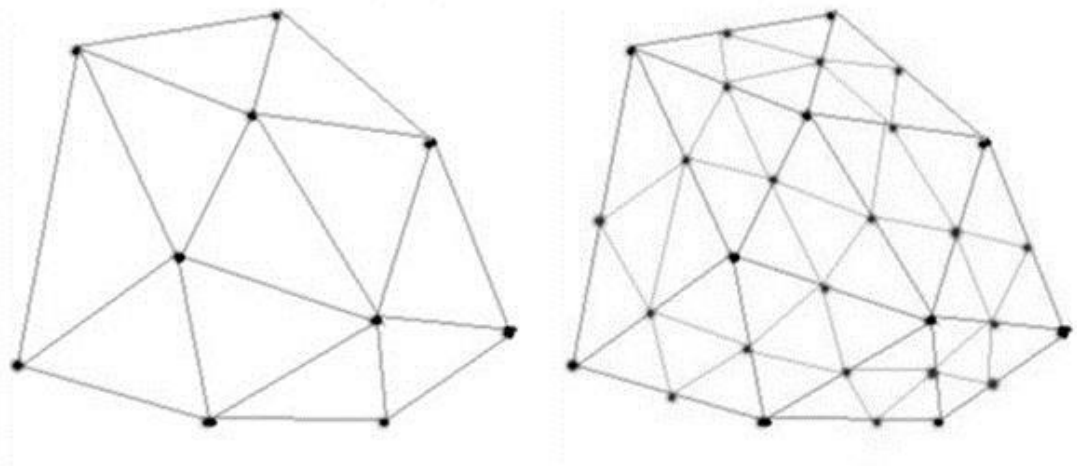

Рисунок 1.12 – Алгоритм Лупа-Хоппе

Центри осередків (як середнє вершин), реброві вершини і обурені вершини старої сітки також будуть вершинами в новій сітці. Реброві вершини створюються усереднюванням центрів осередків і старих вершин, прилеглих до ребра. Вершини старої сітки обурюються шляхом їх усереднювання з центрами осередків і ребрових вершин, прилеглих до цієї вершини. Багатокутники (завжди чотирикутники) формуються з однієї старої вершини – центру осередку.

На рисунку 1.13 Показано як змінюється початкова геометрія фігури після використання алгоритму Кетмула-Кларка.

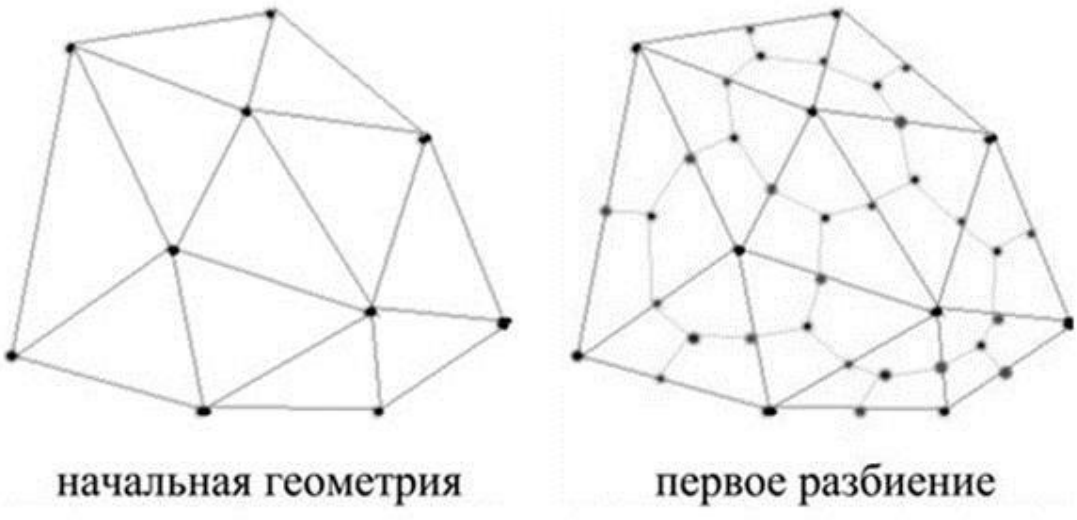

Рисунок 1.13 – Алгоритм Кетмула-Кларка

У статті Кетмула і Кларка описується метод рекурсивної генерації поверхонь, чиї апроксимированные точки лежать на сітці довільної топології. Цей алгоритм широко використовується в комп'ютерній графіці, оскільки Кетмул спочатку розробив його для рендеринга затінених картин із зігнутими поверхнями. Коли ця робота була близька до завершення, Джордж Чайкин описав на семінарі спосіб генерації гладких кривих методом того, що зрізає кутів контрольного полігону. Це підштовхнуло Кетмула до винаходу методу для створення кубічних поверхонь для багатогранних сіток довільної топології. Проте, він не зміг довести, що поверхня буде добре поводитися в усіх точках. Робота Кларка допомогла узагальнити поведінку нових точок на поверхні і створити деякий набір правив для них [8].

Результати цих правил привели до простої непрямокутної топології, показаної на рисунку 1.14. На рисунку зображена оригінальна трикутна область A, до якої надалі буде застосований алгоритм. Результат одноразового застосування зображений на рисунку 1.14 b. Аналогічно, на рисунку під буквами c і d вказані двократне і триразове застосування цього алгоритму.

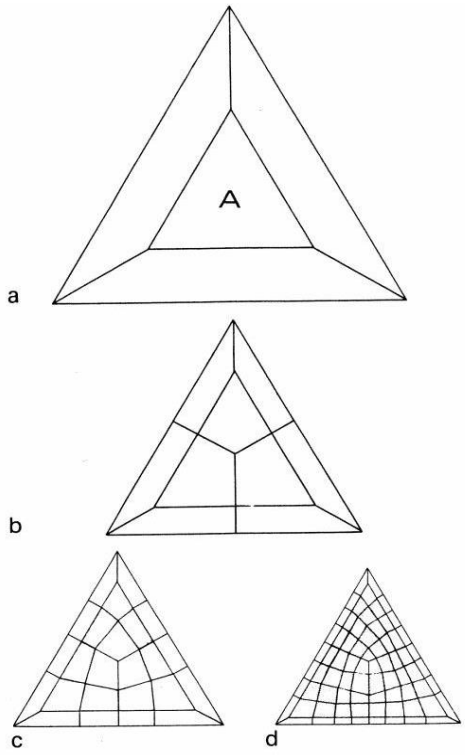

Рисунок 1.14 – Застосування алгоритму Кетмула-Кларка [13]

На рисунку 1.15 представлено порівняння використання різних алгоритмів згладжування на одній і тій же фігурі куба при різних кількостях интераций використання алготирма.

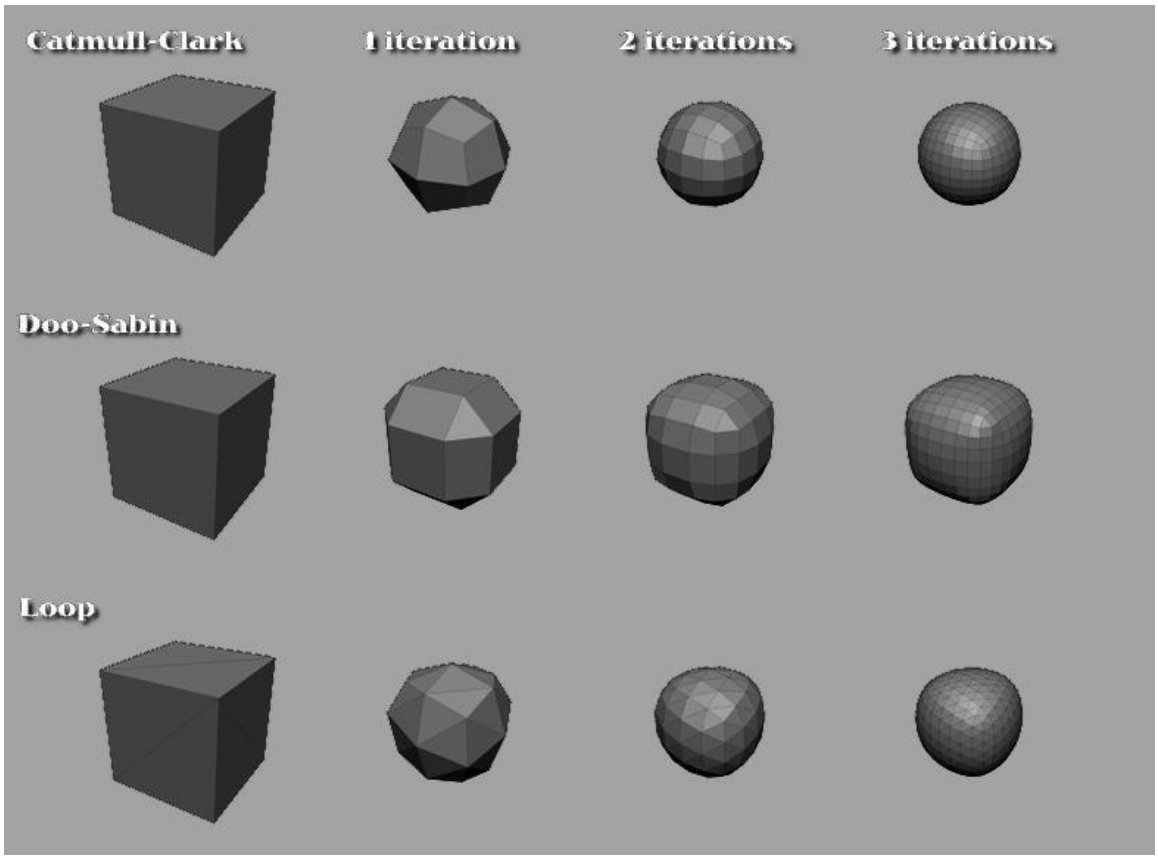

Рисунок 1.15 – Порівняння алгоритмів

Як видно з рисунка, найбільш згладжену форму (в даному випадку – наближенішу до сфери) має фігура, згладжена за допомогою алгоритму Кетмула-Кларка. Інші фігури мають ярковыраженные незграбні форми. Алгоритм Кетмула-Кларка є найбільш ефективним з точки зору обчислень для візуалізації і найбільш застосуємо в комп'ютерній графіці.

1.6 Висновки за розділом

Найкращою програмою для моделювання персонажів, а також для ретопології створених в програмах тривимірного скульптинга моделей, являється програма Blender. Це програмне забезпечення надає найкращу

сумісність з іншими сторонними виробниками 3D пакетів і найбільш широкі можливості при подальшому налаштуванні персонажа (риггинг, текстурування, анімація, рендеринг тощо). Отже, для підготовки моделі персонажа під згладжування краще всього використовувати даний 3D редактор.

Для застосування згладжування в моделюванні персонажів, а також будь-яких моделей, використання яких надалі припускає какую- або анімацію або підготовку до неї, необхідно пам'ятати про правильну топологію сітки.

Для отримання правильних деформацій при згинанні сітки моделі необхідно створювати сітку з чотирикутників. Якщо після згладжування моделі в сітці є присутній трикутники або п'ятикутники (що відбувається при застосуванні алгоритмів дуо-сабина і лупа-хоппе), це може серйозно вплинути на правильність анімації персонажа. Подальше виправлення сітки може зайняти велику кількість часу, що украй небажано.

Таким чином, в згладжуванні моделей персонажів раціональне використання алгоритму Кетмула-Кларка, що дає найкращий результат як в плані побудови правильної топології, так і з точки зору обчислювальної здатності.

2 ЗГЛАДЖУВАННЯ ТРИВИМІРНОЇ МОДЕЛІ ЯК ОСНОВА ЯКІСНОЇ АНІМАЦІЇ

У програмі Blender згладжування об'єктів виконується за допомогою команди Mesh > Smooth. Вибрані полігони можна згладжувати неодноразово, вибираючи кнопки "Згладити" або "Застосувати" у вікні параметрів команди Smooth [12].

Алгоритми згладжуючи, використовувані програмою, діляться на два типи: експоненціальне і лінійне. Дані згладжування однакові, але вони пропонують різні елементи управління для отриманої топології. Наприклад, експоненціальне має можливість підтримувати м'які і тверді ребра, тоді як лінійний метод дозволяє краще контролювати кількість отримуваних поверхонь.

Існує можливість перемикатися між двома методами після того, як об'єкт згладжується шляхом зміни атрибуту "метод" на панелі polySmoothFace.

Також можна міняти число в полі рівнів підрозділу, щоб збільшити або зменшити кількість разів коли Маya виконує операції згладжування. Це збільшує або зменшує гладкість об'єкту. Division Levels повзунка в діапазоні від 1 до 4, але можна вручну ввести значення від 5 і більше в полі Divisions levels. На рисунку 2.1 зображена застосована операція згладжування до вибраних полігонів з різними интерациями.

Рисунок 2.1 – Згладжування полігонів

Список налаштування Subdivision type дозволяє вибрати алгоритм, який використовується для згладжування сітки. У Blender 2017 існують наступні типи алгоритму: Blender Catmull-Clark, OpenSubdiv Catmull-Clark і OpenSubdiv Catmull-Clark Adaptive. За умовчанням згладжування граней сітки виходитиме за допомогою бібліотеки OpenSubdiv.

Згладжування додаванням багатокутників є найбільш універсальним і використовуваною версією згладжування, оскільки він фактично додає багатокутники до існуючої сітки, але одночасно істотно знижує продуктивність. На рисунку 2.2 зображена голова персонажа повністю згладжена командою smooth (ліворуч) і частково в області вибраних полігонів (справа). Сітка частенько (але не завжди) має бути згладжені для фінального рендеринга і анімації, але застосувати фактичне згладжування краще у кінці процесу моделювання, наскільки це можливо. До цього, краще покладатися на менш витратні, з точки зору продуктивності, методи.

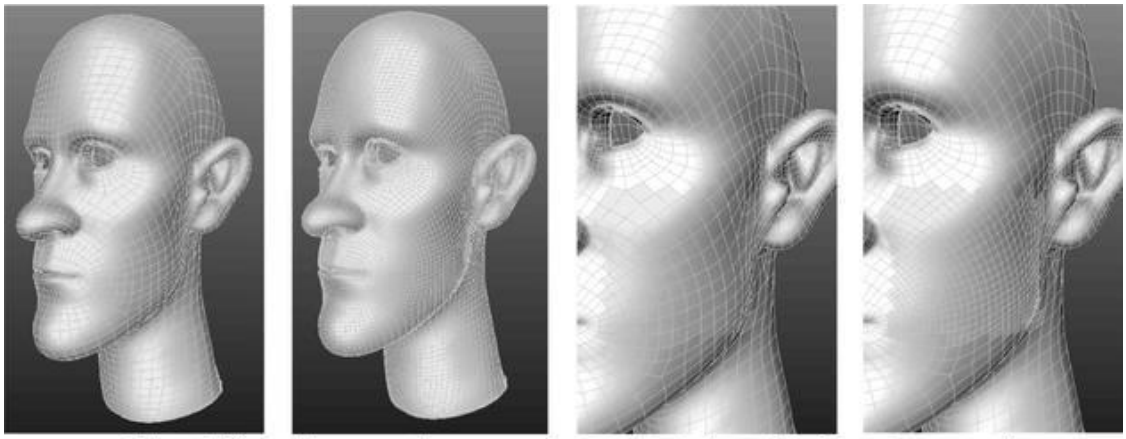

Рисунок 2.2 – Згладжування персонажа

2.1 Порівняння програмних алгоритмів згладжування

OpenSubdiv є методом підрозділу з відкритим початковим кодом, розробленим компанією Pixar. Компанія опублікувала початковий код бібліотек OpenSubDiv, і пообіцяла, що дозволить вільне ліцензування деяких своїх патентів, щоб будь-який охочий міг без проблем використовувати цю розробку.

Програма Open SubDiv здійснює детальний рендеринг поверхонь (subdivision surface) на основі зменшених моделей. На рис. 2.3 показана модель (справа) і результат рендеринга за допомогою Open SubDiv (ліворуч) [17].

Програма оптимізована для високопродуктивної роботи паралельними потоками на CPU (central processing unit) і GPU (graphics processing unit). Основна функція GPU – рендеринг 3D графіків і візуальних ефектів.

OpenSubdiv дозволяє працювати з високою точністю представлення моделі. Як професійний стандарт в індустрії анімації, OpenSubdiv реалізована в різних пакетах програмного забезпечення, що покращує взаємодію при передачі моделі між додатками. У Blender, OpenSubdiv є методом підрозділу за умовчанням при попередньому перегляді згладженої сітки, при згладжуванні сітки з використанням Mesh> Smooth, або створенням Subdiv Proxy.

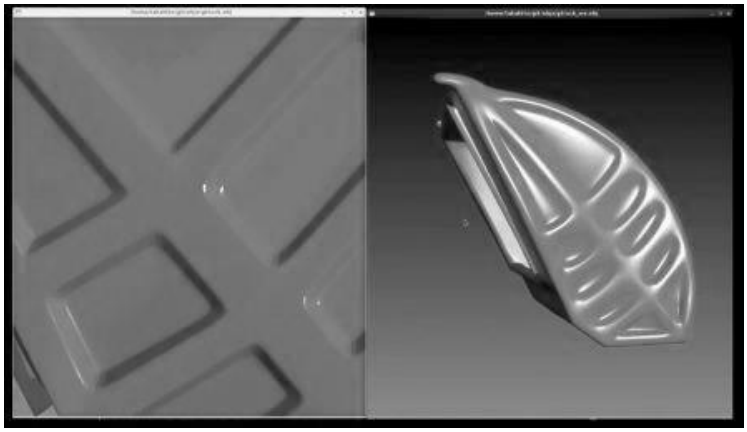

Рисунок 2.3 –Open Subdiv

OpenSubdiv є поліпшеною альтернативою традиційної Blender Catmull – Clark методу підрозділу. Наприклад, OpenSubidv скористався перевагою паралельних графічних і центральних процесорів, для підвищення продуктивності перегляду сеткок з високим рівнем підрозділу. Крім того, можна включити перегляд переміщення в OpenSubdiv Catmull – Clark Controls для візуалізації переміщення карти в інтерактивному режимі без необхідності рендеринга. Open SubDiv – це реалізація Catmull – Clark subdivision surface з швидким апаратно-прискореним діленням геометрії.

Передперегляд згладженої сітки (Smooth Mesh Preview) дозволяє швидко і легко побачити, як полігональна сітка виглядатиме після згладжування. Існує можливість швидкого перемикання між різними режимами передперегляду, натиснувши клавіші 1, 2 або 3 при виділеному об'єкті. За умовчанням, передперегляд згладженої сітки використовує OpenSubdiv Catmull – Clark.

За умовчанням, згладжений передперегляд вимкнений. При включеному передперегляді згладженої сітки є можливість відобразити оригінальну сітку одночасно із згладженою (Cage + Smooth Mesh display mode). Режими гарячих клавіш зображені на рисунку 2.4.

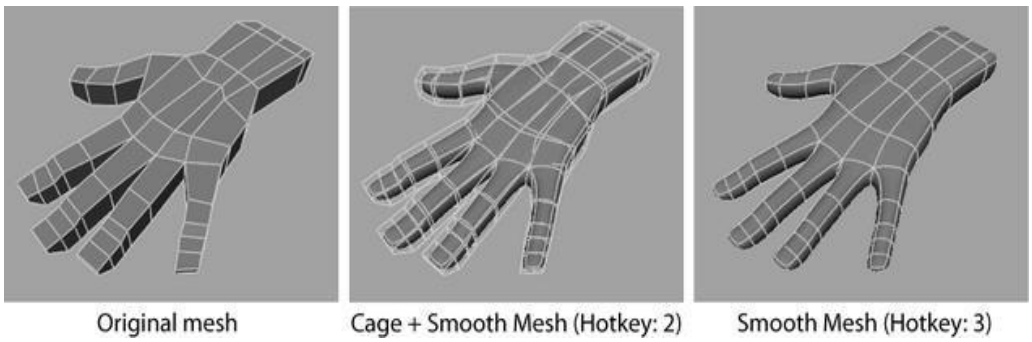

Рисунок 2.4 – Згладжування

Цей режим ідеально підходить для попереднього налаштування сітки до фінального виду згладженої сітки, оскільки яка-небудь зміна в початковій сітці автоматично оновлюватиме перегляд згладжування. Проте слід пам'ятати, що гладка сітка передперегляду змінює тільки відображення сітки, щоб дозволити вам візуалізувати те, як вона виглядатиме, коли згладиться. Початкова сітка не змінюється і не згладжується. Наприклад, якщо включений передперегляд згладженої сітки, вона відобразиться у своїй первинному нерівному стані при візуалізації зображення. Якщо необхідно, щоб сітка з'явиться згладженою у візуалізації, можна перетворити її в повністю згладжену сітку або створити subdiv proxy з передперегляду згладженої сітки.

Метод згладжування Subdiv Proxy згладжує вибрану сітку шляхом додавання полігонів і розміщення її в оригінальній, незгладженій сітці (Proxy – проксі) [12].

При створенні Subdiv проксі, згладжені і оригінальні версії сітки можуть відображуватися одночасно. За умовчанням, оригінальна сітка з'являється частково прозорою, так що існує можливість проглянути згладжену сітку під нею (рис. 2.5).

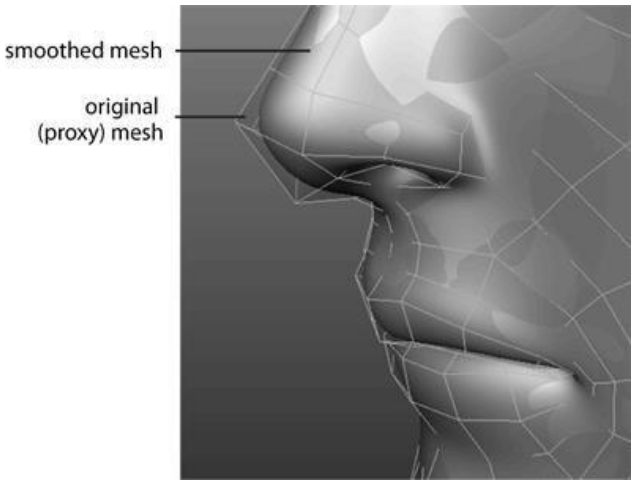

Рисунок 2.5 – Subdiv Proxy

Сітки пов'язані їх історією побудови, тому будь-які зміни, які вносяться у форму або топології проксі-сервера також відбивається на згладженій версії сітки. Можна змінити і оживити оригінальну сітку (Проксі-сервер) і побачити результати на згладженій сітці.

На відміну від згладженої сітки попереднього перегляду, який виходить при використанні Smooth Mesh Preview, версія Subdiv Proxy повністю визуализируема бути використовувана для скиннинга і розподілу вагів для анімації. Subdiv Proxy також дозволяє працювати з сітками в дзеркальному режимі. Можна змінити оригінальну сітку на одній половині об'єкту і побачити зміни, відбиті на протилежній, згладженій половині моделі.

За умовчанням, Subdiv Proxy використовує метод підрозділ OpenSubdiv Catmull – Clark, яка застосовує єдину схему підрозділу полігонів сітки.

Subdivion Surface (підрозділ поверхні) дозволяє розділити на певні регіони сітку, що дає можливість точно натягнути або розгладити певну область, не міняючи усю сітку [17].

Цей метод допомагає зберегти малу кількість полігонів, тому що він додає контрольні точки лише там, де вони потрібні (замість того, щоб рівномірно розподілити їх по усій сітці). Проте, підрозділ поверхонь мають найнижчу продуктивність з усіх існуючих методів згладжування.

Subdivion Surface досить погано підтримується в інших графічних редакторах. Отже, щоб уникнути проблем, необхідно перетворити модель в полігони або NURBS перед експортом в ці застосування. Існує можливість конвертувати за допомогою команди Modify> Convert Subdiv to Polygons або Modify > Convert Subdiv to NURBS.

Усереднювання вершин проводиться за рахунок збільшення відстані між вершинами з використанням команди Edit Mesh > Average Vertices. Команда розгладжує сітку, зберігаючи при цьому незмінним її кількість полігонів. Воно усереднює значення існуючих вершин, щоб виробити гладшу поверхню без зміни поточної топології [8].

Часто в ході створення згладженої сітки необхідно зробити деякі ребра жорсткішими, ніж інші. Для цього існує два способи: додавання в первинну геометрію додаткових ребер або використання інструменту crease tool [12].

Перший спосіб має на увазі застосування інструменту insert edge loop tool. Цей спосіб проілюстрований на рисунку 2.6 (ліворуч зображений первинний згладжений циліндр). Головним його мінусом є створення додаткової геометрії, що обважнює модель і утрудняє її прорахунок.

Альтернативним методом, який не створює додаткової геометрії являється Crease (рис. 2.7).

Crease Method – метод, що визначає спосіб інтерполяції граничних ребер та вершин. Він розділяється на два види: Normal (застосований за умовчанням) – не дає згладжування; і Chaikin – метод, що інтерполює гостроту ребер. Після згладжування кромки, гострота отримуваних ребер визначається за допомогою алгоритму підрозділу Кривої Чайкина, яка виробляє напівгострі заломи. Цей метод покращує зовнішній вигляд мульти- краю згину з різних сторін ребер.

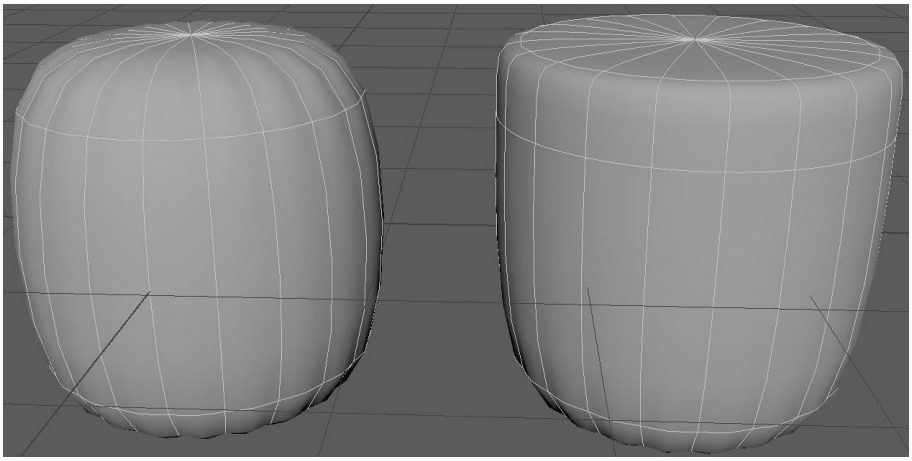

Рисунок 2.6 – Insert edge loop

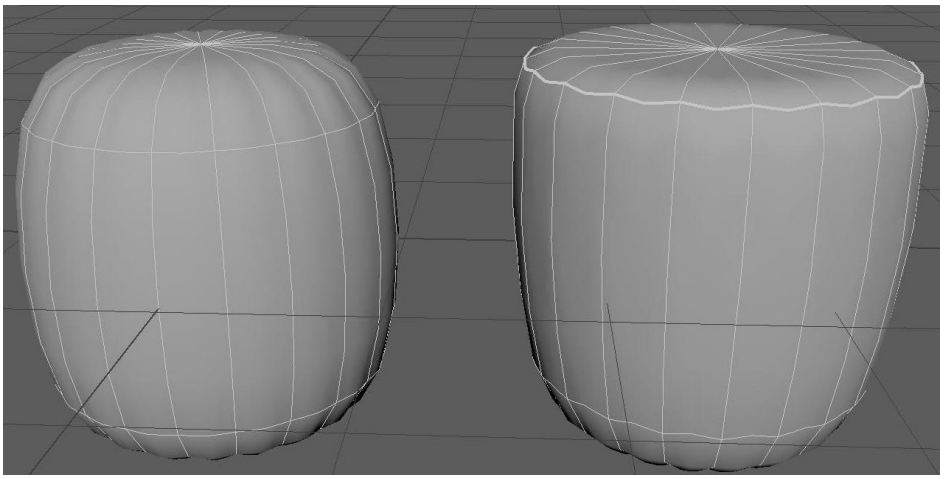

Рисунок 2.7 – Crease Method

У меню моделювання, вибирається Mesh Tools>Crease>, щоб відкрити опції інструменту згладжування. Існує можливість вибору між методами: абсолютним, залежним і вибірковим.

Абсолютний метод полягає в тому, що згладжування відбувається на ту ж кількість м'ятої, що і існуючі згладжені ребра або вершини. Це параметр за умовчанням. Значення складки може варіюватися між 0 і 7. Значення 7 вказує на повністю згладжений компонент.

Згладжування на декілька ребер і вершин зберігається відносно один одного при відносному методі інструменту. Використовується цей параметр, треба зберегти вже існуючі згладженій на сітці і треба збільшити або зменшити кількість складок в цілому.

Вибірковий метод поширюватися на згладжені компоненти, автоматично подовжується на будь-які заломи, які підключаються до вибору. Це дозволяє економити зусилля, щоб виділити усі складки окремо.

Crease edges – інструмент для згладжування ребер. Continuity – значення, що визначає міру гладкості (рис. 2.8).

Рисунок 2.8 –Crease edges

Hard edges – функція, яка зберігає властивості існуючого твердого або пом'якшеними ребра. Якщо була змінена твердість або м'якість ребер, то при включенні цієї опції, параметри залишаться незмінними.

Команда Windows > Relationship Editors > Crease Sets дозволяє створювати і управляти наборами деформації ребер (рис. 2.9).

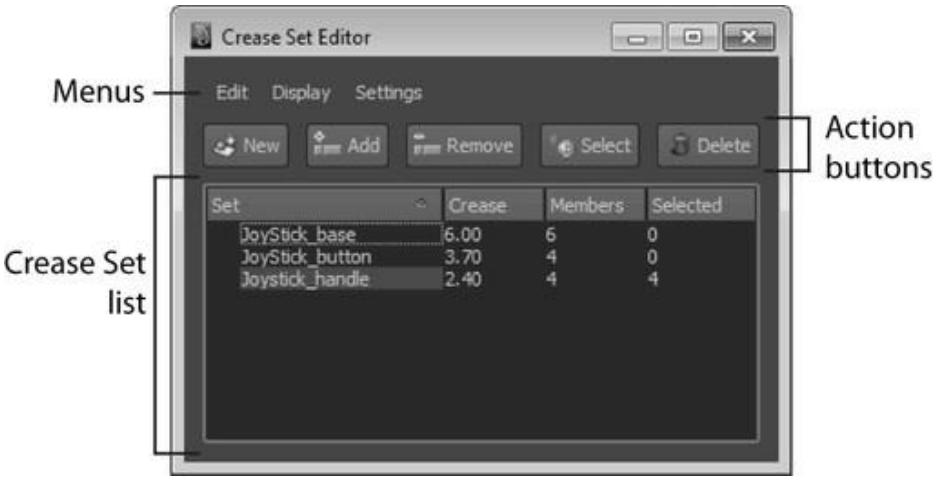

Рисунок 2.9 – Вікно команди Crease Set Editor

2.2 Висновки за розділом

У цій главі були розглянуті існуючі способи згладжування сітки, доступні в програмному пакеті Blender. Основні методи, їх достоїнства і недоліки, а також сфери застосування зведені в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняльна таблиця методів згладжування сітки

Метод згладжування	**Переваги**	**Недоліки**	**Використання**
Mesh>Smooth	Дозволяє збільшити щільність сітки саме там, де це необхідно	Збільшення кількості полігонів шляхом додаткового підрозбиття	При фінальних доопрацюваннях моделі на останній стадії моделювання
	Використовує алгоритм OpenSubdiv Catmull – Clark		Необхідність створення реалістичної моделі з високою кількістю полігонів
Smooth Mesh Preview	Не створює додаткової геометрії	Не може бути згладжена лінійно	Для передперегляду операцій згладжування
	Використовує алгоритм OpenSubdiv Catmull – Clark	Викликає утруднення при отзеркаливании моделі	Для передперегляду згладженої сітки при зміні елементів незгладженій моделі
		Не може стикатися з частками	
Subdiv Proxy	Дозволяє згладжувати лінійно	Збільшення кількості полігонів	Для передперегляду лінійного згладжування
	Просто використовувати отзеркаливание моделі		Для перегляду зіштовхування часток із згладженим об'єктом
	Може використовуватися при зіштовхуванні з частками		Отзеркаливание гладкого об'єкту
	Використовує алгоритм OpenSubdiv Catmull – Clark		
Згладжування збільшенням расстрояния між вершинами	Зберігає кількість полігонів	Менш гнучкий, оскільки ипользуются тільки вже існуючі вершини	При строгому обмеженні у кількості полігонів
			Нерівномірність сітки не є строгим критерієм
Subdivion Surface	Дозволяє збільшувати деталізацію тільки в тих областях, в яких це необхідно	Повільна продуктивність	Для тих моделей, які не використовуються при анімації і побудові скелетів
	Дозволяє впливати на різних рівнях деталізації	Погана підтримка сторонніми застосуваннями при експорті	При моделюванні з метою перетворення в NURBS

3 РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПІДГОТОВКИ МОДЕЛІ ПІД ЗГЛАДЖУВАННЯ

На основі досліджень, проведених в попередніх главах, були виявлені критерії, що являються найбільш значущі при розробці моделі персонажа. Ці критерії а також обумовлення їх вибору перераховані в цій главі.

До початку процесу моделювання персонажа необхідно визначитися з сферою його застосування. Важливо, чи буде модель анімована, чи потрібний їй скелет. На сьогодні практично усі моделі після створення виставляються в певну позу.

Також необхідно знати, чи треба прораховувати зіштовхування часток із згладженою моделлю.

Моделювання персонажа можна розділити на наступні стадії:

– моделювання незгладженої поверхні або її імпорт із сторонніх програм і ретопологія сітки;

– редагування сітки моделі;

– отримання фінального зображення (рендеринг) або експорт моделі.

З усіх існуючих способів, перерахованих в таблиці 1, у своїй методиці я не враховую Subdivion Surface і згладжування збільшенням відстані між вершинами. Вони мають досить значні недоліки.

Subdivion Surface не застосовно для моделей персонажів, яким потім створюється скелет, отже, немає можливості використовувати персонаж в анімації і виставлянні його в позу. Це є великим недоліком. Проблеми при експорті і повільна продуктивність також є мінусами цього способу.

Згладжування збільшенням відстані між вершинами також не розглядається в моїй методиці, оскільки призводить до нерівномірності сітки і витрачає велику кількість часу моделлера для редагування.

3.1 Згладжування на етапі моделюванні сітки

При створенні моделі в програмному пакеті Blender, а також ретопології сітки імпортованих моделей зручно дивитися на згладжену модель і редагувати незгладжену.

Такі можливості можна дістати двома способами: використовуючи Smooth Mesh Preview (режим передперегляду згладженої сітки) або використовуючи Subdiv Proxy. При полігональному моделюванні персонажа в програмі Blender (наприклад, створення моделі з куба) зручніше використовувати метод згладжування Subdiv Proxy, оскільки він дає можливість одночасно переглядати згладжену модель і редагувати первинну, а також цей метод зручний при отзеркаливании моделі. Саме отзеркаливание складає трудність при використанні Smooth Mesh Preview.

Проте при імпорті моделі, наприклад, з програм тривимірного скульптинга, ретопологія створюється на одній стороні моделі, і важливо бачити згладжений результат для розуміння правильності побудови сітки. Інструменти ретопології дозволяють при редагуванні використовувати Smooth Mesh Preview, що є зручним і швидким способом передперегляду згладженої моделі.

Проте, метод під назвою Smooth Proxy в середовищі програми є досить застарілим. Smooth Mesh Preview замінив Smooth Proxy. Його перевагами є найбільш точне предствление моделі перед її згладжуванням. А також швидкодія системи при використанні команди. Не менш важливим чинником є можливість швидкого перемикання перегляду від незгладженої до згладженої моделі за допомогою використання гарячих клавіш.

Таким чином, в цій методиці пропонується використовувати саме Smooth Mesh Preview як при створенні моделі в програмному середовищі Blender, так і при редагуванні моделей після їх імпорту в цю програму.

Створення персонажа в програмному пакеті Blender має безліч способів. Один з найбільш популярних полягає в полігональному моделюванні складного об'єкту з простого куба. Як референсов використовуються площини з

рисунками фінального об'єкту (анфас і профіль). Цей метод заснований на побудові моделі з мінімальною кількістю полігонів [3].

3.2 Згладжування на етапах експорту й рендерінгу

Для отримання зображення, необхідно, щоб згладжена сітка була видна на рендері. Не усі рендери підтримують Smooth Mesh Preview, тому частенько, його необхідно конвертувати в полігони. Цей метод полягає в згладжуванні сітки командою Modify > Convert > Smooth Mesh Preview to Polygons (або командою Mesh>Smooth).

Якщо ж як рендера використовується Mental Ray або Arnold, то конвертацію сітки не потрібно. Smooth Mesh Preview буде видний при візуалізації. Візуалізація Arnold використовується безліччю компаній в областях від спецефектів до анімації і архітектури [5].

При використанні рендера Blender Software згладжений куб за допомогою Smooth Mesh Preview не відображується згладженим після прорахунку картинки (рис. 3.1). Те ж саме відбувається при використанні такої візуалізації як Vray, Turtle. Проте, при використанні таких рендеров як Blender Hardware і Arnold, можна помітити, що Smooth Mesh Preview відображується при рендеринге зображення (рис. 3.2).

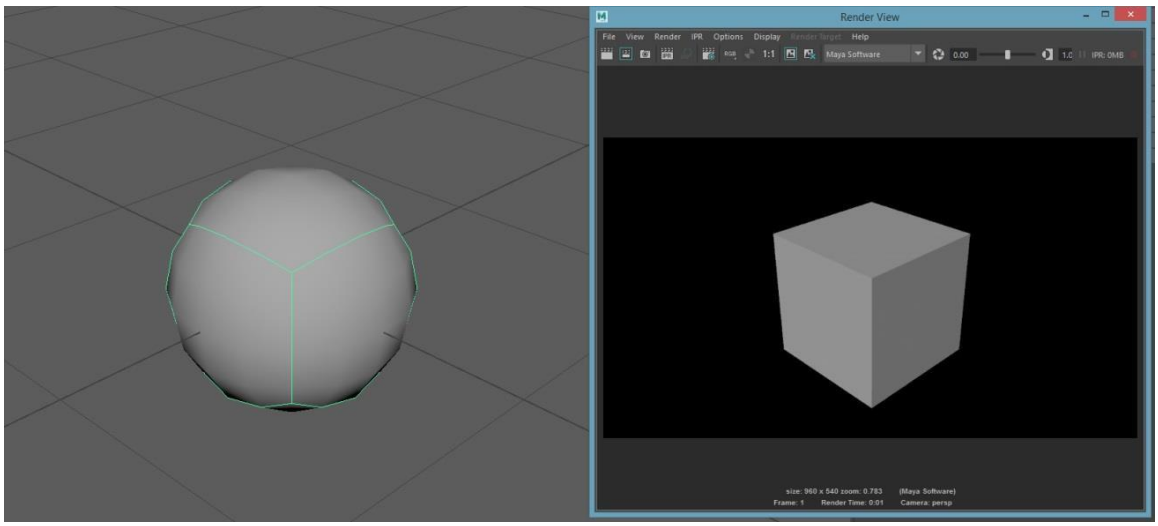

Рисунок 3.1 – Рендер за допомогою Blender Software

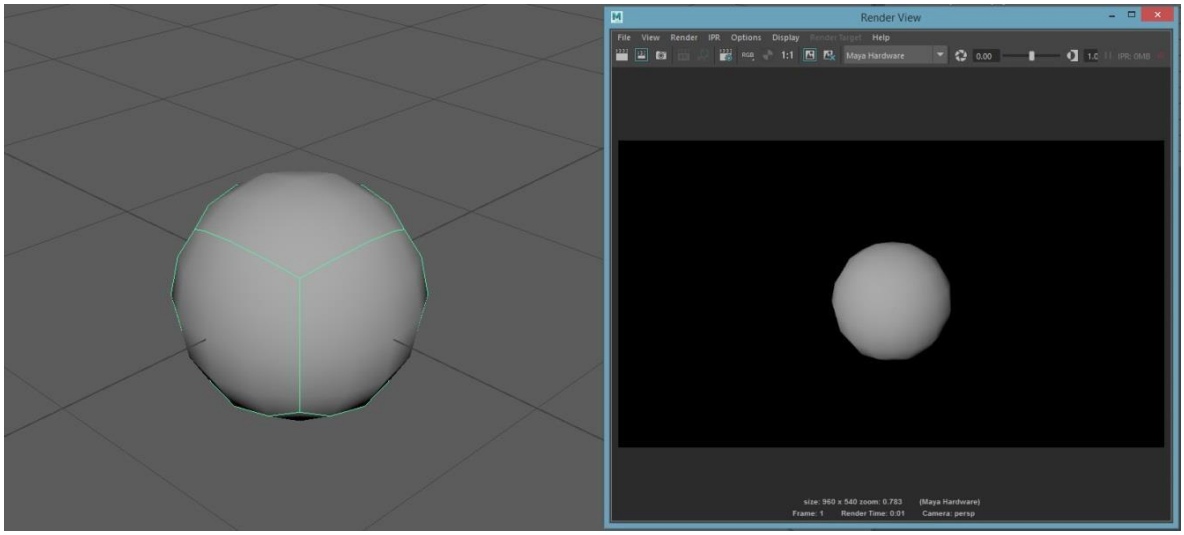

Рисунок 3.2 – Рендер за допомогою Blender Hardware

Також існує проблема при експорті моделі в стронние графічні редактори. Наприклад, щоб текстурувати модель при видимому її об'ємі (малювання кистями прямо по поверхні тривимірного об'єкту), частенько використовують програму Foundry Mari або Mudbox. Модель має бути згладженою заздалегідь за допомогою конвертації Smooth Mesh Preview в полігони або команди Mesh>Smooth.

При застосуванні цієї команди можна побачити наступні налаштування, як вказано на рисунку 3.3 (налаштування експоненціального згладжування) і рисунку 3.4 (налаштування лінійного згладжування).

У налаштуваннях експоненціального згладжування параметр Division levels відповідає за чисто интераций застосування згладжування. Чим вище значення, тим більше гладким буде об'єкт, проте, при цьому зменшиться продуктивність через велику кількість полігонів.

Subdivision type дозволяє вибрати алгоритм для згладжування сітки. Найбільш зручний і продуктивний спосіб з них – це OpenSubdiv Catmull – Clark. Рекомендується використовувати саме цей алгоритм.

Метод лінійного згладжування дає великі можливості над кількістю отримуваних граней. Параметр Division levels відповідає за кількість ітерацій згладжування. Divisions per face збільшує число граней з меншим кроком, що дозволяє досягти балансу гладкості при малій кількості полігонів.

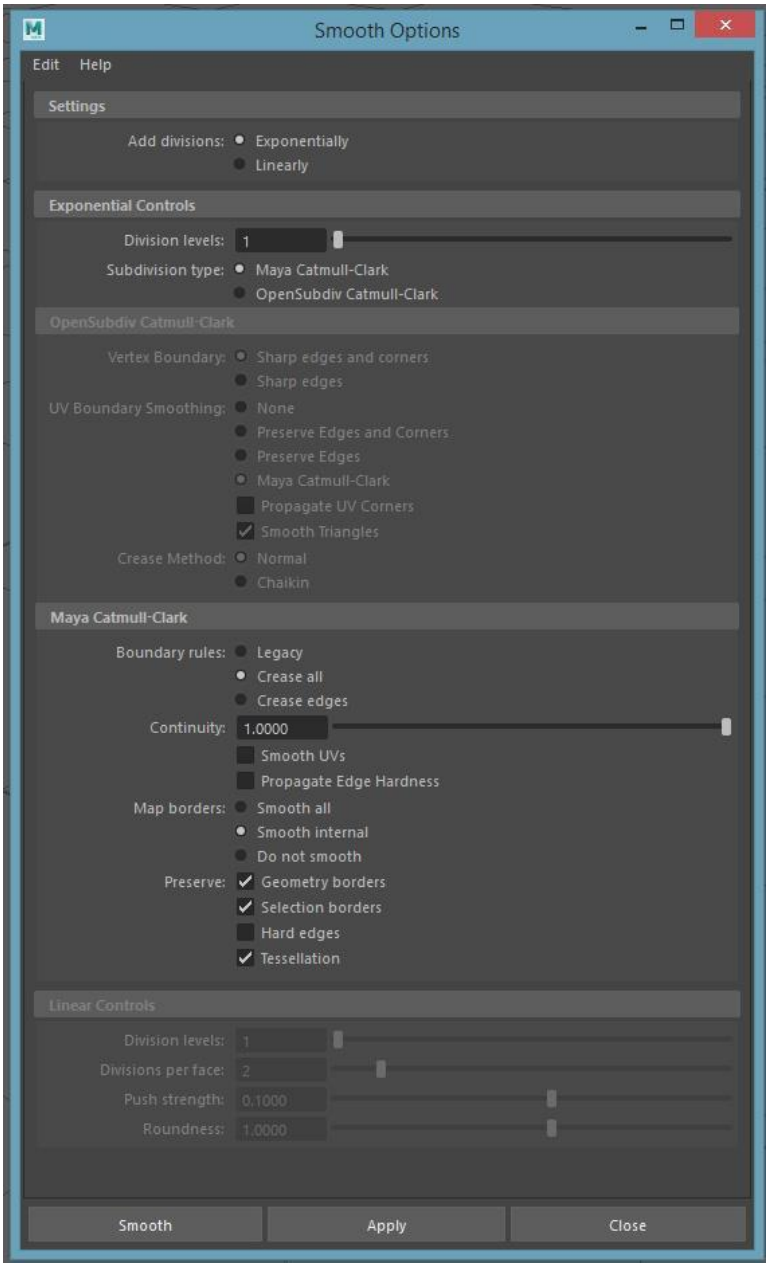

Рисунок 3.3 – Вікно налаштувань експоненціального згладжування

Push strength управляє загальним об'ємом згладженої сітки. Але умовчанню, цей параметр дорівнює одиниці, при його підвищенні відбувається масштабування сітки назовні. Аналогічно, при значеннях, менших одиниці, відбувається масштабування сітки у зворотний бік. Параметр Roundness створює опуклість на поверхні шляхом масштабування вершин навколо центру оригінальних граней. Масштабування відбувається назовні при вищих значеннях, і усередину при низьких.

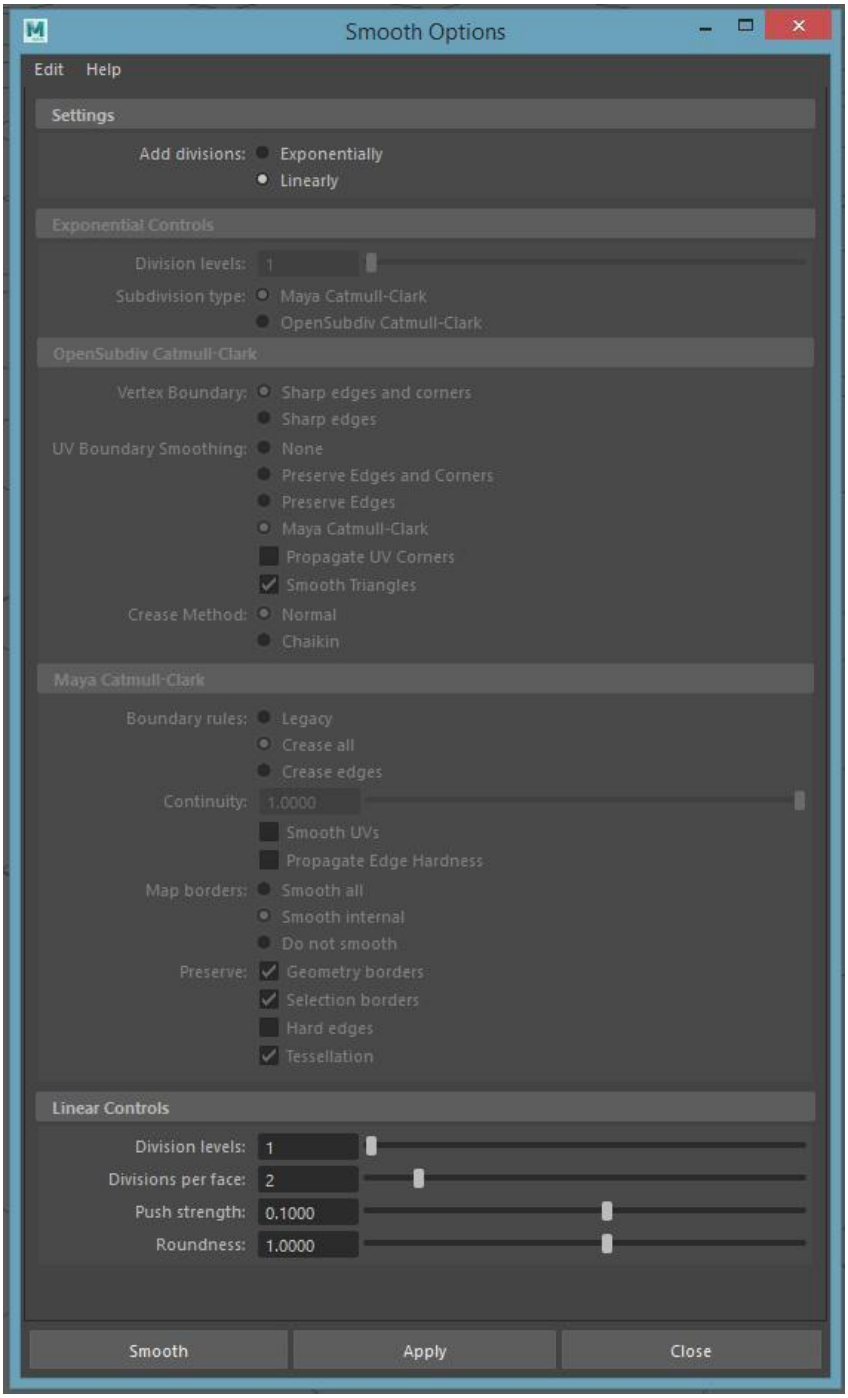

Рисунок 3.4 – Вікно налаштувань лінійного згладжування.

На підставі досліджень, проведених в розділі, в розроблюваному методі рекомендується використовувати експоненціальне згладжування за допомогою алгоритму OpenSubdiv Catmull – Clark.

Якщо ж експорту моделі не передбачається, то зручніше користуватися Smooth Mesh Preview для найкращої швидкодії і візуального результату. Але в цьому випадку варто пам'ятати про ті рендерах, які підтримують цей режим.

Для редагування окремих ребер при згладжуванні слід використовувати інструмент Crease tool. Як було сказано в главі 3, цей інструмент здатний регулювати жорсткість ребер без створення додаткової геометрії.

3.3 Висновки за розділом:

В розділі виведені рекомендації щодо використання можливостей програми Blender для підготовки моделей персонажа під згладжування.

Ці рекомендації складають методику, застосування якої полегшить процес отримання згладжених моделей при візуалізації.

Основні етапи створення моделі представлені графічно на рисунку 3.5.

Рисунок 3.5 – Основні етапи створення моделі

Короткий опис створеної методики:

– створення моделі персонажа з правильною топологією сітки або імпорт моделі і наступна ретопологія;

– використання Smooth Mesh Preview для редагування моделі;

– коригування жорсткості ребер за допомогою інструменту Crease tool;

– отримання зображення за допомогою рендеров, підтримувальних Smooth Mesh Preview. Якщо потрібний рендер не підтримує Smooth Mesh Preview, то застосувати згладжування командою Mesh>Smooth, використовуючи експоненціальний алгоритм;

– за необхідності експорту моделі – застосувати згладжування командою Mesh>Smooth, використовуючи експоненціальний алгоритм.

4 ПРАКТИЧНА АПРОБАЦІЯ МЕТОДИКИ

Застосування власної методики підготовки моделі персонажа під згладжування буде розглянуто в цьому розділі на прикладі, створеному в програмному пакеті Blender. Сцена включає головного персонажа – троля, створеного за мотивами скандинавських міфів, а також оточення, що розкриває характер сцени і головного героя.

Першим пунктом є створення персонажа з правильною сіткою. Як було сказано в попередніх главах, правильна топологія – це гарантія правильних деформацій при наступній анімації персонажа. Також саме сітка з правильною топологією при згладжуванні не дасть ніяких непередбачуваних і невірних результатів.

Таким чином, при моделюванні необхідно користуватися наступними рекомендаціями:

– мінімальна кількість полігонів. На початковому етапі треба створювати модель з найменшою кількістю полігонів, поступово деталізуючи її. Сітка повинна мати впізнанну форму задуманого персонажа при найменшій кількості використовуваних полігонів. Велика кількість полігонів призводить до складного редагування, утруднення подальших прорахунків сітки і довгому рендерингу;

– чотирикутні полігони. Полігони повинні мати чотирикутну форму і бути наближеними до квадратів. Трикутники і п'ятикутники призводять до неправильних трансформацій сітки, що неприпустимо при анімації або виставлянні пози персонажа. Витягнута форма чотирикутників може також спотворити створений об'єкт;

– полігони повторюють м'язи. Полігони необхідно пускати по напряму основних груп м'язів. Це дає можливість правильно анімувати персонаж надалі використовувати міміку і спотворення м'язів при певних зусиллях. Таким чином, існує можливість наблизити свою модель до реальності.

На рисунку 4.1 показано як кільця з полігонів оточують отвори очей, рота, носа, а також йдуть навколо вух і шиї. Ця побудова спрощує можливість коригування сітки і її деталізацію (наприклад, можна додати грань за допомогою інструменту edge loop, не псуючи при цьому чотирикутну структуру сітки).

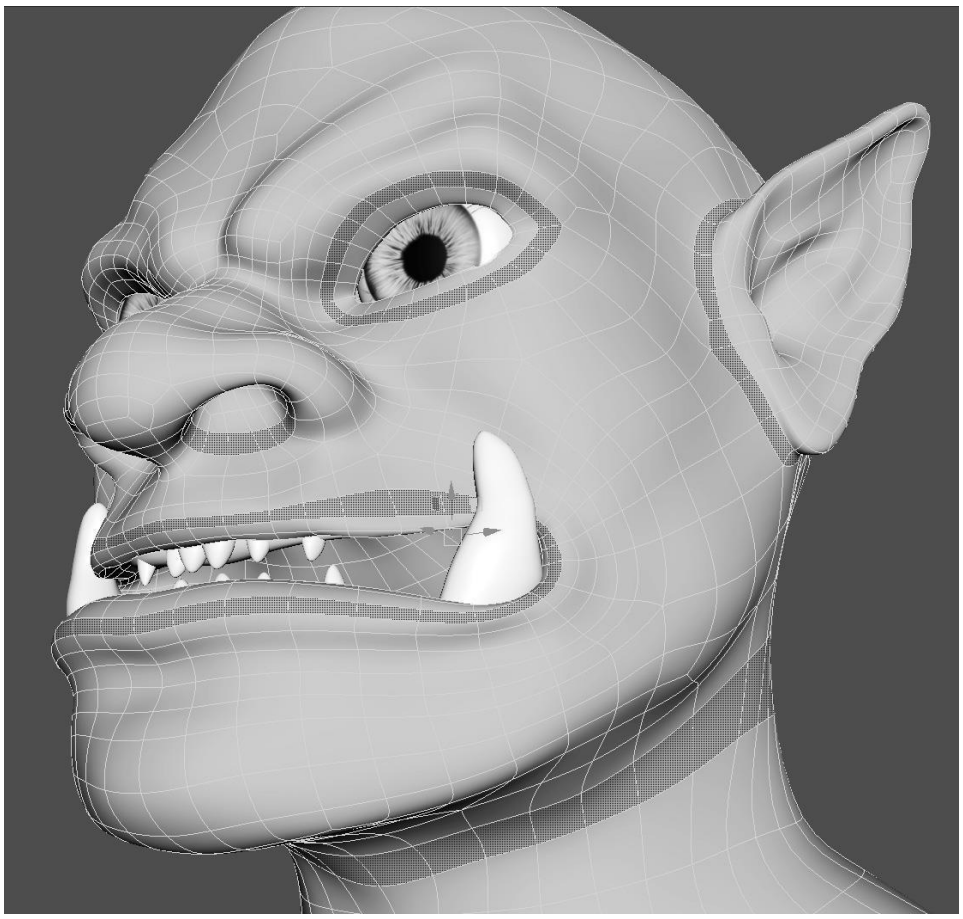

Рисунок 4.1 –Кільця з полігонів

На рисунку 4.2 видно як сітка йде по напряму лопаток і плечових м'язів.

Місця ущільнення сітки. Існують на моделі такі місця, на яких треба створити щільнішу сітку. Наприклад, на обличчі персонажа (особливо, якщо модель планується використовувати в анімації з мімічними рухами), в місцях знаходження суглобів (ліктьові, колінні суглоби, кисті і пальці рук). У таких місцях ущільнення сітки дає великі можливості при анімації – сітка може розтягуватися і не впливати на ті полігони, які не повинні були зачіпатися.

На рисунку 4.3. видно як сітка ущільнюється в районі згину суглобів.

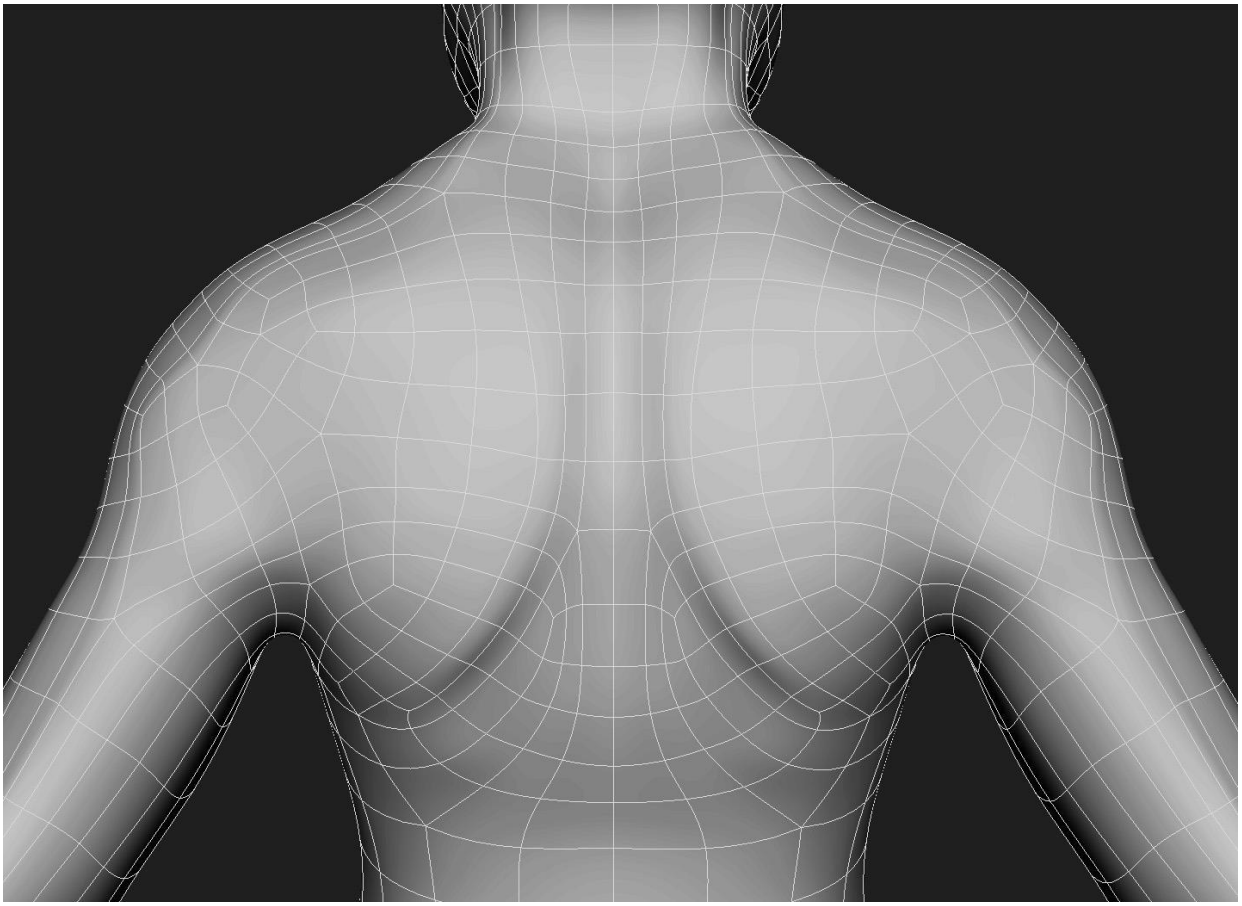

Рисунок 4.2 – Сітка по напряму м'язів

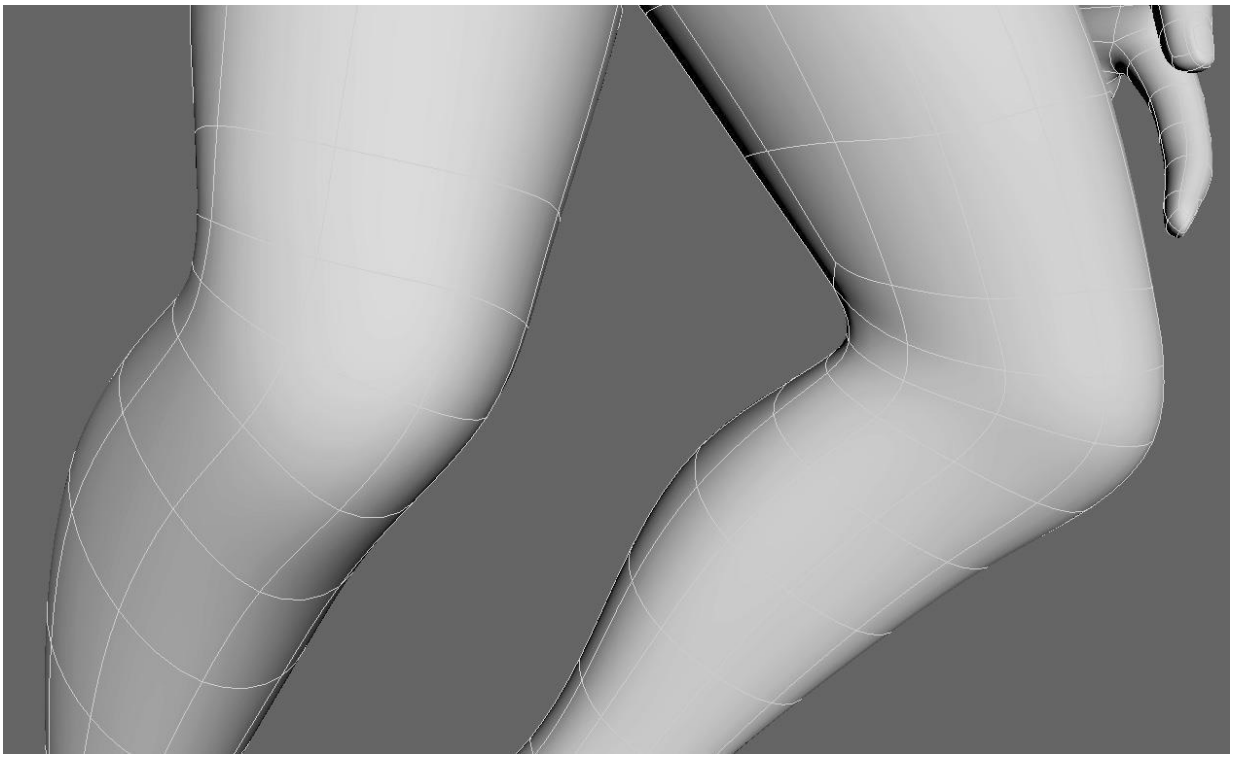

Рисунок 4.3 – Нерівномірність сітки

Цей персонаж був створений в програмі Pixologic Zbrush з високою мірою деталізації. Потім модель була експортована в програму Blender, в якій була зроблена ретопологія сітки за допомогою інструментів панелі Modelling Toolkit.

Ретопологія була зроблена за правилами, описаними вище, для половини моделі. В процесі ретопології був використаний режим Smooth preview, який дав уявлення про остаточний вид моделі.

Потім модель була дубльована і відбита дзеркально. Після зшивання моделі вона придбала практично завершений вид. На рисунку 4.4 представлено два варіанти відображення моделі голови персонажа : ліворуч – первинна сітка (гаряча клавіша "1"), а справа згладжена (гаряча клавіша "3").

Текстурні карти були зняті з високодеталізованої моделі в програмі ZBrush і застосовані до створеної моделі. Рендеринг усієї сцени вироблявся за допомогою візуалізації Arnold, що дозволило не згладжувати модель за допомогою команди Smooth.

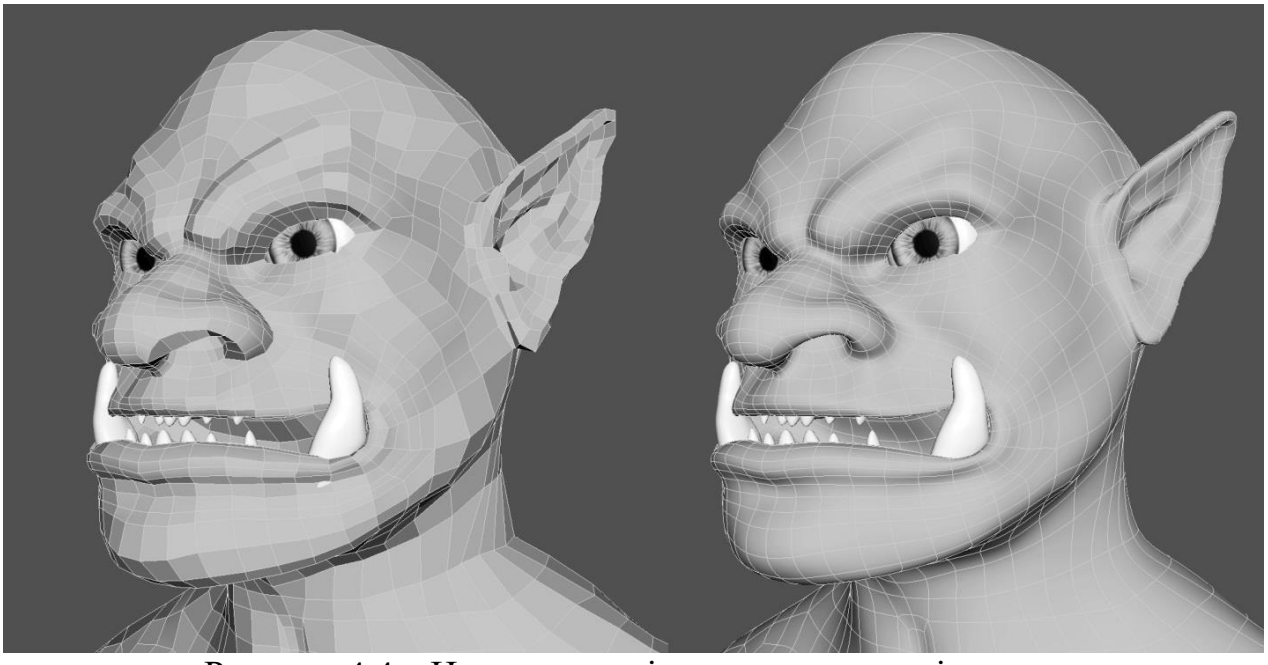

Рисунок 4.4 – Незгладжена і згладжена моделі голови

Для створення ефекту менш згладжених ребер, при створенні персонажа використовувалася функція crease set editor. На рисунку 4.5. Зображена брова

персонажа до коригування, на рисунку 4.6 посилення ребер за допомогою додавання зайвої геометрії, а на рисунку 4.7 використаний у фінальній роботі варіант – за допомогою методу Crease. Як видно з ілюстрацій, останній метод не привносить додаткових полігонів і не змінює топологію моделі.

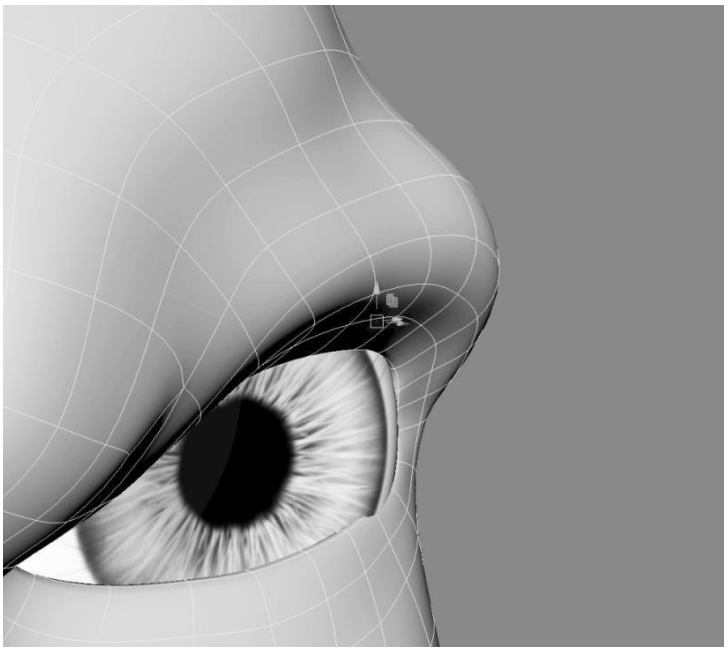

Рисунок 4.5 – Ребро до редагування

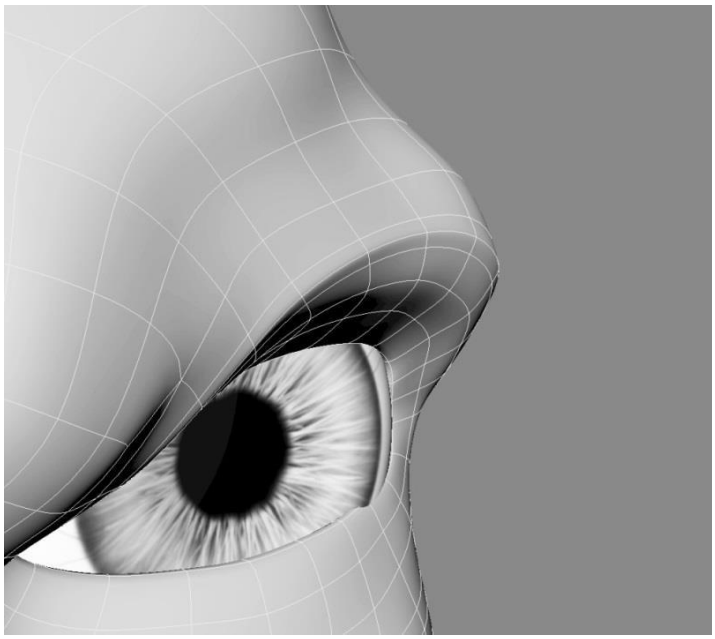

Рисунок 4.6 – Редагування за допомогою Edge loop

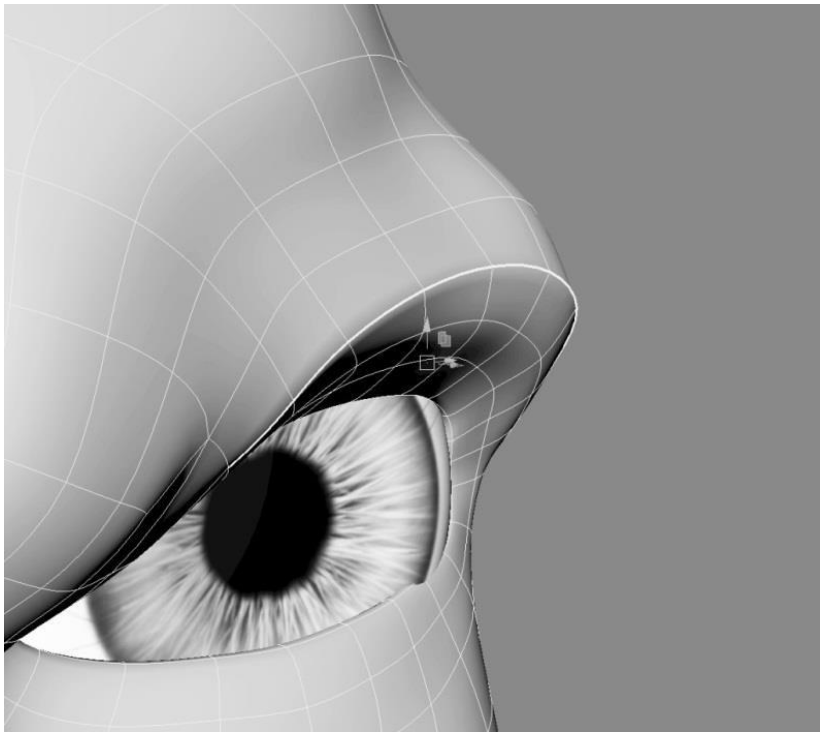

Рисунок 4.7 – Редагування за допомогою Crease Tool

Цей же метод був використаний при редагуванні вух персонажа (рис. 4.8).

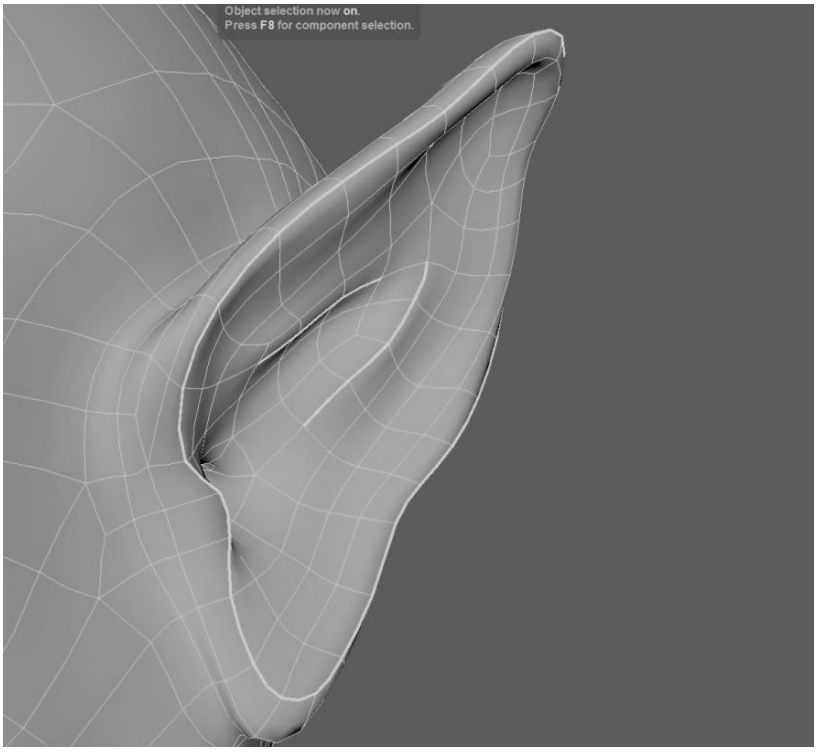

Рисунок 4.8 – Редагування вуха

4.1 Якісна оцінка розробленої методики

Для перевірки якості розробленої методики відповідно до визначених етапів була створена тривимірна модель персонажа (орка). Оцінка якості проводилась шляхом порівняння створеної моделі з моделями конкурентів. Для роботи були визначені ряд критеріїв порівняння, а саме:

– текстурування, тобто якість створеної поверхні (скінінг): текстура, колір, відсутність дефектів;

– згладжуваність, тобто технологія, що використовується в обробці зображень з метою зробити межі кривих ліній більше гладкими, прибираючи «зубці», що виникають на краях об'єктів;

– оптимальність полігональної сітки, тобто невелика кількість полігонів та відсутність дефектних артефактів;

– рігінг, тобто відтворення скелетної основи: зручність кінематики (прямої чи інверсної), відповідність модельованому об'єкту;

– придатність до анімації, тобто до використання моделі в сценах руху: зручність стандартної анімації по ключовим кадрам, зручність анімації між ключами;

– придатність до експорту в вихідний продукт: зручність додавання моделі до загального продукту після редагування моделі, взаємодія моделі з об'єктами сцени.

Для безпосереднього опрацювання був застосований метод попарного порівняння шляхом опитування користувачів-експертів, зі статистичним узагальненням отриманих результатів (табл. 4.1 та на рис. 4.9).

Таблиця 4.1 – Порівняння моделі з конкурентами

оцінювання якості 3D моделі	Розроблена модель	Орк	Гоблін	Ваговий коефіцієнт
1	2	3	4	5
Загальна оцінка	43%	25%	33%	
текстурування	35%	23%	42%	28%
згладжуваність	46%	17%	36%	21%

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5
оптимальність	44%	29%	27%	37%
рігінг	49%	28%	23%	14%
анімація	71%	10%	19%	17%
експорт	63%	26%	11%	11%

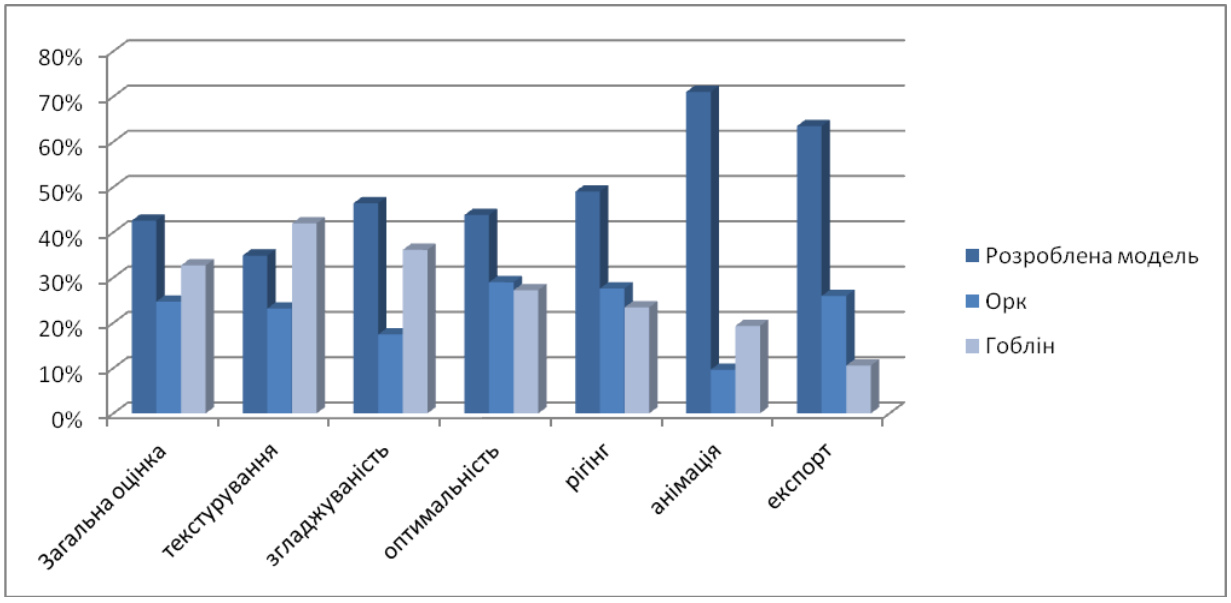

Рисунок 4.9 – Порівняння моделі з конкурентами

4.2 Висновки за розділом

Були визначені характерні риси, яких слід дотримуватись для створення тривимірної моделі з оптимальним згладжуванням (розділ 3.1).

Був узагальнений алгоритм створення моделі персонажу, з урахуванням рекомендованих пропорцій між елементами моделі (розділ 3.3), та виявлені специфічні операції, яких необхідно дотримуватись .

В розділі було розглянуто практичне застосування методів з попередніх розділів на конкретному персонажі. Цей метод не створив незручностей при його використанні, не було виявлено жодних проблем.

Таким чином, було практично підтверджена раціональність використання розробленої методики в умовах моделювання персонажа в програмному пакеті Blender. Отже, цей метод може бути використаний для збільшення ефективності працівників сфери 3D моделювань.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Характеристика науково-дослідної роботи

В економічній частині кваліфікаційної роботи обґрунтовано економічну доцільність формування методичного підходу щодо підготовки тривимірної моделі до анімації, а також умов застосування запропонованої методики. В роботі досліджується поетапний процес створення тривимірної моделі з урахуванням особливостей персонажа, а також наведено оцінювання отриманих даних. Реалізація запропонованої методики дозволяє:

– скоротити час на підготовку тривимірної моделі за рахунок шаблонування типових операцій;

– врахувати особливості руху та пропорцій персонажа.

На підставі проведеного аналізу результатів така методика дозволяє поліпшити робочий процес без суттєвих втрат якості моделі.

Метою даного розділу є економічне обґрунтування витрат на проведення науково-дослідної роботи для дослідження та розробки методики підготовки тривимірної моделі з оптимальним згладжуванням. Буде проведено розрахунок трудовитрат та заробітної плати працівникам, одноразових витрат, прибутку, оцінка економічної ефективності НДР.

Реалізація НДР передбачає такі етапи:

– аналіз літературних та мережевих джерел, формулювання основних вимог до технологічного процесу створення тривимірної моделі для подальшої анімації;

– аналіз існуючих технологій створення персонажів, визначення особливостей моделювання персонажів, короткий огляд критеріїв оцінювання дизайну моделі;

– розробка тривимірної моделі персонажа відповідно до етапів розробленої методики;

– обробка та аналіз результатів дослідження.

5.2 Етапи виконання НДР, їх трудомісткість та заробітна плата

У процесі виконання науково-дослідної роботи був проведений огляд існуючих методів для розробки та оцінки полігональних тривимірних моделей персонажів для подальшої анімації, на основі аналізу спеціальної літератури розглянуті принципи, на яких будується оптимізація зовнішнього вигляду моделі, та принцип формування критеріїв для їх оцінки. Після чого проведено експеримент, методами анкетування експертної групи та попарного порівняння виконане чисельне оцінювання якості розробленої моделі. На основі отриманих даних методика розробки тривимірної моделі оцінена позитивно.

Умовно науково-дослідну роботу (НДР) можна розділити на такі етапи: підготовчий, основний і заключний.

На стадії виконання підготовчого етапу здійснено порівняльне оцінювання методик створення тривимірної моделі та особливості оптимізації згладжування зовнішнього обліку та руху персонажу на основі спеціальної літератури. Проведено пошук інформації в Internet.

На етапі виконання основної частини НДР були виконані такі роботи:

- огляд існуючих аналогічних методів оцінки якості інтерфейсів систем;
- проведення експерименту;
- обробка та аналіз результатів експерименту;
- розробка методики.

У заключній частині здійснюється оцінка ефективності виконання НДР, складання звіту по НДР, захист звіту.

Найбільш складною й відповідальною частиною під час планування НДР є розрахунок трудомісткості робіт, тому що трудові витрати часто становлять основну частину вартості науково-дослідних робіт і безпосередньо впливають на строки розробки.

Для проведення аналізу якості створеної моделі шляхом порівняння її з моделями конкурентів на підставі короткого опитування було залучено до роботи 12 експертів, на умовах погодинної оплати. Загальний обсяг часу,

відведеного для опитування, складав 1 годину на експерта, з оплатою 110 грн/годину. Також було запрошено спеціаліста-аналітика в сфері тривимірного моделювання, заробітна плата якого становить 12000 грн/міс. Заробітна плата керівника роботи становить 14000 грн/міс, заробітна плата основного виконавця робіт визначена в 12000 грн/міс.

Проведемо розрахунок трудовитрат і заробітної плати виконавців робіт.

Середньоденна заробітна плата виконавця робіт ($Зпл_{ср.дн}$) розраховується за формулою:

$$Зпл_{ср.дн.} = Зпл_{ср.міс.} / {}_{р\ дн} \quad (5.1)$$

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

р дн – число робочих днів у місяці, (*р дн* = 22).

В даному випадку середньоденна заробітна плата керівника проекту складає 636,36 грн/день, заробітна плата аналітика та моделера (виконавця) складає 545,45 грн/день.

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

Таблиця 5.1 – Розрахунок трудовитрат і заробітної плати виконавця робіт

Перелік робіт	Кіль-кість виконав-ців	Трудомісткість робіт, люд.-днів	Середньо-денна заробітна плата, грн.	Сума заробітної плати, грн.
1	2	3	4	5
1. Підготовчий етап				
1.1. Розробка та затвердження ТЗ	1	1	636,36	636,36
1.2. Підготовка довідкових матеріалів та даних для виконання НДР	1	2	636,36	1272,72
2. Основний етап				
2.1 Постановка задачі	1	1	545,45	545,45

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5
2.2 Аналіз існуючих технологічних процесів створення тривимірних моделей	1	4	545,45	2181,8
2.3 Аналіз особливостей згладжування персонажів	1	3	545,45	1636,35
2.4 Створення методичних рекомендацій	1	1	545,45	545,45
2.4 Розробка методики створення персонажа	1	6	545,45	3272,7
2.5 Практичний експеримент, перевірка розробленої методики	1	3	545,45	1636,35
2.6 Аналіз якості розробленої моделі	12	1 год	110 грн/год	1320
3. Заключний етап				
3.1 Аналіз результатів проведення роботи	2	2	636,36 545,45	1272,72 1090,9
3.2 Формування висновків та пропозицій за темою проекту	2	1	636,36 545,45	636,36 545,45
Усього		24		16592,6

5.3 Розрахунок одноразових витрат на розробку НДР

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

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

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

Матеріальні витрати визначаються витратами на матеріали, визначені їх потребою для виконання робіт, і цін, що діють на момент складання калькуляції.

Матеріальні витрати розраховуються за такою формулою:

$$М = \Sigma Q_j \times Ц_j, \quad (5.2)$$

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

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

$Ц_j$ – ціна одиниці *j*-го виду матеріалів.

Розрахунок матеріальних витрат представлено в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Розрахунок матеріальних витрат

Найменування	Од. вим.	Кількість, (Q_j)	Ціна ($Ц_j$), грн	Сумарні витрати на матеріали (М), грн
Олівець механічний	шт.	2	23,00	46,00
Блокнот	шт.	2	40,00	80,00
Усього				126,00

Витрати на оплату праці розраховуються виходячи з необхідного для виконання робіт складу й кількості працівників, а також із середньомісячної заробітної плати. Відповідно до проведених розрахунків витрати на оплату праці виконавців роботи дорівнюють 15 345,40 грн.

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

Для об’єкта дослідження ставка єдиного соціального внеску дорівнює 22% від витрат на оплату праці, тобто розмір ЄСВ дорівнює 3 375,99 грн.

При виконанні НДР застосовувалось наступне обладнання: комп’ютер вартістю 15000 грн.

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

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

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

BO_k – вартість основних засобів k-го виду;

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

T – термін науково-дослідницької роботи, днів;

L – кількість видів обладнання.

Підставивши відомі значення у (5.3), визначимо величину амортизаційних відрахувань:

$$AB = \frac{15000 \cdot 16}{545} + \frac{15000 \cdot 8}{545} + \frac{15000 \cdot 1}{545} = 687{,}5 \text{ (грн).}$$

Витрати на використану обладнанням електроенергію розраховуються:

$$З_е = M\, t\, T_{кВт}, \tag{5.4}$$

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

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

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

Споживна потужність комп'ютера складає 0,5 кВт за годину, тариф споживачів складає 0,9 грн./кВт·годин (без ПДВ). Підставивши значення у формулу (4.4), визначимо величину витрат на спожиту електроенергію:

$$З_э = 0{,}5 \cdot 128 \cdot 0{,}9 + 0{,}5 \cdot 64 \cdot 0{,}9 + 0{,}5 \cdot 8 \cdot 0{,}9 = 90 \text{ грн.}$$

До інших статей витрат відносяться такі:

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

– вартість оплати послуг зв'язку.

Вартість оплати послуг зв'язку становитиме:

Інтернет – із розрахунку 250 грн. на місяць (безлімітний пакет); всього 250 грн. за 25 днів виконання НДР.

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

Результати розрахунку кошторису витрат, тобто одноразових витрат, на виконання НДР наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 − Кошторис витрат на розробку НДР

№ з/п	Стаття витрат	Сума, грн.
1	Заробітна плата	16 592,61
2	Єдиний соціальний внесок (22,0 % від п.1)	3 650,37
3	Матеріальні витрати	126,00
4	Амортизація основних засобів	687,50
5	Витрати на спожиту електроенергію	90,00
6	Інші витрати, у тому числі:	
6.1	адміністративні витрати (20% від п.1)	3 318,52
6.2	вартість послуг зв'язку	250,00
	Усього витрати на розробку (*Вр*)	24 715,00

Таким чином, кошторис витрат на виконання даної НДР складає 24 715 грн.

5.4 Оцінка результатів науково-дослідної роботи

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

Відповідно до теми даної кваліфікаційної роботи розглянемо скорочення часу на створення тривимірної моделі є позитивним результатом впровадження НДР.

Результат від впровадження НДР визначається за такою формулою:

$$\Delta P_j = |Хб_j - Хн_j|, \quad (5.5)$$

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

m – кількість досліджуваних характеристик;

$Хб_j$ – базове значення j-ої характеристики;

$Хн_j$ – нове значення j-ої характеристики після впровадження НДР.

Таблиця 5.4 – Відсоток досягнення мети користувачем та оцінка якості дизайну

Характеристика	До впровадження	Після впровадження
Час розробки моделі, год	24	17
Загальний час роботи над моделлю, год	62	55

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

$$\Delta P_{ч.1} = |24 - 17| / 24 = 29{,}2\% ;$$

$$\Delta P_{як.1} = |62 - 55| / 62 = 11{,}3\% .$$

За результатами дослідження покращення є вдалими. Вони зменшили витратний час на 11,3% та отримали задовільну оцінку за якість моделі (див. розділ 4.3).

Під час економічного обґрунтування НДР було дана характеристика науково-дослідної роботи, наведені етапи виконання НДР, розрахована їх трудомісткість та заробітна плата виконавця. Розраховано одноразові витрати на розробку НДР, дано оцінку результатів науково-дослідної роботи та визначено економічну ефективність результатів НДР. Дана науково-дослідна робота має позитивний показник економічної ефективності. Роботу у цілому можна враховувати ефективною або такою, що має науковий та технічний рівень.

ВИСНОВКИ

В ході аналізу наявного програмного забезпечення для 3D-моделювання та вивчення методик генерації персонажів було зроблено такі висновки:

Найкращою програмою для моделювання персонажів, а також для ретопології створених в програмах тривимірного скульптинга моделей, являється програма Blender. Це програмне забезпечення надає найкращу сумісність з іншими виробниками 3D забезпечення. Його визначають найбільш широкі можливості в процесі подальшого налаштуванні персонажа (рігінг, текстурування, анімація, рендерінг тощо). Отже, для підготовки моделі персонажа для подальшої анімації найкраще використовувати саме даний 3D редактор.

Для провадження згладжування в моделюванні персонажів або інших довільних моделей, використання яких надалі припускає певну анімацію або підготовку до неї, необхідно використовувати правильну топологію сітки.

Для отримання правильних деформацій в процесі згинання сітки моделі найкращою є сітка з чотирикутників. Якщо після згладжування моделі в сітці присутні трикутники або п'ятикутники, це може серйозно вплинути на правильність анімації персонажа. Подальше виправлення сітки може зайняти велику кількість часу, що небажано.

Таким чином, в згладжуванні моделей персонажів раціональне використання алгоритмів створення чотирьохкутної сітки, що дає найкращий результат як в плані побудови правильної топології, так і з точки зору обчислювальної здатності.

Протягом дослідження виконано огляд предметної області дослідження, зокрема, порівняльний аналіз сучасних 3D-редакторів та основні етапи процесу створення тривимірної моделі персонажа. Розглянуті тенденції використання алгоритмів згладжування, особливості топології поверхонь. Розглянуто специфіку підготовки персонажа до анімації за рахунок згладжування, зокрема рігінг та спінінг, тобто підготовка скелетного каркасу та текстурованої

поверхні. Описані особливості процесу підготовки моделі під згладжування. Наведено аналіз практичного застосування запропонованої методики та виконано якісну оцінку створеної моделі за допомогою експертного оцінювання методом попарного порівняння. В економічному розділі визначено витрати замовника на науково-дослідну роботу щодо розробки такої методики.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Гаманець Є.О., Дейнеко Ж.В. Особливості створення анімованого тривимірного персонажу. // Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: матеріали Молодіжної школи-семінару VI Міжнар. наук.-техн. конф. (3 листопада 2021, м. Харків). 2021. Т2. С. 76-78.

2. Глушко М.М. Нечаєв В.О. LOW POLY моделлінг для індустрії інтерактивних розваг. // Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: тези доп. IV Міжнар. наук.-техн. конф. (18-22 травня 2021, м. Харків). 2021. Т1. С. 107-108.

3. Ковалёва Д.Ф., Дейнеко Ж.В. Оптимизация 3D-моделей как способ уменьшения загрузки на графический процессор. // Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: матеріали Молодіжної школи-семінару V Міжнар. наук.-техн. конф. (3 листопада 2020, м. Харків). 2020. Т2. С. 27-30.

4. Кулішова Н.Є., Ткаченко В.П. Методичні вказівки з виконання кваліфікаційної роботи здобувачів вищої освіти на другому (магістерському) рівні для студентів усіх форм навчання спеціальності 186 «Видавництво та поліграфія». Харків: ХНУРЕ, 2020. 51 с.

5. Коббельт Л. Компактне представлення сіткових моделей. A Compact Patch-Based Representation for Technical Mesh Models. Lars Kammann, Stefan Menzel, Mario Botsch. Proceedings of Vision, Modeling and Visualization. 2020. P. 1-8.

6. Марафи К. Создание персонажей в Maya: моделирование и анимация. М.: Вильямс, 2004. 441 с.

7. Ботч М., Коббельт Л., Поли М., Аллиес П., Леви Б. Обработка полигональной сетки. London: CRC Press, 2010. 250 с.

8. Ботч М. Підготовка поверхонь моделей для перенесення деформацій // Vision, Modeling & Visualization. 2006. P. 357-364.

9. Ботч М. Точність відтворення обличчя шляхом анізотропного доповнення // Proceedings of Vision, Modeling and Visualization. 2015. P. 1-8.

10. Мокрый Е. 3D редакторы, плюсы и минусы. URL: http://habrahabr.ru/post/136350/ (дата звернення 20.10.2021).

11. Полозова Т.В. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломних проектів (робіт) для студентів усіх форм навчання спеціальності спеціальності 186 «Видавництво та поліграфія» спеціалізації «Комп'ютерні технології та системи видавничо-поліграфічних виробництв». Харків: ХНУРЕ, 2016. 48 с.

12. Прахов А. Самоучитель Blender 2.6. С-Пб.: БХВ-Петербург, 2013. 384 с.

13. Робертс С. Анимация 3D персонажей. М.: Символ-Плюс, 2006. 264 с.

14. Слаква А. Инструменты моделирования в Blender. URL: https:// blender3d.com.ua/modeling-tools-book/ (дата звернення: 06.11.2021)

15. Флеминг Б. Методы анимации лица. Мимика и артикуляция. ДМК Пресс, 2002. 336 с.

16. Флеминг Б. Создание Трехмерных персонажей. Уроки мастерства. М:. ДМК Пресс, 1999. 448 с.

17. Цыпцын С. Понимая MAYA. М.: Арт Хаус медиа, 2007. 1428 с.

18. Шикин Е.В. Компьютерная графика. Полигональные модели. М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2000. 464 с.

19. Шонхер М. Исследуем Maya 4: 30 уроков в 3D. М:. КУДИЦ-ОБРАЗ, 2003. 288 с.

20. Autodesk Maya Press. The Art of Maya: An Introduction to 3D Computer Graphics 4th Edition edition. Publisher: John Wiley & Sons, 2007. 256 p.

21. Maestri G. Digital Character Animation 3. New Riders Press, 2006. 309 p.

22. Williams R. The Animator's Survival Kit: A Manual of Methods, Principles and Formulas for Classical, Computer, Games, Stop Motion and Internet Animators Paperback. 2012. 224 p.