



УДК 004.92

3D-МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРСОНАЖІВ З АНІМАЦІЄЮ ДЛЯ ІГРОВИХ ПРОЕКТІВ. ЧАСТИНА 1

Вилков В.С., Болтач С.В., Ломовцев П.Б.

Copyright © 2021 by author and the journal "Automation of technological and business – processes".

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

DOI: 10.15673/atbp.v14i3.2347

Анотація. Технології 3d графіки проникли в багато сфер людської діяльності, і приносять колосальний прибуток. Так у сфері науки 3D-графіка використовується в основному для проектування технічних виробів. Сучасні технології дозволяють створити візуалізацію проєктованого об'єкта, максимально наближеного до реального пристрою, оцінити його наочно. Тривимірна модель майбутнього механізму прискорює і полегшує роботу інженера-конструктора, позбавляючи його від процесу креслення. Графіка у сфері реклами та маркетингу використовується майже завжди. Все частіше маркетологи використовують 3D-візуалізацію об'єктів, створюючи анімаційні рекламні ролики. Зйомки в реальних умовах не дають такої привабливої картинки, як із застосуванням анімації. 3D-зображення інтер'єру або будівлі з використанням комп'ютерних програм зацікавилися порівняно недавно, так як раніше для цього виготовляли макети з картону або спеціальних матеріалів. Сьогодні 3D-візуалізація будинку - важливий етап перед початком будівельних робіт. Дана технологія дозволяє подивитися на готовий об'єкт і внести зміни при необхідності. Звичайно у кінематографі і ігровій індустрії 3D-графіка прижилася і вкоренилася назавжди. Сучасній людині важко уявити улюблену гру без тривимірних персонажів, а черговий фільм - без 3D-графіки.

Abstract. Technologies of 3d graphics have penetrated into many spheres of human activity, and bring enormous profits. Thus, in the field of science, 3D graphics are used mainly for the design of technical products. Modern technologies make it possible to create a visualization of the projected object, as close as possible to the real device, to evaluate it visually. The three-dimensional model of the future mechanism speeds up and facilitates the work of the design engineer, saving him from the drawing process. Graphics are almost always used in advertising and marketing. Increasingly, marketers use 3D visualization of objects when creating animated commercials. Shooting in real conditions does not give such an attractive picture as with the use of animation. 3D images of the interior or building using computer programs have become interested relatively recently, as earlier models were made of cardboard or special materials for this purpose. Today, 3D visualization of the house is an important stage before the start of construction work. This technology allows you to look at the finished object and make changes if necessary. Of course, in the cinematography and game industry, 3D graphics took root and took root forever. It is difficult for a modern person to imagine a favorite game without three-dimensional characters, and another movie without 3D graphics.

Ключові слова: 3D, Концепт, Високо-полігональне моделювання, Низько-полігональне, Скульптінг, Ретопологія

Key words: 3D, Concept, High Polygon Modeling, Low Polygon, Sculpting, Retopology

ВСТУП

На сьогоднішній день важливість виготовлення комп'ютерної графіки складно переоцінити. Світ не стоїть на місці, швидкі темпи розвитку технічного прогресу зробили комп'ютерну графіку вимогливою у багатьох напрямках промислово-побутової сфери. 3D графіка є невід'ємним супутником архітекторів, дизайнерів, діячів культури, рекламних фахівців, фахівців в області ігрової індустрії і важкого машинобудування. Можливості 3D графіки в сучасному світі практично безмежні.

Базовим поняттям в 3D графіці є 3D модель. Якісно пророблена модель становить половину успіху будь-якого проєкту. У сучасному світі відеоігри мають особливе значення, стаючи невід'ємною частиною нашого повсякдення, емоційною складовою поряд з навчанням і працею. Попит на відеоігри і нові емоції народжують все більше пропозицій, але також з розвитком комп'ютерних технологій зростає і вимогливість гравців. Наприклад, вимогливість до графічної складової – вона безпосередньо відображає якість наповнення гри, а саме персонажів і сеттінг, створенням яких займаються 3D художники, гейм-дизайнери і розробники ігор. В даний час на ринку ігрової індустрії є безліч 3D-художників, як любителів, так і професіоналів. Вони мають безліч презентаційних проєктів ігрових моделей, метою яких є просування авторства, а саме особистих творчих, дизайнерських здібностей і продаж продукції. З розвитком технологій кількість 3D художників і їх продукції помітно росте, гостро постає питання про перенасичення ринку. Але на сьогоднішній день активно ведеться пошук нових ідей, емоційних образів. Попит на



фахівців в області продовжує зростати і велика увага приділяється навичкам моделювання, творчому підходу, здатністю здивувати і уявити щось абсолютно нове.

Створення 3D-моделі ігрового персонажа стало вирішенням питання просування та реклами не тільки себе як дизайнера і автора, а й можливості подальшого продажу мультимедійного проекту. Інформаційну базу проекту складають літературні і навчальні посібники, довідники, ресурси в мережі Інтернет. Наукова новизна полягає в авторському дизайні і створенні абсолютно нової ігрової моделі. Практична значимість дослідження полягає в використанні результатів роботи в рекламних цілях.

Теоретичний аналіз

Історія тривимірної візуалізації починається в далекому 1962 році, коли аспірант університету міста Юти, США, створює програму, яка дозволяє візуалізувати найпростіші 3D-моделі. Пізніше в цьому навчальному закладі відкривається перша в світі кафедра комп'ютерної графіки. Перший анімаційний фільм під назвою «Історія іграшок», повністю зроблений з допомогою об'ємної графіки, вийшов через кілька десятиліть - в 1995 році. Багато хто вважав, що фільм приречений на провал, однак сталося з точністю навпаки – робота отримала світову славу та визнання.

Незважаючи на всі плюси тривимірних зображень, вони не позбавлені і деяких мінусів, які потрібно враховувати при розробці графічних проектів. До проблем 3D-графіки можна віднести:

- високі вимоги до апаратної складової комп'ютера: до його оперативної пам'яті, швидкості роботи процесора та інше;
- необхідність великих витрат часу на створення моделей всіх об'єктів сцени, що можуть потрапити в поле зору камери;
- меншу свободу в створенні зображення, ніж при створенні двовимірної графіки. Створюючи об'єкт олівцем на папері або засобами 2D-графіки на екрані, можна абсолютно вільно спотворювати пропорції об'єктів, нехтувати законами перспективи та інше.

- необхідність постійно відстежувати взаємне положення об'єктів в складі сцени, зокрема, при створенні 3D-анімації. Так як об'єкти 3D-графіки «безтілесні», вони легко проникають одна в одну і важливо контролювати відсутність непотрібного контакту між ними.

Для створення комп'ютерної графіки використовують безліч різних додатків. Умовно їх можна розділити на такі групи:

- програми для цифрового скульптингу (Pixologic ZBrush, Autodesk Mudbox);
- ігрові движки (Unreal Engine 4, Unity 5, CryEngine 3);
- вузькоспеціалізовані програми, «заточені» під конкретні завдання (анімація рідин - RealFlow, створення текстур - Mari та ін.);
- універсальні 3D редактори (Cinema 4D, 3Ds Max, Maya, Houdini та інші).

Області використання графічних моделей

Технології 3d графіки проникли в багато сфер людської діяльності, і приносять колосальний прибуток.

Так у сфері науки 3D-графіка використовується в основному для проектування технічних виробів. Сучасні технології дозволяють створити візуалізацію проектованого об'єкта, максимально наближеного до реального пристрою, оцінити його наочно. Тривимірна модель майбутнього механізму прискорює і полегшує роботу інженера-конструктора, позбавляючи його від процесу креслення.

Графіка у сфері реклами та маркетингу використовується майже завжди. Все частіше маркетологи використовують 3D-візуалізацію об'єктів, створюючи анімаційні рекламні ролики. Зйомки в реальних умовах не дають такої привабливої картинки, як із застосуванням анімації.

3D-зображення інтер'єру або будівлі з використанням комп'ютерних програм зацікавилися порівняно недавно, так як раніше для цього виготовляли макети з картону або спеціальних матеріалів. Сьогодні 3D-візуалізація будинку - важливий етап перед початком будівельних робіт. Дана технологія дозволяє подивитися на готовий об'єкт і внести зміни при необхідності.

Звичайно у кінематографі і ігровій індустрії 3D-графіка прижилася і вкоренилася назавжди. Сучасній людині важко уявити улюблену гру без тривимірних персонажів, а черговий фільм - без 3D-графіки.

Роль 3d графіки в ігрових проектах

На сьогоднішній день жоден сучасний фільм і комп'ютерна гра не обходяться без тривимірної графіки. Професія 3D-художника затребувана як ніколи. Щоб почати створювати тривимірну графіку, потрібно мати уявлення про основні інструменти і етапи виробництва 3D моделей.

Створення комп'ютерної графіки в фільмах - колосальна робота, над якою працюють сотні професіоналів. Від сценаристів і режисерів до цілої армії 3D-художників: вони займаються моделюванням, текстуруванням, анімацією, рігінгом і візуалізацією персонажів і віртуального світу.

Основними чинниками в процесі створення графіки є терміни робіт, рівень складності і якості моделей та бюджет проекту.

На відміну від фільму, гра - це інтерактивна взаємодія людини і віртуального світу. Тому головними чинниками при створенні гри являються інтерактивність, безперерйне функціонування, а також і візуальний аспект.



При розробці комп'ютерних ігор 3d-дизайнери та 3d-моделлери можуть створити практично будь-яку модель 3d персонажа і тривимірну реальність, анімацію та відео-фрагменти – реалістичні, з високим ступенем деталізації.

Перші комп'ютерні ігри в історії були двовимірними. Намальовані в проекції персонажі, рухаються лише по двом осям – X і Y. Для того щоб привести таких персонажів в дію необхідно було відмалювати положення їх ніг у різні періоди часу, а потім пустити ці кадри по колу. Такі ігри були цікавими, але вони не давали повної свободи створити все що завгодно. Тому з часом, широкі можливості 3d моделювання і тривимірної графіки дозволили створювати абсолютно нові комп'ютерні ігри в тривимірному просторі. Тривимірні ігри більш реалістичні і розширюють межі свободи користувача, тобто гравця.

Комп'ютерні 3D ігри відкривають для користувача нові можливості і загадкові тривимірні реалії, які дозволяють грати промальованими 3d-персонажами і використовувати реалістичні 3D об'єкти. Таким чином, 3D ігри відтворюють нові історії, так само як книги та кінофільми. Але на відміну від книг та фільмів, ігри надають гравцю право вибору, бо саме від дій гравця залежить те, як буде просуватися історія. Та саме ігрові персонажі допомагають розробникам зробити гру живою. Своїм виглядом, емоціями, діями, вони додають грі відчуття реальності та створюють особливу атмосферу.

На сьогодні існує велика кількість ігор з трьох-вимірною графікою, та серед них є і такі, що можуть суперничати з відомішими творами кіно та літератури. Іноді навіть несправжні 3D персонажі з ігор можуть змусити гравця співпереживати їм. Насправді 3D ігор, які залишили слід у житті багатьох людей зі всього світу далеко не мала кількість, серед них можна підкреслити такі як: BioShock Infinite, Portal 2, Fallout 3, Final Fantasy VII, Diablo II, Half-Life 2, Grand Theft Auto, Legend of Zelda, Warcraft III, та багато інших. Саме персонажі ігор надають гравцям величезну кількість емоцій, тому сфера розробки 3D-моделей персонажів для ігор являється однією з найцікавіших та найприбутковіших на сьогоднішній день по всьому світу.

ЕТАПИ РОЗРОБКИ ІГРОВОЇ МОДЕЛІ

Життєвий цикл моделі складається з безлічі важливих етапів. Самими основними етапами, при створенні 3D-моделі ігрового персонажа, є розробка ідеї, створення ескізів (концептів), високо-полігональне моделювання, низько-полігональне моделювання (ретонологія), розгортка текстурних карт, та їх запікання, створення текстур та створення скелетної анімації.

Етапи створення 3D-моделі ігрового персонажа:

1. Розробка ідеї, створення концепту персонажа в програмі Adobe Photoshop.
2. Створення високо-полігональної ігрової моделі в програмі ZBrush.
3. Створення низько-полігональної ігрової моделі в програмі 3dCoat (Ретонологія).
4. Розгортка текстурних карт в програмі Autodesk Maya.
5. Запікання текстурних карт (Normal map та Ambient Occlusion) в програмі xNormal.
6. Текстурування в програмі 3dCoat.
7. Створення анімації моделі в програмі Autodesk Maya.

Використовуване ПЗ в дослідження для скульптинга – ZBrush, для графічної складової – Adobe Photoshop, створення текстур та ретонологія – 3dCoat, розгортка текстурних карт та анімація – Autodesk Maya, запікання текстурних карт - xNormal. Технічне обладнання - персональний комп'ютер, графічний планшет[1].

Створення концепту

Будь-яка розробка персонажа для відеоігор починається з ідеї і концепту. У сучасній індустрії величезний вплив має створення концепт артів - візуальної передачі уявлення дизайну, наприклад, для використання в відеоіграх або анімації. В даний час вони дуже тісно пов'язані з розвитком комп'ютерних технологій. Концепт-арт має великий вплив на всі сфери нашого життя. Безліч предметів, з якими ми стикаємося щодня мають свій дизайн. З ескізу починається виробництво всього: автомобілів, стільців, ноутбуків і т.д. Ескіз – це далеко не все, концепт-арт важливий тим, що формує ідею, яку приймуть у виконання, чим краще і цікавіше уявлення продукту, тим більш успішним він буде. Концепт-арт використовується на початкових стадіях розробки мультимедіа продукту, це начерки, на основі яких будуються візуальна частина. Концепт-арт може бути не доповнений фоновими елементами, але повинен передавати контури, кольори і форму, для реалізації задуманого предмета. У моєму випадку концепт-арт послужив основою для створення 3D-моделі ігрового персонажа. Персонаж - вигадана істота або особа, кожен персонаж має певний характер, настрій, унікальний зовнішній вигляд. У 3D моделюванні персонажі діляться на дві основні групи: анімаційні та статичні. Відмінність анімаційного персонажа від статичного, полягає в особливій побудові персонажа, завдяки якому робота аніматорів буде полегшена. Зазвичай статичні персонажі мають більш високу деталізацію [3].

Створення ескізу персонажа – етап творчого пошуку, підбір референсів і продумування історії персонажа, розробка способу, поз, емоцій, уточнення деталей і побудова кінцевого результату. Для того, щоб приступити до малювання, потрібно накопичити достатньо референсів. Референс – це малюнок або фотографія, які вивчають художник або дизайнер, перед тим, як почати ескіз. Референс – це приклад того, на що націлений кінцевий результат. Етап створення ескізу не займає багато часу у художника, але істотно полегшує роботу в подальшому.



Рис. 1 – Концепт персонажа в градаціях сірого

На цьому етапі художник малює контури персонажа. Спочатку зображуються контури основних форм, потім поступово додаються деталі. Після того, як робота з контурним малюнком буде закінчена, необхідна тонова і колірна корекція. Для більшої зручності начерк розфарбовується одним сірим кольором. Далі поступово додаються інші відтінки сірого, тим самим передається обсяг фігури героя (рисунок 1).

Малюнок, в градаціях сірого кольору, дозволяє краще зрозуміти обсяг і форму. Далі, коли чорно-білий ескіз доопрацьований, накладається кольоровий шар з режимом накладення кольору і підбираються відтінки.

Силует персонажа так само повинен легко «зчитуватися». Для перевірки силуету персонажа досить залити його чорним кольором, після чого силует персонажа повинен бути ефектним, впізнаним і добре читаним.

Після створення скетчу, необхідно промалювати характерні пози. Характерні пози персонажа доповнюють опис образу героя. Вони допомагають візуально зрозуміти характер персонажа, поведінки, звички. Характерні пози бувають природні, звичні і постановочні. «Природні пози» - звичайний стан персонажа в положенні стоячи; «звичні пози» – характерні для персонажа положення тіла; «постановочні пози» – пози, прийняті героєм, в присутності третьої особи. Пози повинні бути виразною. Потрібний ефект досягається становищем ніг, рук, опори, постави, на рисунку 2 представлені приклади поз.



Рис. 2 – Приклади поз персонажа

Позиція голови, жести і міміка передають настрій персонажа, завдяки чому можна зрозуміти його характер. Далі необхідно уточнити деталі одягу, зачіски, будь-яких атрибутів персонажа. Уточнення деталей є одним з найважливіших моментів в створенні концепту, наприклад елементи екіпіровки, аксесуари і зачіска грають важливу роль в створенні стилю, унікального способу, передачі характеру персонажа. Людина, що займається концептами повинен розуміти функціональне призначення придуманих їм елементів, їх практичне застосування, взаємодію з персонажем, наприклад, як вони будуть рухатися в анімації. Після уточнення деталей створюється високоякісний малюнок персонажа в відповідній місцевості, з усіма продуманими об'єктами і аксесуарами [3].



Перехід до 3D-моделювання персонажу можливий, коли робота з концептом буде готова – ідея, образ, зовнішній вигляд, відмінні риси, силует і характер персонажа будуть чітко проглядатися.

Скульптінг моделі

3D-моделювання - це процес створення тривимірної моделі об'єкта. Завдання 3D-моделювання – розробити візуальний об'ємний образ бажаного об'єкта. 3D-моделювання персонажів – це процес створення віртуальної тривимірної моделі персонажа за допомогою спеціального програмного забезпечення. 3D-анімація ж дозволяє оживити, вдихнути душу в 3D-моделі персонажів. 3D-моделі мають ряд переваг над 2D-графікою, особливо при створенні ігор, фільмів чи мультфільмів. Цифровий скульптінг – це маніпуляція над 3D-об'єктами, деформація їх полігональної поверхні. Це перший 3D етап у створенні персонажа. У ньому персонаж ліпиться як з глини, як скульптура, звідси і назва. На цьому етапі можна зануритися у творчість і ліпити не замислюючись про полігони, а їх буде багато. Але пізніше їх кількість все одно зменшиться. На рисунку 3 зображено поступовий скульптінг персонажа[1].

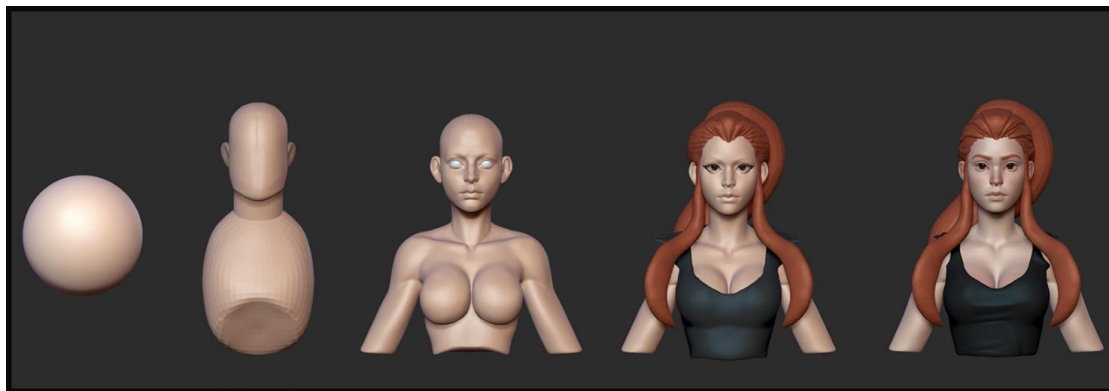


Рис. 3 – 3d-скульптінг

3D-скульптінг з'явився абсолютно випадково. Раніше в 3D-редакторах, сам скульптінг був всього лише результатом застосування інструментів типу «Магніт», і шляхом витягування або деформування полігональної сітки, виходив об'єм. При цьому можна змінювати радіус дії таких інструментів і т.д. До того ж всі полігональні об'єкти можна розрізати і склеювати, а також розбивати на більшу кількість полігонів або зменшувати кількість полігонів, використовуючи інструменти і алгоритми оптимізації. Таким чином, навіть на зорі полігонального моделювання, з сфер або півсфер фахівці особливо терплячі, а головне, що мали потужні комп'ютери на ті часи, могли ліпити людські обличчя. Тобто, займалися скульптінгом.

Після цього стало популярно NURBS-моделювання – моделювання, де поверхні створюються на базі несучих кривих ліній, і досить сильно розвинулося математичне моделювання – тобто об'єкти, їх елементи або вершини створюються на базі деяких математичних законів і формул. Сюди можна віднести як генератори ландшафтів, хвиль, так і ефектів, пов'язаних з частинками (вогнь, дим, хмари). Технологічно все стало накочуватися як сніжний ком, всі технології рухалися паралельно. Тоді виникло питання реалізації реалістичних персонажів. Саме тому поряд з 3D-редакторами моделювання отримали популярність програми скульптінга [4].

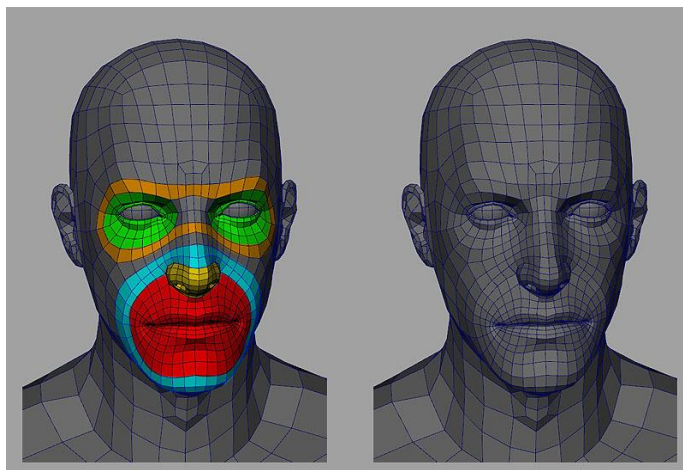
Використання в програмах для цифрової скульптури різних інструментів може варіюватися. В кожному пакеті є свої переваги і недоліки. У більшості інструментів для моделювання цифрової скульптури застосовується деформація поверхні полігональної моделі, завдяки чому її можна зробити опуклою або увігнутою. Цей процес чимось схожий на чеканку металевих пластин, поверхня яких деформують для отримання необхідного візерунка і рельєфу. Інші інструменти працюють за принципом воксельної геометрії, об'ємність яких залежить від використовуваного піксельного зображення. У цифровій скульптурі, як і в роботі з глиною, можна "нарощувати" поверхню, додаючи нові шари, або навпаки, знімати зайве, стираючи шари. Усі інструменти по різному деформують геометрію моделі, що полегшує і робить багатшим процес моделювання.

Завдяки багатому інструментарію, можна домогтися всього що завгодно, а процес буде нагадувати звичайне ліплення з глини. Можна нарощувати обсяг, проробляти отвори немов пальцем, згладжувати гострі і непотрібні межі, зрізати все зайве і надавати певну шорстку поверхню, в залежності від поставленого завдання.

Пізніше почали з'являтися пакети програм, повністю спрямовані на створення фото-реалістичних ландшафтів, персонажів і оточення, з високим рівнем деталізації. Такі програми швидко знайшли широке застосування в художніх і фантастичних фільмах, в мультиплікації, в мистецтві, в промисловому дизайні і в комп'ютерних іграх. Крім того, 3D скульптінг використовується в створенні прототипів фото-реалістичних ілюстрацій і для створення реалістичних скульптур в 3D-друку [5].

Ретопологія високо-полігональної моделі

Полігон – площина, мінімальна поверхня для візуалізації. Сукупність полігонів дозволяє створити багатогранний об'єкт в тривимірному просторі. Топологія – це сітка з полігонів, як правило чотирикутних (рисунок 4).

**Рис. 4 – Топологічна сітка**

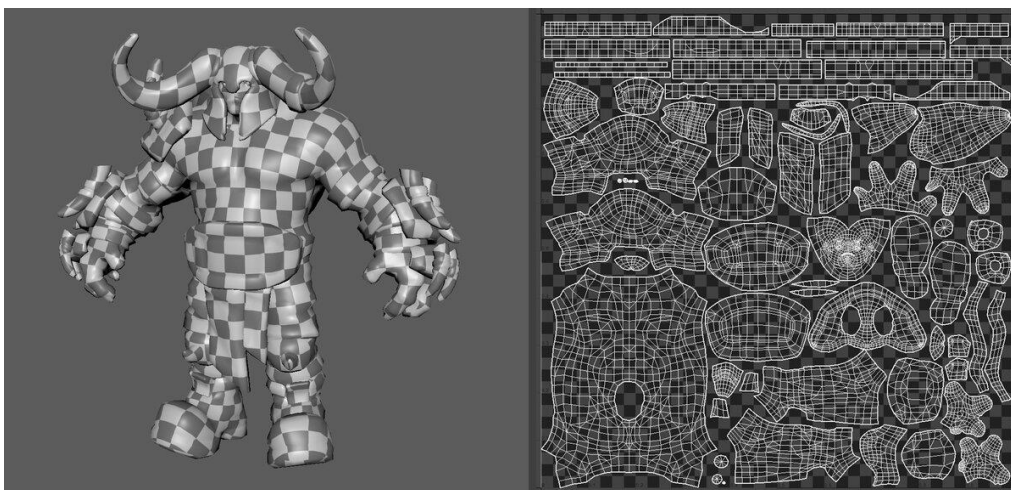
У першому випадку, полігони повинні розташовуватися на 3D моделі (зазвичай, персонажа) так, щоб при русі кісток або м'язів, було легко повторити реальні опуклості від цих же м'язів або кісток. Найпростіший приклад, це необхідність ущільнення сітки на колінах і ліктях. Адже коли ми моделюємо персонажа в Т-позі, то лікті і коліна випрямлені. А коли їх потрібно зігнути на 90 градусів, то вийде, що полігонів не вистачає, щоб сформувати красиве закруглення ліктя або коліна [2].

У другому випадку, володіючи навичками низько-полігонального моделювання, ви зможете кожен полігон використовувати дуже ефективно, а це означає, що модель буде легкою (мати мало полігонів). Це особливо цінується в ігрових движках (адже ресурси завжди обмежені) або для анімації.

Ретопологія – це буквально означає зробити топологію ще раз. Зазвичай, ретопологію роблять на основі високо-полігональної 3D моделі. Після того, як буде зроблено високо-полігональну модель, абсолютно не звертаючи увагу на топологію і щільність сітки, цю модель потрібно анімувати. Але змусити швидко реагувати модель, яка складається з 30 мільйонів полігонів у програмах для створення анімації – це нездійсненне завдання. Тому, потрібно робити ретопологію. Тобто на основі вже готової високо-полігональної форми створюють низько-полігональну сітку, яку дуже зручно і легко анімувати. А всі ті деталі з високо-полігональної версії переносяться на низько-полігональну за допомогою різних прийомів, наприклад, за допомогою карт дисплейменту або нормалей.

Розгортка 3d-моделі

Програмам для текстурування та ігровим движкам потрібна розгортка, щоб зрозуміти, як на неї накласти текстури. Цей процес нагадує процес збірки оригамі? У ньому потрібно узяти плоский аркуш паперу і зробити з нього об'ємну форму. Але на етапі розгортки все навпаки. Потрібно узяти 3D-модель і перенести її на площину, тобто розгорнути.

**Рис. 5 – Завершена розгортка персонажа**

3D модель, за визначенням, зроблена з об'ємних форм. На будь-який об'єкт в редакторі можна покласти матеріал, вибрати його колір і налаштувати відблиск. Але покласти текстури на 3D об'єкти не можна до тих пір, поки ти не зробиш розгортку. Програма просто не знає як накладати плоску текстуру на геометрію. Звідси виникає етап – UV розгортки. Розгортка переносить об'ємні форми на площину для того, щоб на них можна було покласти текстури.



Розгортка завжди створюється з низько-полігональної моделі. На рисунку 5 зображено завершено розгортку моделі персонажа [1].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті виконання даного етапу дослідження проекту перш за все потребувала розуміння та правильної побудови алгоритму створення 3d моделі персонажу, таким чином, щоб в кінцевому результаті отримати вже готову модель персонажу для швидкого впровадження в ігровий движок. Після перегляду та аналізу використаних джерел було визначено порядок етапів створення моделі персонажу для ігор.

Завдяки аналізу існуючих аналогів для даного проекту на сьогоднішній день, було обрано, як саме буде виглядати майбутня модель. Також, завдяки перегляду усіх відомих та розповсюджених програмних продуктів, які використовуються для розробки ігрових моделей, було створено порівняльні таблиці, які допомогли визначитись у виборі відповідних програм для даного проекту.

Список використаних джерел

- [1]. Як робляться моделі для AAA-ігор. Повний гайд по AAA-Пайплайну // School-xyz: [Веб-сайт]. 2020. URL: https://www.school-xyz.com/kak_delayutsya_modeli_dlya_aaa_igr_polnyj_gajd_po_aaa_pajplajnu (дата звернення: 06.02.2020).
- [2]. Повний цикл створення моделі персонажа для гри // Habr: [Веб-сайт]. 2017. URL: <https://habr.com/ru/post/341050/> (дата звернення: 13.02.2020).
- [3]. Створення персонажів для гри // Koloro: [Веб-сайт]. 2018. URL: <https://koloro.ru/blog/3d-tehnologii/sozdanie-personazha-dlya-igry.html> (дата звернення: 15.02.2020).
- [4]. ZBrush 4 Sculpting for Games: Beginner's Guide / за ред. Manuel Scherer.: Alexdesign, 2015. 273 с.
- [5]. Введение в ZBrush 4 / под ред. Келлер Эрик.: ДМК-Пресс, 2018. 768 с.
- [6]. Полное руководство по программированию Maya. Детальное описание языка MEL и интерфейса C ++ API / под ред. Гоулд Дэвид А.Д.: Кудитс-образ, 2004. 528 с.
- [7]. Понимая Maya / за ред. Цыпцын С. Санкт-Петербург: ArtHouse Media, 2012. 700 с.
- [8]. Kratos // Artstation: [Веб-сайт]. 2019. URL: <https://www.artstation.com/artwork/ygeNO> (дата звернення: 19.02.2020).
- [9]. Nathan Drake – Uncharted 4 // Artstation: [Веб-сайт]. 2015. URL: <https://www.artstation.com/artwork/28ZyB> (дата звернення: 20.02.2020).
- [10]. Darsiders 3 – Undead Rider // Artstation: [Веб-сайт]. 2019. URL: <https://www.artstation.com/artwork/qAedZa> (дата звернення: 22.02.2020).
- [11]. 3D редакторы, плюсы и минусы // Habr: [Веб-сайт]. 2012. URL: <https://habr.com/ru/post/136350/> (дата звернення: 23.03.2020).
- [12]. 3d скульптинг 8 лучших программ для 3D моделирования // Getfab: [Веб-сайт]. 2019. URL: <https://getfab.ru/post/47743/> (дата звернення: 25.03.2020).

References

- [1]. Yak roblyatsya modeli dlya AAA-igor. Povniy gayd po AAA-Payplaynu // School-xyz: [Veb-sayt]. 2020. URL: https://www.school-xyz.com/kak_delayutsya_modeli_dlya_aaa_igr_polnyj_gajd_po_aaa_pajplajnu (data zvernennya: 06.02.2020).
- [2]. Povniy tsikl stvorenniya modeli personazha dlya gri // Habr: [Veb-sayt]. 2017. URL: <https://habr.com/ru/post/341050/> (data zvernennya: 13.02.2020).
- [3]. Stvorenniya personazhiv dlya gri // Koloro: [Veb-sayt]. 2018. URL: <https://koloro.ru/blog/3d-tehnologii/sozdanie-personazha-dlya-igry.html> (data zvernennya: 15.02.2020).
- [4]. ZBrush 4 Sculpting for Games: Beginner's Guide / za red. Manuel Scherer.: Alexdesign, 2015. 273 s.
- [5]. Vvedeniye v ZBrush 4 / pod red. Keller Erik.: DMK-Press, 2018. 768 s.
- [6]. Polnyee rukovodstvo po programirovaniyu Maya. Detalyeoe opisaniye yazyka MEL i interfeysa C ++ API / pod red. Gould Devid A.D.: Kudits-obraz, 2004. 528 s.
- [7]. Ponimaya Maya / za red. Tsyptsyn S. Sankt-Peterburg: ArtHouse Media, 2012. 700 s.
- [8]. Kratos // Artstation: [Veb-sayt]. 2019. URL: <https://www.artstation.com/artwork/ygeNO> (data zvernennya: 19.02.2020).
- [9]. Nathan Drake – Uncharted 4 // Artstation: [Veb-sayt]. 2015. URL: <https://www.artstation.com/artwork/28ZyB> (data zvernennya: 20.02.2020).
- [10]. Darsiders 3 – Undead Rider // Artstation: [Veb-sayt]. 2019. URL: <https://www.artstation.com/artwork/qAedZa> (data zvernennya: 22.02.2020).
- [11]. 3D redaktory, plyusy i minusy // Habr: [Veb-sayt]. 2012. URL: <https://habr.com/ru/post/136350/> (data zvernennya: 23.03.2020).
- [12]. 3d skulpting 8 luchshikh programm dlya 3D modelirovaniya // Getfab: [Veb-sayt]. 2019. URL: <https://getfab.ru/post/47743/> (data zvernennya: 25.03.2020).

Отримана в редакції 16.08.2022. Прийнята до друку 07.09.2022. Received 16 August 2022. Approved 07 September 2022. Available in Internet 30 September 2022.