

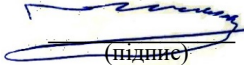
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
"КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ
СІКОРСЬКОГО"**

Факультет електроніки
(повна назва інституту/факультету)

Акустичних та мультимедійних електронних систем
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

 **Сергій НАЙДА.**
(власне ім'я ПРІЗВИЩЕ)

"10" червня 2022 р.

Дипломна робота
на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності

171 Електроніка
(код і назва)

на тему:

«Особливості моделювання об'єктів із заданими
фізичними властивостями засобами програми Houdini»

Виконав:

студент IV курсу, групи ДВ-81
(шифр групи)

Сушинський Андрій Максимович

(прізвище, ім'я, по батькові)



(підпис)

Керівник

доцент, к.т.н., Трапезон К.О.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)



(підпис)

Консультант

(назва розділу) (посада, науковий ступінь, вчене звання,
прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент

доц. кафедри ЕПС доц., к.т.н. Михайлов С.Р.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)



(підпис)

Засвідчую, що у цій дипломній
роботі немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студент **Сушинський А.М.**



(підпис)

Київ – 2022 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет _____ Електроніки _____

Кафедра _____ акустичних та мультимедійних електронних систем _____

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність _____ 171 Електроніка _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри


(підпис) Сергій НАЙДА
(ініціали, прізвище)

« 02 » _____ травня _____ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ
на дипломну роботу студенту**

Сушинському Андрію Максимовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: «Особливості моделювання об'єктів із заданими фізичними властивостями засобами програми Houdini»

керівник роботи _____ Трапезон Кирило Олександрович, к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «06» червня 2022 р. № 911-с

Термін подання студентом роботи _____ 14 червня 2022 р.

Вихідні дані до роботи: 1) основний програмний продукт для аналізу – SideFX Houdini non-commercial; 2) алгоритми та процедурні функції при роботі з динамікою м'яких тіл; 3) фізичні властивості об'єктів та параметри їх регулювання – маса, сила пружності, демпфірування.

/

4 Зміст роботи: 1) Візуальні ефекти в кінематографі. 2) Симуляція фізичних об'єктів. 3) Поняття атрибутів та зв'язок з констрейнтами. 4) Практичні особливості, моделювання. Ключовий принцип паралельності моделювання.

5 Перелік ілюстративного матеріалу: комплект презентації за матеріалами проведеного дослідження.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 01 лютого 2022 р.

Календарний план

з/п	Назва етапів виконання дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
	Структурування першого розділу	29.04.2022	виконано
	Структурування другого розділу	15.05.2022	виконано
	Структурування третього розділу	21.05.2022	виконано
	Складання елементів пояснювальної записки	28.05.2022	виконано
	Підготовка та оформлення презентації для доповіді	14.06.2022	виконано

Студент

(підпис)

А. М. Сушинський

(ініціали, прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

К.О. Трапезон

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Сушинський А.М. Особливості моделювання об'єктів із заданими фізичними властивостями засобами програми Houdini: дипломна робота бакалавра : 171 Електроніка. – Київ, 2022. – 58 с.

Дипломна робота: 58 с., 54 рис., 1 табл., 1 дод., 11 джерел.

Ключові слова: прогнозовані моделі, моделювання процесу, перевірка моделі, оброблення даних, пайплайн, системи в режимі реального часу.

Актуальність дослідження. Комп'ютерні ігри, анімаційні фільми з персонажами, сучасне кіно нерозривно пов'язані з моделюванням візуальних динамічних ефектів. Одним з напрямів стрімкого розвитку цих ефектів останнім часом в межах поствиробництва можна відзначити аналіз динаміки м'яких тіл. Це можна пояснити тим, що елементи персонажної анімації потребують узгодження при візуалізації їх реалістичних рухів. Така сама ситуація стосується і низькополігональних моделей, які визначаються певними матеріалами і фізичними властивостями, особливо в ситуації, коли ці моделі переміщуються, стикаються з іншими елементами сцени. Аналізу та моделюванню цих ситуацій в режимі реального часу і присвячено дане дипломне дослідження.

Мета дослідження полягає у проведенні моделювання систем з веллюм-елементами, які дозволяють описати особливості динаміки м'яких тіл. Дотичною метою можна вважати аналіз колізій елементів сцени при взаємодії між собою та з умовною землею на основі процедурних інструментів та обмежень програми Houdini.

Завдання для досягнення мети: розглянути основні види поствиробництва в рамках підходів пайплайн при створенні елементів комп'ютерної графіки з властивостями реальних фізичних об'єктів; визначити алгоритми до створення моделей, які в реальному часі описують системні фізичні обмеження моделей; розробити моделі тканинної поверхні, волосся, м'яких тіл на основі інструментів програми Houdini.

Об'єкт дослідження: алгоритми роботи з низькополігональною геометрією, процедурне моделювання веллюм-елементів.

Предмет дослідження: референсні зображення моделей, опису ситуацій взаємодії фізичних тіл у природі.

Методи дослідження: процедурні методи та алгоритми, які визначені в межах програми на мові об'єктно-орієнтованого програмування VEX.

Наукова новизна отриманих результатів: 1) наведено моделі, які можуть детально допомогти провести опис динаміки м'яких тіл на підставі процедурних особливостей програми Houdini; 2) визначено підходи, які дозволяють спростити та удосконалити етапи процесу поствиробництва кіно.

Практичне значення одержаних результатів: алгоритми та проведенний аналіз фізичних параметрів можуть бути корисні у студіях візуальних ефектів.

ABSTRACT

Suchinskiy A. Features of modeling objects with specified physical properties by means of the Houdini program : Bachelor Thesis: 171 Electronics. - Kyiv, 2022. - 58 p.

Graduate work: 58 pp., 54 figs., 1 table, 1 supplements, 11 sources.

Keywords: predictive models, process modeling, model checking, data processing, pipeline processing, real-time systems

Relevance of research. Computer games, animated films with characters, modern cinema are inextricably linked with the simulation of visual dynamic effects. One of the areas of rapid development of these effects in recent years in post-production is the analysis of the dynamics of soft bodies. The elements of character animation need to be consistent in the visualization of their realistic movements. The same situation applies to low-polygonal models, which are determined by certain materials and physical properties, especially in a situation where these models move, collide with other elements of the scene. This diploma research is devoted to the analysis and modeling of these situations in real time.

The purpose of the work is to model systems with vellum elements, which allow to describe the dynamics of soft materials. The related goal can be considered the analysis of the collisions of the elements of the scene in the interaction with each other and with the conditional land on the basis of procedural tools and limitations of the Houdini program.

Objectives to achieve the goal: to consider the main types of post-production within the framework of pipeline approaches when creating elements of computer graphics with the properties of real physical objects; identify algorithms for creating models that describe real-time system physical limitations of models; develop models of fabric surface, hair, soft bodies based on Houdini tools.

Object of research: algorithms for working with low-polygonal geometry, procedural modeling of vellum elements.

Subject of research: reference images of models, descriptions of situations of interaction of physical bodies in nature.

Research methods: procedural methods and algorithms that are defined within the program in the language of object-oriented programming VEX.

Scientific novelty of the obtained results: 1) there are models that can help to describe in detail the dynamics of soft bodies based on the procedural features of the Houdini program; 2) approaches are identified that allow to simplify and improve the stages of the post-production process of cinema.

Practical significance of the obtained results: algorithms and analysis of physical parameters can be useful in visual effects studies.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1 ВІЗУАЛЬНІ ЕФЕКТИ В КІНЕМАТОГРАФІ	10
1.1 Історія виникнення ефектів.....	10
1.2 Основні види поствиробництва і пайплайн.....	12
1.3 Поняття анімації та симуляції об'єктів з фізичними властивостями (підходи PBD).....	22
2 СИМУЛЯЦІЯ ФІЗИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ.....	24
2.1 Поняття обмеження при симуляції. Зв'язок з геометрією об'єктів.....	24
2.2 Типи констрейнтів.....	24
2.2.1 Взаємодія з колізіями.....	26
2.3 Особливості побудови системи динаміки DOP. Поняття солверу.....	27
3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	30
3.1 Моделювання тканини.....	30
3.2 Моделювання волосся.....	38
3.3 Моделювання тіл з тиском.....	46
3.4 Моделювання м'яких тіл.....	48
3.5 Моделювання елементів з пісчинками.....	49
ВИСНОВКИ.....	52
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	53
ДОДАТОК А.....	54

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

CGI	– Computer Generated Imaginery;
DOP	– Dynamic Operator;
FX	– eFfects;
PBD	– Position Based Dynamics;
VFX	– Visual eFfects.

ВСТУП

Створення комп'ютерних моделей з певними фізичними властивостями дозволяють значно підвищити реалістичність візуальних ефектів у сучасному кіно. Так, елементи, які складаються з невеликої кількості полігональних елементів набувають властивостей, які характерні реальним аналогічним виробам у навколишньому середовищі. Найбільш простий приклад, який можна використати при опису таких властивостей – пружній шар, який падає з висоти і стикається з землею. В реальному світі характеристики пружності і відповідні сили важко розрахувати без проведення відповідних фізичних експериментів. З іншого боку, задаючи параметри в програмі можна спрогнозувати рух та деформацію такого елемента лише на основі моделі, яка складається з невеликої кількості елементів. Більш цікавою ситуація виглядає, коли потрібно описати зіткнення двох елементів в сцені з урахуванням їх фізичних властивостей. Зрозуміло, що в такому випадку в реальній ситуації довелось б досліджувати параметри руху, параметри ваги, матеріали цих елементів, тощо. Перевагою програмного підходу є не лише реалістичність візуального ефекту, але й можливість візуалізації в реальному часі у зрозумілій формі певних сил та параметрів, що діють у місці зіткнення, чи у випадку жорсткого закріплення елементів

1 ВІЗУАЛЬНІ ЕФЕКТИ В КІНЕМАТОГРАФІ

1.1 Історія виникнення ефектів

Візуальні ефекти (VFX) – це процес створення зображень або маніпулювання ними поза контекстом живих виступів у кіновиробництві та виробництві відео. Інтеграція відеоматеріалів у реальному часі та інших відеоматеріалів або елементів комп'ютерної графіки для створення реалістичних зображень називається VFX [1].

Візуальні ефекти включають інтеграцію відеоматеріалів у реальному часі (які можуть включати спеціальні ефекти в камері) і згенерованих зображень (цифрових або оптичних, тварин або істот), які виглядають реалістично, але будуть небезпечними, дорогими, непрактичними, трудомісткими або неможливими для зйомки. Візуальні ефекти з використанням комп'ютерних зображень (CGI) останнім часом стали доступні незалежним режисерам з появою доступного та відносно простого використання програмного забезпечення для анімації та композитингу [2].

В 1857 Оскар Рейландер створив перше у світі зображення, об'єднавши різні частини 32 негативів в одне зображення, створивши комбінований відбиток. У 1895 Альфред Кларк створив перший в історії кінематографічний ефект мережі. Під час зйомок реконструкції обезголовлення Марії, королеви Шотландії, Кларк наказав актору підійти до кварталу в костюмі Мері. Коли кат підняв сокиру над головою, Кларк зупинив камеру, всі актори завмерли, а людина, яка грає Мері, пішла зі знімального майданчика. Він поставив манекен Мері на місце актора, відновив зйомку і дозволив кату опустити сокиру, відрубавши голову манекену. Подібні методи домінуватимуть у виробництві пост виробництва протягом сторіччя.

Це було не тільки перше використання хитрощів у кіно, це також був перший тип фотографічних хитрощів, який був можливий тільки в кіно, і

званий «трюком із зупинкою». Жорж Мельєс, один із перших піонерів кіно, випадково виявив той же «трюк із зупинкою».

За словами Мельєса, у нього заклинило фотоапарат під час зйомки вуличної сцени у Парижі. Під час перегляду плівки він виявив, що «трюк із зупинкою» змусив вантажівку перетворитися на катафалк, пішоходів – змінити напрямок, а чоловіків – перетворитися на жінок. Мельєс (рис.1.1), директор Театру Робер-Удена, був натхненний на створення серії з більш ніж півтисячі фільмів за 17 років роботи, і в процесі створення розробив такі прийоми, як наприклад мультиекспозиція, фотографія, розчинення та ручна зйомка. Пофарбований колір.



Рисунок 1.1 – Фільм Жоржа Мельєса «Людина з гумовою головою»

Найвідоміший фільм Мельєса це *Le Voyage dans la lune* (1902), являє собою жанр пародію на твір Ж. Верна «З Землі на Місяць», поєднував у собі живу дію та анімацію, а також включав великий мініатюрний і матовий живопис.

1.3 Основні види поствиробництва і пайплайн

Сьогодні візуальні ефекти широко використовуються майже у всіх створених фільмах. У самому касовому фільмі всіх часів, Месники: Фінал (2019) широко використовувалися візуальні ефекти. Близько дев'яносто відсотків фільму використали VFX та CGI. Крім фільмів, телесеріали та веб-серіали також використовують VFX [3].

Використовувані методи [4]:

- спеціальні ефекти: спеціальні ефекти (FX) – це ілюзії або візуальні прийоми, що використовуються в театрі, кіно, телебаченні, відеоіграх та симуляторах для імітації уявних подій в історії або віртуальному світі. Спецефекти традиційно поділяються на категорії механічних ефектів та оптичних ефектів. З появою цифрового кіновиробництва різниця між поствиробництвом та візуальними ефектами збільшилася, причому останні відносяться до механічних та оптичних ефектів. Механічні ефекти (також звані практичними чи фізичними ефектами) зазвичай досягаються під час зйомки живих виступів. Це включає використання механізованого реквізиту, декорацій, масштабних моделей, аніматроніки, піротехніки та атмосферних ефектів: створення фізичного вітру, дощу, туману, снігу, хмар, створення відчуття, що машина їде сам по собі, вибухи будівлі і т.д. часто включаються в декорації та макіяж. Наприклад, за допомогою протезного гриму актор може виглядати як нелюдська істота. Оптичні ефекти (також звані фотографічні ефекти) це методи, в яких зображення або кадри плівки, створюються фотографічно за допомогою мультиекспозиції (рис.1.2). Оптичний ефект можна використовувати для розміщення акторів чи декорацій на іншому тлі.



Рисунок 1.2 – Подвійна експозиція

- захоплення руху: Захоплення руху (іноді для стислості званий мочсар або мосар) – це процес запису руху об'єктів або людей (рис.1.3). Він використовується у військових, розважальних, спортивних, медичних додатках, а також для перевірки комп'ютерного зору та робототехніки. У кінотворчості та розробці відеоігор це відноситься до запису дій людей-акторів та використання цієї інформації для анімації цифрових моделей персонажів у комп'ютерній 2D- або 3D-анімації. Коли він включає обличчя і пальці або фіксує ледь помітні вирази, це часто називають захопленням продуктивності.

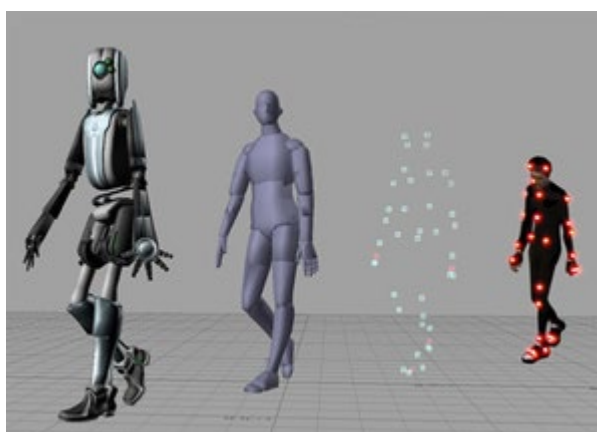


Рисунок 1.3 – Захоплення руху

Мет-пэйнт: мет-пэйнт (Matte Painting) – це намальоване зображення пейзажу, декорації або віддаленого місця, яке дозволяє творцям фільму

створити ілюзію середовища, якого немає в місці зйомки. Історично склалося так, що художники з мет-пэйнту (рис.1.4) та кінематографісти використовували різні техніки для комбінування зображення. У кращому разі, залежно від рівня навичок художників, ефект створюється безшовним з оточенням, яке інакше було б неможливо або дорого знімати. У сценах мальовнича частина статична, і рухи інтегровані у неї [2].



Рисунок 1.4 – Мет-пэйнт

Анімація. Анімація – це метод, при якому фігури перетворюються на зображення, що рухаються. У традиційній анімації зображення малюються або розфарбовуються вручну на прозорих целулоїдних листах для фотографування і демонстрації на плівці. Сьогодні більшість анімацій створюється за допомогою комп'ютерних зображень (CGI). 2D-анімація може використовуватися з стилістичних причин, з низькою пропускнуою здатністю або більш швидкою візуалізацією в реальному часі. Інші поширені методи анімації застосовують техніку поствиробництва анімації до дво- та тривимірних об'єктів (рис.1.5), таким як вирізки з паперу, ляльки або глиняні фігурки. Зазвичай ефект анімації досягається за рахунок

швидкої зміни послідовних зображень, що мінімально відрізняються один від одного. Телебачення та відео – популярні електронні засоби анімації, які спочатку були аналоговими, а тепер працюють у цифровому форматі. Для відображення на комп'ютері були розроблені такі методи, як анімований GIF та Flash-анімація.

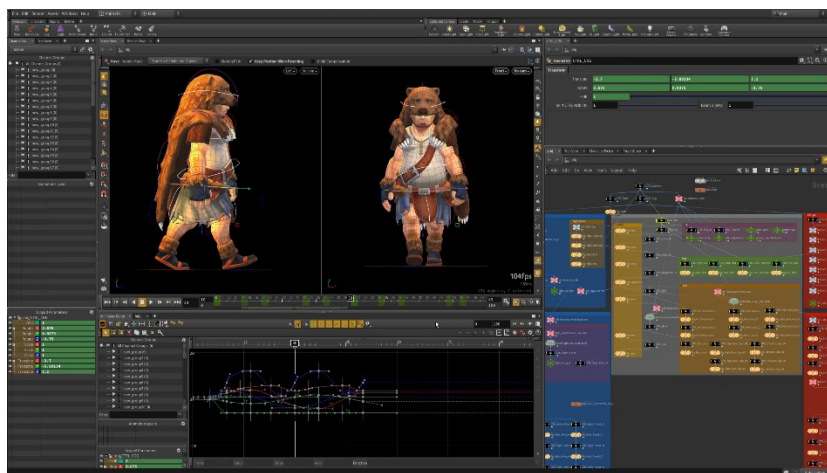


Рисунок 1.5 – Процес створення анімації

3D моделювання: моделювання є процесом розробки математичного представлення будь-якої поверхні об'єкта в трьох вимірах за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Виріб називається 3D-моделлю. Той, хто працює з 3D-моделями (рис.1.6), може називатися 3D-художником. Його можна відобразити як двовимірне зображення за допомогою процесу, що називається 3D-рендерингом, або використовувати при комп'ютерному моделюванні фізичних явищ. Модель також можна фізично створити за допомогою пристроїв для 3D-друку [3].

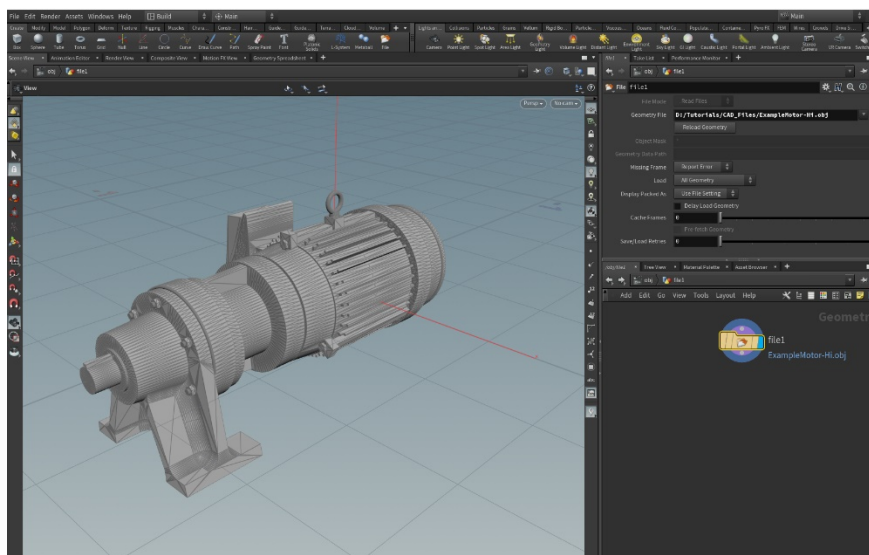


Рисунок 1.6 – Процес створення 3D моделі

Риггінг: скелетна анімація або риггінг (рис.1.7) – це метод комп'ютерної анімації, в якому персонаж (або інший шарнірний об'єкт) представлений у двох частинах: поверхня, що використовується для малювання персонажа (зване сіткою або шкірою), та ієрархічний набір взаємопов'язаних частин (звані кістками і разом утворюють скелет або клумб). Цей підхід використовується іноді для анімації об'єктів та фігур, і він служить тільки для того, щоб зробити процес анімації більш інтуїтивним, його можна використовувати для управління деформацією будь-якого об'єкта. Наприклад, двері, ложки, будівлі або галактики. Коли анімований об'єкт є більш загальним, набір «кісток» може представляти високорівневий опис руху частини об'єкта, на яку він впливає [5].

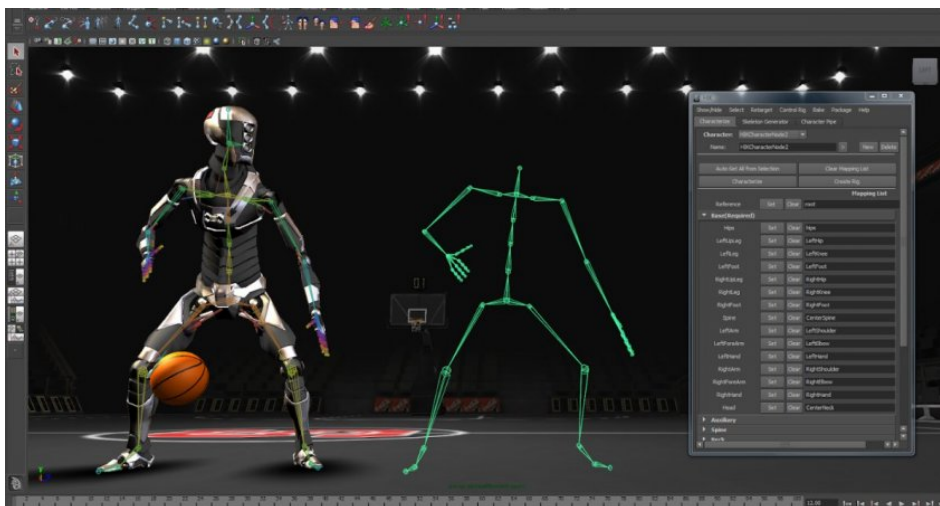


Рисунок 1.7 – Ріггінг

Матчмувінг: матчмувінг (рис.1.8) (Matchmoving) у візуальних ефектах – це метод, який дозволяє вставляти комп'ютерну графіку у відеоматеріал живої дії з правильним положенням, масштабом, орієнтацією та рухом щодо знятих об'єктів у кадрі. Термін використовується в широкому сенсі, щоб описати кілька різних методів вилучення руху камери з відео. Матчмувінг, який іноді називають відстеженням руху, пов'язаний з ротоскопіюванням і фотограмметрією. Матчмувінг є програмною технологією, що застосовується постфактум до звичайних матеріалів, записаних у неконтрольованому середовищі за допомогою звичайної камери. В основному використовується для відстеження руху камери в кадрі, щоб ідентичний рух віртуальної камери можна було відтворити у 3D-анімації. Коли анімовані елементи об'єднуються з відзнятим матеріалом, вони відобразатимуться в ідеально підбраній перспективі і, отже, виглядатимуть безшовно.

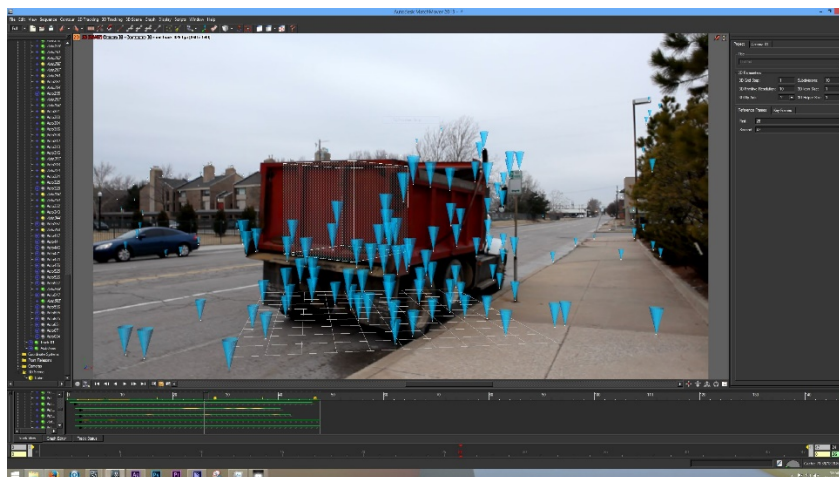


Рисунок 1.8 – Матчмувінг

Композитинг: Композитинг (рис.1.9) – це об'єднання візуальних елементів із різних джерел в нові зображення, часто для створення ілюзії, що ці елементи є частинами однієї сцени. Сьогодні композитинг досягається за допомогою обробки цифрових зображень. Однак доцифрові методи композитингу беруть початок з трюків Жоржа Мельєса в кінці 19 століття, і деякі з них використовуються досі [1].



Рисунок 1.9 – Композитинг

Пайплайн – це цикл розробки готового продукту – фільму, рекламного відео тощо. Візуальні ефекти часто є невід'ємною частиною сюжету та привабливості фільму. Хоча більша частина роботи з візуальними ефектами завершується під час пост-обробки, зазвичай її необхідно ретельно

спланувати та поставити на стадії підготовки до виробництва. У той час як спеціальні ефекти, такі як вибухи та автомобільні погоні, створюються на знімальному майданчику, візуальні ефекти в основному виконуються на етапі пост-обробки з використанням різноманітних прийомів в графіці, серед яких дизайн, моделювання, анімація, тощо. Відповідальний за ефекти (супервайзер), як правило, пов'язаний з виробництвом від ранньої стадії, тісно працює над виробництвом фільму з режисером дизайну, керівництвом та знімальною командою для досягнення бажаного ефекту [6].

Пайплайн з створення моделі можна поділити на 7 етапів:

1. Draft – пробний, чорновий ескіз моделі (рис.1.10). Є аналогічний скетчу у 2D-художників. Цей етап починається з створення основних форм і завершується деталізацією. Головна мета етапу показати в чорновому варіанті як буде виглядати фінальна модель. Draft фактично це пошук силуету, форми, пропорцій і навіть питань кольору. На цьому етапі важлива простота сітки і не важлива її акуратність, бо в подальшому не однократно потрібно буде вносити корективи.



Рисунок 1.10 – Draft

2. High poly (рис.1.11). Це етап створення високо полігональної моделі, тобто супер деталізованої моделі з красивими круглими фасками, деталями, фактурами тощо. Для цієї моделі нема обмежень в кількості полігонів. Головне обмеження щоб модель можна було відкрити в 3D-програмі. Розрізняють декілька технологій створення цієї моделі – SubD, Kat, Sculpting.



Рисунок 1.11 – High poly

3. Low poly. Це максимально легка 3D-модель (рис.1.12), де кожна площина, грані та вершини мають певну функціональну задачу і впливають на силует, розв'язують задачі розгортки. Основна задача цього етапу – знайти ідеальний баланс між виразністю та легкістю моделі в кіно, грі.

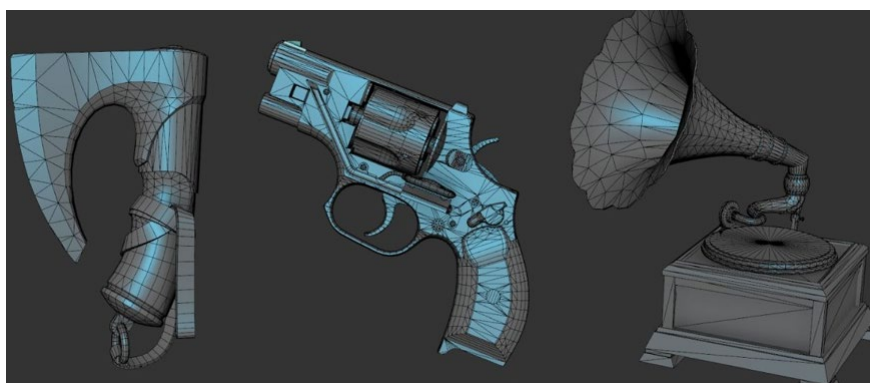


Рисунок 1.12 – Low poly

4. UV Mapping (рис.1.13). На цьому етапі низько полігональну модель розгортають на площину. Відомо, що текстури в моделюванні – це прості плоскі картинки і без розгортки 3D-редактор не розуміє як застосувати текстуру до об'ємної 3D-моделі. І на цьому етапі необхідно розрізати модель на площини з найменшою кількістю швів, які повинні бути сховані від потенційного глядача. Необхідно переконатись, що текстури не тягнуться а повторювальні елементи накривають один одного для економії текстурного простору.

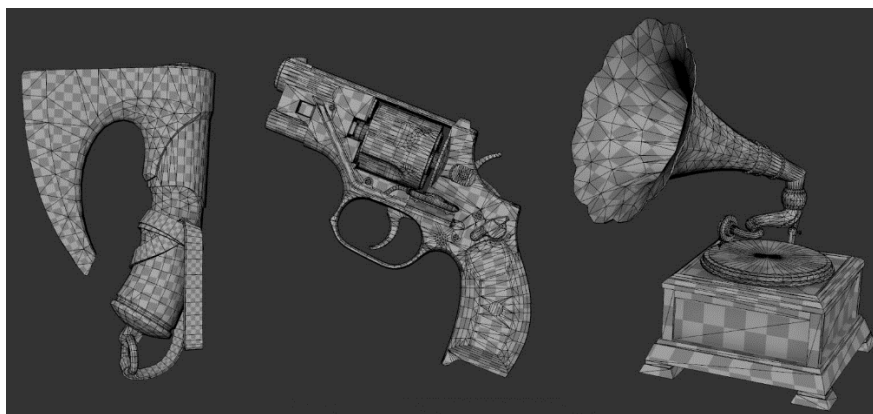


Рисунок 1.13 – UV Mapping

5. Bake (спечена модель). Це етап перенесення деталізації з high-poly на low-poly у вигляді спеціальних карт (текстур). Наприклад вигини, круглі фаски, шви, фактури тощо. Тобто усі деталі з highpoly можна запекти на lowpoly у вигляді карти нормалей (рис.1.14). Крім цього, можна запекти затінювання і кольорову розбивання моделі на матеріали.



Рисунок 1.14 – Bake

6. Texture. Створення текстур це фактично розфарбовування моделі. Це майстерність відтворення візуальних властивостей об'єкту так, щоб його можна було пізнати. Розрізняють декілька технологій візуалізації картинки зі своїми вимогами до текстур.

7. Render. Процес отримання зображення за моделлю за допомогою комп'ютерної програми (рис.1.15).



Рисунок 1.15 – Render

Створення моделі не завжди передбачає виконання усіх етапів з проходження технологічного етапу пайплайну. Деякі стадії можна змінювати місцями, але завершеність окремого етапу є обов'язковою умовою. Наприклад при створенні моделі не завжди необхідно створювати high-poly структури з наступним запіканням карт. Навіть створення текстур іноді є не обов'язковим етапом. Такий підхід можна зустріти у мобільних мережах з low-poly орієнтуванням.

1.4 Поняття анімації та симуляції об'єктів з фізичними властивостями (підходи PBD)

3D анімація повністю відрізняється від інших видів анімації у комп'ютерній графіці. Хоча вони використовують однакові принципи композиції та руху, технічні методи, що застосовуються для вирішення різноманітних завдань, суттєво відрізняються. У 3D анімації аніматору не потрібно бути художником-графіком. Це більше схоже на гру з ляльками, аніж на малюнок.

Анімація формується шляхом створення моделей в окремих ключових кадрах, після чого комп'ютер виконує їхнє «розмноження», інтерпретуючи анімацію за допомогою додавання проміжних кадрів між ключовими.

Крім цього, багато часу йде на роботу з кривими, що представляють різні частини об'єкта в різні періоди часу. У 3D-анімації повинні

враховуватися всі персонажі, навіть ті, які в певний момент часу чимось перекриті і не видно.

Основна відмінність між цими видами анімації полягає в тому, що у традиційній та 2D анімації художник працює з окремими кадрами, у той час як у 3D-анімації завжди існує безперервний потік. Якщо він зупиняється, це сприймається як помилка. Навіть коли персонаж залишається дома, завжди існує безперервний потік кадрів, який створює ілюзію реальності.

Динаміка на основі положення (PBD – position based dynamic) – це метод, який використовується для моделювання динаміки, який обчислює положення групи частинок або вершин у часі. Потім швидкість оновлюється як різниця позицій. Ці положення змінюються під впливом внутрішніх та зовнішніх сил [7-11]. Перевага PBD полягає у спрощенні обчислення внутрішніх сил, таких як пружність, тиск або в'язкість, в обмеженнях, що проектуються на положення. Тому він обчислює положення та швидкість, беручи до уваги лише зовнішні сили, наприклад гравітацію та вітер. Нові позиції представляють кандидатів на остаточне розташування частинок на тимчасовому етапі.

Висновки до першого розділу. Визначено основні типи та підходи до створення візуальних ефектів для кіноіндустрії. Показано, що пайплайн як цикл створення моделі можна описати на основі семи етапів. Зазначено, що не усі проаналізовані етапи є обов'язковими, проте етап створення низько полігональної моделі може слугувати основою для розроблення візуальних ефектів в якості емітеру процедурних даних.

2 СИМУЛЯЦІЯ ФІЗИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

2.1 Поняття обмеження при симуляції. Зв'язок з геометрією об'єктів

Для того, щоб обчислити остаточні позиції крапок, нам потрібно застосувати внутрішні сили, які проєціюють деякі обмеження на цих кандидатів. Обмеження, що використовуються, залежать від ефекту, який ми хочемо імітувати. Наприклад, обмеження, які використовуються для зернистих матеріалів, відрізняються від обмежень для моделювання тканини. Деякими прикладами обмежень є фіксоване положення, відстань, тертя, тверді та деформовані тіла та рідина. Існує особливий випадок обмеження, обмеження зіткнення, яке необхідно обчислювати для кожного тимчасового кроку так, щоб воно залежало від положення частки щодо довкілля будь-якої миті. Нарешті, у solver позиція послідовно оновлюються шляхом багаторазового проектування кожного обмеження з допомогою методу Гаусса-Зейделя [8].

2.2 Типи констрейнтів

Програмний інструментарій програми Houdini дозволяє використовувати такі типи обмежень [10]:

- Distance Along Edges (відстань вздовж ребер) – перетворює кожне ребро в геометрії, що відображається, в обмеження відстані, зберігаючи цю довжину ребра.
- Bend Across Triangles – кожна пара трикутників (або трикутників мається на увазі, якщо вхідні дані чотиристоронні або вище) створює обмеження, що підтримує початковий двогранний кут між трикутниками.
- Cloth (тканина) – створює обмеження, що складаються з обмежень відстані по краю та вигину поперек трикутника.

- Hair (волосся) – створює обмеження, що складаються з відстані по краю та вигину між краями. Цей вигин також включає скручування країв, що допускає ефект кручення.
- String (пряма) – створює обмеження, що є простішим обмеженням волосся. Це відстань уздовж краю та кут між краями. Однак вони не мають обмежень на скручування, тому краї можуть вільно обертатися.
- Pin To Target – прикріплює зазначені точки до відповідної точки цільової геометрії.
- Attach to Geometry (прикріпити до геометрії) – приєднує зазначені точки до геометрії у третьому вході (до геометрії колізії). Вони збережуть найближчу точку в кадрі приєднання і створять обмеження відстані, прив'язуючи їх до неї.
- Stitch Points (крапки зшивання) – зшиває точки однієї і тієї ж геометрії разом, використовуючи обмеження відстані.
- Pressure (тиск) – зберігає вихідний обсяг і будує обмеження для його збереження для кожної частини, яка визначається параметром «Визначити частини». Примус має глобальний характер, тому здавлювання одного місця розширить інше, імітуючи повітряну кулю.
- Tetrahedral Volume (тетраедричний об'єм) – перетворює кожен тетраедр на обмеження для підтримки обсягу тетраедрів.
- Weld Points (крапки зварки) – це не обмеження саме по собі, але воно редагує атрибут weld, щоб крапки логічно зливалися в одну.
- Glue (клей) – кожна точка шукатиме найближчу точку, яка не є частиною її власної моделі. Буде побудоване обмеження відстані, яке утримує їх разом.
- Struts (розпірка) – кожна точка шукатиме віддалену точку, яка є частиною її власної частини та з якою вона має пряму видимість. Він створить обмеження відстані до цієї точки. Це створює велику кількість

внутрішніх розпірок, схожих на зубочистки, які надають об'єкту жорсткості та об'єму з меншими витратами.

- Tetrahedral Fiber (тетраедричне волокно) – перетворює кожен тетраедр на обмеження, яке намагається згладити напрямок, вказаний атрибутом materialW у його точках, або $\{0, 0, 1\}$, якщо цей атрибут не існує.

- Triangle Stretch (розтягнення трикутника) – перетворює кожен трикутник на обмеження, яке підтримує максимально можливу жорсткість трикутника (ARAP), видаляючи будь-яке розтягнення або перекіс відповідно до заданої жорсткості.

- Tetrahedral Stretch (розтягнення тетраедра) – перетворює кожен тетраедр на обмеження, яке зберігає тетраедр максимально жорстким (ARAP), видаляючи будь-яке розтягнення або перекіс відповідно до заданої жорсткості.

- Shape Match (відповідність форми) – створює обмеження, що повертає точки до вихідної (rest) форми кожної деталі, визначається параметром «Define Pieces». Це обмеження можна використовувати для додавання жорсткості або поверх існуючих обмежень, таких як тканина, або саме для створення в основному жорстких об'єктів, які можуть взаємодіяти з іншою геометрією Vellum.

2.2.1 Взаємодія з колізіями

Однією з переваг PBD є простота розрахунку запобігання зіткненням. Колізія є особливим типом обмеження, тому що вона не статична, вона змінюється з часом, тому нам потрібно виявляти її на кожному етапі моделювання [10].

Розрізняють два типи колізії: взаємодія частинок з частинками та зіткнення з оточенням. Можна обчислити перший тип, порівнюючи відстань між частинками з сумою двох радіусів. Відстань має бути більшою або дорівнювати цій сумі, щоб уникнути перетину.

У другому типі зіткнень відбувається перевірка, чи стикається частка з нескінченною площиною чи трикутник під час переходу від своєї позиції до позиції-кандидата. Якщо зіткнення існує, створюється обмеження нескінченної площини, оскільки це працює в обох випадках.

2.3 Особливості побудови системи динаміки DOP. Поняття солверу

Веллум може працювати на двох рівнях [8]:

- 1 – Всередині мережі DOP (Dynamic Operator) – Динамічна мережа
- 2 – У контексті SOP із солвером Vellum – солвер на рівні SOP

DOP у відмінності від SOP налаштовує поведінку та відносини, він не моделює безпосередньо потік точок через графік. Це система обробки геометрії, не обов'язково лінійний потік даних від початку до кінця. Симуляція – це розрахунок на основі результатів попереднього кадру.

Нода Vellumsolver має нижній рівень підключення нод (від мережі forces, рис.2.1), який знаходиться всередині dopnetwork.

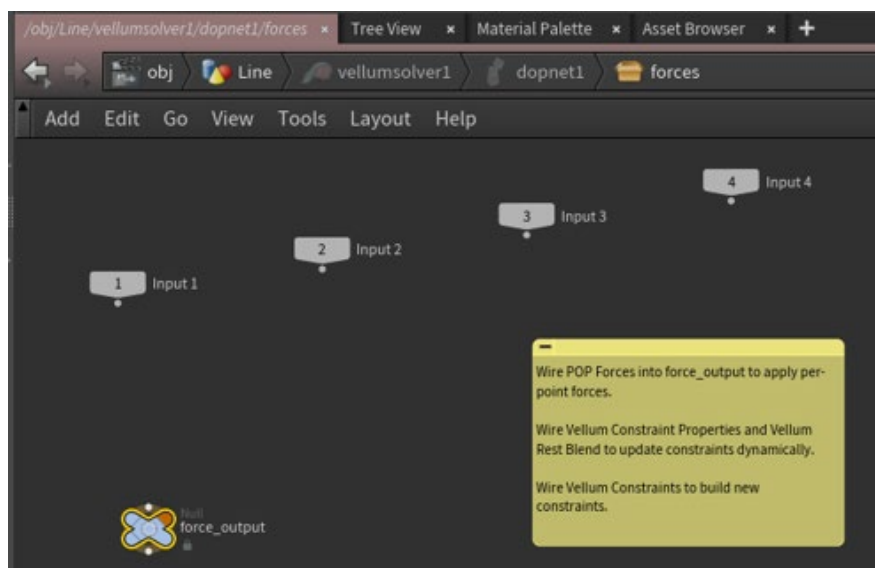


Рисунок 2.1 – Підмережа forces

Від мережі forces ноди Vellumsolver можна додавати свої ноди для впливу на симуляції. Наприклад, ноди сил з системи частинок (POP Network) (рис.2.2) для більш тонкого налаштування симуляції.

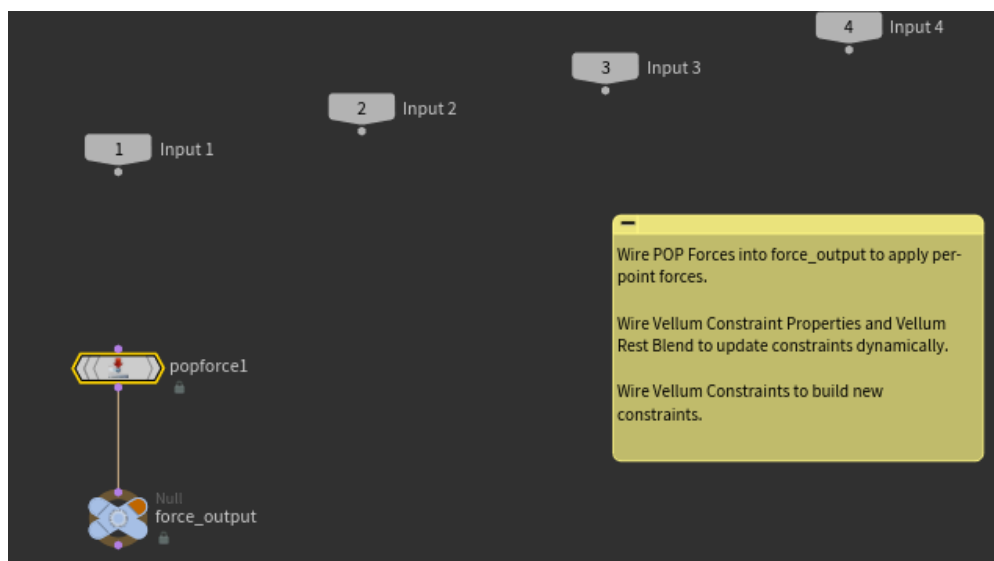


Рисунок 2.2 – Нода сили з системи частинок

Солвер – це «двигун» симуляції, нода, яка збирає всю потрібну інформацію для симуляції та проводить розрахунки. Vellum solver (рис.2.3) має три входи. Першим входом є геометрія поверхні. Другий вхід повинен мати таку ж кількість точок, що й перший, з відповідністю g_j номерам точок або з атрибутами ID. Другий вхід також повинен мати спеціальні примітиви, що описують відносини обмежень, вони можуть бути створені за допомогою SOP Vellum Constraints. Третій вхід приймає геометрію колізії, з якою буде взаємодіяти геометрія з першого входу під час симуляції.

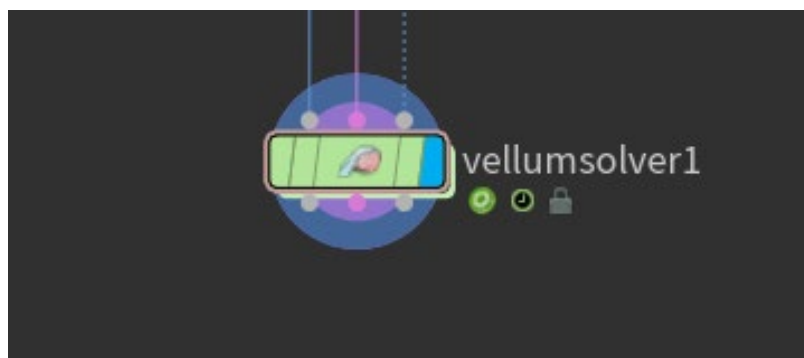


Рисунок 2.3 – Vellum solver

Висновки до другого розділу. Наведено основні типи констрейнтів, які є основою при створенні веллум-симуляцій. Показано, що колізії частинок за своєю природою можуть бути двох типів. Зроблено висновок, що солвер мережі є основним елементом при створенні симуляції візуальних ефектів.

3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Моделювання тканини

Моделювання тканини є важливою частиною виготовлення комп'ютерної графіки для кіно чи реклами. Програмний додаток Houdini дозволяє імітувати різні фізичні властивості різних тканин для досягнення фотореалістичного результату відтворення вбрання персонажу. Інструменти Houdini дозволяють як імпортувати моделі одягу зі спеціалізованих програмних додатків для подальшої симуляції, так і створювати його з нуля. В якості вихідних даних до моделювання створимо сілуєт сукні в 2D на основі інструменту для малювання та виконаємо редагування для вирівнювання і віддзеркалення (рис.3.1).

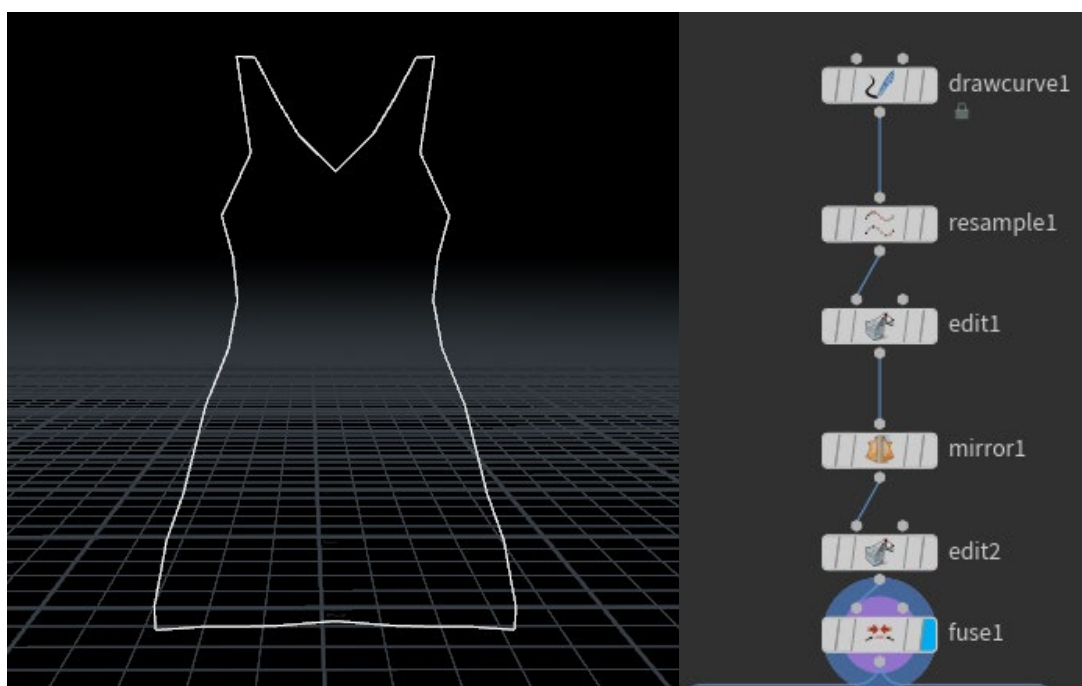


Рисунок 3.1 – Сілуєт сукні

Далі заповнюємо площину полігонами та проведемо операцію дублювання геометрії, щоб зробити передню та задню частину сукні (рис.3.2).

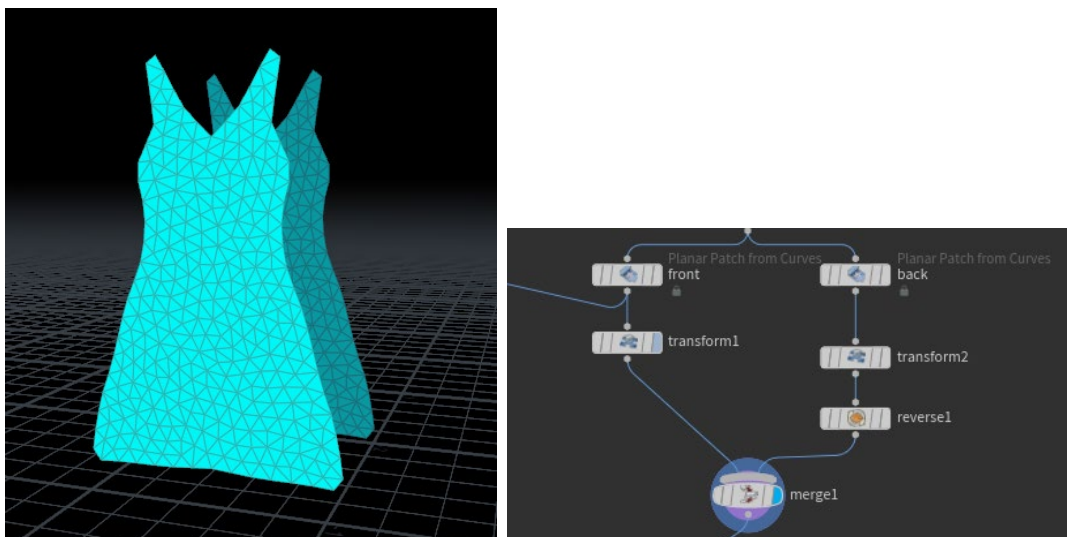


Рисунок 3.2 – Дві частини сукні

Після цього підключаємо ноду Vellum constraints (рис.3.3) у режимі cloth, де і задаємо основні фізичні властивості тканини. У третій вхід ноди підключаємо геометрію колізії, тобто анімовану модель, яка буде взаємодіяти з сукнею. Параметр stretch відповідає за можливість тканини розтягуватись. Чим вище значення, тим менше вона тягнеться. Параметр bend відповідає за можливість тканини згинатися.

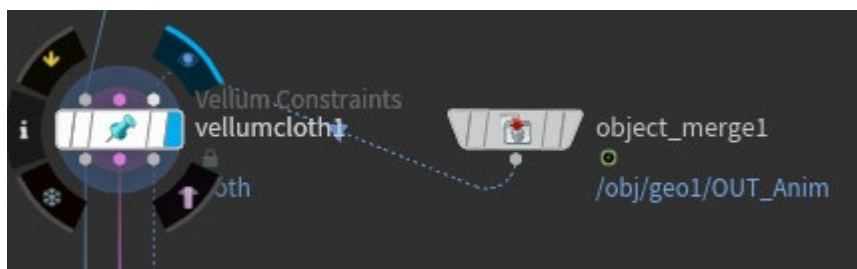


Рисунок 3.3 - Vellum constraints

Після цього додаємо ноду vellum drape (рис.3.4), яка зшиває дві частини сукні на моделі разом.

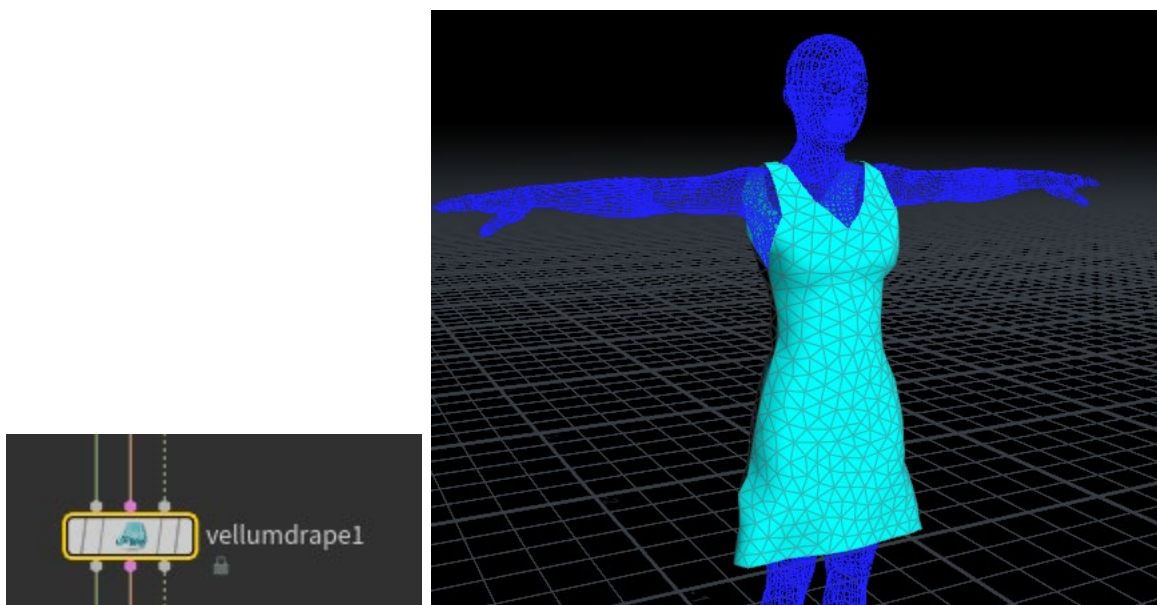


Рисунок 3.4 - Нода Vellum drape

Відмітимо, що нода Vellum solver прораховує всю симуляцію в межах нодової схеми моделі.

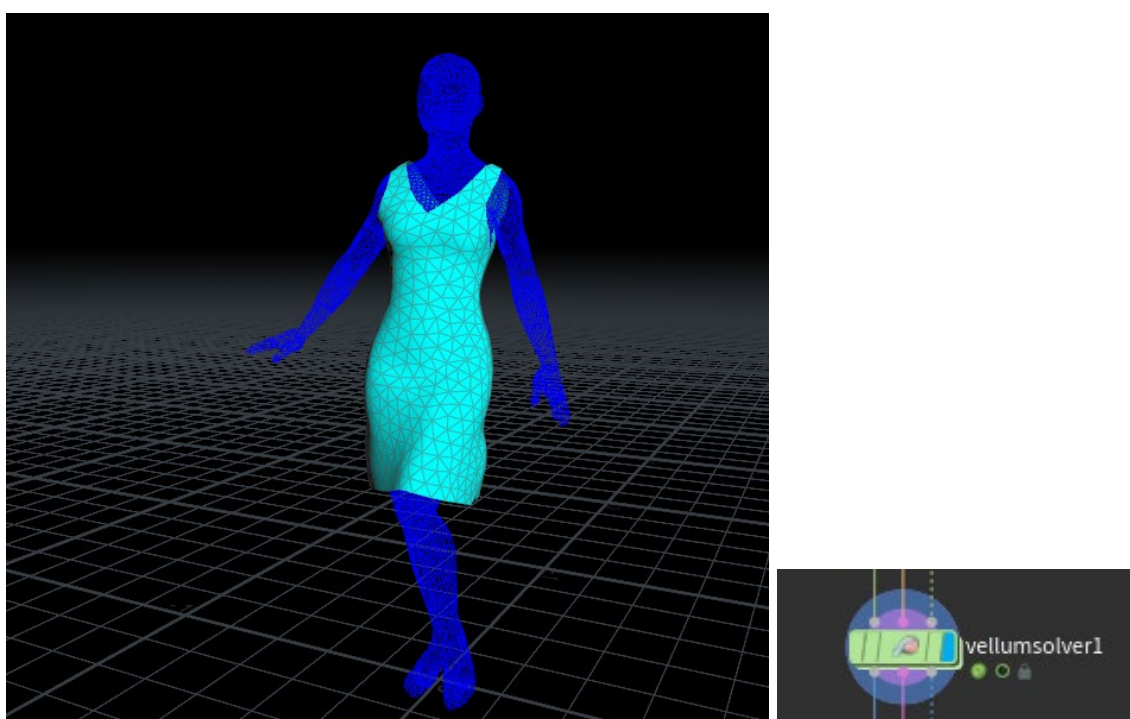


Рисунок 3.5 – Нода Vellum solver

В якості додаткового атрибуту створеної моделі тканини у кінці додаємо Vellum postprocess для зм'якшення гострих виступів тканини під час симуляції для надання більш гарного вигляду тканині (рис.3.6-3.7).

Для більш наочної демонстрації впливу параметрів stretch та bend у ноді vellum constraints cloth на відповідність реальним фізичним властивостям тканини створимо окремий проект. Додамо planar patch, vellum constraints cloth, vellum solver і vellum postprocess (рис.3.8).

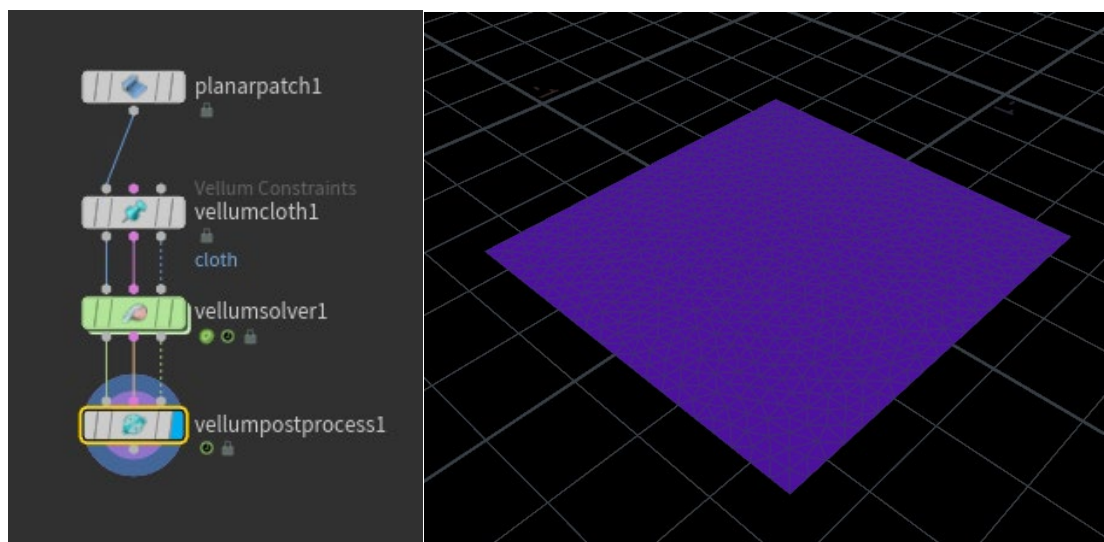


Рисунок 3.8 – Другий етап практичної частини

В налаштуваннях ноди vellum constraints cloth обираємо крапки на кутах геометрії для того, щоб зафіксувати тканину у просторі.

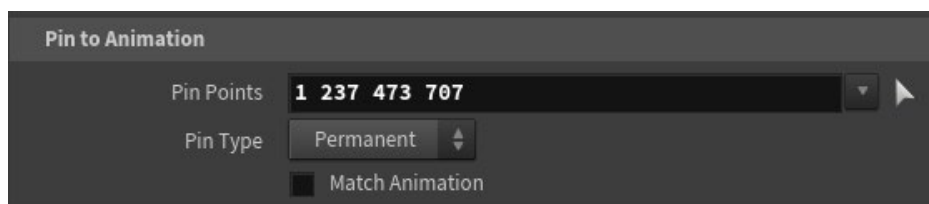


Рисунок 3.9 – Налаштування

У налаштуваннях ноди vellum postprocess вмикаємо візуалізацію за згинанням та розтяженням для наглядності результатів зміни цих параметрів. В якості експерименту для створеної моделі протестуємо дві властивості створеної тканини – реакція на витягнення (параметр stretch) та згин (параметр bend). Сформуємо три умови зміни цих властивостей. Значення зазначених параметрів сформуємо у формі таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри експерименту

Номер тесту	Параметр Stiffness для характеристики Stretch	Параметр Stiffness для характеристики Bend
1	$1 \times e^{10}$	0,0001
2	1	$1 \times e^{10}$
3	0,1	10000

Для усіх трьох тестів проведемо візуалізацію руху тканини, за умови що порогові значення для Max Stretch Stress складає 0,05, тоді як Max Bend Stress дорівнює 0,000001. При цій візуалізації синій колір – значення 0, червоний колір – маємо при розрахунку значення Max Stretch Stress і Max Bend Stress.

Результати першого тесту при впливу параметрів на тканину з таблиці 3.1 наведено на рисунках 3.10 та 3.11. Відмітимо, що параметри для першого тесту відповідають значенням, які встановлені в програмі за замовчуванням. З аналізу отриманих розподілів можна зазначити, що розтягнення тканини спостерігається саме у місцях закріплення геометрії (рис.3.10). З іншого боку, в середині тканини діють мінімальні значення розтягнення.

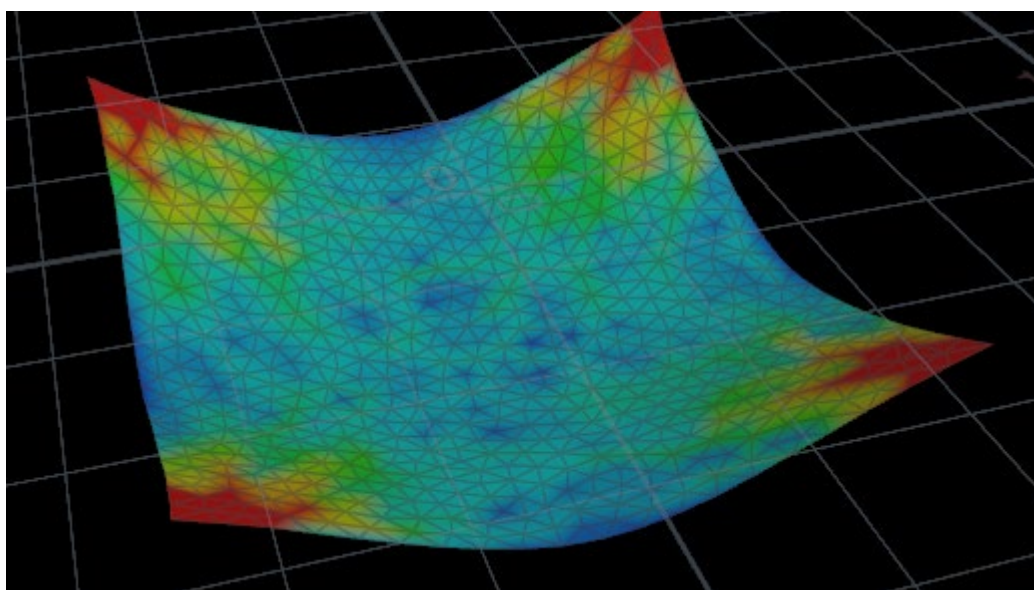


Рисунок 3.10 –Stretch stress візуалізація, перший тест

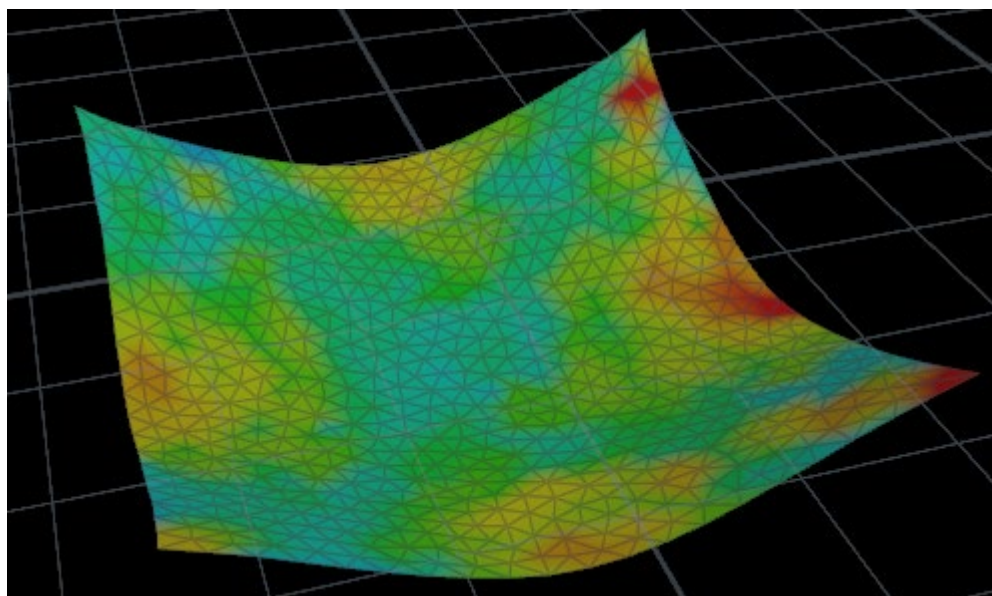


Рисунок 3.11 –Bend stress візуалізація, перший тест

Візуалізація на рисунку 3.11, дозволяє зробити висновок, що максимальний згин спостерігається не у місцях закріплення, а в області ліній, які перетинають поверхню навпіл. Така ситуація є близькою до реальної оцінки параметрів розтягнення та згину тканинної поверхні. Результати візуалізації для другого тесту з таблиці 3.1 наведено на рисунках 3.12 і 3.13.

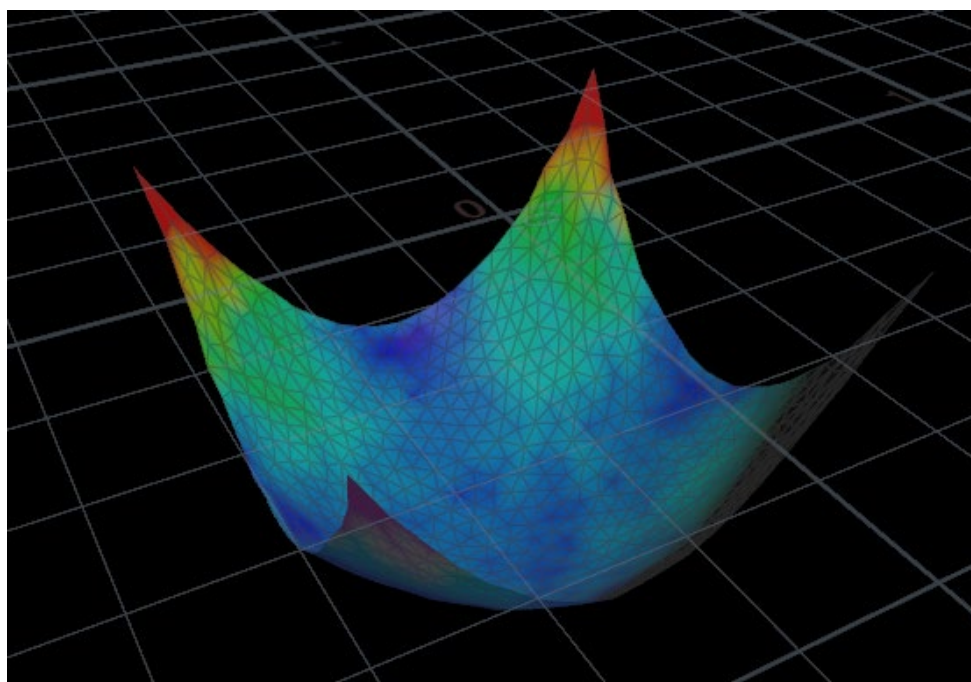


Рисунок 3.12 –Stretch stress візуалізація, другий тест

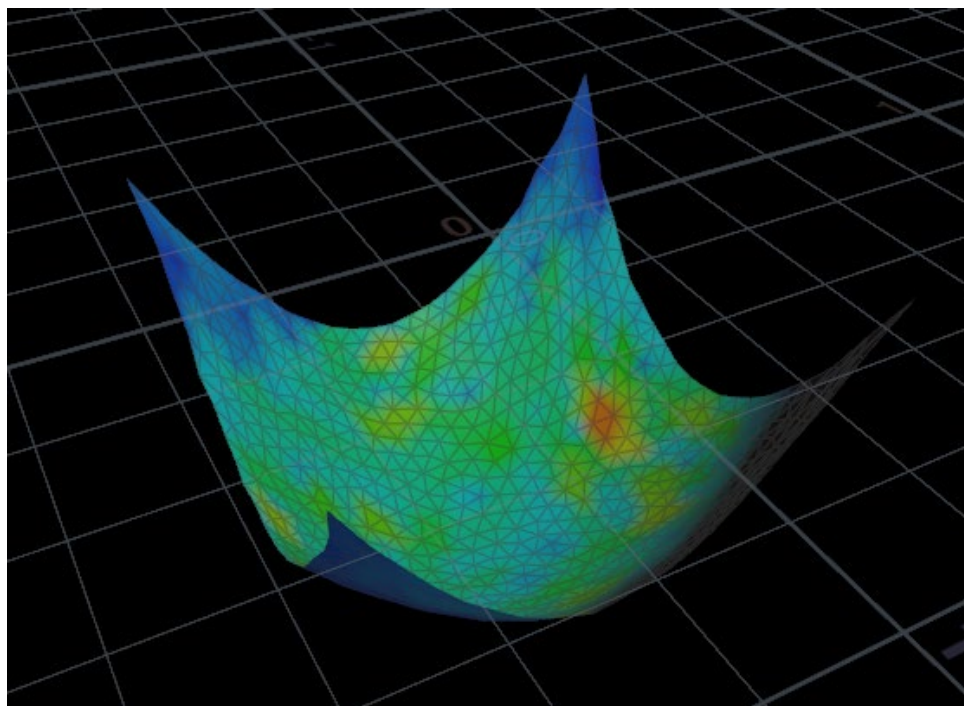


Рисунок 3.13 –Bend stress візуалізація, другий тест

З аналізу отриманих результатів для другого тесту можна відмітити, що розтягнення за порогом всередині є допустимим. Натомість, граничні значення так само наявні в місцях закріплення. Така ситуація, можна свідчити, що найбільш ймовірне місце руйнування тканини буде саме в цих областях поверхні. При аналізі на вигин, порівнюючи рис.3.11 та рис.3.13 можна відмітити, що при другому тесті місця закріплення визначаються допустимими значеннями цього параметру. З іншої сторони, для першого тесту така ситуація не спостерігається.

Найбільш цікаві результати отримано для третього тесту. Так з рисунків 3.14 та 3.15 можна зазначити, що розподіл для розтягнення є майже лінійним, за виключенням невеликих відхилень у місцях закріплення. Інша ситуація отримана для вигину, де максимальні значення розраховані саме в центрі тканинної поверхні.

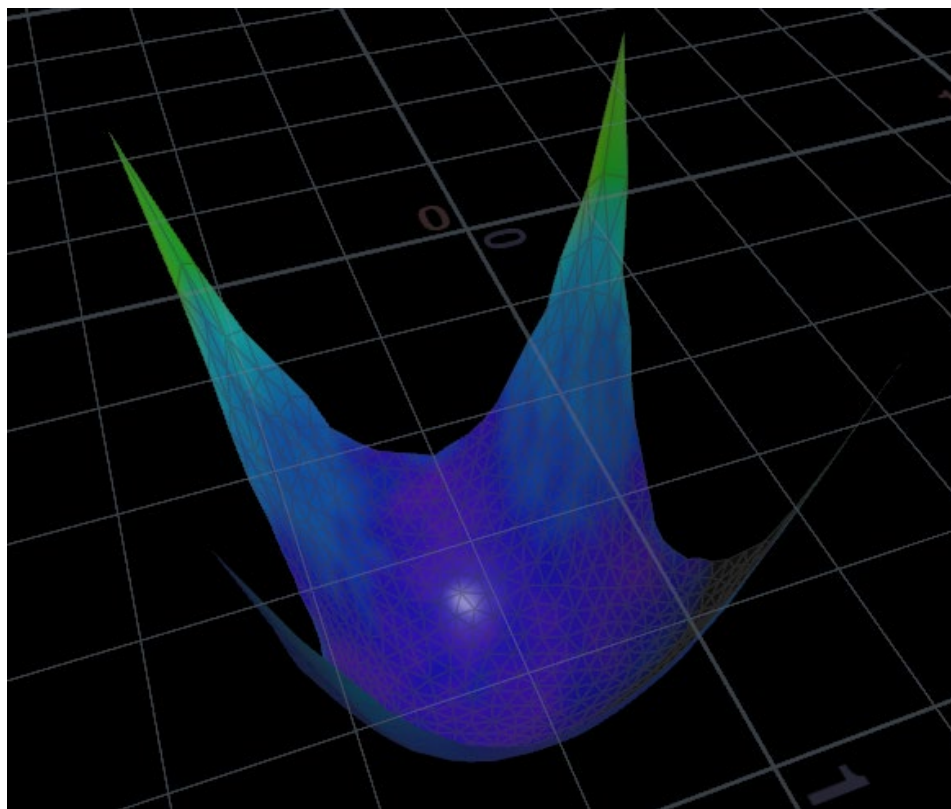


Рисунок 3.14 –Stretch stress візуалізація, третій тест

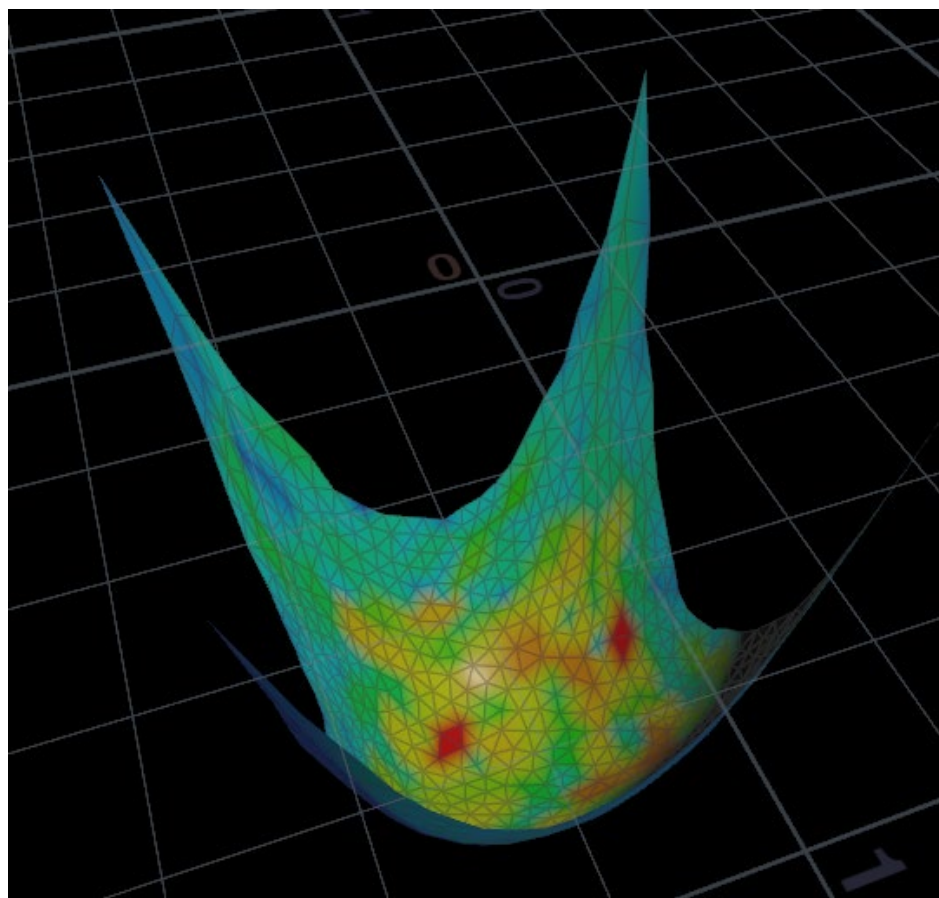


Рисунок 3.15 –Bend stress візуалізація, третій тест

3.2 Моделювання волосся

Проведемо процедурне моделювання на основі Vellum-елементів з відповідними налаштованими обмеженнями для волосся. Слід відмітити, що створену модель можна використовувати і для інших типів матеріалів чи елементів. Для прикладу в програмі Houdini додамо елемент типу волосся. А точніше, декілька кривих, які в симуляції будуть виконувати функції окремих складових волосся. На першому етапі додамо до моделі ноду drawcurve в окремому геометричному контейнері (рис.3.16).

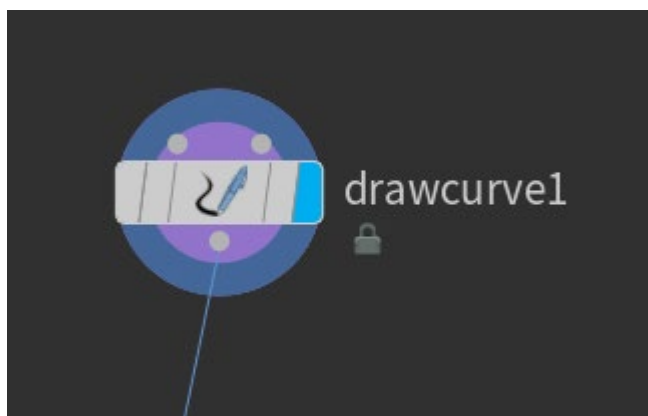


Рисунок 3.16 – Графічний вигляд ноди drawcurve

В результаті у робочому просторі програми з'явиться площина (Grid-елемент), на якій можна створювати криві. У налаштуваннях ноди у вкладці Projection встановимо розташування площини в координатах ZX, тобто там, де розташований Grid-елемент (рис.3.17).

Намалюємо декілька кривих. Можна відмітити, що криві утворені крапками, які розташовані нерівномірно. І оскільки симуляція працює з крапками, то краще, щоб була певна рівномірність. Для цього, додамо ноду resample (рис.3.18).

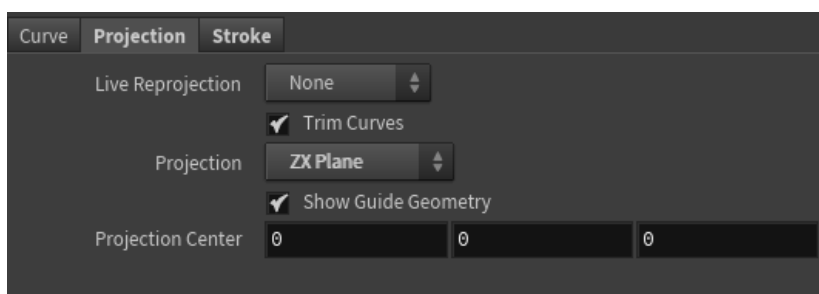


Рисунок 3.17 – Projection ZX

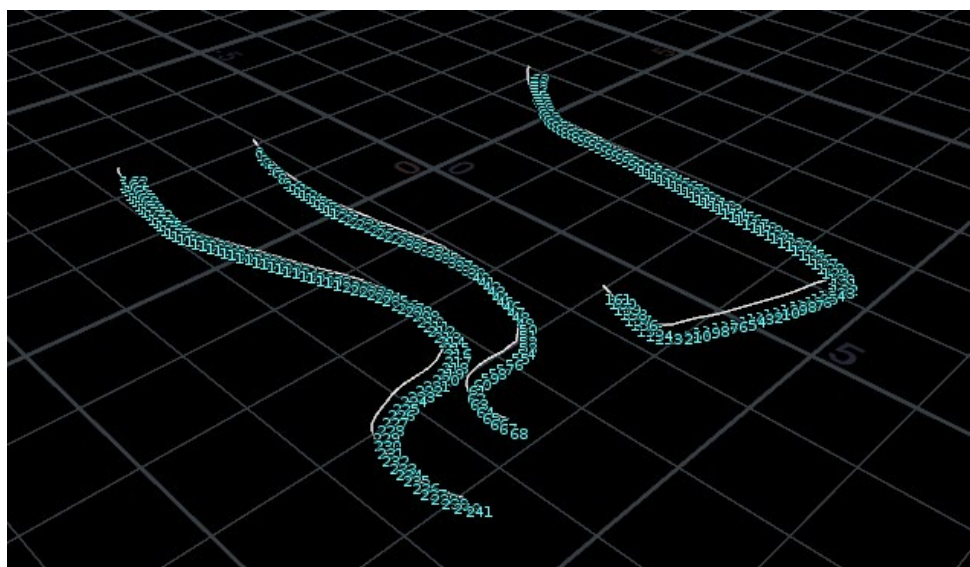


Рисунок 3.18 – Результат resample кривих

Далі в поличці програми Vellum оберемо пресет vellum hair. Отримали в результаті модель на двох рівнях-контекстах obj та DOP (рис.3.19-3.20). Створені волосся мають наступні види констрейнтів (обмежень) – відстань (distance), згинання (bend), скручування (twist). Twist – скручування і визначає обертальну силу. Іншими словами, волосся можуть закручуватись в спіралі.

Розглянемо використання симуляції волосся на практиці. Додаємо статичну модель, на якій буде волосся. Сама статична модель людини наведена на рисунку 3.21. Відмітимо, що для цієї моделі була використана нода трансформації, задля того, щоб при моделюванні показати як елементи веллум будуть себе поводити на поверхні моделі.

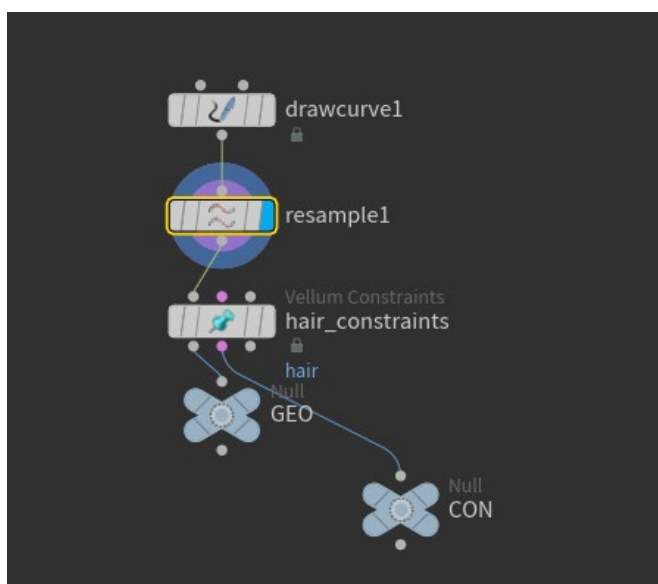


Рисунок 3.19 – Сетап у контексті обј

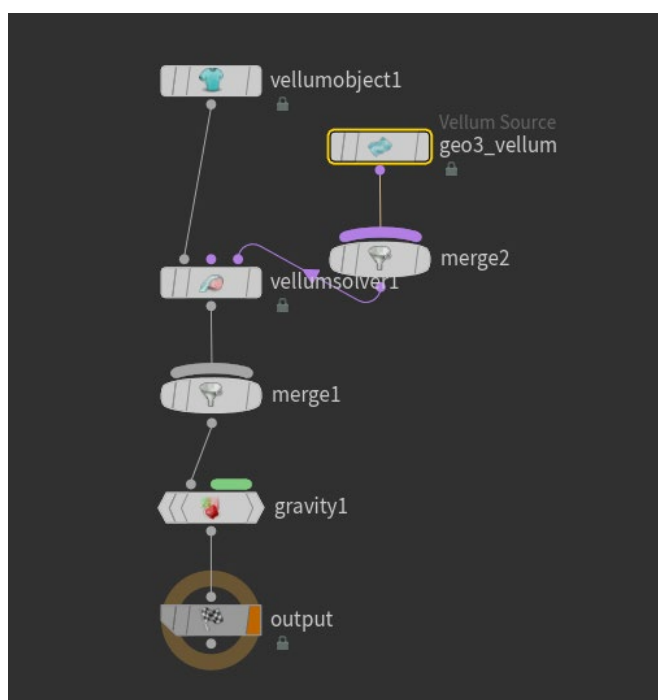


Рисунок 3.20 – Сетап у контексті DOP

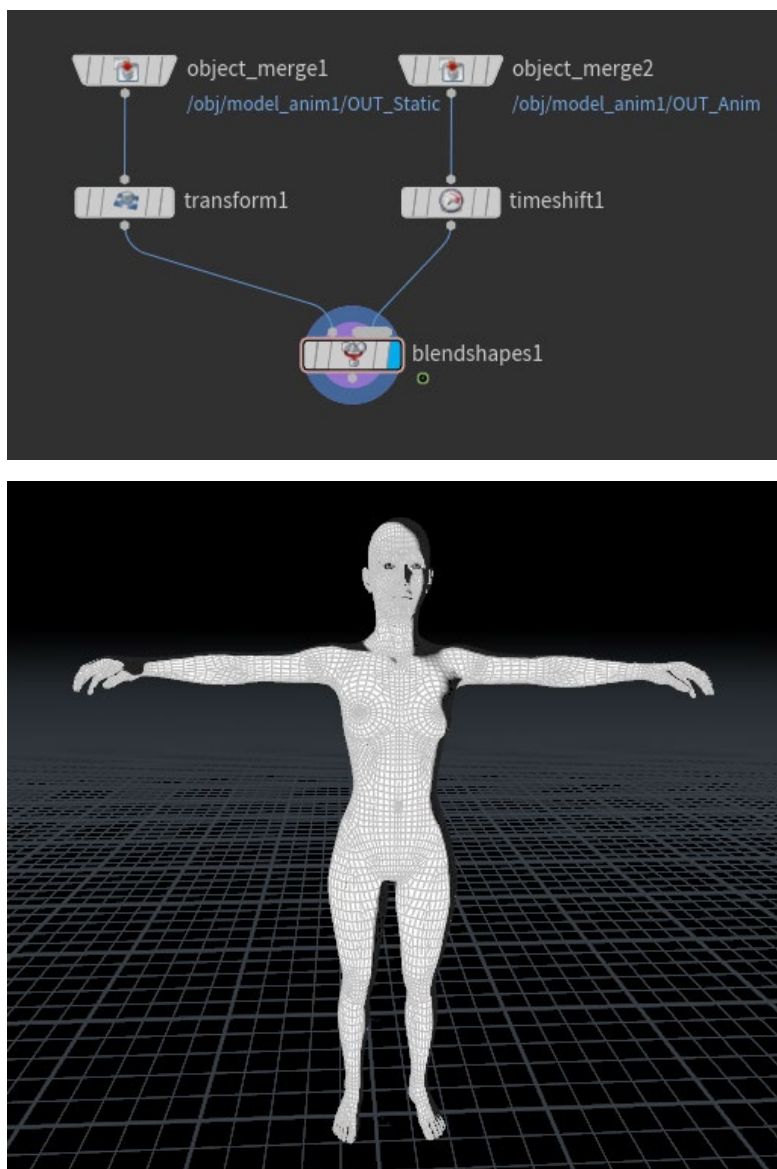


Рисунок 3.21 – Статична модель

Підключимо ноду Guide Groom на рівні obj до моделі для створення кривих на поверхні об'єкту і для задання напрямку та місця росту волосся (рис.3.22). У налаштуваннях цієї ж ноді задаємо довжину кривих, яка буде довжиною волосся, і кількість сегментів, що важливо для симуляції (рис.3.23). Воочевидь, чим більша кількість сегментів, тим реалістичніше буде волосся.

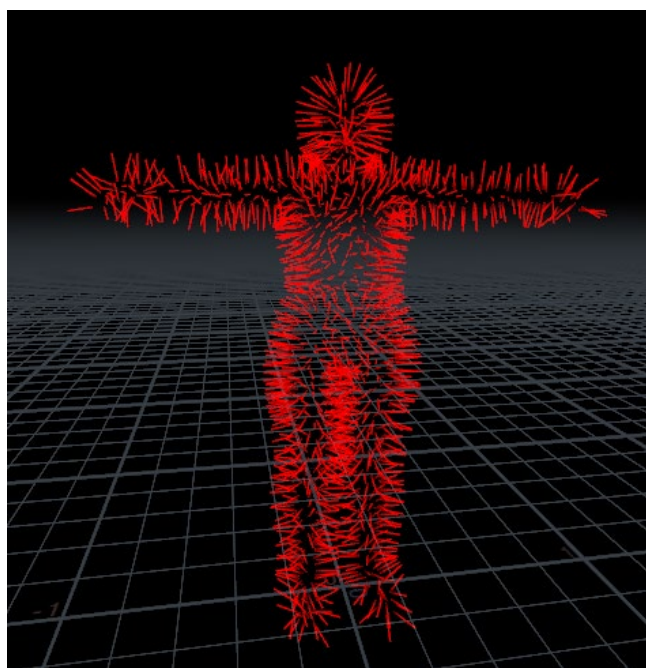
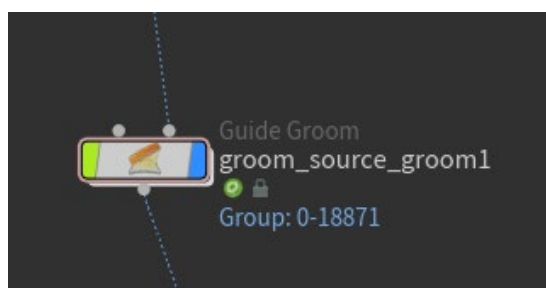


Рисунок 3.22 – Дія ноди Guide Groom

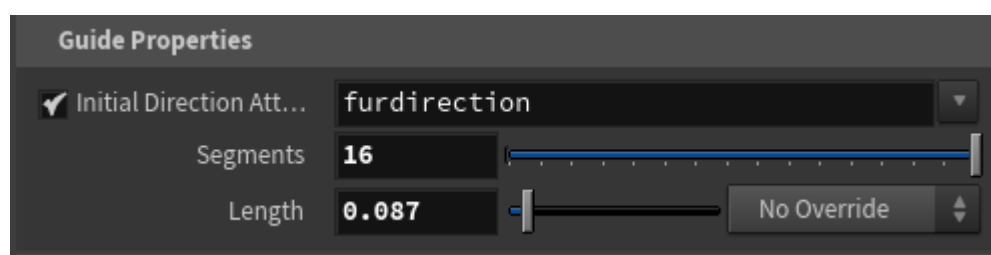


Рисунок 3.23 – Налаштування Guide Groom

Всередині ноди Guide Groom додамо ноду, за допомогою можна визначити напрям росту кривих, які є ототожненням волосся (рис.3.24).

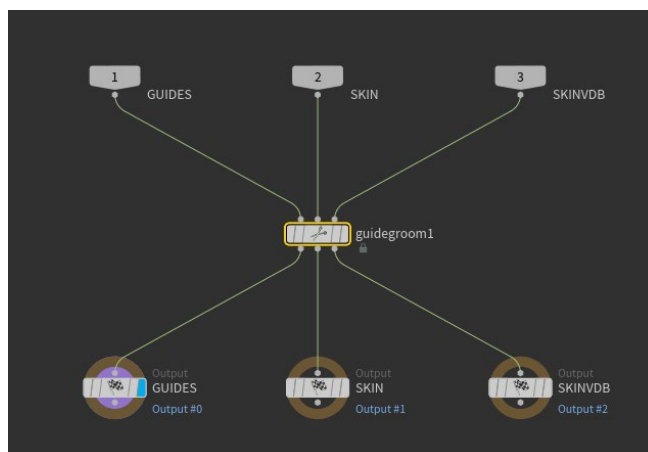


Рисунок 3.24 – Налаштування напрямку росту кривих

Після цього потрібно зафіксувати криві, які створені на ститичній моделі. Це можна реалізувати через ноди Guide Deform (рис.3.25), у другий вхід якої підключаються створені криві, а у третій вхід анімована модель.

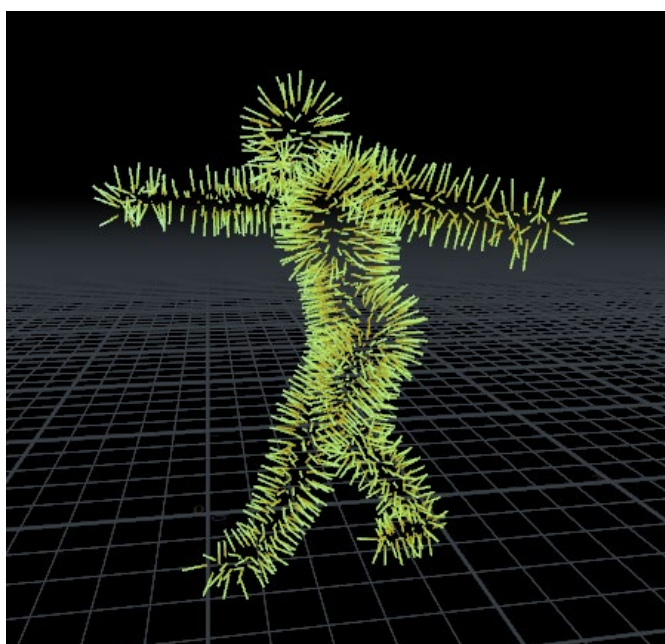


Рисунок 3.25 – Guide Deform

Далі слід налаштувати симуляцію створених кривих за допомогою ноди Guide Sim. У параметрах цієї ноди обирається місцезнаходження сетапу з Vellum симуляції (рис.3.26).



Рисунок 3.26 – Образ ноди Guide Sim та її налаштування

Наведемо процедурну модель для проведення симуляції vellum елемента типу “волосся” на рівні SOP-контексту (рис.3.27).

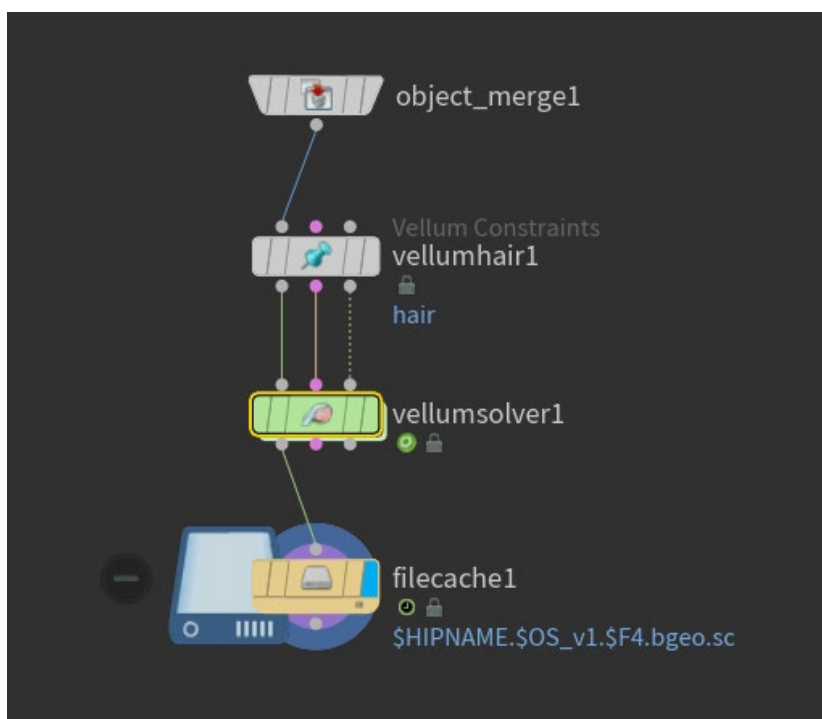


Рисунок 3.27 – Симуляція на рівні SOP-контексту

Наступним етапом проведення моделювання забезпечимо, щоб симульовані криві були продубльовані для зменшення навантаження на комп'ютер, і крім цього, можна було б досягти зменшення часу симуляції і надання симуляції реалістичного вигляду. Це можливо виконати за допомогою налаштувань ноди Hairgen, у якій можна налаштувати щільність розташування дубльованих кривих та товщину волосся (рис.3.28-3.29).

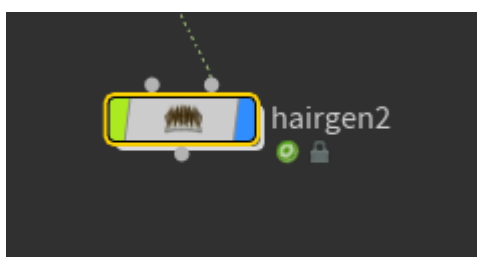


Рисунок 3.28 – Графічне зображення ноди Hairgen

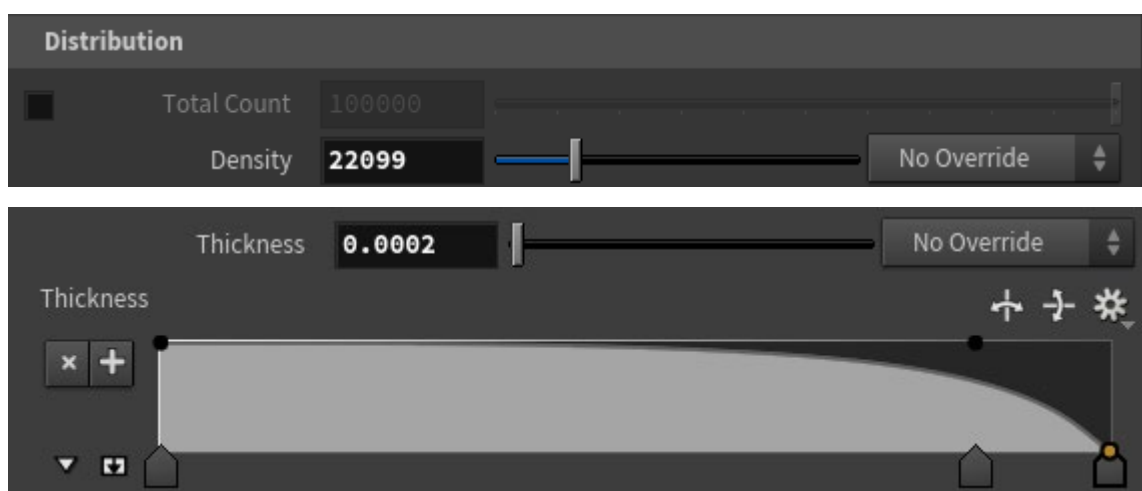


Рисунок 3.29 – Налаштування ноди Hairgen

На рисунку 3.30 наведемо результат симуляції на основі використання обмежень типу "hair". Відмітимо, що створена процедурна модель визначається гнучкістю та простотою до проведення змін, через невелику кількість параметрів та способу їх зміни.

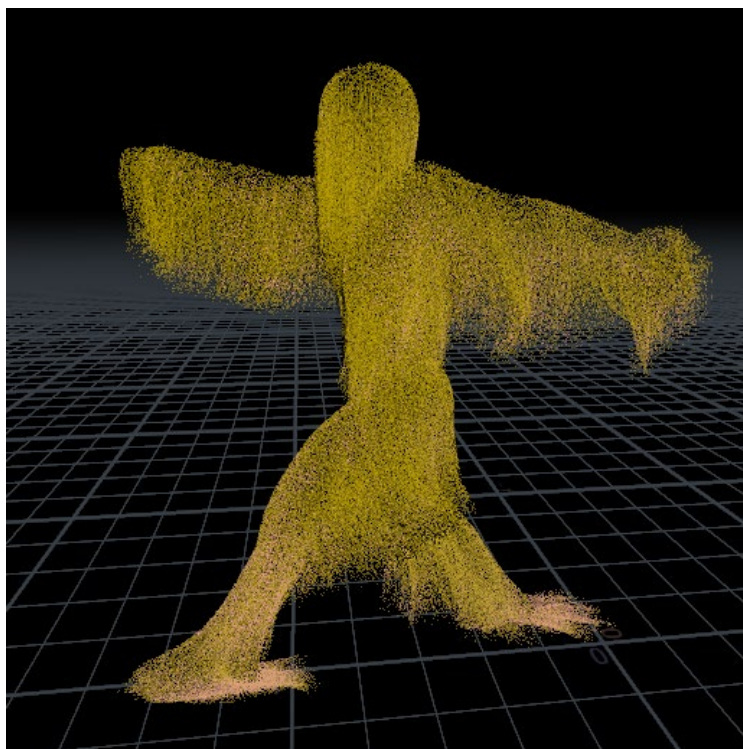


Рисунок 3.30 – Результат симуляції

3.3 Моделювання тіл з тиском

Додамо до сцени геометричний елемент Тор в окремому контейнері. Збільшимо його в масштабі та піднінемо над умовною землею (рис.3.31). Застосуємо до цього елемента ноду Vellum Baloon.

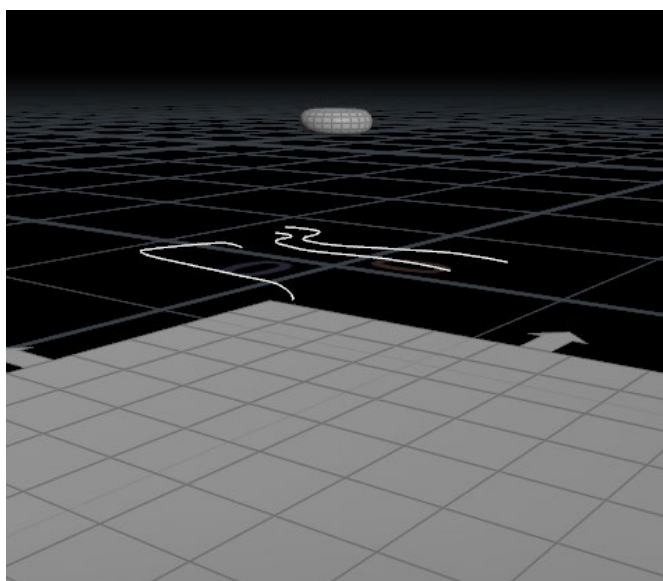


Рисунок 3.31 – Елемент Тор

В результаті, в контейнері з тором маємо додавання нод, насамперед констрейнт пов'язаний з тиском (pressure) (рис.3.32). Це обмеження зберігає загальний об'єм об'єкту. Тобто, якщо цей об'єкт стиснути в одному місці, то в іншому, він розшириться. Зміна цього ефекту можна регулювати через атрибут stiffness. Зазначимо, що Cloth Constraints створено для зовнішній поверхні тора.

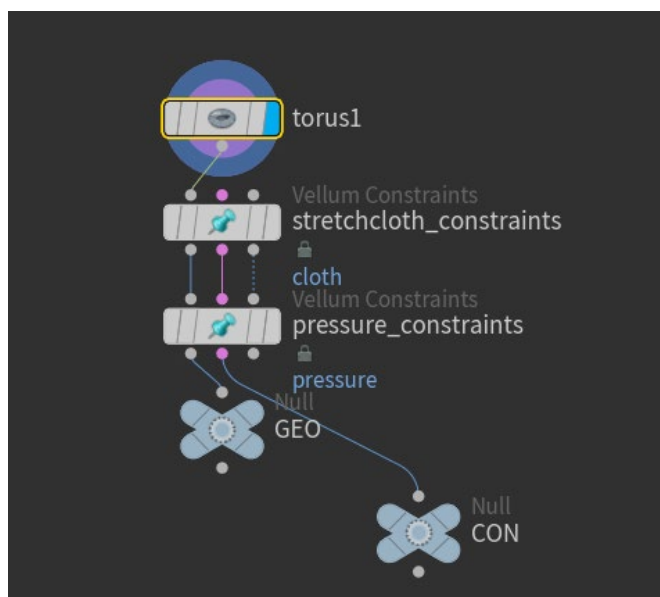


Рисунок 3.32 – Сетап у контексті об'єкту

В результаті симуляції тор набуває властивості пружної кульки, яка при падінні і дотику до землі підкочує та змінює свою форму (рис.3.33).

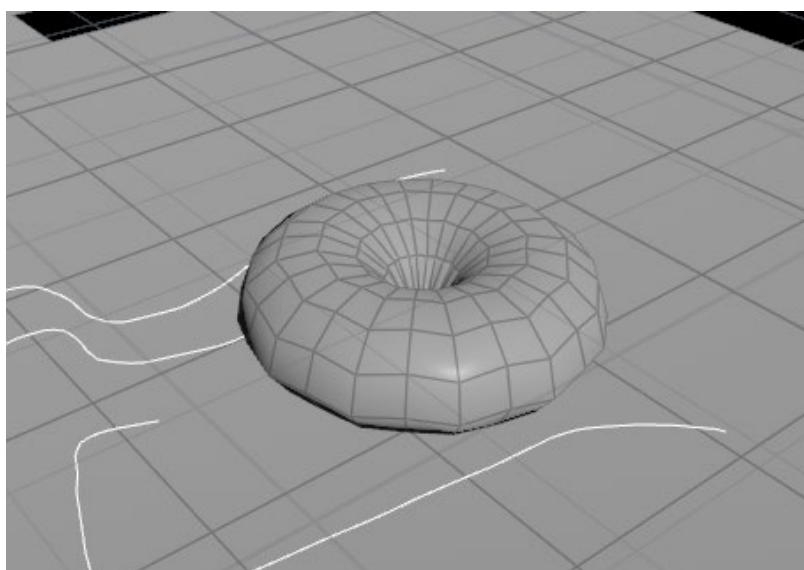


Рисунок 3.33 – Результат симуляції

3.4 Моделювання м'яких тіл

Розглянемо наступний елемент полицки і створимо модель на основі ноди для створення м'якого тіла. Додамо у формі окремого геометричного контейнера сферу, піднімемо її і змінимо масштаб (рис.3.34).

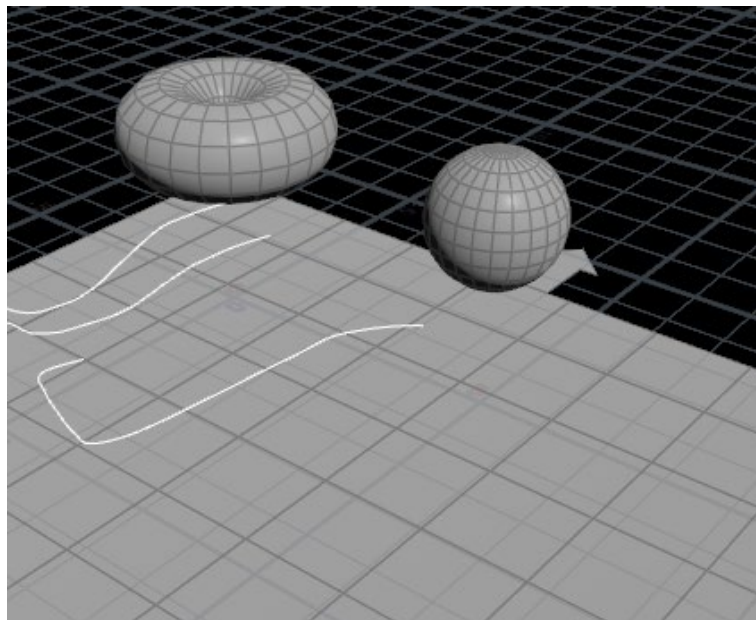


Рисунок 3.34 – Геометричний елемент сфера

В результаті, сфера є більш жорсткою у порівнянні з тором. Тут аналогічно налаштовано Cloth констрейнти для визначення поведінки поверхні (обмеження двогранного кута та відстані) – distance, bend. Крім цього, для такого ефекту додається новий констрейнт struts – палички для розпорювання, які утримують внутрішню частину моделі (теж визначається через тип distance). Ці елементи обмежень створюються автоматично між протилежними крапками для збереження внутрішньої форми і для того, щоб утримувати відстань між протилежними сторонами (рис.3.35).

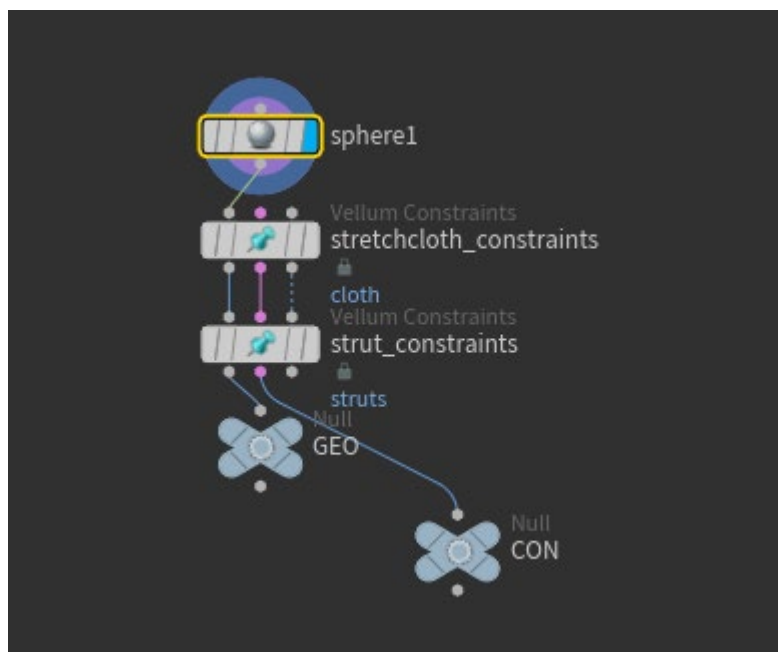


Рисунок 3.35 – Сетап у контексті obj

3.5 Моделювання елементів з піщинками

Розглянемо ще один режим з полицки – режим Vellum Grains. Спочатку додамо до сцени елемент Vox. І розташуємо його під геометричним елементом grid. Далі застосуємо до цього елементу Vellum Grains. Відмітимо, що для цього елементу рекомендується встановлювати в солвері Substeps=5 (рис.3.36).

Увесь об'єм кубу (геометричний елемент Vox) заповнюється маленькими кульками, радіус яких можна задати в ноді Vellum configure grains (рис.3.37).

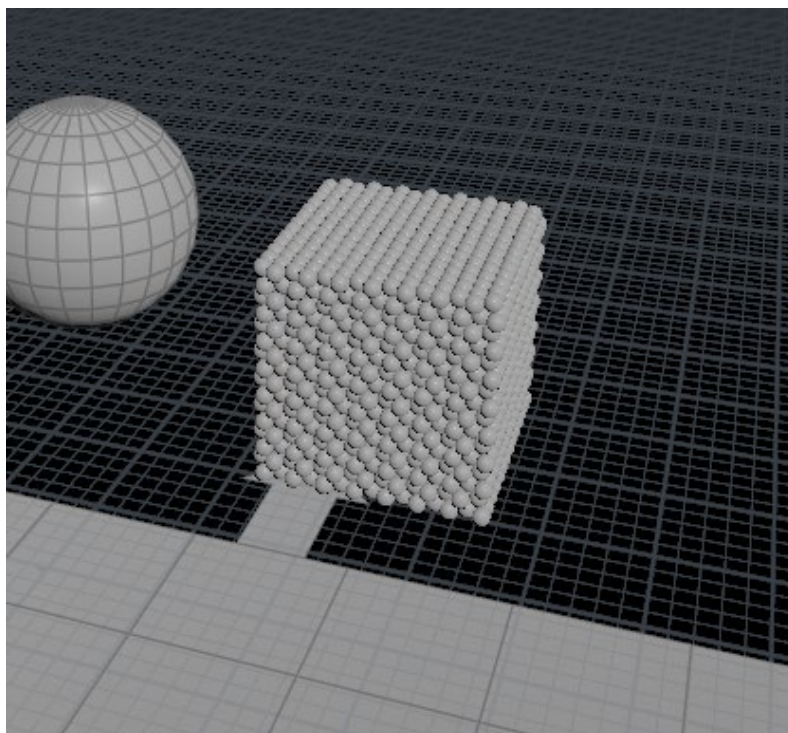


Рисунок 3.36 – Елемент куб

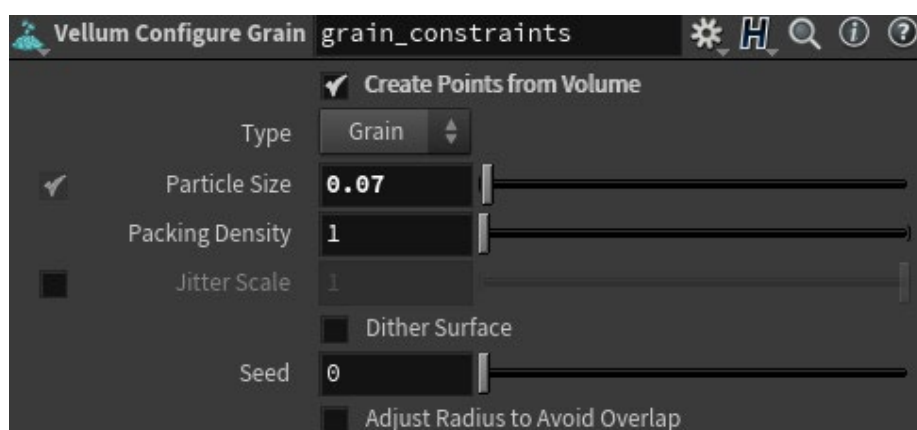


Рисунок 3.37 – Налаштування Vellum configure grains

В результаті налаштованої симуляції моделі кульки у формі піщинок під дією сили гравітації при падінні розлітаються у довільному напрямку (рис.3.38).

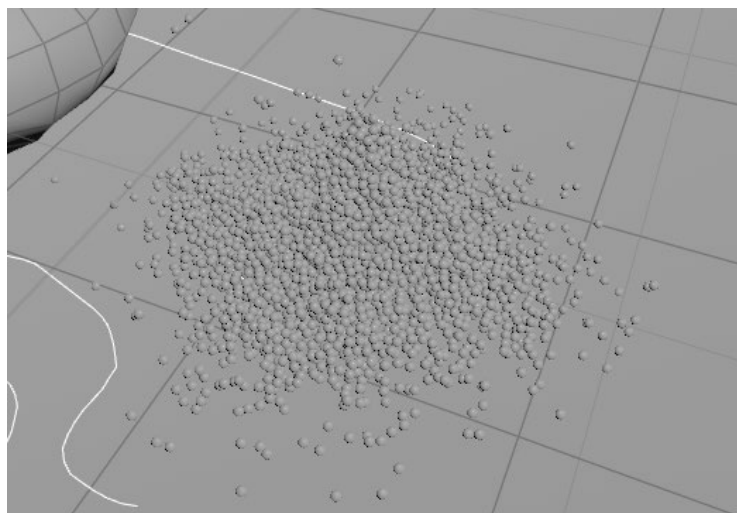


Рисунок 3.38 – Результат симуляції

Висновки до третього розділу. У третьому розділі наведено декілька прикладів моделювання візуальних ефектів, які дозволяють пояснити вплив різних фізичних параметрів на геометричні моделі. Отримано, що створені моделі тканини, пружної сфери, тора, набору піщинок через визначені окремі констрейнти в режимі реальному часі показують наочно взаємодію та зміни фізичних властивостей поверхні цих елементів.

ВИСНОВКИ

Візуальні ефекти у сучасному електронному кінематографі як однієї з області розважального сегменту, все частіше останнім часом набувають ключову роль при створенні кіно. Це пояснюється тим, що реалістичність трюків з залученням каскадерів, знімального реквізиту сцени не завжди може бути досягнена за задумом режисерів. Крім цього, точність повторення трюків з одного боку може бути важко спрогнозувати, а з іншого боку – результат цих трюків може призводити до руйнування реквізитів сцени. Серед цього, наприклад, можна виділити падіння з висоти автомобіля, крихких матеріалів тощо. Ситуація при цьому ще ускладнюється, коли потрібно при зйомці залучити моделі комп'ютерної графіки, адже поєднання з CGI іноді стає єдиним способом при налаштуванні динамічних візуальних ефектів. Дана дипломна робота присвячена розгляду особливостей створення візуальних ефектів програмному середовищі Houdini, у випадку, коли самі складові ефекту визначаються певними фізичними параметрами. Серед основних результатів роботи можна відзначити наступне.

1. В першому теоретичному розділі наведено стисло історію появи візуальних ефектів та визначено класифікацію різних видів візуальних ефектів. Зокрема, окрему увагу в класифікації відведено пайплайну, як комплексу етапів поствиробництва. Побудована архітектура пайплайну зі створенням моделі, яка умовно складається з 7 ланок. Створення моделі не завжди потребує проходження усіх етапів, але сама організація моделі, її візуалізація з підтримкою 3D-анімації та реалізацією візуальних ефектів може бути основним чинником при поствиробництві.

2. Другий розділ роботи описує спеціальні особливості моделювання, які варто враховувати в програмі Houdini при створенні симуляції фізичних об'єктів. Так, окремо, представлені основні типи констрейнтів, як аналог системи з фізичними обмеженнями моделі. Саме

завдяки такій структурі можна забезпечити реалістичність моделі з огляду на її фізичні особливості. У другій частині розділу для аналізу динаміки м'яких тіл показано основні типи колізій та описано фізичну природу їх виникнення та подальшого аналізу.

3. В практичній частині дослідження наведено фактично інструментарій зі створенням різних видів vellum-симуляцій для геометричних моделей програми Houdini. Окремо представлено сетап моделі для елемента типу 'cloth'. В якості підтвердження адекватності побудованої моделі зроблено практичний експеримент з 3 тестів, де параметри розтягнення та вигину тканини змінюються за певним порядком. Знайдено, що при збільшенні коефіцієнту жорсткості параметру вигину (з 0,0001 до 10000) максимальні значення за порогом просуваються на поверхні і спостерігаються переважно всередині тканинної поверхні. Натомість при розтягненні, зміна відповідного коефіцієнту сигналізує при максимальні значення переважно в області закріплення тканинної поверхні.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. S. Jones, Mechanical creations in 3D. A practical look into complex and technical setups for animation&VFX. — NY: CRC Press, 2019 — 170 p.
2. P. Shirley, S. Marschner, Fundamentals of computer graphics — Massachusetts: CRC Press, 2009 — 785 p.
3. W. Jackson, VFX fundamentals visual special effects using fusion 8. — California, USA: A press, 2016 — 395 p.
4. I. Failes, Masters of FX. Behind the scenes with geniuses of visual and special effects. — USA: Octopus publishing group ltd, 2016 — 205 p.
5. E. Dinur, The filmmaker's guide to visual effects. The art and techniques of VFX for directors, producers, editors, and cinematographers. — NY and London: Routledge, 2017 — 192 p.
6. Jones S. Mechanical Creations in 3D: A Practical Look into Complex and Technical Setups for Animation & VFX. - Chapman and Hall/CRC; 1st edition, 2018. -188 p.
7. Glintenkamp P. Industrial Light & Magic: The Art of Innovation - Harry N. Abrams, 2011. -360 p.
8. W. Cunningham, The magic of Houdini. — Cengage Learning PTR, 2005 — 355 p.
9. C. Zerouni, Houdini On the Spot: Power User Tips and Techniques. — Routledge, 2012 — 316 p.
10. R. Magee, Houdini foundations. — Toronto: Side FX Software, 2018 — 104 p.
11. J. Horikawa, Algorithmic design with Houdini. — Japan: BNN, 2019 — 320 p.

ДОДАТОК А

ABSTRACT

Visual Effects (VFX) is the process of creating or manipulating images outside the context of live performances in film and video production. The integration of real-time video and other video or computer graphics elements to create realistic images is called VFX [1].

Visual effects include the integration of real-time video (which may include special effects in the camera) and generated images (digital or optical, animals or creatures) that look realistic but will be dangerous, expensive, impractical, time consuming, or impossible to capture. Computer-assisted visual effects (CGI) have recently become available to independent directors with the advent of affordable and relatively easy-to-use animation and compositing software [2].

Today, visual effects are widely used in almost all films created. In the highest-grossing film of all time, *Avengers: Final* (2019), visual effects were widely used. About ninety percent of the film used VFX and CGI. In addition to movies, TV series and web series also use VFX [3].

Used methods [4]:

- Special effects: Special effects (FX) are illusions or visual techniques used in theater, film, television, video games and simulators to simulate imaginary events in history or the virtual world. Special effects are traditionally divided into categories of mechanical effects and optical effects. With the advent of digital film production, the gap between post-production and visual effects has increased, with the latter being related to mechanical and optical effects. Mechanical effects (also called practical or physical effects) are usually achieved when shooting live performances. This includes the use of mechanized props, scenery, scale models, animatronics, pyrotechnics and atmospheric effects: creating physical wind, rain, fog, snow, clouds, creating the feeling that the car is driving on its own, building explosions, etc. often included in decorations and makeup. For example, with the help of prosthetic makeup, an actor can look like an inhuman creature. Optical effects (also called photographic effects) are methods in which images or frames of film are created photographically using multi-exposure. The optical effect can be used to place actors or scenery on a different background.

- Motion capture: Motion capture (sometimes called mo-cap or mocap for short) is the process of recording the movement of objects or people. It is used in military, entertainment, sports, medical applications, as well as to test computer vision and robotics. In film and video game development, this refers to recording the actions of human actors and using this information to animate digital models of characters in computer 2D or 3D animation. When he includes his face and fingers or captures faint expressions, it is often called a fascination with performance.

Matte Painting: Matte Painting is a painted image of a landscape, scenery, or remote location that allows the filmmakers to create the illusion of an environment that is not in place. Historically, metal painters and filmmakers have used different techniques to combine images. At best, depending on the skill level of artists and technicians, the effect is "seamless" and creates an environment that would otherwise be impossible or expensive to shoot. In the scenes, the picturesque part is static, and the movements are integrated into it [2].

Animation. Animation is a method in which shapes are transformed into moving images. In traditional animation, images are drawn or painted by hand on transparent celluloid sheets for photography and demonstration on film. Today, most animations are created using computer images (CGI). Computer animation can be very much like 3D animation, while 2D animation can be used for stylistic reasons, with low bandwidth or faster real-time visualization. Other common animation techniques apply post-production animation techniques to two- and three-dimensional objects, such as paper clippings, dolls, or clay figurines. Usually the animation effect is achieved by quickly changing sequential images that are minimally different from each other. Television and video are popular electronic animation tools that were originally analog and now work in digital format. Techniques such as animated GIFs and Flash animations have been developed to display on your computer.

3D modeling: modeling is the process of developing a mathematical representation of any surface of an object in three dimensions using specialized

software. The product is called a 3D model. Anyone who works with 3D models can be called a 3D artist. It can be displayed as a two-dimensional image using a process called 3D rendering, or used in computer simulations of physical phenomena. The model can also be physically created using 3D printing devices [3].

Rigging: Skeletal animation or rigging is a method of computer animation in which a character (or other articulated object) is represented in two parts: the surface used to draw the character (called a grid or skin), and hierarchical set of interconnected parts (called bones and together form a skeleton or flowerbed). This method is often used to animate people and other organic figures, it only serves to make the animation process more intuitive, it can be used to control the deformation of any object. For example, doors, spoons, buildings or galaxies. When an animated object is more general than, for example, a character's grid, a set of "bones" can provide a high-level description of the movement of the part of the object it affects [5].

Matchmoving in visual effects is a method that allows you to insert computer graphics into live video with the correct position, scale, orientation and movement relative to the captured objects in the frame. The term is used in a broad sense to describe several different methods of extracting camera motion from video. Matchmaking, sometimes called motion tracking, involves rotoscoping and photogrammetry. Matchmoving is a software technology that is applied ex post to conventional material recorded in an uncontrolled environment using a conventional camera. It is mainly used to track the movement of the camera in the frame so that identical movement of the virtual camera can be reproduced in 3D animation. When animated elements are combined with the captured material, they will be displayed in a perfectly chosen perspective and, therefore, will look seamless.

Composing. Composing is combining visual elements from different sources into new images, often to create the illusion that these elements are part of one scene. Today, compositing is achieved through digital image processing.

However, pre-digital compositing methods date back to the tricks of Georges Melles in the late 19th century, and some of them are still used today [1].