

Приватний заклад вищої освіти
Одеський технологічний університет «ШАГ»
Кафедра інформаційних технологій та фундаментальної підготовки

АВТОРЕФЕРАТ
Випускної кваліфікаційної роботи

«Створення короткометражного твору «Полярний Експрес»»

На здобуття бакалаврського рівня вищої освіти
зі спеціальності «122 Комп'ютерні науки»

Виконавець проекту

П.І.Б.	Група
Верпека Дмитро Михайлович	КН-Д-191

Автор звіту

_____ Верпека Дмитро Михайлович

Ментор

_____ Котяхов Олександр Ігорович

Одеса 2023

Зміст

3	-----	Вступ
4	-----	Технічне завдання
5	-----	Преамбула
6	-----	Технології

Вступ

Створення мультиплікаційних проектів завжди мало популярність як у юних глядачів, так і у дорослих, тому що чим довше ця галузь існує, тим більше технологій, сенсу, цікавих поворотів сюжету та ідей вона вбирала в себе. Ця сфера особливо гостро зараз важлива в нашій країні, бо після початку повномасштабного вторгнення росії в Україну держава почала силове, духовне, загальнонаціональне та культурне піднесення. Мультиплікація це теж частина культури, саме тому я вирішив іти в цьому напрямі, щоби створювати українські мультфільми, які будуть популярні і у світовому прокаті.

Мета дипломної роботи — довести, що мультфільми можна створювати вдома, навіть поодиночі. Що для цього не обов'язково мати комп'ютерну ферму для рендерингу та сотні членів команди для сценарію, скетчів, моделювання, анімації тощо.

«Полярний Експрес» — дитяча книжка з картинками, написана та проілюстрована американським автором Крісом Ван Олсбургом і вийшла 1985 року. Книга розповідає про різдвяну подорож хлопчика на чарівному поїзді на Північний полюс, де Санта-Клаус дарує йому подарунок.

Джерелом натхнення є американський комп'ютерний анімаційний фільм 2004 «Полярний Експрес»

Технічне завдання

Потрібно створити короткометражний твір, щоби за кілька хвилин донести до глядача ідею всієї казки. Розділимо твір на 4 частини: знайомство з головним персонажем та його історією, демонстрація чарівного поїзда перед персонажем, попадання головного героя усередину поїзда, демонстрація локомотива, що рухається мостом, і його вагонів над Північним Льодовитим океаном у бік яскравих вогнів Північного полюса.

Усього чотири сцени, у трьох із них фігурує головний персонаж та у двох чарівний поїзд.

Сцена 1 – інтер'єр залізничного вокзалу;

Сцена 2 – екстер'єр платформи залізничного вокзалу;

Сцена 3 - інтер'єр вагона, до якого зайшов головний персонаж;

Сцена 4 - Північний Льодовитий океан.

Змодельовати всі об'єкти та облаштувати усі 4 сцени (локації).

Правильно прив'язати один з одним усі об'єкти локомотива, які відповідають за рух.

Створити потрібне нічне освітлення разом із атмосферою, яка додаватиме ефект невеликого туману та об'ємного світла.

Задати налаштування рендеру та освітлення, при яких не буде видно «зернистості» у кадрі та інших дефектів.

Створити та проанімувати частинки таким чином, щоб вони створювали пару (пар із рота, пар та дим із труб паровоза).

Змодельовати персонажа та налаштувати його для подальшої анімації.

Преамбула

Короткометражні твори створюються за таким алгоритмом:

1. Продумування в деталях сюжету та необхідних технологій
2. Тестування всіх ідей та технологій
3. Розставлення камер на основні ракурси
4. Моделювання
5. Текстурування
6. Риггінг
7. Анімація
8. Рендеринг
9. Монтаж
10. Накладення звукових ефектів та музики

Технології

Autodesk Maya — основне середовище для роботи тут виконуються 2-7 пункти в алгоритмі створення короткометражного твору.

Контролери — обов'язково створюються для анімації персонажів, а також інших об'єктів, які складаються з великої кількості елементів. Контролери дозволяють зручно анімувати, рухаючи ними потрібні об'єкти, тому що між ними батьківський зв'язок (рухаєш контролер — рухається і об'єкт). Контролери створюються зі сплайнів, вони не видно у підсумковому результаті, важливі лише під час роботи над проектом.

Сплайн — плоска фігура чи крива, яка є заготовкою до створення тривимірної моделі. У нашому випадку ми використовуємо сплайн у формі кола, щоб їм було легше керувати подальшою анімацією локомотива.

Node Editor — вікно в програмі Autodesk Maya, яке дозволяє працювати серед нодової системи.

multiplyDivide — нода, що відповідає за більш гнучке управління значеннями, що передаються між нодами за допомогою математичних операцій множення і поділу.

Pivot point — це точка переміщення, повороту та масштабування об'єкта, яка за умовчанням розташовується в центрі об'єкта. Точку опори можна перевернути в інше місце, і тоді маніпуляції з об'єктом будуть здійснюватися відносно іншого місця, куди ми точку і виставили.

Parent Constraint — функціональність програми Autodesk Maya, що дозволяє прив'язати дії переміщення та повороту одного об'єкта до іншого.

Скелетна анімація — спосіб анімації тривимірних моделей у мультиплікації та комп'ютерних іграх.

IK Handle — функціональність у програмі Autodesk Maya, яка дозволяє створити залежність між двома кістками в скелетній анімації, щоб анімація могла проходити не поворотом окремих кісток, а рухом крайньої точки з дотриманням спочатку виставленої довжини кісток.

Point Constraint — функціональність програми Autodesk Maya, що дозволяє прив'язати дії одного об'єкта до іншого з урахуванням початкової точки прив'язки.

Orient Constraint — функціональність програми Autodesk Maya, що дозволяє прив'язати дії повороту одного об'єкта до іншого.

Aim Constraint — функциональность программы Autodesk Maya, задающая объекту направление, куда ему нужно быть повернутым. Объект начинает «следить» за другим объектом, который мы ему выберем.

Area Light — прямокутна площа, яка з одного боку випромінює фотони світла.

Metalness — характеристика в редакторі матеріалів, що відповідає за відблиски та відображення на об'єкті, аналогічні металевим предметам із реального життя.

Arnold — Візуалізатор у програмі Autodesk Maya.

Візуалізатор — Програмне забезпечення, за допомогою якого можливо створювання підсумкової картинки з освітленням, тінями, відзеркалюваннями і т.д.

UV розгортка — це відображення 3D моделі на площині з двох осей координат.

UV Editor — це вікно у програмі Autodesk Maya, за допомогою якого можливо редагувати UV розгортку.

UV Toolkit — це вікно у програмі Autodesk Maya, яке відображає інструменти для роботи з UV Editor.

UV Snapshot Options — це вікно у програмі Autodesk Maya, за допомогою якого можливо експортувати UV розгортку у файл зображення.

PNG — це формат зображення, який має прозорий фон.

Роздільна здатність — це кількість пікселів на зображенні.

Піксель — це точка на моніторі, яка може змінювати свій колір.

Adobe Photoshop — це програма для праці з растровими зображеннями.

Растрове зображення — зображення, яке має вигляд сітки з пікселів.

Матеріал — це сукупність характеристик, доданих до об'єкту, щоб він мав реалістичний вигляд.

Hypershade — це вікно у програмі Autodesk Maya, яке надає можливість накладати до моделей матеріал.

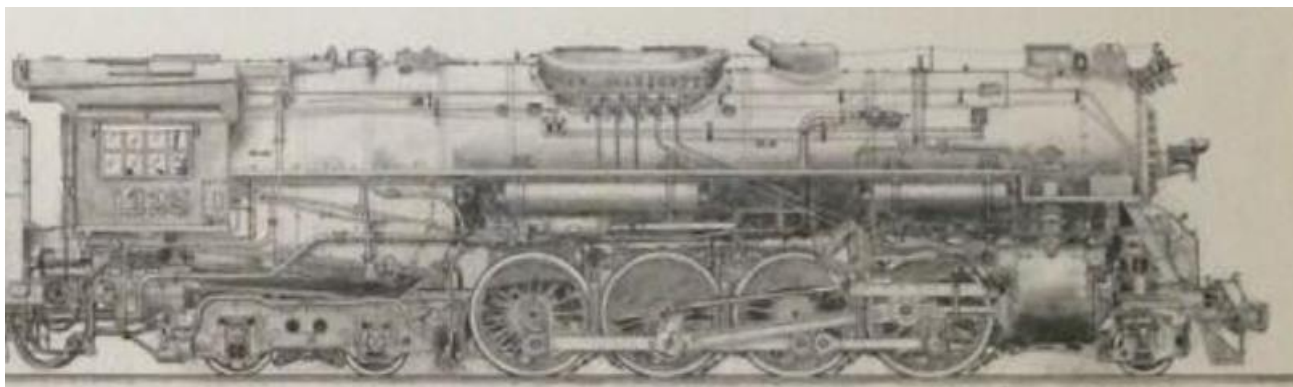
aiStandardSurface — це матеріал у програмі Autodesk Maya, за допомогою якого можливо налаштувати колір, відзеркалення, металевість тощо.

Paint Skin Weights — це інструмент, дозволяючий налаштовувати вагу (ступінь дії) кісток на модель.

Sony Vegas Pro — програмне забезпечення для відеомонтажу та накладання звуків

Опис процесу

Спочатку потрібно створити найдеталізованіший і найскладніший об'єкт дипломної роботи — локомотив. Візьмемо за основу модель паровоза Pere Marquette 1225 та зробимо його спрощену версію. Щоб було легше дотримуватись пропорцій, знайдемо креслення локомотива з видом збоку.

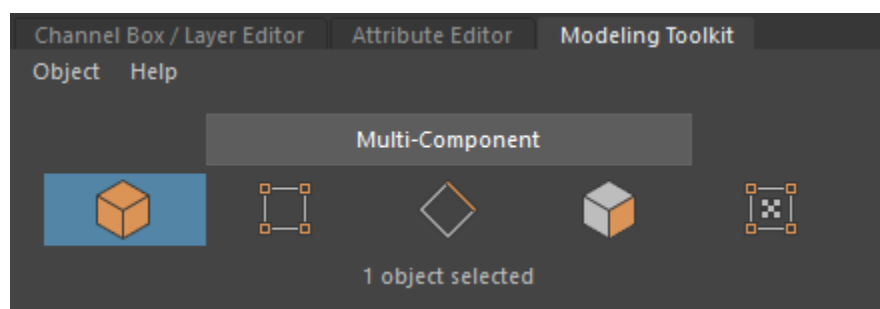


У процесі моделювання прив'язуватимемо всі об'єкти до контролера у формі кола.

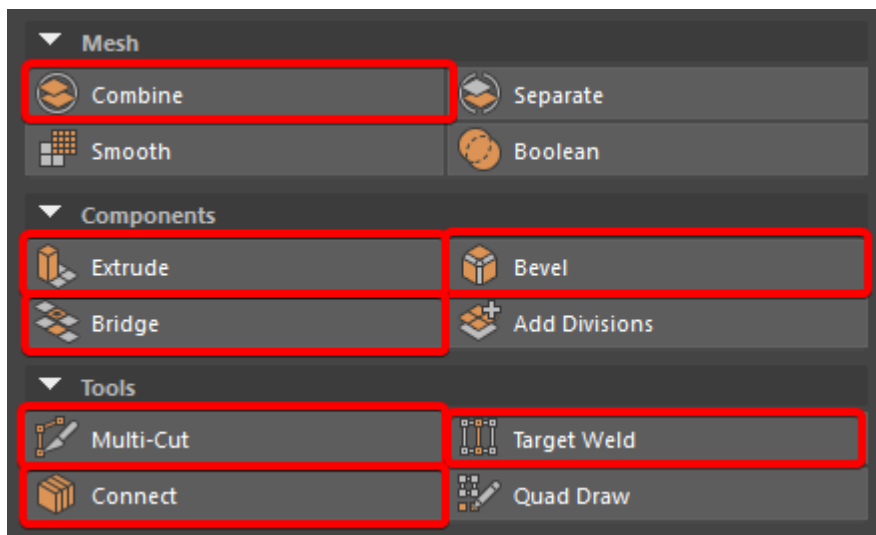
Контролери — обов'язково створюються для анімації персонажів, а також інших об'єктів, які складаються з великої кількості елементів. Контролери дозволяють зручно анімувати, рухаючи ними потрібні об'єкти, тому що між ними батьківський зв'язок (рухаєш контролер — рухається і об'єкт). Контролери створюються зі сплайнів, вони не видно у підсумковому результаті, важливі лише під час роботи над проектом.

Сплайн — плоска фігура чи крива, яка є заготовкою до створення тривимірної моделі. У нашому випадку ми використовуємо сплайн у формі кола, щоб їм було легше керувати подальшою анімацією локомотива.

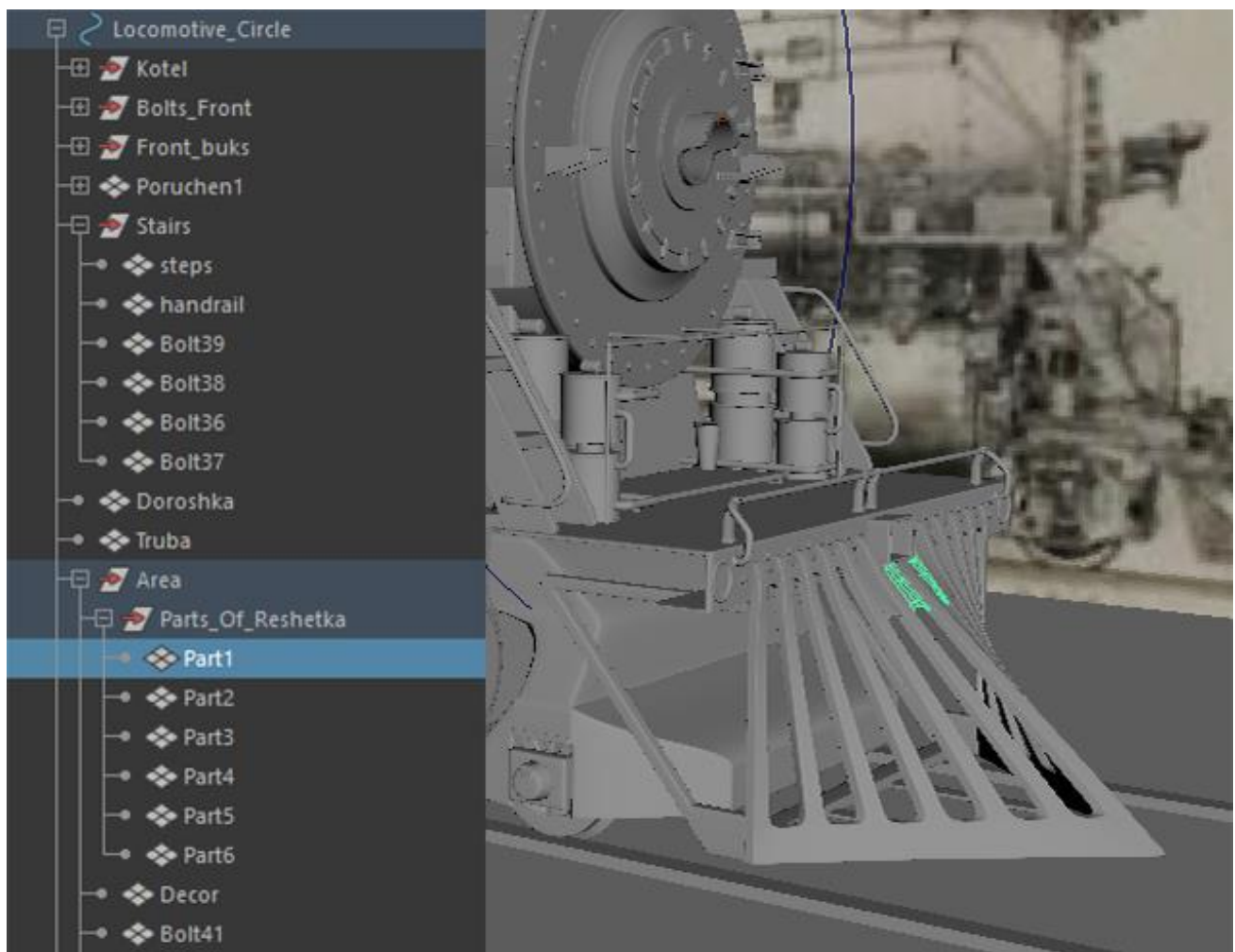
Створюються всі об'єкти зі стандартних фігур: куб, паралелепіпед, циліндр, сфера. За допомогою стандартних інструментів: переміщення, поворот, масштабування буде вплив на об'єкти, їх полігони, ребра та точки. Додаткове використання набору інструментів для моделювання.

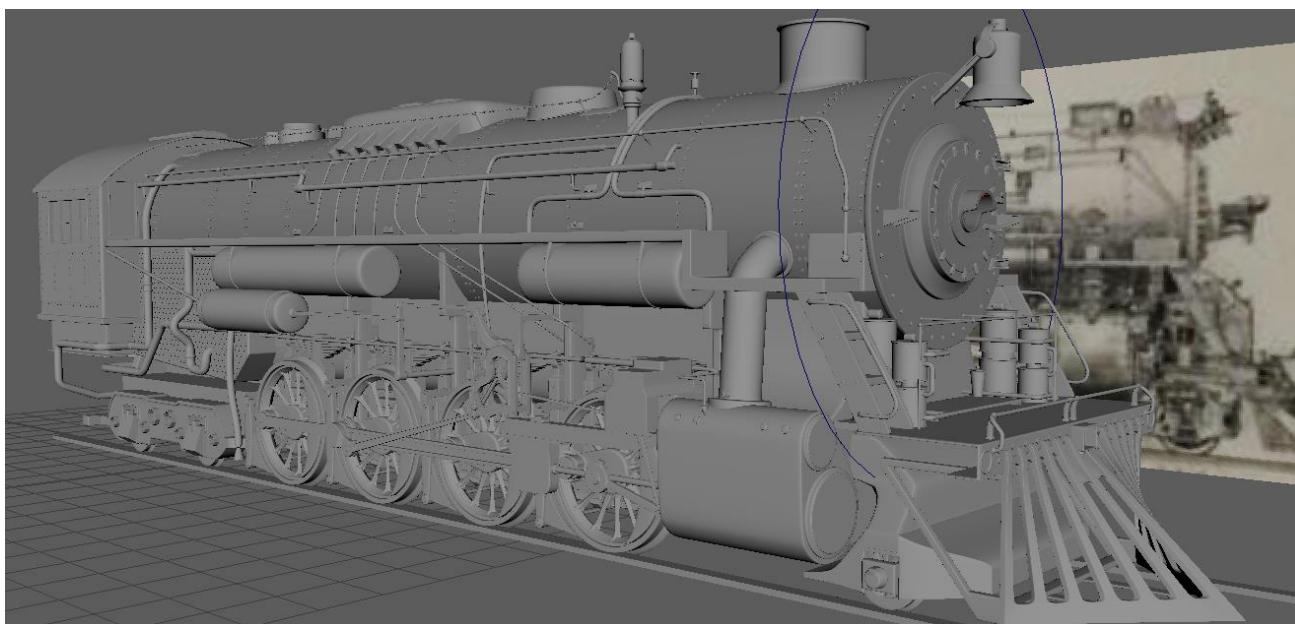


Існує 5 режимів роботи з моделями. Об'єктний режим, редагування точок, редагування ребер, редагування полігонів, комбіноване редагування точок ребер та полігонів. У кожному з цих режимів доступ до інструментів редагування сітки об'єкта. Червоним обведенням позначені використовувані інструменти у процесі роботи.



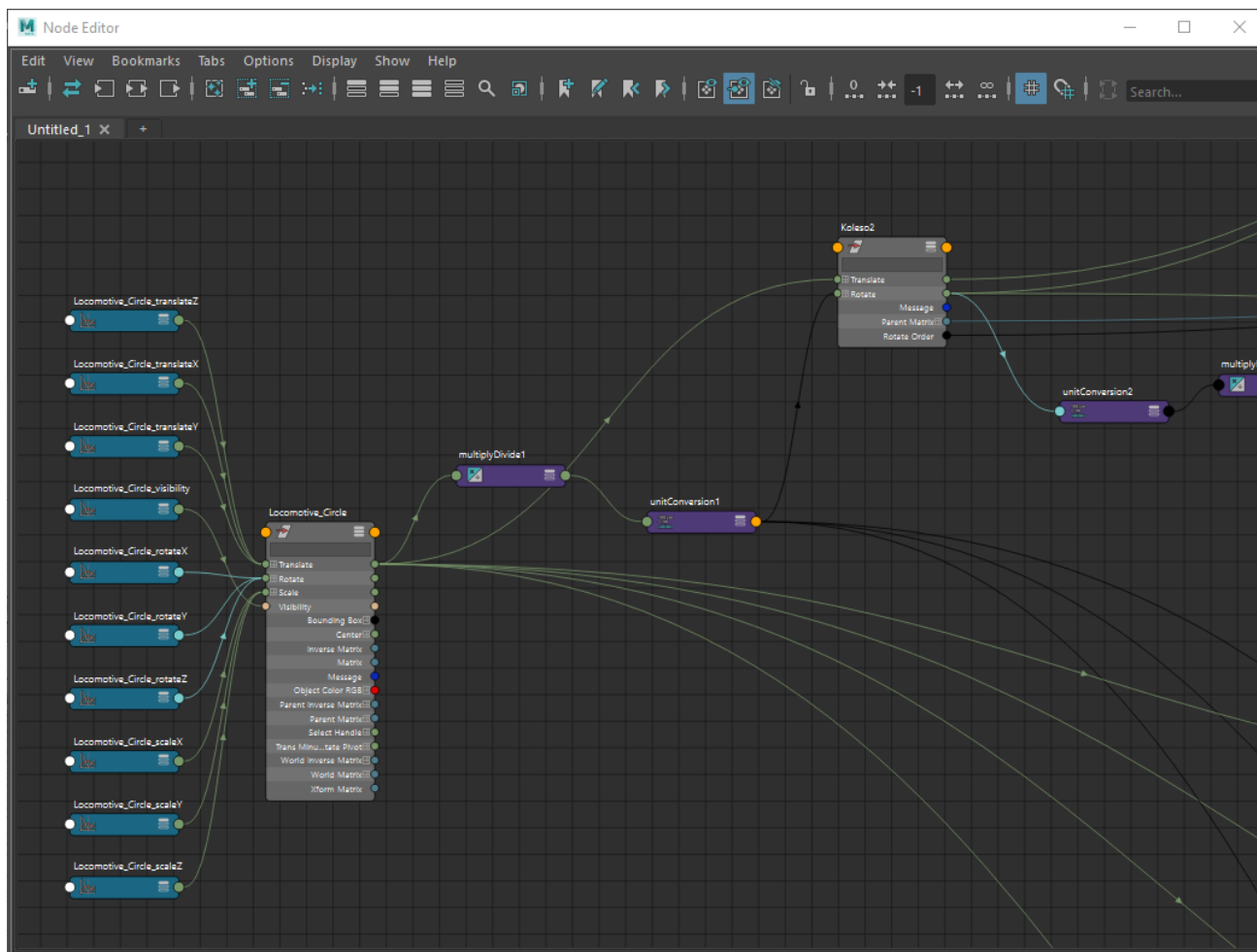
Кожен з нових об'єктів ієрархічно прив'язуємо до контролера, об'єкти можна групувати, якщо вони є якоюсь частиною локомотива.





Локомотив готовий, тепер потрібно налаштувати зв'язок між пересуванням контролера та крученням коліс. Скористаємося нодами з нодової системи у вікні Node Editor.

Node Editor — вікно в програмі Autodesk Maya, яке дозволяє працювати серед нодової системи.

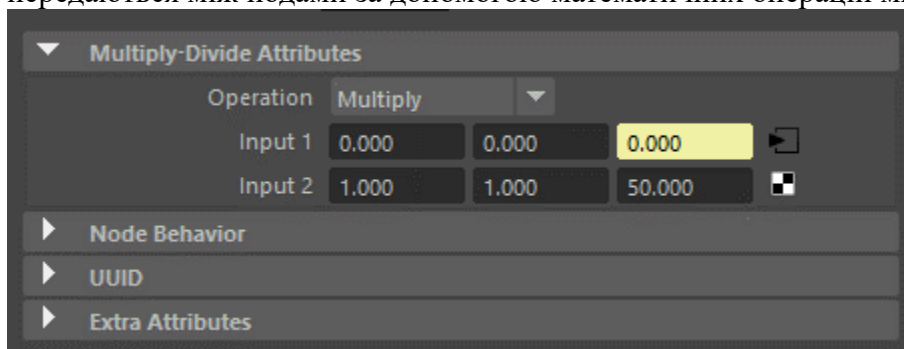


Кожен **сірий** прямокутник це нода конкретного об'єкта в нашому проєкті.

Кожен **різнокольоровий** прямокутник — це нода переходу даних між нодами об'єктів, впливу чи маніпуляції з об'єктом.

Нам потрібна нода контролера, яким ми рухатимемо паровоз. Візьмемо у неї характеристику Translate (переміщення) та зв'яжемо її з характеристикою Input ноди multiplyDivide.

multiplyDivide — нода, що відповідає за більш гнучке управління значеннями, що передаються між нодами за допомогою математичних операцій множення і поділу.



У вікні атрибутів виставимо множник 50 координати Z.

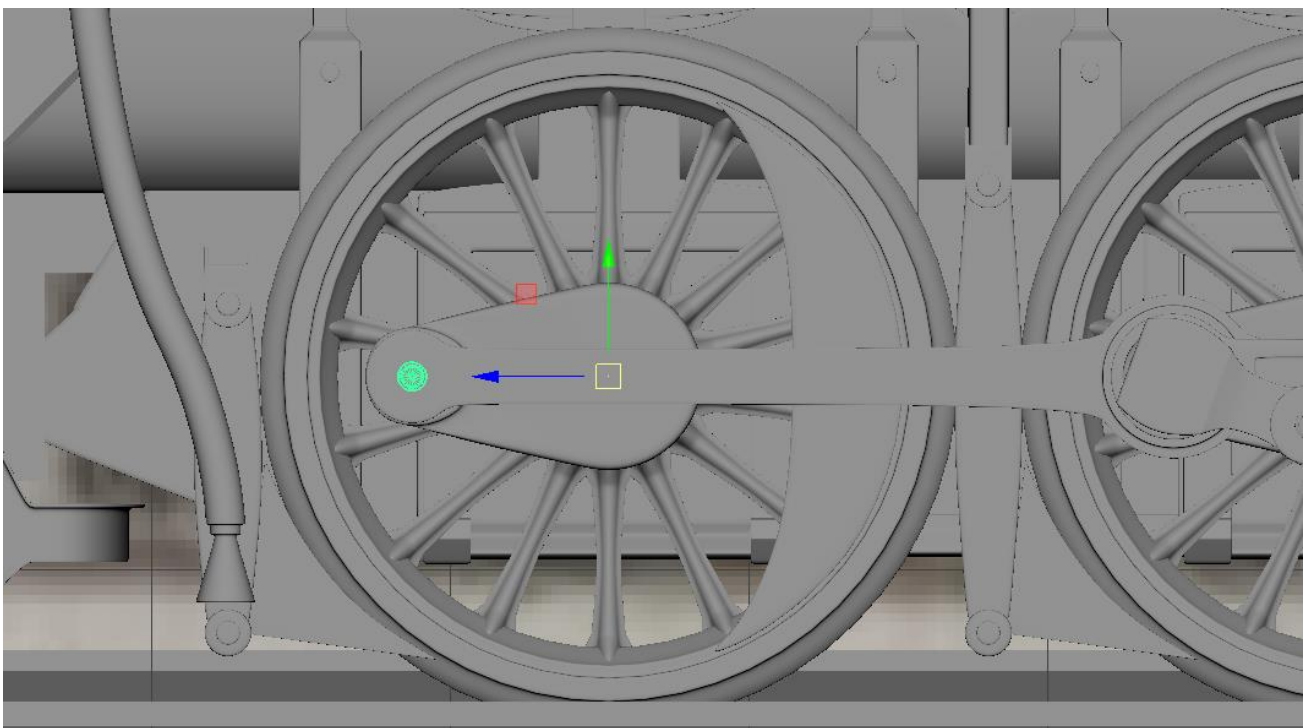
З'єднаємо вихідні дані з multiplyDivide з характеристикою Rotate (поворот) у ноди одного з великих коліс, з'явиться конвертація з чисел у градуси. Таким образом движение по координате

Z впливатиме на поворот колеса у тому напрямку. З'єднаємо сконвертовані дані та з іншими трьома великими колесами локомотива.

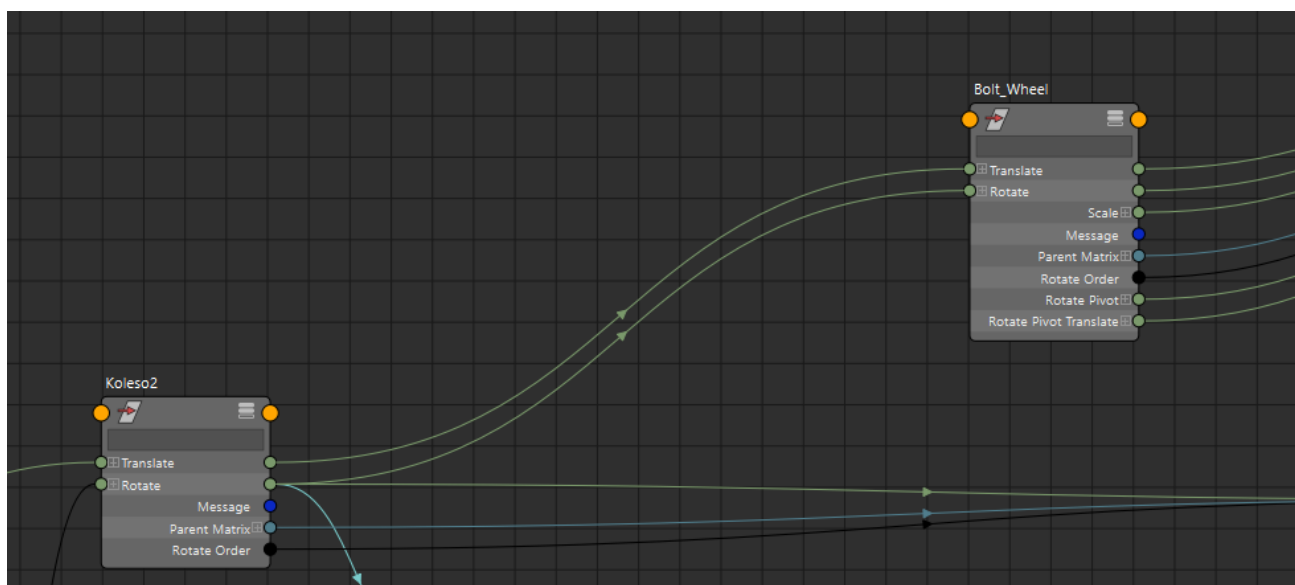
Для маленьких коліс повинна бути зроблена та сама процедура, але замість коефіцієнта множника 50, потрібно виставити 115 через те, що діаметр коліс менше попередніх.

Тепер нам потрібно прив'язати один з одним усі об'єкти механізму, який відповідає за рух поїзда. Насамперед важливо прив'язати основну балку до великих коліс, щоб вона повторювала їх рухи. Для цього нам знадобиться болт, pivot point (точка опори) якого розташований у центрі одного з коліс.

Pivot point — це точка переміщення, повороту та масштабування об'єкта, яка за умовчанням розташовується в центрі об'єкта. Точку опори можна перевернути в інше місце, і тоді маніпуляції з об'єктом будуть здійснюватися відносно іншого місця, куди ми точку і виставили.

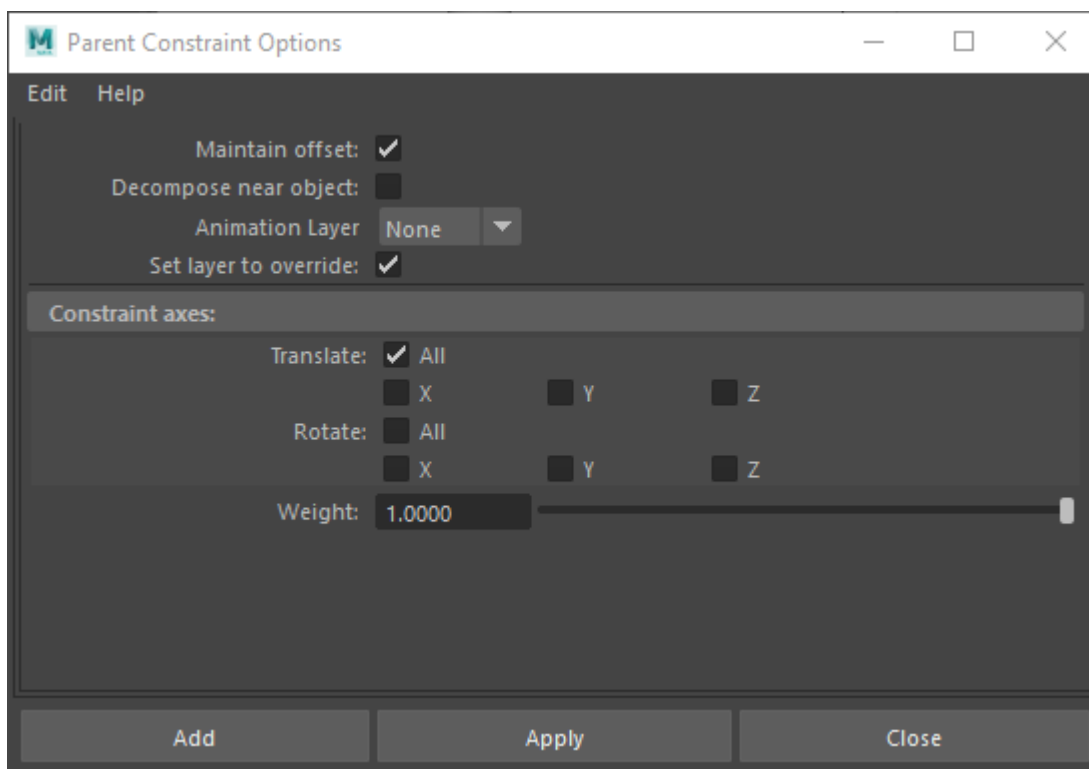


Зв'яжемо болт разом з колесом таким чином, щоб він повторював за ним поворот та переміщення. Скористаємося нодами в Node Editor.



Тепер прив'яжемо балку до болта за допомогою Parent Constraint.

Parent Constraint — функціональність програми Autodesk Maya, що дозволяє прив'язати дії переміщення та повороту одного об'єкта до іншого.

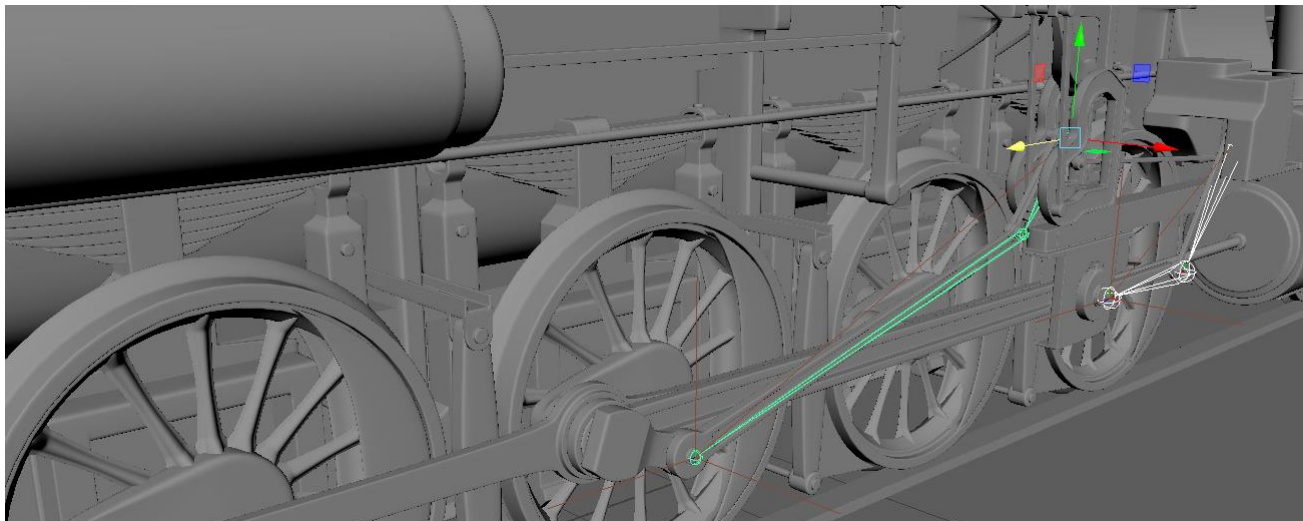


Забираємо галочку поруч із характеристикою Rotate (поворот), тому що нам не потрібно, щоб балка оберталася. Таким чином болт є індикатором координат, які були отримані з-за його обертання навколо колеса, щоб передати їх балці, яка слідуватиме у двох напрямках координат (вгору-вниз і вперед-назад у напрямку руху поїзда).

Тепер створимо кістки для скелетної анімації загального механізму та додамо на них IK Handle.

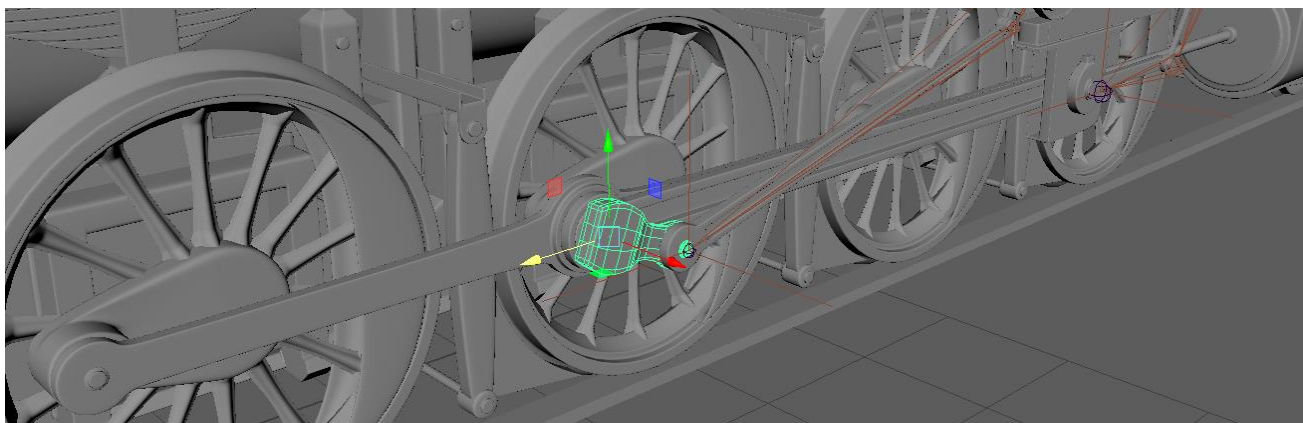
Скелетна анімація — спосіб анімації тривимірних моделей у мультиплікації та комп'ютерних іграх.

IK Handle — функціональність у програмі Autodesk Maya, яка дозволяє створити залежність між двома кістками в скелетній анімації, щоб анімація могла проходити не поворотом окремих кісток, а рухом крайньої точки з дотриманням спочатку виставленої довжини кісток.



Прив'яжемо потрібні болти та балки до відповідних кісток за допомогою Parent Constraint.

Створимо зв'язок мужду балкою та наступним елементом механізму.



Потрібен Point Constraint між основною балкою і виділеним об'єктом, щоб він слідував за нею за координатами двох напрямків (вгору-вниз та вперед-назад)

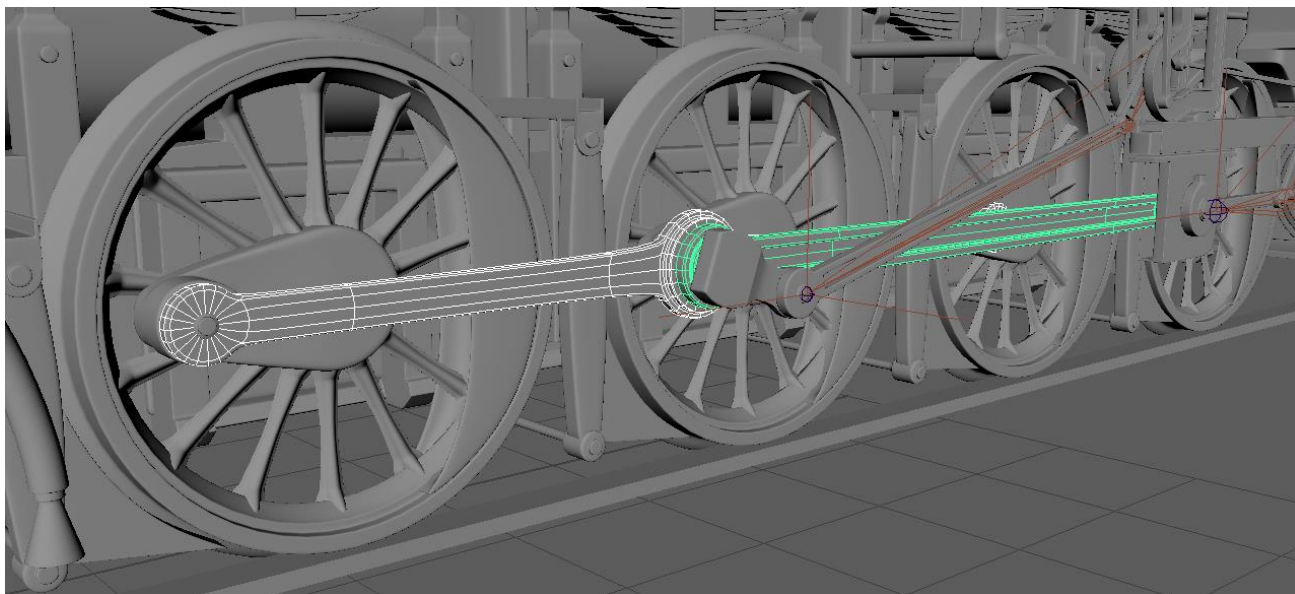
Point Constraint — функціональність програми Autodesk Maya, що дозволяє прив'язати дії одного об'єкта до іншого з урахуванням початкової точки прив'язки.

Після Point Constraint важливо застосувати Orient Constraint, щоб об'єкт обертався одночасно з рухом.

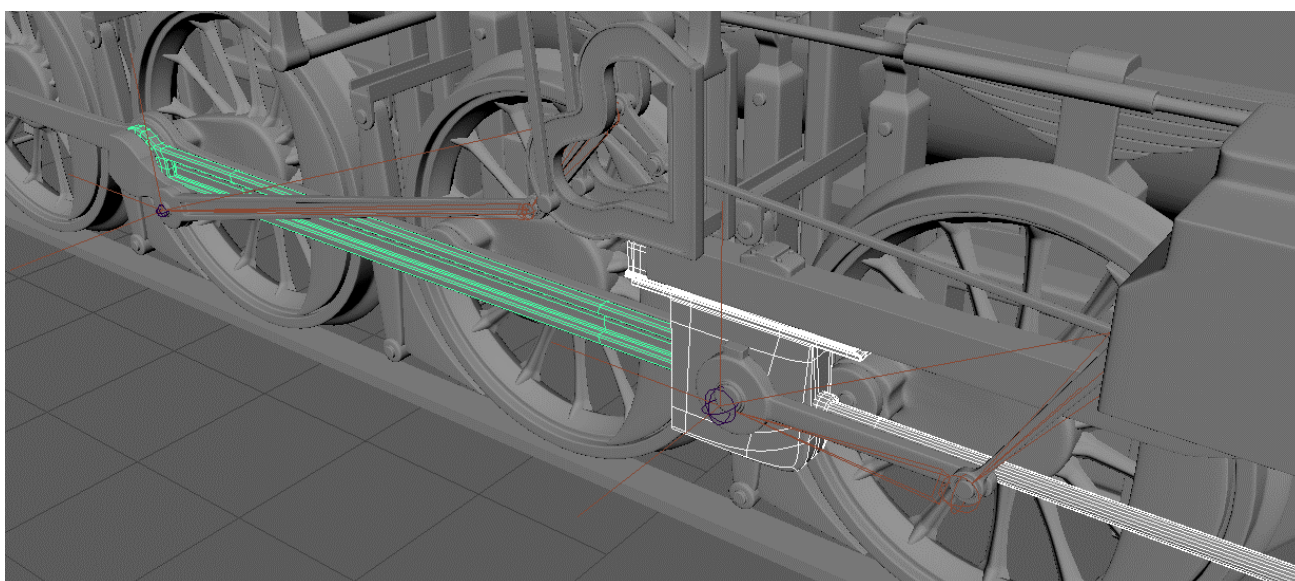
Orient Constraint — функціональність програми Autodesk Maya, що дозволяє прив'язати дії повороту одного об'єкта до іншого.

Щоб з'єднати наш об'єкт з іншою частиною механізму, нам потрібно застосувати Point Constraint між болтом об'єкта та IK Handle потрібного елемента. Зв'яжемо наступні дві балки між собою за допомогою Point Constraint, а потім поставимо виділений зеленими ребрами балці Aim Constraint, щоб дальня її частина завжди фіксувалася в одній точці за координатою

У. Для цього потрібно створити будь-який об'єкт усередині поршня, щоб балка «стежила» за ним під час свого обертання довкола коліс.



Aim Constraint — функціональність програми Autodesk Maya, яка задає об'єкту напрямок, куди йому потрібно бути повернутим. Об'єкт починає «стежити» за іншим об'єктом, який ми виберемо.



Цим двом об'єктам поставимо Point Constraint, але відключимо рух по координаті Y, щоб модель, виділена білими ребрами, не рухалася вгору-вниз.

Продовжуємо вивченими методами пов'язувати між собою частини механізму, що залишилися.

Потрібно налаштувати освітлення та візуалізацію (render). Виставимо стандартний Area Light, щоб побачити локомотив після візуалізації.

Area Light — прямокутна площа, яка з одного боку випромінює фотони світла.

Додамо в сцену атмосферу (імітація частинок повітря в просторі), щоб підсумкова картинка виглядала реалістичніше. Поставимо Area Light невеликого розміру у фару локомотива. Виділимо полігони всієї фари, продублюємо їх від основної моделі локомотива котла, щоб

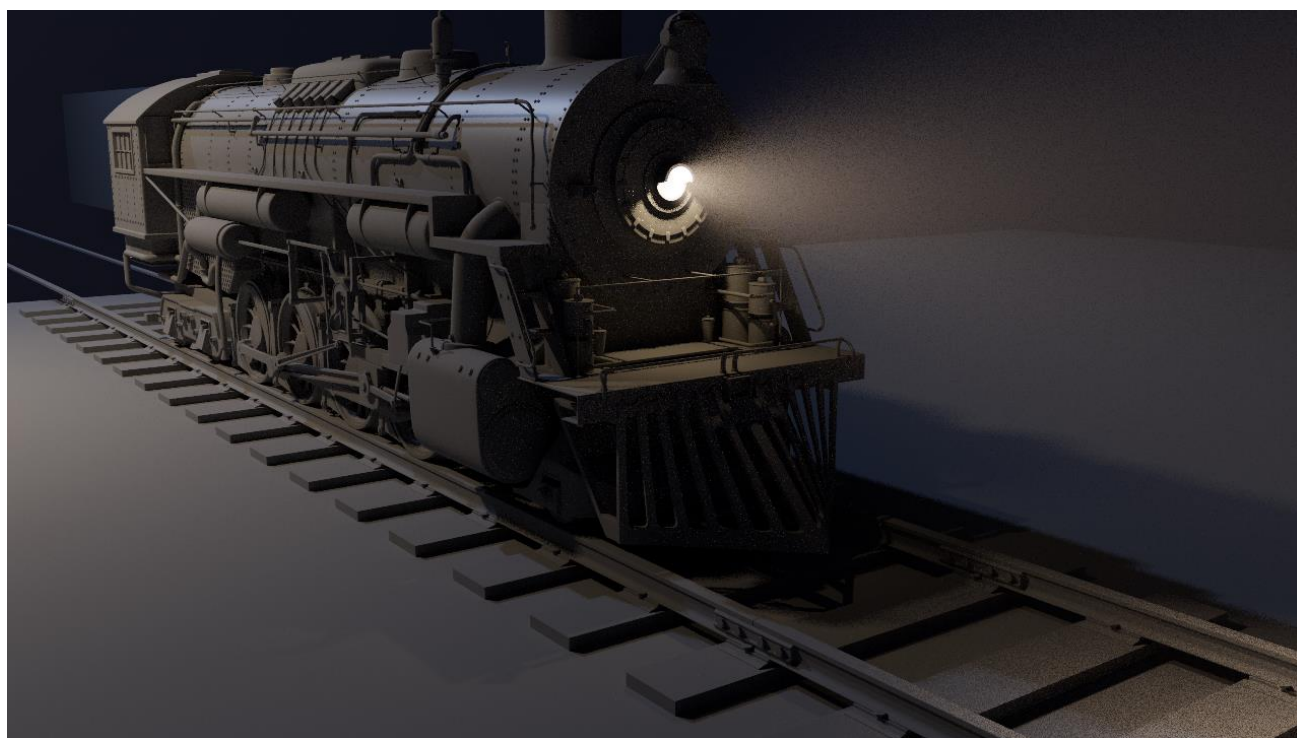
вони стали окремим об'єктом, накладемо на нову модель матеріал з викрученою на максимум характеристикою Metalness. Таким чином, можна буде уникнути «зернистості» та дефектів при візуалізації в тій галузі, яка освітлюється цією фарою. Також поставимо ще один Area Light меншого розміру, щоб він світив вниз і освітлював передній майданчик локомотива, тому що параметром Metalness ми відключили будь-які відображення фотонів світла поверхню фари, тим самим залишили майданчик неосвітленим.

Metalness — характеристика в редакторі матеріалів, що відповідає за відблиски та відображення на об'єкті, аналогічні металевим предметам із реального життя.

Змінимо у Area Light в редакторі атрибутів у підгрупі Arnold характеристику spread, щоб змінити кут поширення світла і зробити його свічення наближене до прожектора. Тут же і поміняємо колір свічення фари на світло-жовтогарячий. Також навколо всієї сцени додамо сферу, вивернемо її полігони у внутрішній бік і накладемо матеріал свічення темно-сіро-синього кольору, щоб створити аналог хмарного нічного неба. Також трохи збільшимо параметр Metalness біля котла локомотива, щоб можна було побачити місячне відображення на ньому.

Arnold — Візуалізатор у програмі Autodesk Maya.

Візуалізатор — Програмне забезпечення, за допомогою якого можливо створювання підсумкової картинки з освітленням, тінями, відзеркалюваннями і т.д.



Мы получили первый готовый тестовый кадр нашей работы.

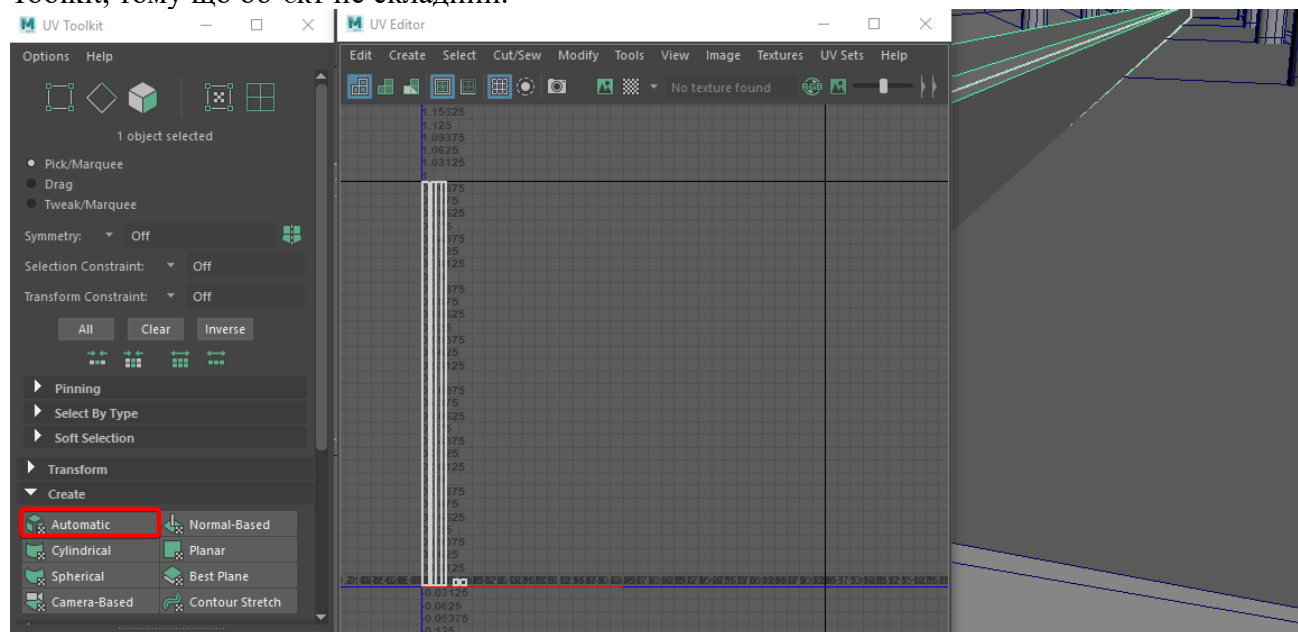
Наступним етапом буде моделювання малополігонних моделей на всіх чотирьох локаціях, щоб ми мали уявлення як приблизно буде виглядати наша робота. Після цього можливо переходити до більш детального моделювання та заповнення локацій гарними моделями.

Почнемо детальне моделювання з першої сцени — інтер'єру залізничного вокзалу.

Звернему увагу на моделювання сидінь. Вони збудовані на основі дерев'яних дошок, які повторюються, тому зробимо спочатку UV розгортку для неї та задалегідь накладемо текстури, щоб потім не робити туж саму дію десятки разів поспіль.

UV розгортка — це відображення 3D моделі на площині з двох осей координат.

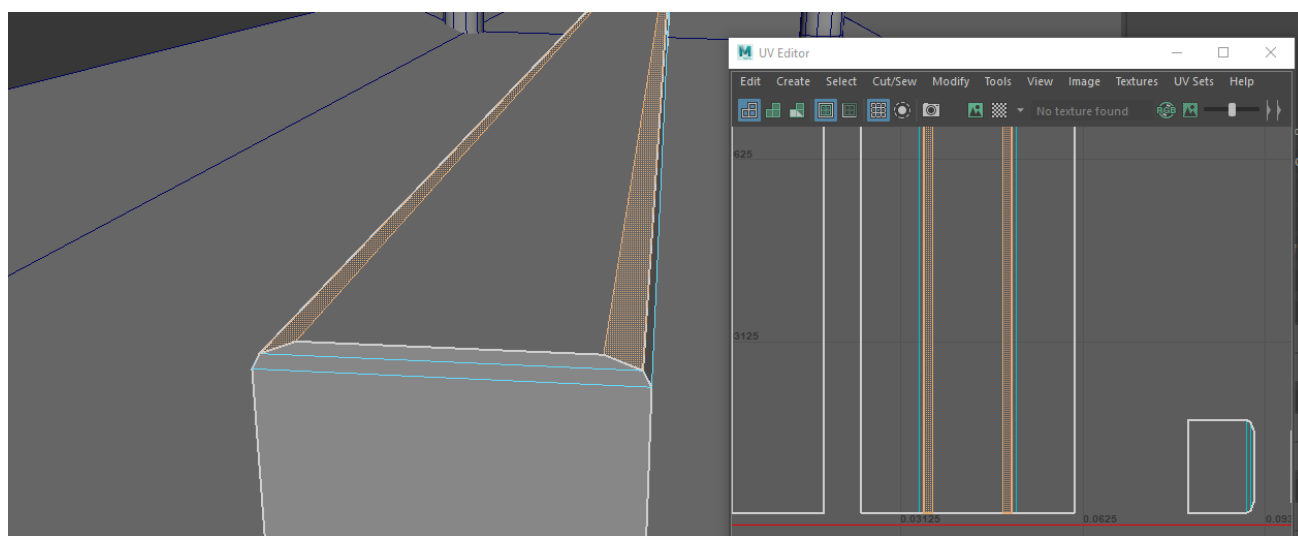
У вікні UV Editor виберемо полігони дошки та зробимо їй автоматичну розгортку у вікні UV Toolkit, тому що об'єкт не складний.



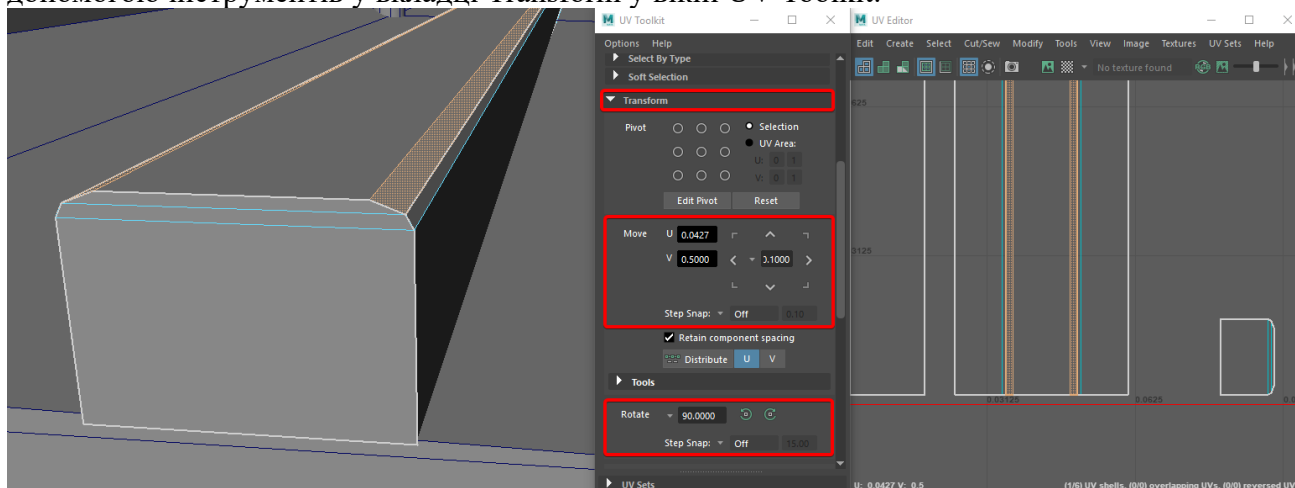
UV Editor — це вікно у програмі Autodesk Maya, за допомогою якого можливо редагувати UV розгортку.

UV Toolkit — це вікно у програмі Autodesk Maya, яке відображає інструменти для роботи з UV Editor.

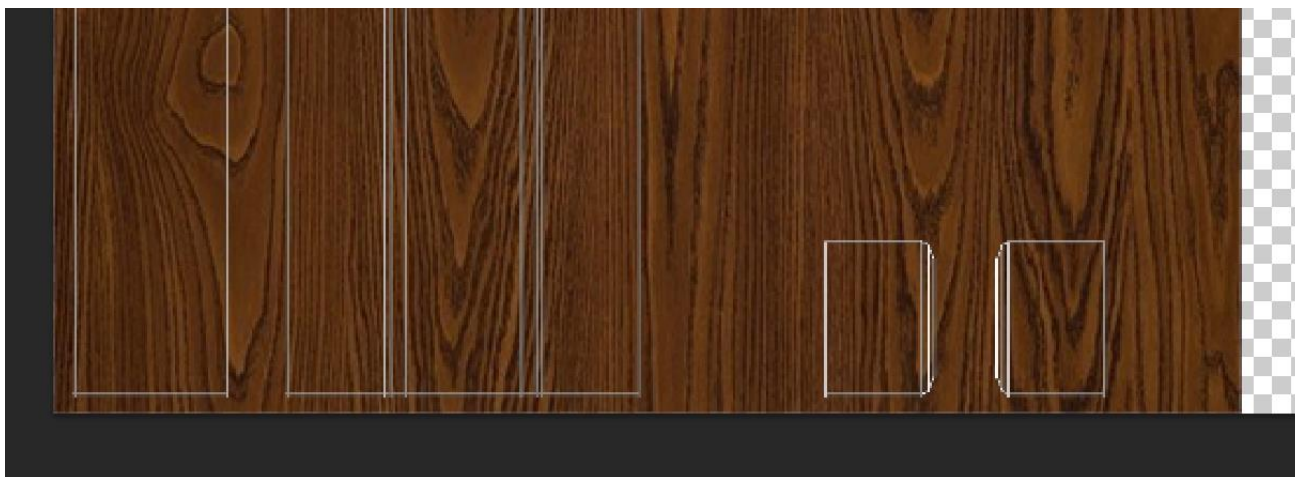
Треба слідкувати за тим, щоб полігони були сусідніми один до одного, таким чином текстура не буде переривчистою.



Якщо полігони в UV Editor розташовані іншим чином, або повернуті, то треба їх змістити за допомогою інструментів у вкладці Transform у вікні UV Toolkit.



Експортуємо зображення за допомогою вікна UV Snapshot Options у форматі PNG з роздільною здатністю 4096 x 4096 пікселів, щоб нам було видно усі лінії наших полігонів. У програмі Adobe Photoshop накладаємо текстуру під шар з відображенням полігонів, при збереженні відключаємо бачність цього шару.



UV Snapshot Options — це вікно у програмі Autodesk Maya, за допомогою якого можливо експортувати UV розгортку у файл зображення.

PNG — це формат зображення, який має прозорий фон.

Роздільна здатність — це кількість пікселів на зображенні.

Піксель — це точка на моніторі, яка може змінювати свій колір.

Adobe Photoshop — це програма для праці з растровими зображеннями.

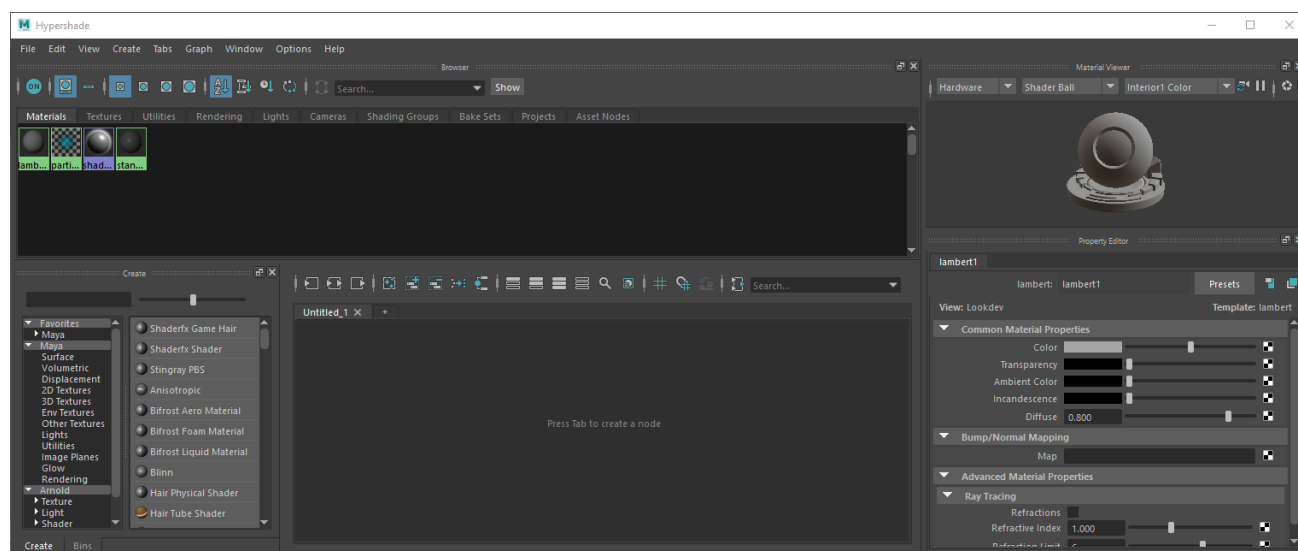
Растрове зображення — зображення, яке має вигляд сітки з пікселів.

Зберегати всі зображення з текстурами потрібно в одній папці, спеціально відведений тільки під цей проект, щоб можливо було його швидко відкрити на іншому ПК, якщо це буде потрібно. Також треба стежити за тим, щоб шлях файлу текстури не мав кирилиці. Щоб сам файл та усі папки, починаючи з «Назва тому твердотільного накопичувача чи жорсткого диска»:» мали назву латиницею. Це треба для того, щоб не було багів при відкритті проекту, та його не втратити.

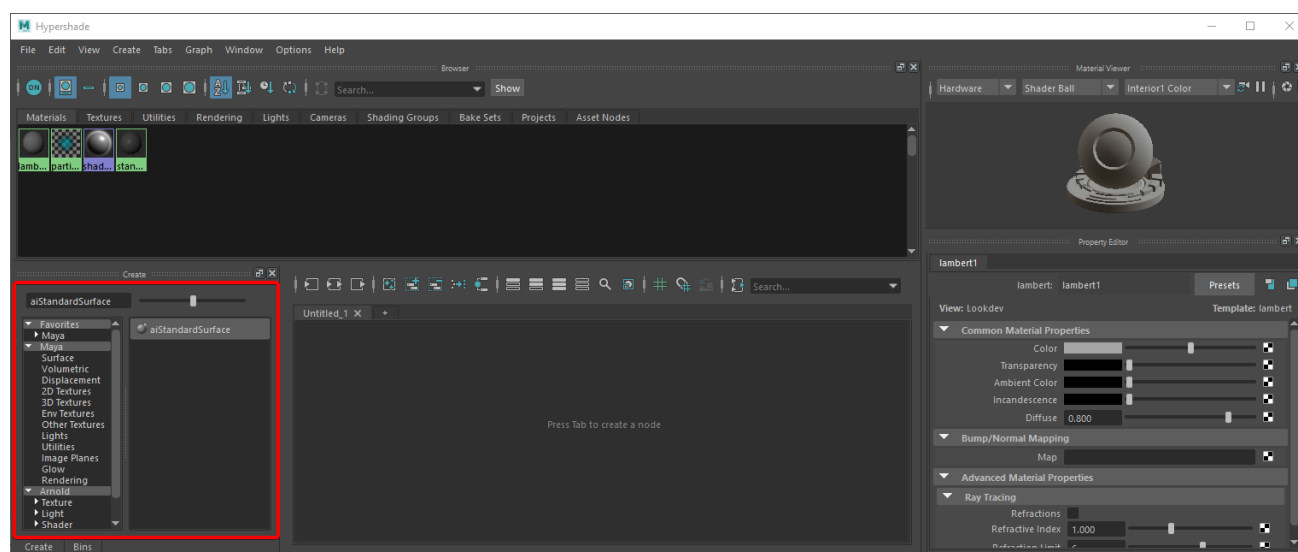
Для додавання текстури до об'єкту потрібно створити ноду матеріалу у вікні Hypershade.

Матеріал — це сукупність характеристик, доданих до об'єкту, щоб він мав реалістичний вигляд.

Hypershade — це вікно у програмі Autodesk Maya, яке надає можливість накладати до моделей матеріал.

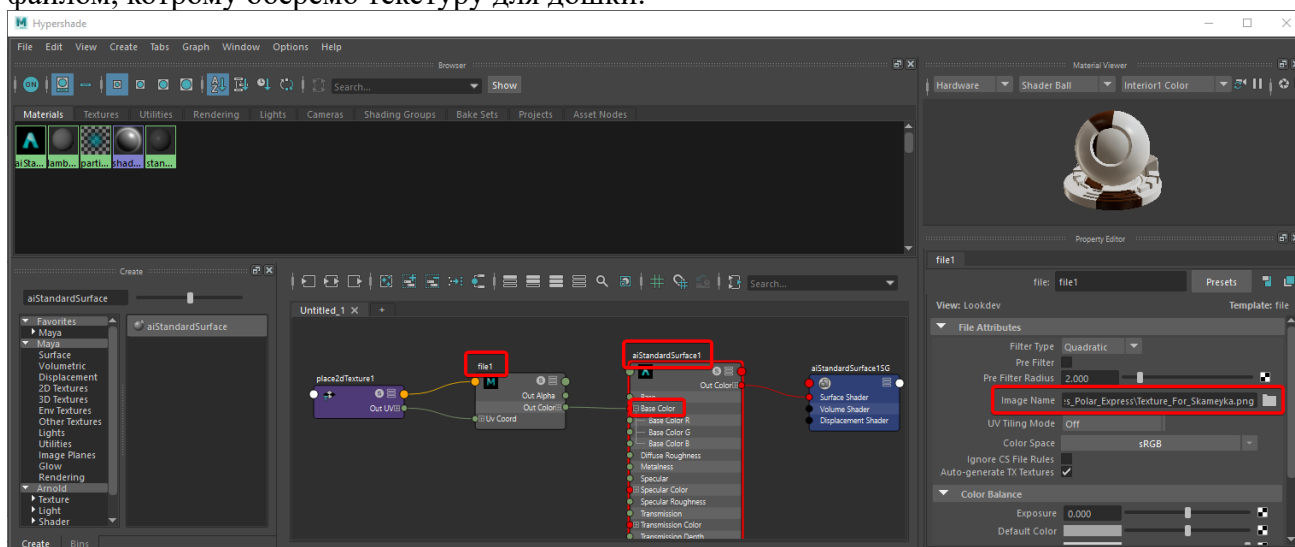


Знайдемо матеріал під назвою aiStandardSurface.

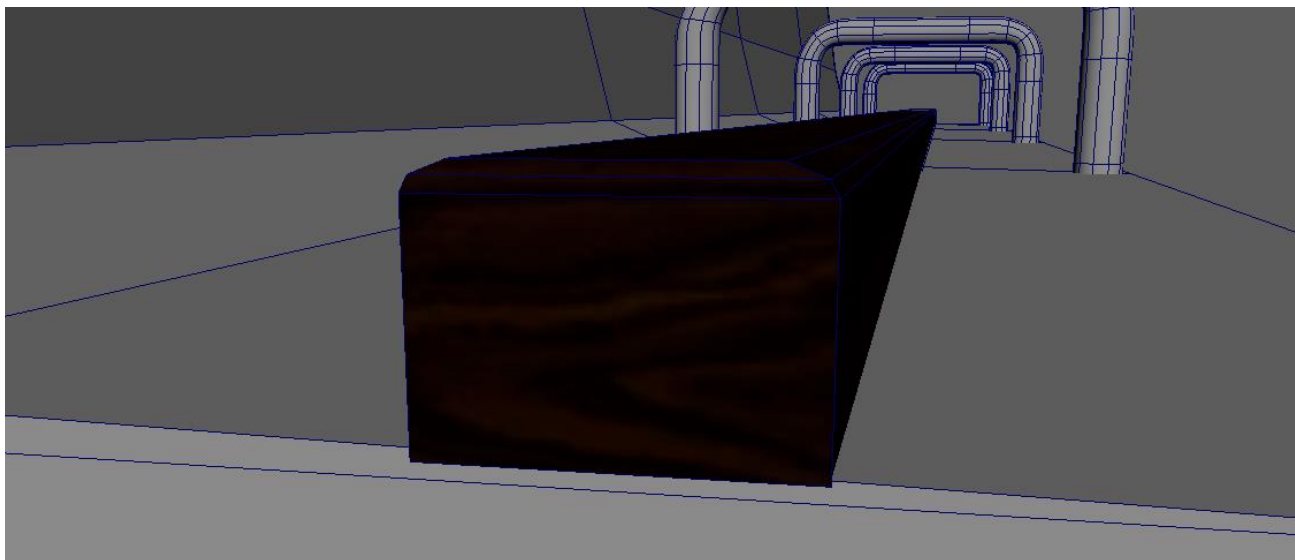


aiStandardSurface — це матеріал у програмі Autodesk Maya, за допомогою якого можливо налаштувати колір, відзеркалення, металевість тощо.

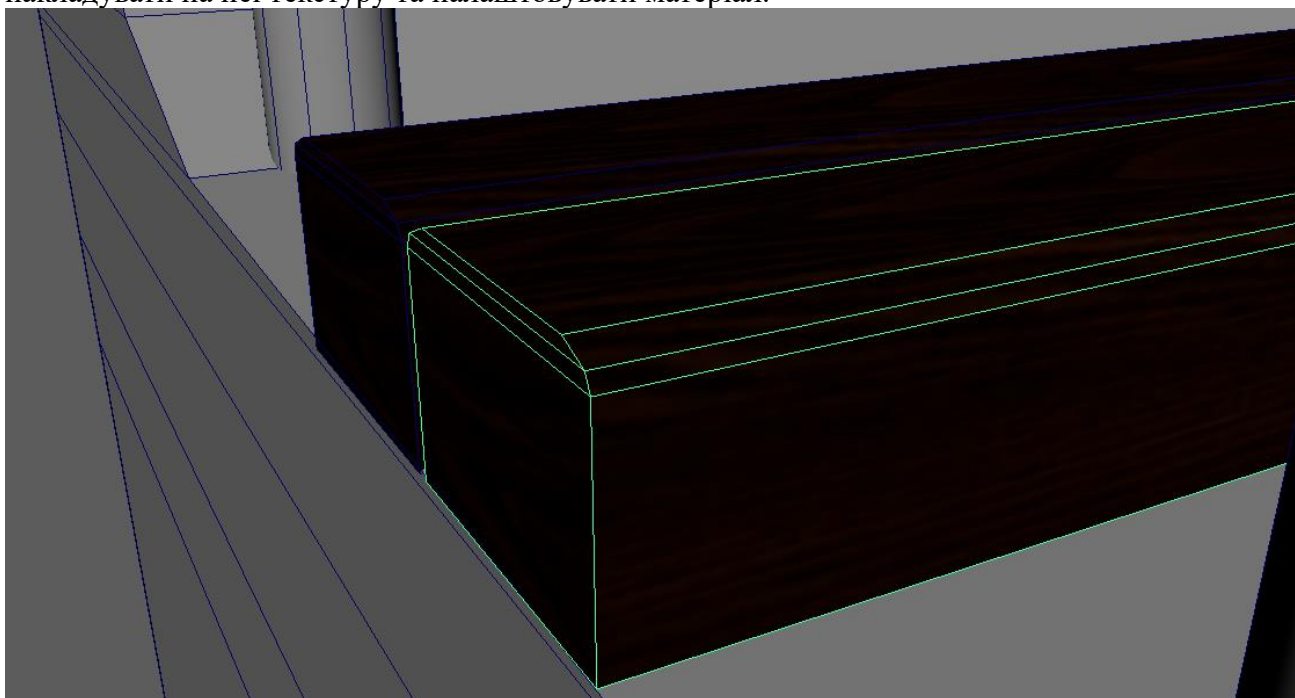
Додамо цей матеріал до нодової системи, та підключим до характеристики «Base Color» ноду з файлом, котрому оберемо текстуру для дошки.



Накладемо цей матеріал до моделі дошки та увімкнемо відображення текстур.

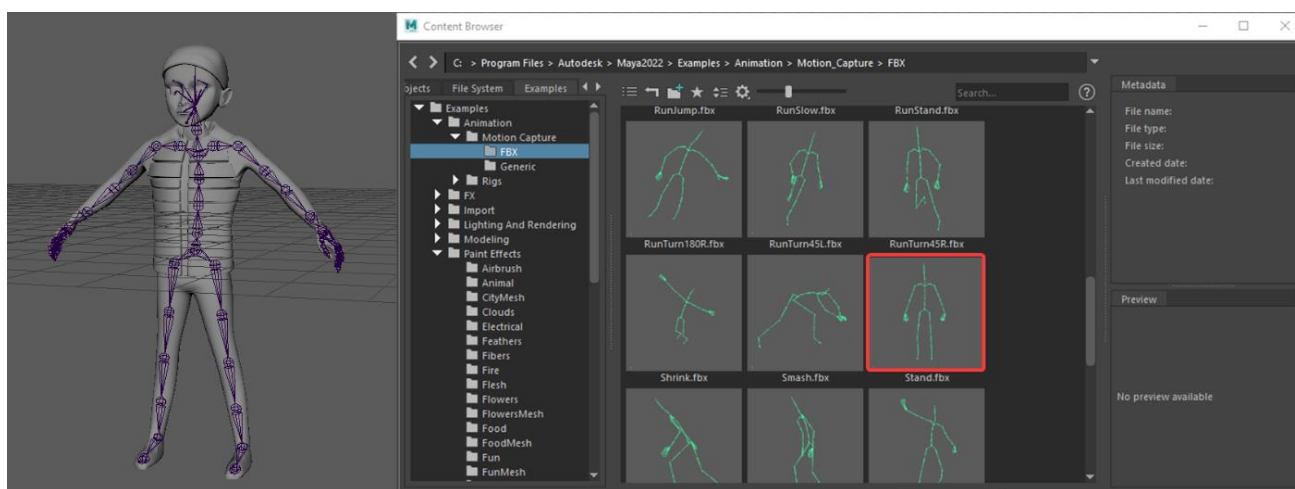


Тепер якщо копіювати дошку, нам не доведеться заново створювати її UV розгортку, накладувати на неї текстуру та налаштовувати матеріал.

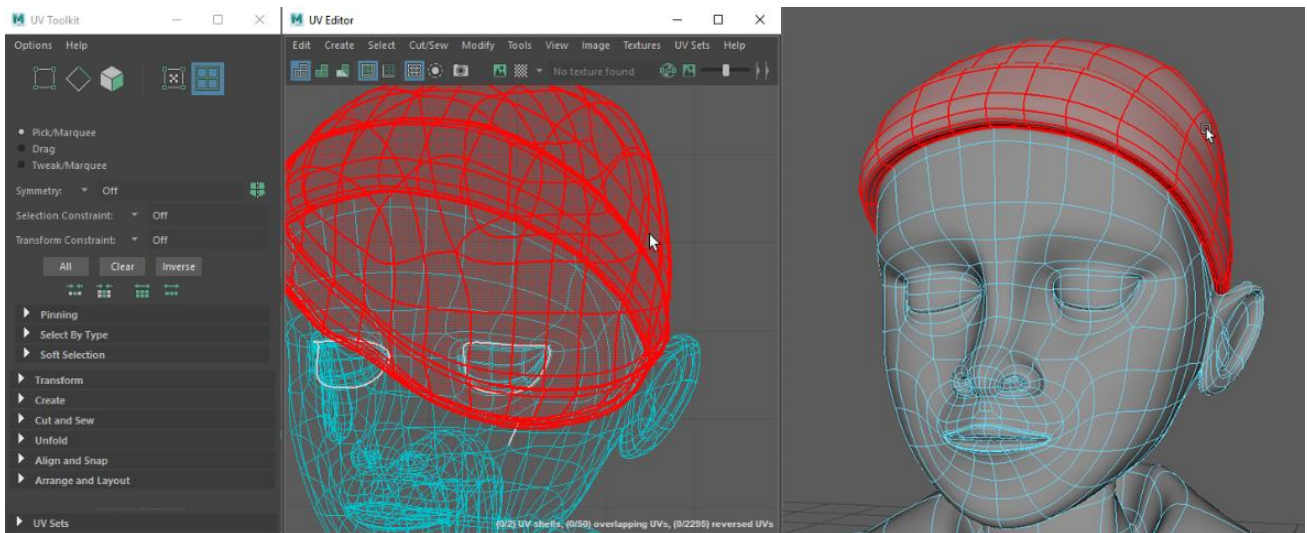


Змодельовано модель персонажа разом із кістками для костяної анімації.

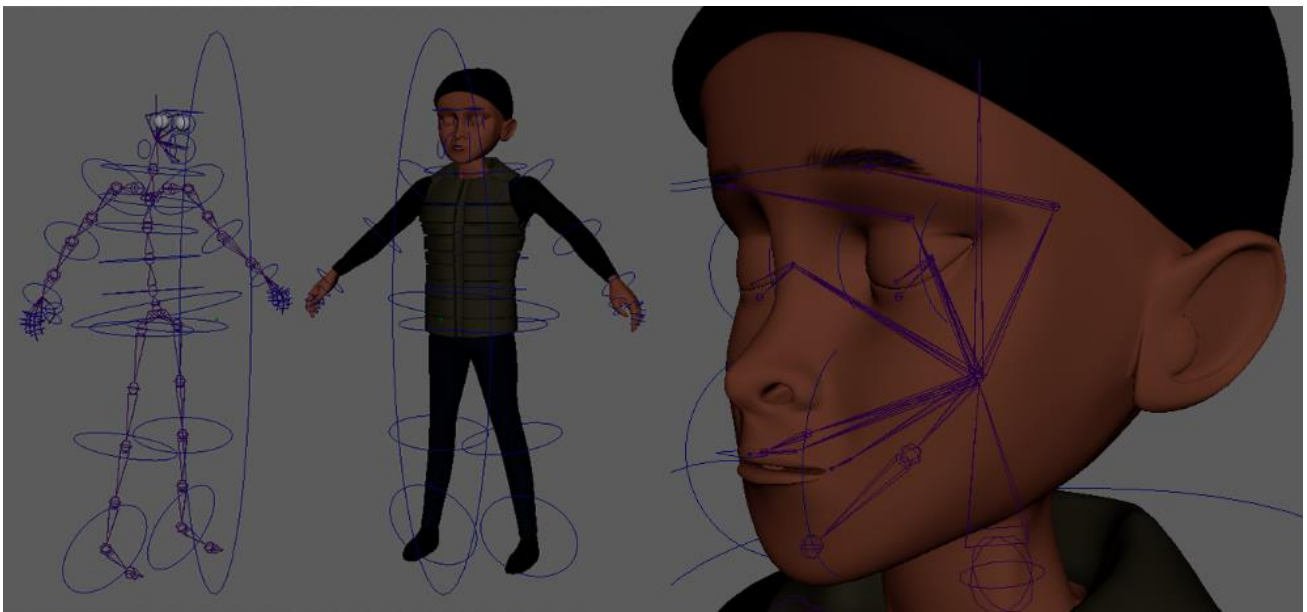
За основу був взятий скелет з бібліотеки Maya, та додано до нього кістки для анімації обличчя. У вікні Content Browser – Examples – Animation – Motion Capture – FBX – Stand.fbx.



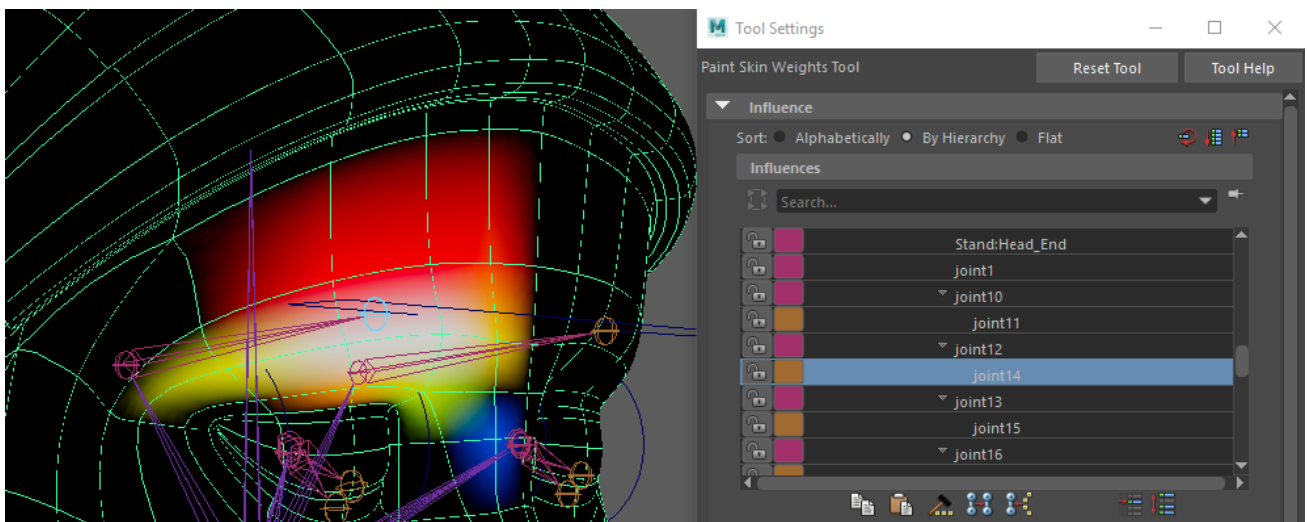
Перед прив'язуванням моделі зі скелетом робиться для моделі UV розгортка. На ній відділяються один від одного частини персонажа, на яких буде інший колір або текстура. Виділяються усі ребра між однією частиною та іншою, та у вікні UV Editor прожимається поєднання клавіш shift + X. Таким чином модель вже поділена на 2 частини. Так робиться і далі, поки всі частини моделі не будуть зі своїми текстурами.



Створення контролерів поруч із кістками.

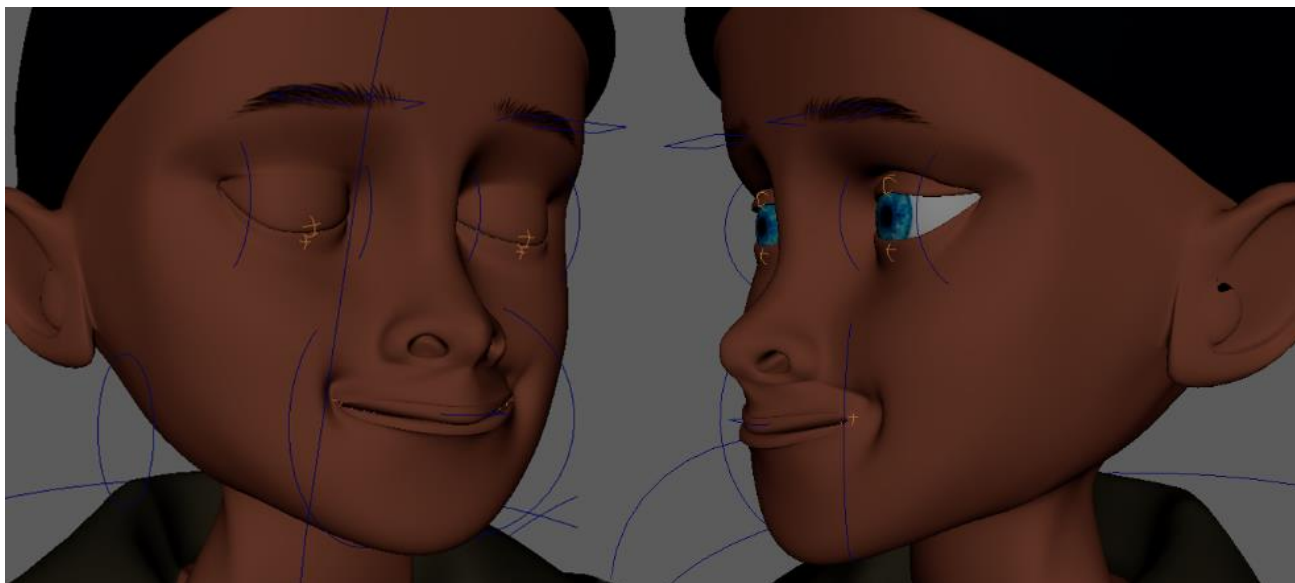


За допомогою Paint Skin Weights присутня можливість анімації обличчя.



Paint Skin Weights — це інструмент, дозволяючий налаштовувати вагу (ступінь дії) кісток на модель.

Приклад емоції у персонажа



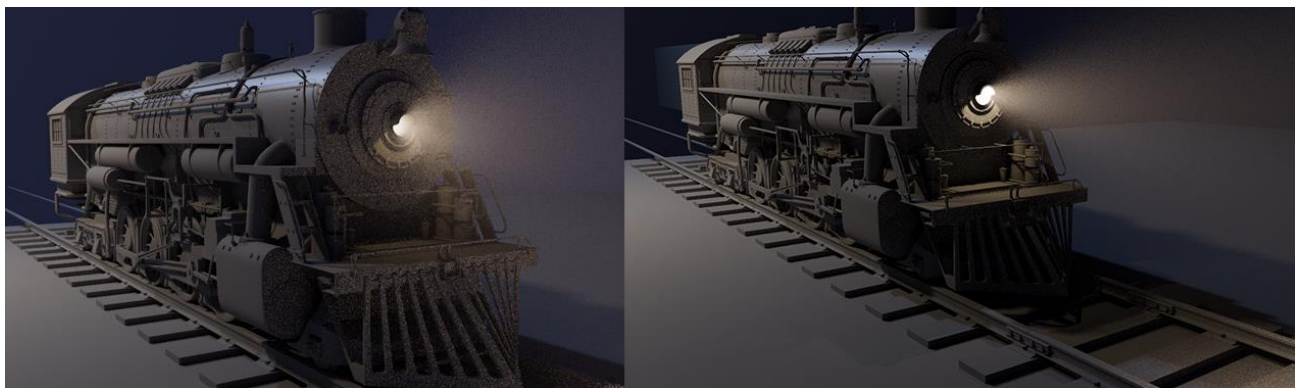
Проблеми під час виконання

Зернистость от фары локомотива

Я довго не міг зрозуміти чому на паровозі є якийсь шум.



Спочатку я вважав, що справа у кольорі відзеркалення та взагалі у відзеркаленнях. Потім прийшов к варіанту, що потрібно створити у фарі нову фару з іншим матеріалом, щоб він нічого не відзеркалював, але результат мене не порадував. Потім я довго налаштовував матеріал, та помітив, що металевість не відзеркалює кольорів, тому після спроби з відсутністю відзеркалень, я зробив ще й з металевістю і мене це влаштувало.

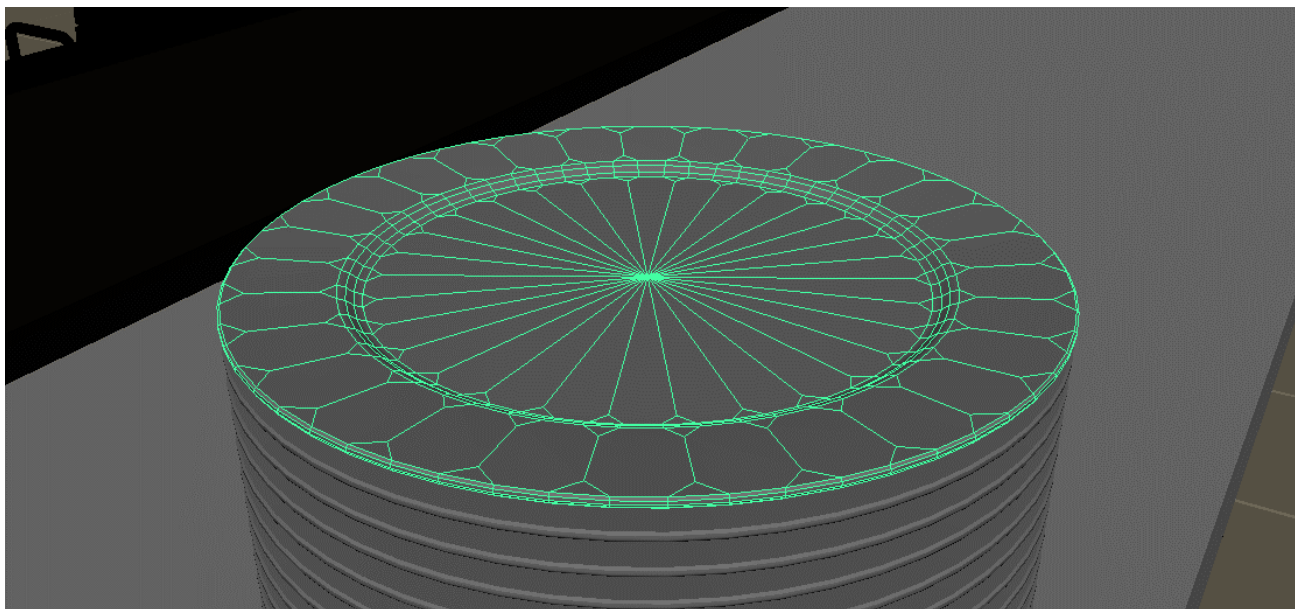


Недолік оперативної пам'яті

Локомотив з усіма його вагонами вийшов занадто детальованим. Настільки, що комп'ютеру не вистачає оперативної пам'яті, щоб всі полігони одночасно підтримувати, тому було вирішено додати комп'ютеру додатково планок оперативної пам'яті. Вирішено купити 2 однакові планки, такі ж самі як і були. Такі ж самі, щоб між ними була сумісність, та саме 2, тому що при непарній кількості планок оперативної пам'яті знижується швидкість праці комп'ютера. Був витрачений час на пошук цієї інформації, тому що автор дипломної роботи не знав яким чином взагалі підвищувати об'єм оперативної пам'яті.

Оптимізація моделей

Були враховані помилки при моделюванні локомотива, потрібно робити об'єкти менш датальованими, урахувуючи їх сітку. Одна з оптимізованих моделей — це тарілка з їдальні на залізничному вокзалі. При цій оптимізації було використано у 3-4 рази менше полігонів, ніж могло би при сглажуванні об'єкта.



Висновки

Оперативна пам'ять

Проекти повнометражних анімаційних фільмів роблять на великих студіях не тільки з-за того, що потрібно багато людей, щоб встигнути зробити твір за декілька років, не тільки з-за того, що рендер всіх кадрів на персональному комп'ютері буде продовжуватись десятиліттями, щоб зробити всі півтори години візуалу, а ще тому що у комп'ютера може не вистачити оперативної пам'яті, щоб проект був відкритим і в ньому можливо було працювати.

Персональні комп'ютери з 8 та 16 гігабайтами оперативної пам'яті не можуть тримати на собі мільярди полігонів детальної графіки. Лише одна моделька потяга дипломної роботи важе 4 гігабайти оперативної пам'яті. Це не кеш, не вага проекту, це не вага, що зберігається на диску — це дійсно оперативна пам'ять, якої на середніх комп'ютерах не вистачає для великих проєктів. Тому занадто детальовані локації та багатополігонні об'єкти в сценах вам у домашніх умовах зробити не вдасться.

Потрібно уважно стежити за показником «Пам'ять» у вашому диспетчері завдань, та скільки програма для моделювання забирає оперативної пам'яті у персонального комп'ютера.

Имя	5% ЦП	88% Память
> M maya (4)	0,4%	9 955,7 МБ

Щоб вистачало пам'яті потрібно збалансовано деталізувати ваші моделі, заздалегідь знати чи буде об'єкт головним в кадрі та додати йому більше полігонів, чи він буде на середній від камери дистанції та не збільшувати йому їх чисельність.

Якщо ви все ж таки хочете зробити великий проєкт і його робите, але вам не вистачає десятка гігабайт оперативної пам'яті — перше що вам потрібно зробити це подивитись а підтримує чи взагалі ваша материнська плата об'єм, вищий за тей, що у вас є. Наступним треба витягнути одну с планок у вашому комп'ютері та сфотографувати вашу модель, щоб потім купити таку ж саму. Дуже важливо пропилососити ваш комп'ютерний блок перед тим як висовувати та вставляти назад планку, щоб пил та інше забруднення не потрапили до контактів як планки так і в гніздо під планку. Бо потім можете схопити інсульт п'ятої крапки, тому що комп'ютер не буде включатись.



Джерела

Моделювання механізмів потяга — <https://www.youtube.com/watch?v=00fHoJFpAZA>

Моделювання базової сітки анатомічного тіла людини — <https://www.youtube.com/watch?v=spl4lGxnMZg>