

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Кафедра комп'ютерної інженерії



**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

на тему Формування методики анімації руху
(назва кваліфікаційної роботи згідно наказу ОНТУ)
транспортного засобу із залежною підвіскою

Здобувача Ревуцького О.В.
(прізвище, ініціали)
2 курсу 556а групи

Керівники: к.т.н., доц. Шестопалов С.В.
(посада, прізвище та ініціали)
ст. викл. Жуковецька С.Л.
(посада, прізвище та ініціали)

Консультанти: _____
(посада, прізвище та ініціали)
д.е.н., проф. Басюркіна Н.Й.
(посада, прізвище та ініціали)

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від 30.11 2023 р., протокол № 3
Завідувач кафедри комп. інженерії _____ Сергій АРТЕМЕНКО
(назва кафедри) (підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Одеса – 2023 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет комп'ютерної інженерії, програмування та кіберзахисту
Кафедра комп'ютерної інженерії
Ступінь вищої освіти магістр
Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»
Освітня програма Спеціалізовані комп'ютерні системи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри комп'ютерної інженерії
Сергій АРТЕМЕНКО
« 30 » листопада 2022 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Ревуцького Олексія Валерійовича

1. Тема роботи Формування методики анімації руху транспортного засобу із залежною підвіскою

Затверджена наказом університету від « 30 » листопада 2022 р., наказ № 884-03

2 Термін здачі здобувачем закінченої роботи 28 листопада 2023 р.

3. Вихідні дані роботи

1. Референси зображень 2. Текстовий редактор Microsoft Word 3. 3D редактор Autodesk Maya 4. Програма для текстурування «Substance Painter». 5. Ресурси 3D контенту.

4. Перелік питань, які потрібно розробити

1. Вступ. 2. Аналіз предметної області. 3. Проектування. 4. Розробка методики. 5. Апробація методики. 6. Моделювання, текстурування. 7. Створення анімації. 8. Техніко-економічні розрахунки. 9. Охорона праці. 10. Загальні висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Слайд 1. Мета, предмет, об'єкт. Слайд 2. Задачі. Слайд 3. Пайплайн
Слайд 4. Технічне завдання Слайд 5. Референси моделей. Слайд 7. Моделювання.
Слайд 8. Методика створення налаштування. Слайд 9. Створення налаштування.
Слайд 10. Техніко-економічні показники. Слайд 10. Висновки.

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Економіка</i>	<i>д.е.н., проф. Басюркіна Н.Й.</i>		
<i>Охорона праці</i>	<i>ст. викл. Жуковецька С.Л.</i>		
<i>Нормоконтроль</i>	<i>ст. викл. Жуковецька С.Л.</i>		

7. Дата видачі завдання 30.11.2022

Керівники

Сергій ШЕСТОПАЛОВ

Світлана ЖУКОВЕЦЬКА

Завдання прийняв до виконання

Олексій РЕВУЦЬКИЙ

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Дослідження предметної області</i>	<i>26.12.2022</i>	
2.	<i>Дослідження існуючих аналогів</i>	<i>30.01.2023</i>	
3.	<i>Дослідження методів скелетної анімації</i>	<i>28.02.2023</i>	
4.	<i>Проектування</i>	<i>15.08.2023</i>	
5.	<i>Налаштування та анімація</i>	<i>27.10.2023</i>	
6.	<i>Розробка демонстраційного відеоролику</i>	<i>27.10.2023</i>	
7.	<i>Підготовка техніко-економічної частини</i>	<i>15.11.2023</i>	
8.	<i>Підготовка розділу охорони праці</i>	<i>15.11.2023</i>	
9.	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	<i>27.11.2023</i>	
10.	<i>Оформлення графічної частини</i>	<i>27.11.2023</i>	

Здобувач-дипломник

Олексій РЕВУЦЬКИЙ

Керівники роботи

Сергій ШЕСТОПАЛОВ

Світлана ЖУКОВЕЦЬКА

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач-дипломник

Олексій РЕВУЦЬКИЙ

АНОТАЦІЯ

Робота присвячена дослідженню методів та алгоритмів анімації транспортного засобу для формування методики автоматизації деяких етапів анімаційного пайплайну.

Проаналізовано предметну область, розглянуто існуючі сучасні аналоги. Були сформовані базові положення методики, обговорені вихідні дані та умови застосування. Розроблена методика призначення опорних точок, прив'язки вершин, методів застосування обмежувачів. Визначена методика анімації з використання зроблених налаштувань.

Проведена апробація сформованої методики на прикладі вантажівки-самоскиду. На підставі сформованої методики створено демонстраційне відео.

Ключові слова: Анімація, рігінг, скінінг, *Autodesk Maya*.

ABSTRACT

The work is devoted to the study of methods and algorithms for vehicle animation to create a methodology for automating some stages of the animation pipeline.

The subject area is analyzed, existing modern analogues are considered. The basic provisions of the methodology were formed, the initial data and conditions of application were specified. A methodology has been developed for assigning control points, snapping vertices, and methods for applying limiters. An animation technique has been defined to use the settings made.

The developed methodology was tested using the example of a dump truck. Based on the developed methodology, a demonstration video was created.

Keywords: *Animation, rigging, skinning, Autodesk Maya.*

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	13
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ, ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ АНАЛОГІВ	15
1.1 Призначення та конструкція основних елементів	15
1.1.1 Підвіска	15
1.1.2 Демпфувальні елементи	17
1.1.3 Рульовий механізм	19
1.1.4 Колісний рушій	20
1.2 Варіанти автоматизації етапів анімаційного пайплайну.....	22
1.3 Дослідження існуючих аналогів.....	25
1.4 Розробка технічного завдання	30
Висновок до першого розділу.....	31
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	33
2.1 Технології анімація, заснованої на ключових кадрах	33
2.2 Реактивна анімація	34
2.3 Технологія скелетної анімації.....	35
2.3.1 Базові поняття.....	35
2.3.2 Формування матриці перетворення	37
2.3.3 Перетворенням локального простору з'єднання у світовий простір..	39
2.3.4 Алгоритми деформації полігональної поверхні	40
2.4 Процедурна анімація.....	44
2.4.1 Система на основі компонентів	44
2.4.2 Використання скриптів.....	45
2.4.3 Використання виразів	47

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРМ.КІ.1.884-03.1.11			
Розробив		Олексій РЕВУЦЬКИЙ			Формування методики анімації руху транспортного засобу із залежною підвіскою	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевіриє		Світлана ЖУКОВЕЦЬКА					6	128
Рецензент		Денис СІГУР				ар. 566а, ОНТУ		
Нормоконтроль		Світлана ЖУКОВЕЦЬКА						
Затвердив		Сергій АРТЕМЕНКО						

Висновок до другого розділу	48
РОЗДІЛ 3 ФОРМУВАННЯ МЕТОДИКИ.....	49
2.1 Базові положення	49
2.2 Методика призначення опорних точок.....	51
2.2.1 Методика налаштування базових рухомих областей.....	51
2.2.2 Методика налаштування амортизаційного блоку	53
2.2.3 Методика налаштування інших рухомих областей.....	55
2.3 Методика прив'язки вершини	56
2.3.1 Визначення варіанту прив'язки.....	56
2.3.1 Використання методу жорсткого зв'язування	58
2.3.2 Використання лінійного змішаного зв'язування	59
2.4 Визначення методів зв'язування атрибутів.....	60
2.4.1 Управляючі криві	60
2.4.2 Обмеження.....	62
2.4.3 Прямий зв'язок атрибутів.....	63
2.5 Визначення методики анімації	65
Висновок до третього розділу.....	66
РОЗДІЛ 4 АПРОБАЦІЯ МЕТОДИКИ	67
4.1 Розробка пайплайну	67
4.2 Сюжет і основні концепти.....	71
4.3 Створення моделей	72
4.4 Створення опорних точок	73
4.5 Прив'язка вершин	75
4.6 Зв'язування атрибутів.....	77
4.6.1 Ієрархічні зв'язки та обмежувачі.....	77
4.6.2 Зв'язування атрибутів у <i>Node Editor</i>	79
4.7 Анімація	81
4.7.1 Створення анімаційних виразів та скриптів.....	81
4.7.3 Використання динамічної анімації.....	83
4.7.4 Використання методу ключової анімації.	84

4.8 Підготовка відеоматеріалу	85
4.8.1 Налаштування освітлення	85
4.8.2 Візуалізація та монтаж.....	86
4.8.3 Постобробка.....	87
Висновок до четвертого розділу.....	87
РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	87
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	108
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	115
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	116

					<i>КРМ.КІ.1.805-03.1.11</i>	<i>Арк.</i>
						12
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		

ВСТУП

Індустрія розробки тривимірних моделей високої складності набувала свого поширення одночасно із розвитком комп'ютерних ігор, ігрових тренажерів, навчальних анімаційних фільмів. В даний час у сфері комп'ютерної графіки продовжуються активні дослідження в галузі розробки методів реалістичної деформації тривимірних моделей високої складності.

Увага приділяється розвитку і удосконаленню методів реалістичної деформації тривимірних рухомих моделей. Технологія анімації тривимірних моделей передбачає виконання низки спеціалізованих послідових дій. З кожним роком технічні етапи пайплайну все сильніше автоматизуються. Можна припустити, що скоро програми будуть виконувати більше функцій, а розробники будуть контролювати і шліфувати результат. Існують розроблені методики та програмні реалізації вирішення цієї задачі. В роботі розглядається методика налаштування транспортного засобу для автоматизації процесу анімації.

Створення динамічного транспортного засобу у тривимірному віртуальному просторі – складна технічна задача, яка має різні аспекти розгляду, зокрема:

- утримання колесо в зборі, щоб усі стойки слідували правильно;
- стискання і подовжування пружини підвіски з максимальним і мінімальним діапазоном;
- автоматичне обертання коліс під час руху автомобіля;
- робота динамічної підвіски, яка реагує на перепади висоти рельєфу;
- налаштування кермового механізму.

Загальний підхід полягає у створенні гнучкого оснащення транспортних засобів та використання обмежень, ціль яких забезпечити щоб усе, від підвіски до коліс та кермового керування, рухалося правильно та давало контроль під час анімації.

					<i>КРМ.КІ.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Метою роботи є формування методики анімації руху транспортного засобу із залежною підвіскою.

Об'єктом дослідження є процес формування методики анімації руху транспортного засобу із залежною підвіскою.

Предметом дослідження є методи формування методики анімації руху транспортного засобу із залежною підвіскою.

Основними задачами, які необхідно вирішити в ході роботи є:

1. Аналіз предметної області.
2. Дослідження існуючих аналогів.
3. Розробка технічного завдання.
4. Аналіз методів та алгоритмів оснащення тривимірних моделей.
5. Розробка методики оснащення тривимірних моделі транспортного засобу.
6. Проведення апробації розробленої методики.

Методи дослідження. Для розробки методу оснащення тривимірних моделі транспортного засобу методи аналізу існуючих аналогів та застосованих технологій.

Наукова новизна одержаних результатів. Розроблений власний варіант методики оснащення тривимірних моделей транспортного засобу .

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості застосування розробленої методики для автоматизації процесу анімації транспортного засобу.

Апробація результатів роботи і публікація. Ревуцький О.В. Формування пайплайну створення тривимірної моделі транспортного засобу. / С.Л. Жуковецька, О.В. Ревуцький // Матеріали III Всеукраїнської науково–технічної конференції молодих вчених, аспірантів і студентів «Комп'ютерні ігри та мультимедіа як інноваційний підхід до комунікації – 2023», Одеса, 28-29 жовтня 2023 р. – Одеса, Видавництво ОНТУ, 2023 р. – С. 218-219.

					<i>КРМ.КІ.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ, ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ АНАЛОГІВ

1.1 Призначення та конструкція основних елементів

Аналіз предметної області передбачає огляд принципів роботи рухомих вузлів транспортного засобу.

1.1.1 Підвіска

Любий транспортний засіб передбачає кузова і коліс, які приєднати до кузова. Приєднання відбувається за допомогою проміжної ланки. У ролі такої ланки використовують підвіску.

У зв'язку з високими вимогами, які ставляться до підвіски, кожен із її елементів має проектуватися за певними критеріями, а саме: шарніри, що застосовуються, мають легко повертатися, але водночас бути досить жорсткими і разом із тим забезпечувати шумоізоляцію кузова; важелі мають передавати сили, що виникають при роботі підвіски в усіх напрямках, а також сприймати зусилля, які виникають при гальмуванні та наборі швидкості; при цьому вони не мають бути занадто важкими або дорогими у виготовленні.

Будь-яка підвіска має містити такі елементи [15]:

- направляючі/сполучні (важелі, штанги);
- демпфувальні (амортизатори);
- пружні (пружини, пневматичні подушки, ресори і таке інше).

Підвіски розрізняють за такими ознаками:

- конструкція: залежна, незалежна;

					КРМ.КІ.1.805-03.1.11	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- кількість і розташування важелів: одноважільні, двоважільні та багатоважільні, з поперечним, поздовжнім і косим розташуванням важелів.
- тип демпфувального елемента: з телескопічним або важільним амортизатором;
- тип пружного елемента: ресорна, пружинна, торсіонна, пневматична, гідропневматична.

Підвіски також розрізняють за керованістю, тобто за ступенем контрольованості стану підвіски: активні, напівактивні та пасивні.

Підвіска може бути залежною і незалежною. При використанні залежної підвіски, колеса однієї осі автомобіля пов'язані, тобто при переміщенні правого колеса почне змінювати своє положення і ліве колесо, як це наочно показано на рисунку 1.1. Якщо ж підвіска незалежна, то кожне колесо приєднано до автомобіля окремо (рис. 1.1).

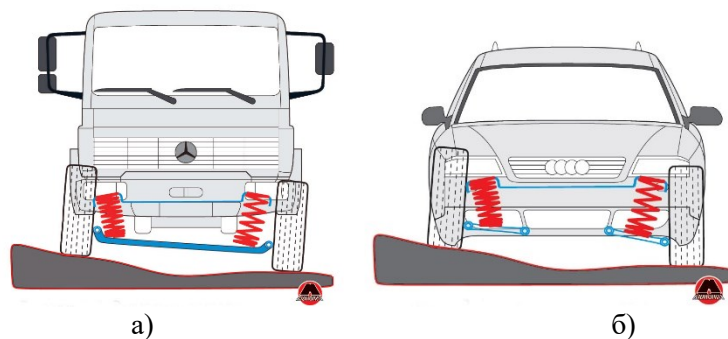


Рис. 1.1 – Різновиди підвіски
а) Залежна підвіска б) Незалежна підвіска

Елементи підвіски повинні мати якомога меншу вагу і забезпечувати максимальну ізоляцію від дорожніх шумів. Крім цього, слід зазначити, що підвіска передає на кузов сили, які виникають при контакті колеса з дорогою, тому її проєктують таким чином, що вона має підвищену міцність і довговічність (рис. 1.2).

					<i>КРМ.КІ.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

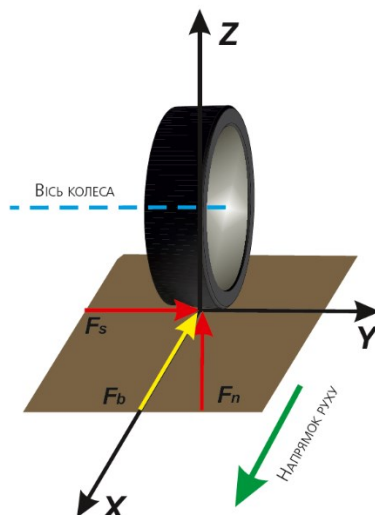


Рис. 1.2 – Сили, що діють на колесо при його русі дорогою

1.1.2 Демпфувальні елементи

Демпфувальні елементи – це елементи підвіски, покликані гасити її коливання під час руху автомобіля. пружний елемент підвіски, він має зводити нанівець всі ударні навантаження, що виникають при наїзді колеса на перешкоди на дорозі. Але хоч пружина, хоч повітря в пневмоподушці відразу повернуться в початкове положення, після стиснення або розтискання пружного елемента.

При наїзді автомобіля на яку-небудь перешкоду пружина в підвісці стиснеться, але потім під дією пружних сил почне розтискатися. Оскільки автомобіль має певну масу, то пружина, розпрямляючись, змушена буде долати інерцію автомобіля, що буде виражатися погойдуванням із поступовим загасанням коливань.

Зважаючи на постійні різноспрямовані переміщення підвіски, таке розгойдування неприпустиме, оскільки в певний момент може настати резонанс, що зрештою просто зруйнує підвіску частково або повністю. Щоб не допустити таких коливань, в конструкцію підвіски залучили ще один елемент – амортизатор.

Демпфери розрізняються на двотрубні й однотрубні та гідравлічні й газонаповнені.

					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Двотрубні гідравлічні амортизатори є найпростішим видом амортизатора. Основа такого амортизатору – дві труби, зовнішня і внутрішня (рис. 1.3). Зовнішня труба ще виконує роль корпусу всього амортизатора і резервуара для робочої рідини. Внутрішня труба амортизатора називається циліндром. У середині циліндра встановлено поршень, виконаний як одне ціле зі штоком. У поршні є отвори, в які встановлено однобічні клапани, частина з яких спрямована в один бік, інша – у зворотній. Одні клапани називаються компенсаційними, інші – клапанами відбою.

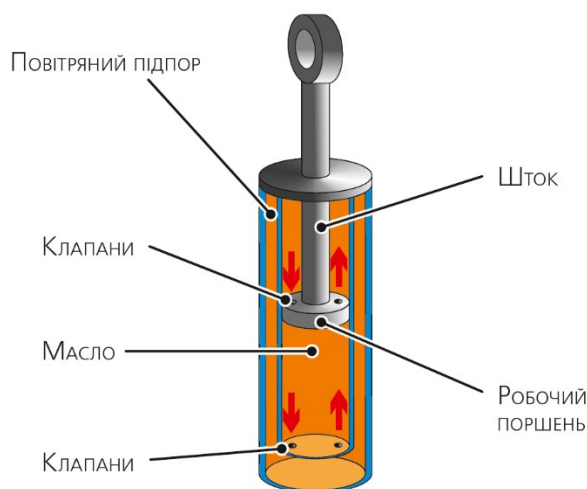


Рис. 1.3 – Двотрубний телескопічний амортизатор

Порожнина між циліндром і корпусом називається компенсаційною (вона не повністю заповнена рідиною). Ця порожнина, а також циліндр амортизатора заповнені робочою рідиною. Циліндр з одного боку має отвір для штока поршня, а з іншого боку заглушений пластиною з отворами й однобічними клапанами в них – компенсаційними і клапанами стиснення.

При переміщенні поршня в циліндрі мастило перетікає з порожнини під поршнем в порожнину над поршнем, при цьому частина мастила витискається через клапан, що знаходиться знизу циліндра. Частина рідини через клапани стиснення перетікає в зовнішній компенсаційний резервуар, де стискає повітря, яке спершу знаходилося під атмосферним тиском у верхній частині корпусу амортизатора. Оскільки ця рідина має певну в'язкість і текучість, то швидше, ніж визначено, процес перетікання проходити не буде.

					<i>КРМ.КІ.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Те саме, тільки в зворотному напрямку, відбувається на ході відбою, коли поршень переміщується вгору. При цьому задіюються компенсаційні клапани пластини циліндра і клапани відбою в поршні.

1.1.3 Рульовий механізм

Рульове управління – це одна з найважливіших систем автомобіля, призначена для завдання потрібного напрямку. Рульове управління має декілька способів реалізації. Далі розглядається рейковий рульовий механізм.

Рейковий рульовий механізм (рис. 1.4) складається із шестерні і зубчастої рейки. Шестерня сполучена з валом рульової колонки, а рейка через тяги — з поворотними кулаками коліс.

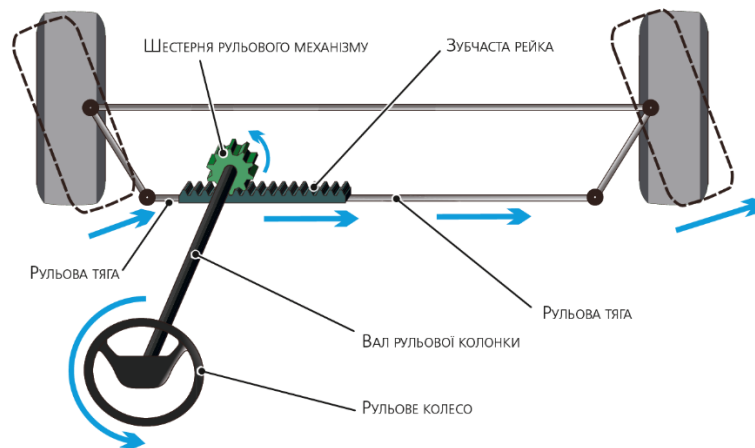


Рис. 1.4 – Рейковий рульовий механізм

Рульовий привод — це набір тяг і шарнірів, що зв'язують і передають рух від рульового механізму до поворотних кулаків керованих коліс.

В класичній схемі є три тяги – одна центральна і дві бічні, вони з'єднуються через шарніри. Тяги рульового привода в цьому випадку називають рульовою трапецією. Конструкція рульової трапеції в геометричному плані така, що забезпечує поворот керованих коліс на різні кути.

За умови встановлення рейкового рульового механізму все трохи простіше. До рульової рейки кріпляться кермові тяги з обох боків, які передають

рух на поворотні кулаки коліс. Переваги очевидні, адже що менше різних проміжних ланок, то надійніший і точніший увесь механізм.

1.1.4 Колісний рушій

Колесо і шина утворюють разом колісний рушій, який призначено для здійснення зв'язку автомобіля з дорогою, забезпечення руху автомобіля, зміни напрямку руху і передачі вертикальних навантажень від автомобіля до дороги і навпаки.

Колесо зазвичай прилаштовують на маточину, яка в свою чергу встановлена в поворотний кулак і вільно обертається на роликівих підшипниках.

Виготовляють колесо з листового металу способом штампування і наступного зварювання елементів. Колеса можуть бути відлиті з легкосплавних матеріалів (наприклад, алюмінієвого і магнієвого сплаву), а можуть бути і кованими, які поєднують у собі легкосплавний матеріал і штампування. Також колеса бувають дискові й бездискові («унікальне» рішення такого колеса використано у «Таврії»).

Шини діляться на два типи: камерні й безкамерні. У шинах першого типу є спеціальна камера, в яку закачується повітря. У безкамерній шині такої камери немає, і покриття встановлюється на обід, ущільнюється та накачується повітрям.

Гума, що використовується для виробництва шин (в побуті – «покришок»), складається з каучуку (натурального або синтетичного), до якого додаються сірка, сажа, смола, крейда, перероблена стара гума та інші домішки і наповнювачі. Шина складається з протектора, подушкового шару (з бреккером), каркаса, боковин і посадкових бортів із сердечниками (силове кільце), як показано на відповідному рисунку 1.5.

					<i>КРМ.КІ.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

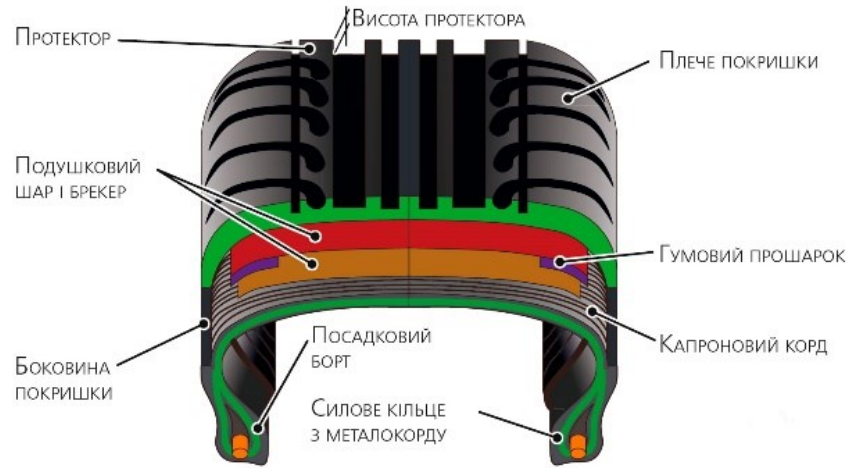


Рис. 1.5 – Структура шини

В ідеальних умовах малюнок протектора не має бути в принципі (сліки формульних болідів), щоб площа контакту шини з поверхнею дороги була максимальною. Однак ідеальні умови – це коли дорога покрита асфальтобетоном, причому сухим.

Для того щоб при наїзді на поверхню, вкриту шаром води було куди відводити рідину (можна сказати, в примусовому порядку), шина рясніє «ялинкою» протектора. Якщо ж шина призначена для руху в зимовий період, значить і форма протектора буде відповідною – збільшена кількість ламелей і брудовідводів.

Неспрямований рисунок (рис. 1.6) – рисунок, симетричний відносно вертикальної осі колеса, що проходить через його вісь обертання. Це найбільш універсальний рисунок, саме тому основна частина шин випускається з ним.



Рис. 1.6 – Приклад шини з неспрямованим малюнком

					<i>КРМ.КІ.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

1.2 Варіанти автоматизації етапів анімаційного пайплайну

Сьогодні 3D-дизайн і анімація значною мірою виконуються вручну. Але з кожним роком технічні етапи пайплайну все сильніше автоматизуються.

1. Засоби автоматизації текстурування.

3D-робочі процеси, пов'язані з накладанням текстур, заповнені повторюваними, стомливими завданнями. Спростити роботу на етапі текстурування можна завдяки використанню спеціального програмного забезпечення, зокрема, *Adobe Substance Painter*, *Foundry Mari* та *Marmoset*.

Substance Painter – це зручний інструмент для швидкого текстурування об'єктів або символів, заснований на шарах. Дозволяє малювати на моделі або створювати повністю настроюванні ефекти, наприклад бруд або корозію.

Mari – це програмне забезпечення від *Foundry*, яке дозволяє створювати текстури, малюючи на моделі. Його можна використовувати для 3D-текстурування та роботи зі складними текстурами.

Marmoset Toolbag створений для редагування, перегляду і презентації 3D-моделей в режимі реального часу. Дозволяє організувати автоматизацію робочого процесу у художників з фізично точним розрахунком моделі. *Marmoset* дуже прискорив процес розробки хайполі і запікання карти нормалей.

Можна припустити, що скоро програми будуть виконувати більше функцій, а розробники будуть контролювати і шліфувати результат.

2. Використання допоміжних елементів.

Для управління моделлю можна використати локатори. Локатор – це допоміжний об'єкт, який можна використовувати в анімації для складних ефектів. Більш зручне рішення – використання управляючих кривих. Для різних частин моделі можна створити різні управляючі криві, що реагують на різні завдання. Управляю моделлю за допомогою локаторів або управляючих кривих ефективно для невеликих обсягів анімації. Недолік полягає у наявності ручних

					КРМ.КІ.1.805-03.1.11	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

маніпуляцій: доводиться рухати кожен локатор вручну, вираховувати координати тощо.

Інструмент «кліпи» має вищу ступінь автоматизації і підходить до застосування при більших обсягах анімації. Розраховувати потрібно лише один цикл анімації, потім створюється кліп і цикли для нього.

3. Використання виразів та сценаріїв.

Моделювання та анімація вимагають багато часу. Ці процеси можна автоматизувати за допомогою виразів, сценаріїв та модулів, що підключаються.

Вираз контролює атрибут об'єкта. Користувач може керувати анімацією, яка не може бути у ключовому кадрі (наприклад, частка).

В 3D-редакторі *Autodesk Maya*, наприклад, для автоматизації завдань, пов'язаних із цією проблемою, використовує скриптові мови, в першу чергу *Python* і *MEL (Maya Embedded Language)*.

Розробник сценаріїв *Maya* може оптимізувати роботу над проектами з анімації або моделювання, автоматизуючи завдання, що повторюються.

Скриптові мови дозволяють маніпулювати об'єктами, автоматизувати багато типових операцій, керувати об'єктами в сцені, створювати анімацію, налаштовувати інтерфейси користувача і вирішувати технічні проблеми. Вони також оптимізують та підвищують продуктивність *Maya* для різних проектів, таких як відеоігри, фільми та анімація.

3. Використання модулів, що підключаються.

На сьогодні розроблено багато додаткових інструментів, які встановлюються як модулі, що підключаються, та дозволяють оптимізувати різні напрями роботи аніматора.

Особливу увагу приділено автоматизації налаштування моделей. Створення налаштування – це завдання складне і кропотливе. За допомогою плагіна *Advanced Skeleton* можна значно прискорити цей процес. Плагін містить модуль налаштування тіла та модуль просунутого налаштування для обличчя.

					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Advanced Skeleton може створювати налаштування не тільки істоти, але і для транспортні засоби та будь-чого.

Набір утиліт *Qiq Tools* здатні значно прискорити та систематизувати кожен етап виробництва анімації: ригінг, анімація, організація сцен, освітлення, візуалізація та складання. До складу входять утиліта організації та візуалізації анімацій, утиліта для виробництва налаштувань з можливістю генерації складних ІК/ФК систем, утиліта управління персонажем, скрипт для орієнтації кісток та інші.

4. Автоматизація за допомогою нейронних мереж

Потенційно полегшити роботу розробника можуть нейронні мережі. Нейромережі можуть допомогти створити 3D моделі з текстових описів, зображень або відео. Така технологія може бути корисною під час створення моделей для 3D-друку або створення тривимірних моделей об'єктів для ігор, анімації, метавсесвітів і т.д. На ринку є кілька нейромереж, які перетворюють текст на 3D:

1. Перетворення тексту в 3D моделі: *Spline AI, Meshcapade, Mochi, Luma AI, NeROIC, DPT Depth Estimation, RODIN*.
2. Перетворення відео в 3D анімації: *Move.AI, Rokoko, DeepMotion*.
3. Створення ігор, 2D та 3D геймдев: *Hotpot.AI, AI Texture Generator, Sloyd.AI, Promethean AI*.

Відома нейрмережа *ChatGPT*, наприклад, допомагає працювати з 3D контентом у професійних програмах. Створена *Zoo Tools Pro* – інтеграція *ChatGPT* до *Maya*. Робот пише скрипти, які спрощують життя фахівцям. До того ж *ChatGPT* коментує та пояснює те, що написано.

Нейронні мережі можуть навіть додавати в сценарій елементи інтерфейсу користувача, такі як спливаючі вікна з кнопками, що робить його схожим на професійний сценарій.

					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Використання нейронних мереж в анімації може бути корисним, але для досягнення бажаного ефекту, як і раніше, потрібні конкретні та докладні інструкції.

1.3 Дослідження існуючих аналогів

Мета методика, що розробляється в роботі, полягає у автоматизації процесу анімації транспортного засобу. На сьогодні існують інструменти для полегшення налаштування та анімації тривимірних моделей. Ці інструменти розрізняються за наступними параметрами:

- підтримувані етапи пайплайну;
- підтримувані типи моделей;
- гнучкість налаштування;
- обсяг врахування фізики поведінки моделі;
- рівень автоматизації процесу анімації;
- наявність користувальницького інтерфейсу;
- взаємодія з іншим програмним забезпеченням;
- тип ліцензії.

Далі розглядаються деякі приклади реалізації.

1. *AntCGi Rigging Toolkit*. Розробник Ентоні Ворд (*AntCGI*). Це набір скриптів, які охоплюють основи монтажу персонажів за допомогою *Autodesk Maya* і є простий способом роботи з налаштуванням моделі.

Rigging Toolkit має в своєму складі *Car Rig* – колекцію файлів, призначену для налаштування транспортного засобу. *Car Rig* містить файли та вирази обертання колеса, файли тиску в шинах і скрипт стиснення, автоматичне обертання коліс (рис. 1.7).

					КРМ.КІ.1.805-03.1.11	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

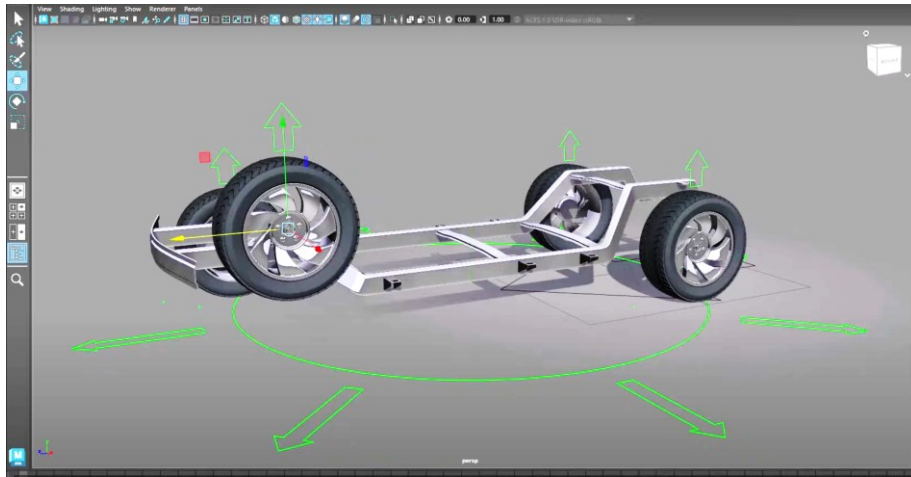


Рис. 1.7 – Приклад налаштування за допомогою *Rigging Toolkit*
 Власного інтерфейсу *Rigging Toolkit* не має, використовує інтерфейс *Maya*.
 Реалізована унікальна система тиску в шинах на основі опорних точок скелетної технології. Розповсюджується за кошти.

2. *Vehicle Rigger*. Плагін для *3ds Max*. Це простий скрипт, що дозволяє легко налаштувати автомобіль на колесах для створення анімації транспортного засобу за невеликі хвилини.

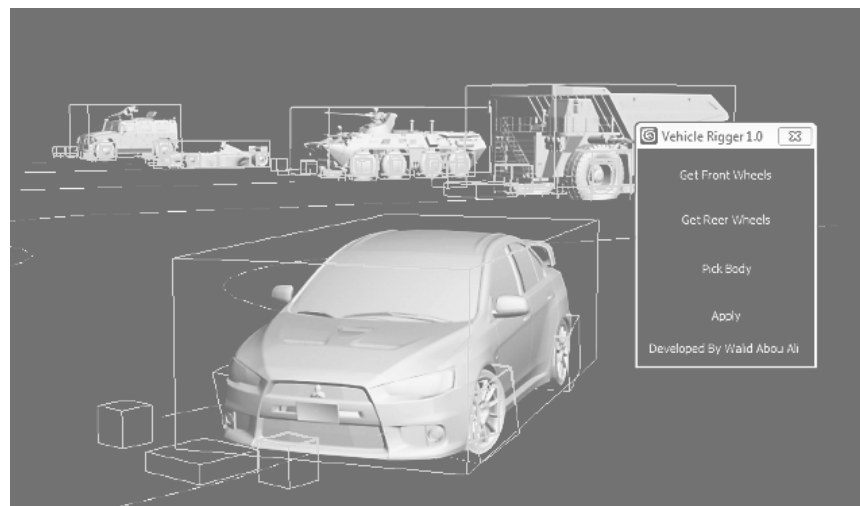


Рис. 1.8 – Приклад налаштування за допомогою *Vehicle Rigger*

Має власний нескладний інтерфейс. Має обмежену функціональність, використовується для нескладних налаштувань. В наступному передбачається розширення функцій. Наприклад, функцію *Body Roll* для управління нахилу

під час повороту або прискорення та уповільнення, реалізовану у вигляді повзунка.

Доступний для вільного використання.

3. *Rbc (A Physics-Based Vehicle Rigging) Addon*. Простий у використанні додаток для *Blender*, який дозволяє швидко створювати реалістичні транспортні установки на основі фізики.

Особливості:

- власний інтуїтивно зрозумілий;
- розширені параметри налаштування для точного контролю над поведінкою автомобіля;
- має засоби керування гідропідсилювачем керма, що дозволяє налаштувати поведінку рульового управління транспортним засобом;
- має настроюваний компонент спідометр для стеження за швидкістю автомобіля;
- реалізована функція напрямних шляхів, яка дозволяє транспортним засобам слідувати кривій, щоб досягти плавних і реалістичних рухів під час навігації;
- реалізована панель зіткнень, яка дозволяє встановлювати об'єкти, з якими автомобіль може взаємодіяти;
- підтримує широкий спектр типів і конфігурацій транспортних засобів;
- має параметри керування драйверами, клавіатурою, геймпадом, напрямними об'єктами та напрямним шляхом;
- має вбудований браузер ресурсів з колекцією з дев'яти низько-полігональних транспортних засобів, готових до використання.

					КРМ.КІ.1.805-03.1.11	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

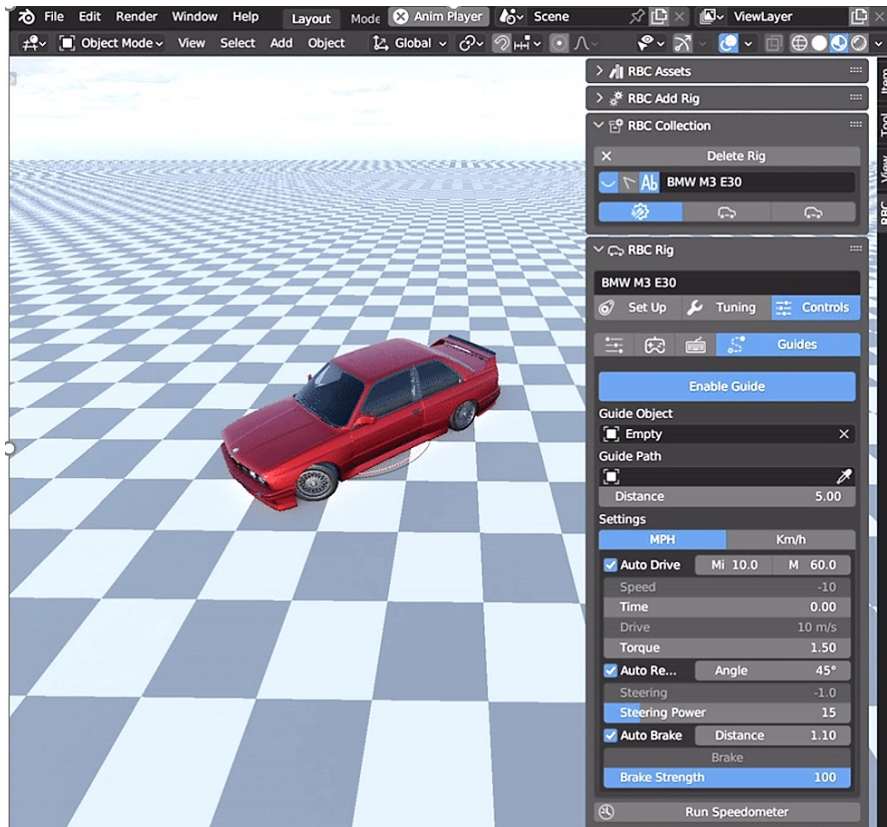


Рис. 1.9 – Приклад налаштування за допомогою *Rbc Addon*

Має два типи ліцензії: вільну з обмеженим функціоналом та платну повнофункціональну.

4. *Vehicle Physics Pro* (скорочено *VPP*) – це безкоштовний вдосконалений набір для моделювання транспортних засобів для *Unity*, який забезпечує ефективно, повністю реалістичне та точне моделювання транспортних засобів майже для всіх типів і конфігурацій транспортних засобів. опис

Vehicle Physics Pro реалізує модель симуляції динаміки транспортного засобу класу *AAA*, яку можна порівняти з основними франшизами моделювання транспортних засобів.



Рис. 1.10 – Приклад налаштування за допомогою *Vehicle Physics Pro*

Для використання рекомендується добре знати механіку транспортних засобів, тюнінг автомобілів і техніку реального налаштування. Налаштувати транспортні засоби у *VPP* легко, але налаштувати їх із реалістичними специфікаціями майже так само важко, як і в реальних транспортних засобах.

Кожен аспект транспортного засобу можна налаштувати, що призведе до всіх очікуваних і несподіваних ефектів.

Має безкоштовне видання, яке можна отримати із *Unity Asset Store*.

5. *Ultimate Adjustable Car Rig* – це готовий до виробництва автомобільний інструмент професійного рівня для *Autodesk Maya*.

Особливості:

- можливість застосовувати до автомобілів будь-яких конструкцій, навіть з різною кількістю колес (від 4 до 10) та можливістю зміни розмірів;
- налаштування динамічної підвіски;
- підтримується деформація шин та взаємодія тиску в шинах і повністю робочою моделлю шасі;
- налаштування геометрії рульового керування;
- вбудовану систему траєкторії;
- має нескладний інтерфейс.

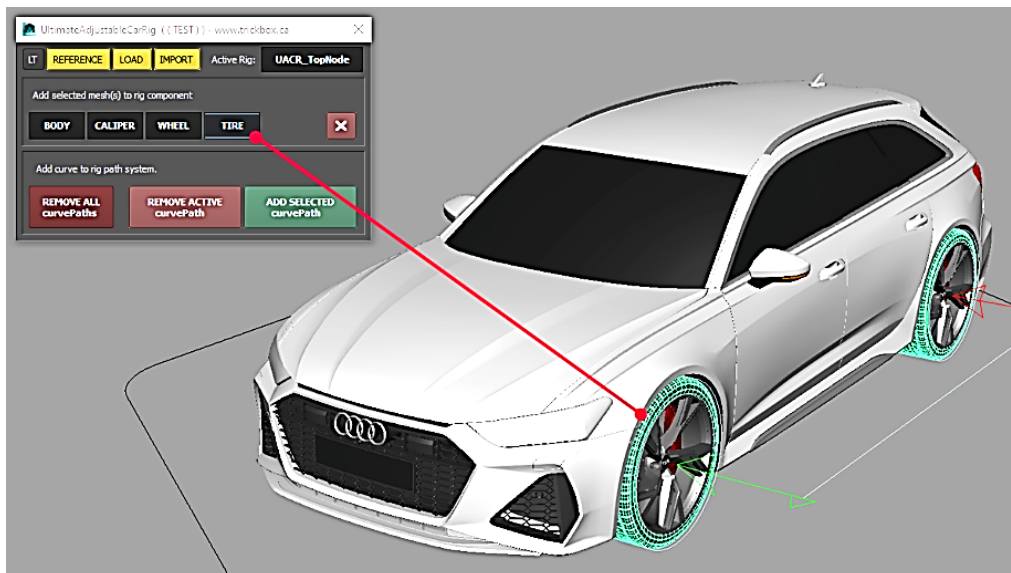


Рис. 1.11 – Приклад налаштування за допомогою *Ultimate Adjustable Car Rig*

Контрольна установка в Maya використовується для створення скелетної анімації, яку можна легко експортувати як fbx або alembic кеш для використання в іншому програмному забезпеченні (наприклад, Unreal або Unity).

Продукт платний, регулярно обслуговується, а остаточне оновлення, як правило, випускається кожні кілька місяців разом із відео з детальним описом змін.

1.4 Розробка технічного завдання

На основі проведеного аналізу предметної області, публікацій та досліджень існуючих аналогів розроблено технічне завдання.

Метою кваліфікаційної роботи є формування методики анімації руху транспортного засобу із залежною підвіскою та апробація методики. Вихідними даними для моделювання є дані дослідження предметної області:

- інформація про функціонування залежної підвіски транспортного засобу;
- інформація про конструкцію транспортного засобу;
- загальні принципи анімації та візуалізації;
- принципи скелетної анімації;

						<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк. 30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат			

- принципи скриптіngu та створення виразів для анімації.

На підставі вхідних даних потрібно розробити методику анімації та сформувавши демонстраційний відеоролик з урахуванням наступних умов:

1. Вимоги до методики. Методика повинна використовувати базові технології анімації та технології програмного засобу *Autodesk Maya*. Методика повинна охоплювати анімацію основних рухомих вузлів транспортного засобу, а саме: колеса, рульовий блок, амортизаційний блок, підйомний механізм кузову, механізм руху склоочисників.

2. Загальні вимоги. Для створення демонстраційного ролика використати модель вантажівки. Модель повинна мати невисоку кількість полігонів та не повинна бути надмірно деталізованою. Створити сценарій, який відтворює ситуації для демонстрації роботи основних рухомих вузлів транспортного засобу. Сцена не повинна бути перевантажена дрібними деталями. Текстури не повинні мати налаштування, що занадто сповільнює візуалізацію.

3. Вимоги до анімації. Модель має бути оснащена керуючими елементами для зручності застосування в анімації. Анімація повинна мати мінімальну кількість ключів. Перевага надається використанню виразів та обмежувачів.

4. Вимоги до результату. Результатом роботи є розроблена методика, на підставі якої створено анімаційний ролик в форматі *mp4*, тривалістю до 5 хвилин. До ролика повинна бути застосована постобробка, доданий звукоряд, титульний і заключний кадри.

5. Вимоги до порядку робіт. Роботи ведуться за заздалегідь продуманим пайплайном на основі аналізу алгоритмів, методів і засобів реалізації. Проміжні результати зберігати на додатковий носій.

Висновок до першого розділу

1. В розділі проведений аналіз предметної області, який передбачає огляд принципів роботи рухомих вузлів транспортного засобу.

					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

2. Розглянуто поняття налаштування та автоматизації налаштування тривимірних моделей.
3. Проведений аналіз існуючих варіантів автоматизації налаштування тривимірних моделей.
4. На основі проведених досліджень та аналізу здійснено постановку завдання.

					<i>КРМ.КІ.1.805-03.1.11</i>	<i>Арк.</i>
						32
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>		

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Технології анімація, заснованої на ключових кадрах

Криві та ключові кадри – це два способи визначення анімації об’єкта або властивості. Ключовий кадр – це момент часу, у якому встановлене конкретне значення для об’єкта або властивості, наприклад його положення, обертання або масштаб. Крива – це графічне зображення того, як значення змінюється між двома ключовими кадрами. Форму кривої можна редагувати, щоб змінити швидкість, прискорення та уповільнення анімації.

Реалізація відбувається наступним чином. Для кожної вершини полігональної сітки для деякого набору моментів часу (ключових кадрів, *key frames*) t_0, t_1, \dots, t_n зберігаються координати $v_{x,y,z} = v_i(t_j), j = 1, \dots, n$.

Тоді, для отримання координат вершини в певний момент часу t , шукається пара сусідніх ключових кадрів $t_i \leq t \leq t_{i+1}$. Після чого шляхом лінійної інтерполяції між координатами точки цих кадрів знаходяться необхідні координати вершини в момент часу t .

Інтерполяція ключового кадру – це процес обчислення значень між двома ключовими кадрами на основі типу та форми кривої. Різні типи інтерполяції можуть по-різному впливати на анімацію. Наприклад, лінійна інтерполяція створює постійний і рівномірний рух, тоді як інтерполяція Безьє створює плавний і природний рух. Тип інтерполяції ключового кадру можна міняти, вибравши його та вибравши інший параметр у меню або на панелі властивостей.

Лінійна інтерполяція є найпростішим типом інтерполяції: значення параметрів обчислюються пропорційно різниці між ключовими часами, тобто за допомогою прямих ліній. Лінійну інтерполяцію можна легко обчислити, використовуючи, по суті, рівняння точки-нахилу прямої лінії.

										Арк.
										33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат						

За наявності двох ключових кадрів у (t_n, v_n) і (t_{n+1}, v_{n+1}) час t в інтервалі $[t_n, t_{n+1}]$ відповідне значення $v \in$

$$v = v_n + (t - t_n) * (v_{n+1} - v_n) / (t_{n+1} - t_n) \quad (2.1)$$

Лінійна інтерполяція має проблеми під час використання для анімації, оскільки рух, описаний сегментами лінійної інтерполяції, є «ривковим» і нереалістичним. Стрибки виникають через те, що швидкість зміни параметра, який інтерполюється, є непостійною.

Кращі результати можна отримати за допомогою інтерполяції вищого порядку з використанням квадратних або кубічних рівнянь, також відомих як сплайни.

Хоча такий спосіб вкрай простий і дешевий у плані обчислень, він має й низку недоліків. Найбільш серйозними є необхідність зберігання дуже великого набору даних (координати кожної вершини для кожного ключового кадру) і велика складність симуляції фізичних явищ.

2.2 Реактивна анімація

Реактивна, чи непряма анімація – у разі рух об'єкта визначається не часом, а рухами іншого об'єкта. Реактивна анімація пов'язана із створенням зв'язків між вузлами різних об'єктів. Це дозволяє отримати анімацію одного об'єкта з урахуванням анімації іншого. Використовується кілька підходів до вирішення подібного завдання:

1. Формуванням ієрархічних ланцюжків. Зберігання об'єктів з допомогою ієрархічних ланцюжків як спрощує структуру сцени, а й дозволяє організувати рух об'єктів щодо друг друга.

2. З допомогою обмежень (*constraints*). Обмеження створюють прямий зв'язок між різними атрибутами об'єкта-джерела та об'єкта-мішені.

3. Встановлення керованих ключів (*Driven Key*).

Використання обмежувачів дозволяє об'єктам переміщатися узгоджено. Основні варіанти обмежень:

					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

1. Ієрархічний зв'язок пов'язує атрибути перетворень переміщення та повороту двох об'єктів, імітуючи формування ієрархічного ланцюжка.
2. Зв'язок опорну точку об'єкта, що обмежується, з опорною точкою мішені.
3. З'єднання атрибутів перетворення повороту мішені та об'єкта, що обмежується.
4. З'єднання атрибутів перетворення масштабування об'єкта, що обмежується, і мішені.
5. Регуляція орієнтації об'єкта, що обмежується таким чином, що він завжди виявляється націленим на мету.
6. Зв'язок об'єкта, що обмежується, із поверхнею мішені. В результаті на поверхні об'єкта-мішені виявляється опорна точка об'єкта, що обмежується.
7. Зв'язок нормалі об'єкта, що обмежується, з нормаллю мішені. Тобто, об'єкт весь час залишатиметься перпендикулярним до мішені.

Установка керованих ключів – це метод керування анімацією одного об'єкта або атрибута з використанням іншого атрибута. атрибутів. Після встановлення керованих ключів зміна атрибуту ведучого атрибута призводить до зміни керованого атрибута. Керовані ключі не анімують керований об'єкт, лише пов'язують керований атрибут з провідним. Це робить налаштування деяких типів анімації ефективнішим.

2.3 Технологія скелетної анімації

2.3.1 Базові поняття

Методи скелетної анімації є різновидом реактивної анімації та універсальним методом, що широко застосовується на практиці. Методи скелетної анімації засновані на використанні скелета. Первинний варіант алгоритму скелетної анімації було запропоновано Е. Катмулом у 1972 [11].

					<i>КРМ.КІ.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Скелет – це ієрархія кісток або суглобів, які направлені від батьків до дитини (рис. 2.1).

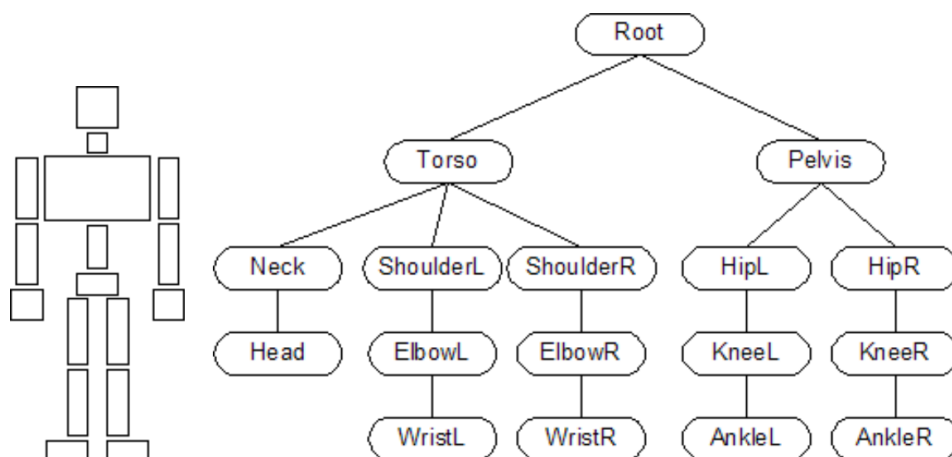


Рис. 2.1 – Ієрархія кісток

Шкіра – це набір полігональних сіток, що визначає поверхні тіла.

Полігональна сітка (меш) – це набір з'єднаних багатокутників.

Рігінг (англ. *rig* – оснастка, пристосування, упряжка) – створення скелета та керуючих для подальшої анімації 3D-персонажа.

Термін «кістка та суглоб» можна розглядати як гетерогенну структуру даних або фактичну частину зчленованої структури. Різниця в основному в тому, як будуть зберігатися дані, необхідні для анімації. Подання за допомогою суглобів заощаджує більше пам'яті, оскільки не має надмірності. Тоді кістка — це лише поєднання двох суглобів.

Скінінг (від англійського слова *skin* – шкіра, *skinning* – процес створення шкіри) – це один з етапів сетапа 3D-персонажа, коли готовий скелет прив'язується до самої 3D-моделі персонажа.

Кожній вершині моделі ставиться у відповідність певна кістка скелета. Цей процес називається прив'язкою (*binding*). Співвідношення між кістками скелета та сіткою є фіксованим (рис. 2.2).

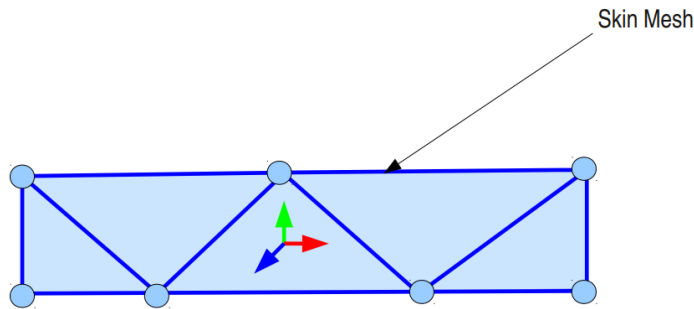


Рис. 2.2 – Прив'язка сітки

Вершини шкіри пов'язані з підгрупою суглобів. Кожен суглоб (кістка) має свій власний локальний каркас. Сітка оболонки визначається у власному локальному фреймі. Між суглобом і шкірою визначені просторові перетворення стану спокою або пов'язаної пози. Прив'язка вершини може виконуватися автоматично до найближчої кістки або здійснюватися шляхом завдання зв'язків вручну. Другий метод більш гнучкий, але потребує більше часу.

Якщо рухати суглобами, шкіра рухатиметься разом з ними. Це деформує сітку з її вихідного положення. Таким чином, при трансформації положення окремої кістки змінюється положення пов'язаних із нею вершин.

Завдяки цьому робота аніматора значно спрощується: відпадає необхідність анімувати кожну вершину окремо, тому що вершина успадковує трансформацію кістки, з якою вона пов'язана.

2.3.2 Формування матриці перетворення

Щоб перемістити структуру, нам потрібно буде визначити такі терміни: кісткова матриця, світова матриця та матриця прив'язки-пози. Визначення наведено нижче.

1. Кісткова матриця. Ця матриця відповідає за збереження перетворень обертання. Власне, вона визначає обертання суглоба. Її також можна уявити за допомогою кутів Ейлера або кватерніонів.

2. Світова матриця. Ця матриця, яка перетворює шкіру із спільного простору у світовий простір. Світова матриця використовується для переведення перетвореної вершини у світовий простір.

3. Матриця пози прив'язки. Ця матриця є початковим положенням кістки у світовій системі координат. На самому початку воно дорівнює світовій матриці. Але ця матриця ніколи не зміниться і, отже, залишиться постійною під час виконання.

З кожним вузлом структури пов'язані своя локальна система координат та тривимірне перетворення. Тривимірне перетворення може бути описане матрицею 4x4, різні компоненти якої відповідають операціям обертання, переміщення та масштабування відповідно. Кожна кістка займає своє місце в ієрархії скелета і піддається впливу інших кісток: кожна дочірня кістка успадковує трансформації батьківської кістки. Розташування вузлів скелета, що відповідає базовій формі моделі, називається позою прив'язки (*binding pose*).

Для пози прив'язки матриця перетворення B_i i -ого суглоба скелета буде розраховуватися за наступною формулою:

$$B_i = \prod_{j=0}^i T_j R_j \quad (2.2)$$

де

T_j – матриця зміщення j -ого суглоба;

R_j – матриця обертання j -ого суглоба; суглоб з індексом $j=0$ є кореневим, а суглоб з індексом j є батьківським по відношенню до суглоба з індексом $j+1, j = \overline{0, i-1}$.

Для будь-якої пози, яка відрізняється від пози прив'язки, матриця перетворення суглоба буде обчислюватися аналогічним чином. Описаний спосіб перетворення положення вузлів скелета називається прямою кінематикою.

У разі використання зворотної кінематики аніматор в інтерактивному режимі задає потрібне положення для руки або ноги моделі, а програма автоматично обчислює для кожного з суглобів відповідні кути з урахуванням таких обмежень, наприклад, як фіксовані розміри.

					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

2.3.3 Перетворенням локального простору з'єднання у світовий простір

Нехай B_j буде перетворенням від локального суглобового каркаса j до локального каркасу шкірної сітки в позі зв'язування (рис. 2.3).

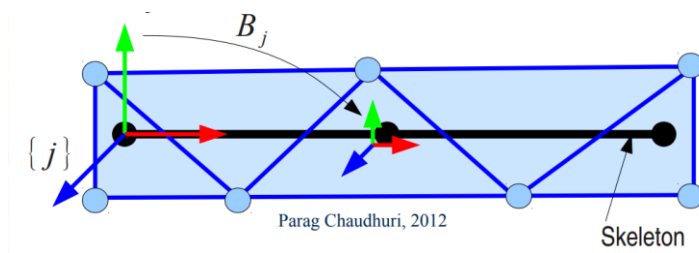


Рис. 2.3 – Перетворенням від локального суглобового каркаса

B_j представлено матрицею прив'язки.

Уявимо, що група вершин входить до одного з'єднання j . Нехай T_j буде перетворенням локального простору з'єднання j у світовий простір з'єднання.

Тоді вершина шкіри, перетворена у світовий простір (рис. 2.4) для вершин v_k , пов'язаних із з'єднанням j , є

$$v'_k = T_j B_j^{-1} v_k \quad (2.3)$$

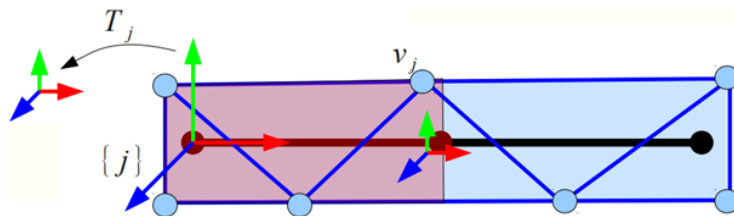


Рис. 2.4 – Перетворення у світовий простір

Коли суглоб j рухається, T_j змінюється, а разом з ним рухаються вершини шкіри. Але взаємне розташування вершин у локальному каркасі суглоба не змінюється (рис. 2.5).

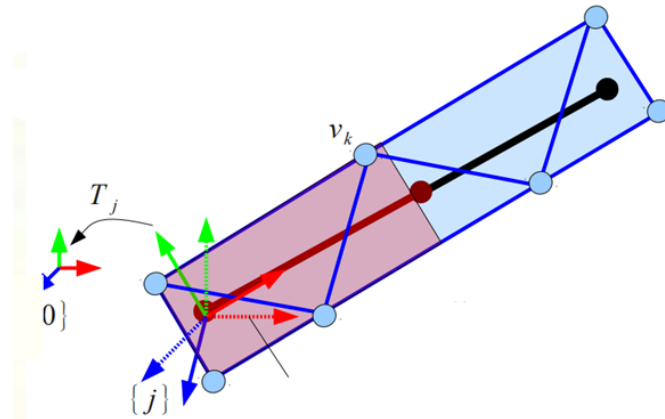


Рис. 2.5 – Незмінність локального простору

2.3.4 Алгоритми деформації полігональної поверхні

Невід'ємною частиною складання персонажів є процес зв'язування системи кісток з геометричною оболонкою (*skinning*) – особливий спосіб з'єднання скелета та геометрії. Зв'язування з оболонкою оперує кластерами (*clusters*), тобто групами вершин або керуючих точок, що відповідають за деформацію моделі.

По суті, є кілька способів прив'язки сітки.

1. Жорсткий скінінг (без врахування вагів). Алгоритм анімації з прив'язкою вершини до однієї кістки отримав назву *stitching* (літер. «зшивання»), тому що до кістки прив'язується не поверхня або сегмент цілком, а кожна з вершин.

Трансформоване становище окремої вершини \vec{v}' розраховується за формулою:

$$\vec{v}' = WB^{-1}\vec{v} \quad (2.4)$$

де

\vec{v} – базове положення вершини;

B – матриця суглоба, трансформації якого успадковує розглянута вершина, у позі прив'язки,

W – поточна матриця цього суглоба, що відповідає трансформованій позі скелета.

Усі компоненти формули задані у глобальних координатах (рис. 2.6).

									Арк.
									40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат					

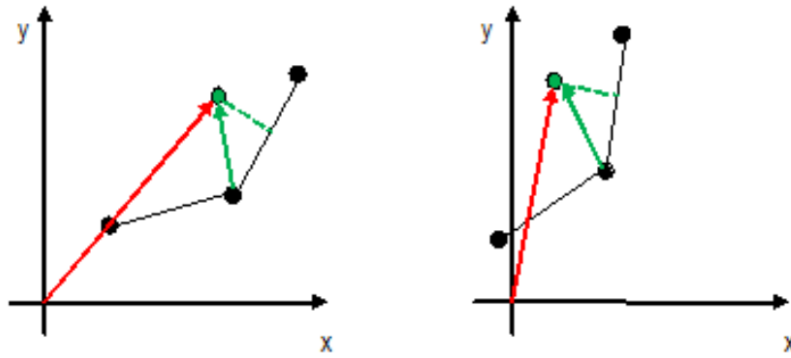


Рис. 2.6 – Геометрична інтерпретація формули

2. Лінійний змішаний скінінг (*Linear Blend Skinning, LBS*). На кожну вершину впливають декілька кісток, і кожна вершина має певну вагу, на яку впливає кожна кістка, що впливає. У порівнянні з простим скінінгом, *LBS* – це класичний спосіб створення скінів, що дозволяє створювати природну анімацію.

Linear Blend Skinning (LBS) – ефективна техніка, заснована на наборі деформацій скелета, взятих із простору маніпуляцій.

Вершинне перетворення – це лінійна комбінація перетворень, пов'язаних із ним суглобів. Кожна вершина шкіри зв'язана більш ніж з однією кісткою. Кожна вершина має ваги для цієї лінійної комбінації, призначеної їй. Положення вершини у світовому просторі обчислюється як середньозважене значення позицій у світовому просторі, отриманих для кожної кістки за допомогою жорсткого скінінгу. Результуюче положення вершини розраховується за формулою:

$$v'_j = \sum_i w_{ij} T_i v_i^j \quad (2.5)$$

де

v'_j – базове становище вершини;

w_{ij} – вага i -кістки;

T_i – матриця i -кістки у позі прив'язки;

v_i^j – поточна матриця трансформації i -кістки.

Нормалі вершин можна обчислити аналогічно (рис. 2.7).

										Арк.
										41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат						

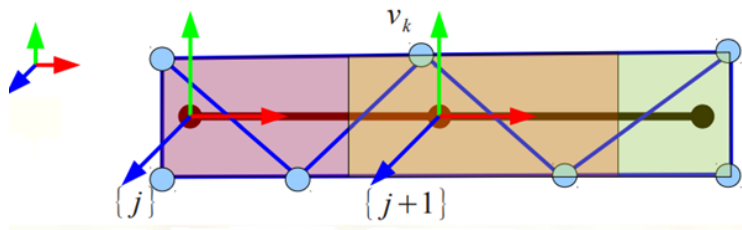


Рис. 2.7 – Обчислення нормалей вершин

Поелементна лінійна інтерполяція матриць перетворення в рівнянні LBS є причиною таких артефактів, як втрата об'єму, коли на суглобах утворюються вигини (рис. 2.8).

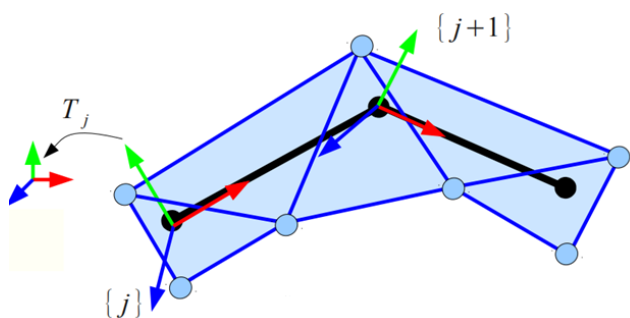


Рис. 2.8 – Спотворення на суглобах

З належними вагами багато, але не всі артефакти усуваються або покращуються (рис. 2.9).

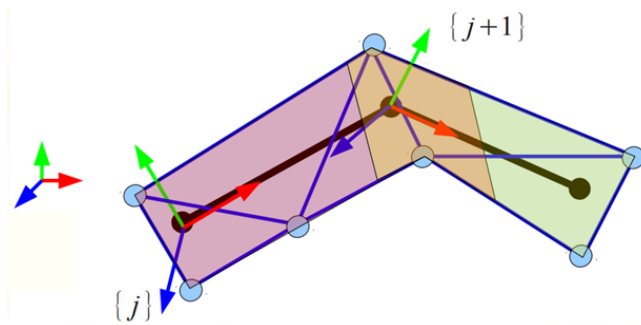


Рис. 2.9 – Усунення артефактів

Були розроблені алгоритми, компенсуючі небажані артефакти LBS, найбільш найпопулярнішим з яких є *Pose Space Deformation (PSD)*. Даний метод передбачає використання пар <еталонна форма моделі, конфігурація скелета> для припасування результатів застосування LBS до очікуваної кінцевої форми.

Технологія *PSD* поєднує створення анімації моделі за допомогою традиційної *LBS* та блендінгу; даний метод широко використовується в даний час, але є дуже трудомістким.

3. Скінінг дуальними кватерніонами (*DQS*). На основі тієї ж стратегії, що і *LBS*, *DQS* перетворює матриці обертання на кватерніони та обчислює нормалізовані кватерніони, використовуючи внутрішню вагу зв'язаних суглобів, а не безпосередньо використовуючи матриці обертання.

Кватерніон – це гіперкомплексне число типу $a + b_i + c_j + d_k$, де a, b, c, d – дійсні числа, i, j, k – уявні одиниці. Кватерніони, зокрема, можуть використовуватися для опису поворотів в тривимірному просторі.

Метод скінінгу дуальними кватерніонами полягає у використанні дуальних кватерніонів для представлення положення кісток замість матриць перетворення. На відміну від матриць перетворення, при інтерполяції дуальними кватерніонами результатом є плавне переміщення між заданими положеннями, при якому об'єкт обертається навколо осі, вздовж якої рухається. При цьому таке перетворення гарантовано зберігає об'єм моделі, що є основною проблемою лінійного скінінгу (рис. 2.10).

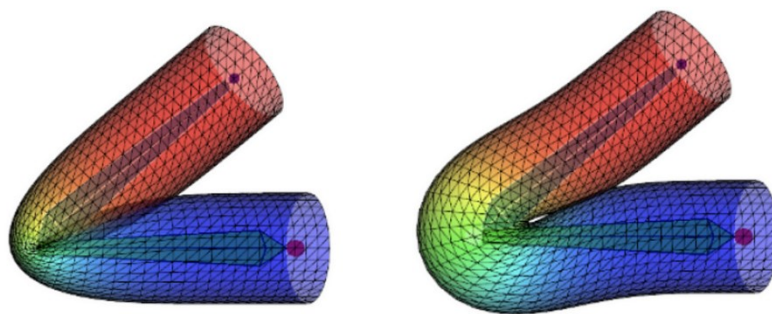


Рис. 2.10 – Дефект скінінгу з допомогою дуальних кватерніонів – ”роздутий” суглоб

Справа показані результати використання методу *DQS*, який дозволяє зменшити кількість артефактів із мінімальними витратами. Припустимо, ми знаємо дві позиції вершин: $P1$ та $P2$. Якщо ми використовуємо лінійну інтерполяцію для отримання нової позиції, нова позиція лежатиме на відрізку

					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

між $P1$ та $P2$. Якщо ми використовуємо DQS , нова позиція лежатиме на дузі кола, що містить $P1$ і $P2$, що дозволить уникнути стиснення сітки.

Проте замість дефекту втрати об'єму скінінг дуальними кватерніонами створює новий дефект – "роздування" суглобів.

Для запобігання цьому дефекту, дослідники пропонують підтримувати постійну відстань від вертекса моделі до найближчої кістки. Проте такий метод призводить до створення розтягнутих полігонів в зонах, де сусідні вертекси зміщуються до різних кісток. Варто зазначити, що дуальні кватерніони не передають масштабування, тому, для підтримки анімації з масштабуванням кісток, масштабування має бути реалізовано окремо.

2.4 Процедурна анімація

2.4.1 Система на основі компонентів

У компонентній розробці розрізняються компоненти розташування даних та компоненти функціональних можливостей, на відміну від об'єктно-орієнтованого дизайну, де класи використовуються для зберігання даних, а також функціональних можливостей. Кожен компонент містить дані, пов'язані з типом компонента. Тип компонента визначає допустимі операції над компонентом. Взаємодія між компонентами зазвичай здійснюється за допомогою обміну повідомленнями між компонентами.

Компонентний підхід редактора *Autodesk Maya* заснований на системі вузлів. Вузол (*node*) – це метод інкапсуляції даних. Таким чином, об'єкт *Maya* – це набір складових його вузлів, кожен з яких є набором певних атрибутів. Між вузлами мають існувати зв'язки.

Вузол може мати дочірні чи батьківські стосунки з іншими вузлами. Спрямовані відносини *parent-child* неспроможні утворювати цикли. Батьківським називається вузол, який передає перетворення вниз ієрархічним ланцюжком на дочірні по відношенню до нього вузли. Відповідно, дочірні вузли успадковують перетворення всіх своїх предків.

					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Кожен тип вузлів призначений для виконання обмеженої множини операцій. Вузол, який керує орієнтацією одного об'єкта, який повинен вказувати на інший, реалізує лише цю конкретну функцію. Він може, наприклад, деформувати об'єкт. Для вирішення саме цього завдання буде створено вузол деформації.

Кожна система має набір типів компонентів, з якими вона може працювати. Використовувані компоненти скелетної анімації наведено на діаграмі компонентів на рисунку 2.11.

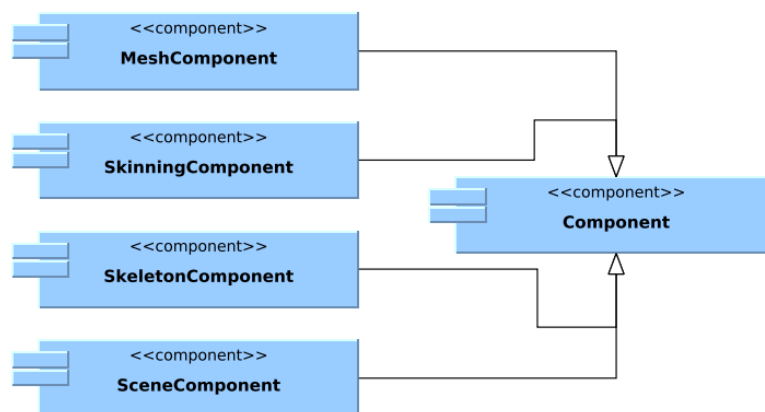


Рис. 2.11 – Компоненти системи деформації полігональної сітки

2.4.2 Використання скриптів

Кількість вузлів *Maya* та їх функціональність можна розширити завдяки використанню скриптів. Будь-які зміни чи доповнення функцій здійснюються за допомогою одного з двох інтерфейсів програмування, які надає програмне забезпечення. Це команди *Maya* та *API Maya*.

На зображенні вище, взятому з документації *Maya* [16], показана архітектура інтерфейсів програмування *Maya*. Кожен елемент у верхньому рядку є підтримуваною мовою програмування. Є *MEL*, *Python* і *C++* або *Microsoft .NET*.

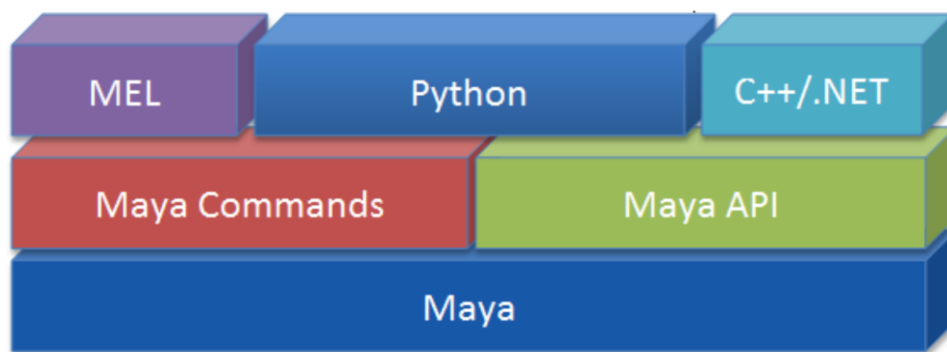


Рис. 2.12 – Архітектура інтерфейсів програмування Maya

Як мова, *MEL* походить від сценаріїв оболонки *UNIX*. Це означає, що *MEL* сильно базується на виконанні команд для виконання завдань (наприклад, виконання команд в оболонці *UNIX*), а не на маніпулюванні структурами даних, викликах функцій або використанні об'єктно-орієнтованих методів, як в інших мовах. Більшість команд діють як утиліти командного рядка *UNIX*: маленькі автономні програми з багатьма параметрами, які змінюють їх поведінку.

Все частіше для написання скриптів використовують мову *Python*. Переваги мови *Python*: це легша для вивчення мова програмування, забезпечує набір вбудованих пакетів, її не потрібно компілювати. Але, хоча *Python* широко замінив *MEL* як мову сценаріїв у *Maya*, з поважних причин, більшість сценаріїв все ще пишуться за допомогою *MEL*. При виконанні тієї чи іншої команди мови *MEL* фактично виробляється один виклик із функцій *Maya*, написаних на зик *C++*.

Мови сценаріїв у *Maya* дозволяють:

1. Автоматизувати повторювані або часто виконувані завдання або для виконання операцій, які вибираються з інтерфейсу користувача.
2. Змінити інтерфейс користувача *Maya*: створювати вікна та елементи керування, які впливають на об'єкти сцени.
3. Встановіть стандарти розвитку: застосувати угоди про іменування, робочі процеси та масштаб моделі.
4. Створення нових інструментів і функцій.

						КРМ.КІ.1.805-03.1.11	Арк. 46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат			

Термін «Сценарій *MEL*» стосується рядків команд, які вводяться та виконуються в редакторі сценаріїв, або серії команд, збережених у текстовому файлі з розширенням *.mel*.

2.4.3 Використання виразів

Вирази – це сценарії *MEL*, які виконуються на основі кожного кадру. Це означає, що будь-який параметр із призначеним йому виразом виконуватиме цей вираз для кожного кадру в послідовності. Використання виразів дає змогу легко та реалістично анімувати об'єкти за допомогою кількох простих команд.

Вирази пропонують альтернативу складним завданням ключових кадрів, подібним до *Set Driven Key*. За допомогою *Set Driven Key* зв'язки атрибутів можна встановити та визначити за допомогою кривих анімації. На відміну від *Set Driven Key*, вираз не використовує анімаційну криву для визначення анімації атрибута, а обчислює значення атрибута з часом за формулою, визначеною у виразі.

Вирази можна використовувати для анімації будь-якого ключового, розблокованого атрибута об'єкта для будь-якого діапазону кадрів. Основні напрями застосування виразів:

1. Для анімації атрибутів, яку можна формалізувати. Вирази пропонують альтернативу складним завданням ключових кадрів. У ключових кадрах ви встановлюєте значення атрибутів у вибраних ключових кадрах анімації, а *Maya* інтерполює дію між ключовими кадрами. За допомогою виразів ви пишете формулу, а потім *Maya* виконує дію під час відтворення анімації. Хоча ви можете створити вираз для анімації атрибутів для будь-якої мети, вони ідеальні для атрибутів, які змінюються поступово, випадково або ритмічно з часом.

2. Для реактивної анімації. Вирази також корисні для зв'язування атрибутів між різними об'єктами, коли зміна одного атрибута змінює поведінку іншого. Наприклад, ви можете зробити обертання шини залежним від руху автомобіля вперед або назад.

3. Управління масивами частинок. Ви також можете використовувати вираз для керування атрибутами частинок або об'єктів. Атрибути кожної

					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

частинки керують окремо кожною частинкою об'єкта частинки. Атрибути кожного об'єкта керують усіма частинками об'єкта частинок разом.

Вузел часу легко доступний для виразів, а не для сценаріїв *MEL*. Атрибут об'єкта або вузла використовується як змінна. Це не тільки зручно, але й швидше.

Можна створювати власні атрибути для об'єктів і керувати ними разом із виразами. Неможливо змішувати вирази з іншими методами анімації для того самого атрибута на об'єкті (ключові кадри, анімація шляху, встановлення керованого ключа).

Висновок до другого розділу

1. Досліджено базові технології анімації.
2. Досліджено підходи, які використовуються для візуалізації деформації шкіри.
3. Проаналізовані підходи створення скриптів та виразів, їхні проблеми, можливі рішення.

					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

РОЗДІЛ 3 ФОРМУВАННЯ МЕТОДИКИ

2.1 Базові положення

Методика повинна охоплювати анімацію основних рухомих вузлів транспортного засобу, а саме:

- колісного рушію;
- рульової рейки;
- амортизаційного блоку;
- відкриття дверей;
- підйомний механізм кузову;
- механізм руху склоочисників.

Додаткові умови, які враховуються при формуванні методики:

- підтримується обертання кожного колеса під час руху;
- підтримується зчеплення з поверхнею;
- застосовується залежна підвіска;
- застосовується рейковий рульовий механізм;
- застосовується задній привод;
- поворот здійснюється лише передніми колесами;
- поворот зберігається під час руху;
- враховується можливість крену корпусу.

Базові положення методики:

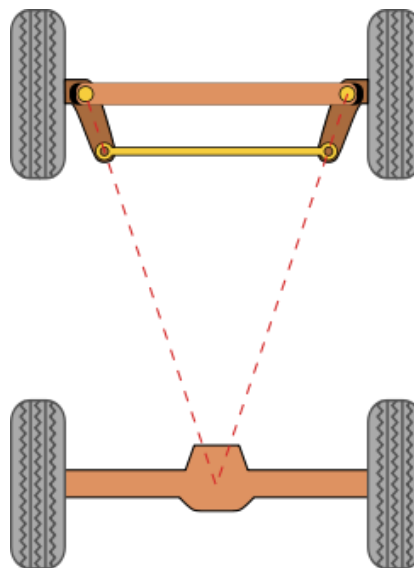
1. Методика базується на компонентній організації *Maya* та заснована на технології скелетної анімації.
2. Прив'язка моделі до скелета відбувається з використання методів жорсткого зв'язування та лінійного змішаного зв'язування (*LBS*).

					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

3. Для координації рухів використовується пряме зв'язування атрибутів та зв'язування атрибутів на підставі обмежувачів.
4. Анімація створюється з використанням виразів, скриптів та технології ключових кадрів по відношенню до управляючих елементів скелета.

Наступні показники використовуються у подальших розрахунках і вважаються незмінними:

1. Колія – ширина колії автомобіля означає відстань між колесами, що знаходяться на одній осі.
2. Колісна база – відстань між передньою та задньою осями.
3. Зовнішній радіус колеса, зміщення шворня для визначення розташування основи маточини поворотної осі щодо колеса.
4. Довжини кермової тяги та кермового важеля, які визначатимуть швидкість повороту та точність системи.
5. Відношення повороту рульового колеса до переміщення рульових тяг з боку в сторону.
6. В основі лежить трапецієподібна важільна система. Щоб колеса оберталися незалежно, вони встановлені на двох поворотних осях.
7. Автомобіль дивитиметься у напрямку +Z. Чотири колеса будуть рівновіддалені від початку координат світу і розташовані у правильних позиціях (рис. 3.1).



					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

2.2 Методика призначення опорних точок

Умовою для застосування скелетної анімації є наявність правильної топології полігональної сітки моделі.

Модель транспортного засобу у тривимірному просторі є полігональна сітка P . $\{V_P\}$ - множина всіх вершин моделі P . С моделлю P пов'язаний скелет, який є ієрархічною структурою кісток $S = \{b_i\}$.

З кожним вузлом структури b_i пов'язана своя локальна система координат та тривимірне перетворення. Тривимірне перетворення може бути описане матрицею B_i 4×4 , яка описує трансформацію (обертання, переміщення та масштабування).

Кістки скелета утворюють ієрархію: кожна дочірня кістка успадковує трансформацію батьківської кістки.

Для забезпечення різного типу руху основних вузлів створюються рухомі області:

1. Тіло. Сполучення об'єктів, які відтворюють результат роботи амортизаційного блоку.
2. Шасі. Сполучення об'єктів, які відтворюють результат роботи колісного рушію.
3. Двері. Сполучення об'єктів, які відтворюють результат відкриття дверей.
4. Ліфт. Сполучення об'єктів, які відтворюють результат роботи підйомний механізм кузову.
5. Склоочисники. механізм руху склоочисників.

2.2.1 Методика налаштування базових рухомих областей

Для зв'язку рухомих областей створюється коренева опорна точка, яка прив'язана до поверхні сцени. Для рухомих областей опорні точки розташовуються на межах геометрії і складають ієрархії.

					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Для рухомої області Тіло межі геометрії визначаються по базі та кузову моделі, центр ієрархії відповідає центру ваги моделі (рис. 3.1).

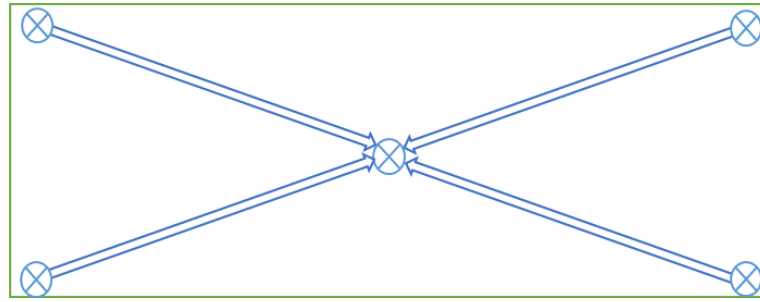


Рис. 3.1 – Опорні точки рухомої області Тіло

Для рухомої області Шасі межі геометрії визначаються по розташуванню колісного рушію, центр ієрархії відповідає центру ваги моделі (рис. 3.2).

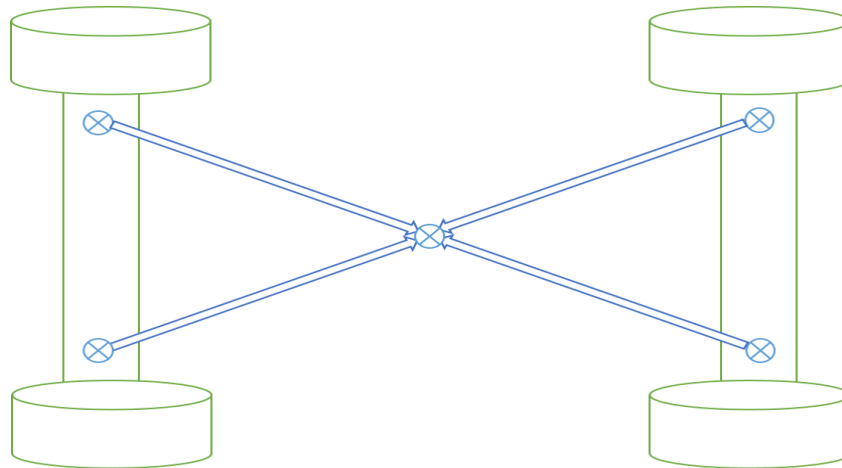


Рис. 3.2 – Опорні точки рухомої області Шасі

Встановлюється опорна точка по центру ваги колеса для управління обертання (рис. 3.3).

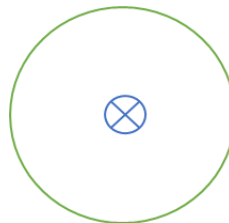


Рис. 3.3 – Опорна точка управління колесом

Для управління рульовою рейкою створюються дві опорні точки, розташовані по різні боки рульової рейки.

Колеса в залежній підвісці на одній осі мають жорсткий зв'язок, тобто з'єднані спеціальною балкою. У разі потрапляння транспортного засобу в яму або при наїзді на підйом обидва колеса змінюють положення на ідентичний кут. Опорні точки колеса та опорні точки управління рульовою рейкою під'єднуються до ієрархії рухомої області Шасі (рис. 3.4).

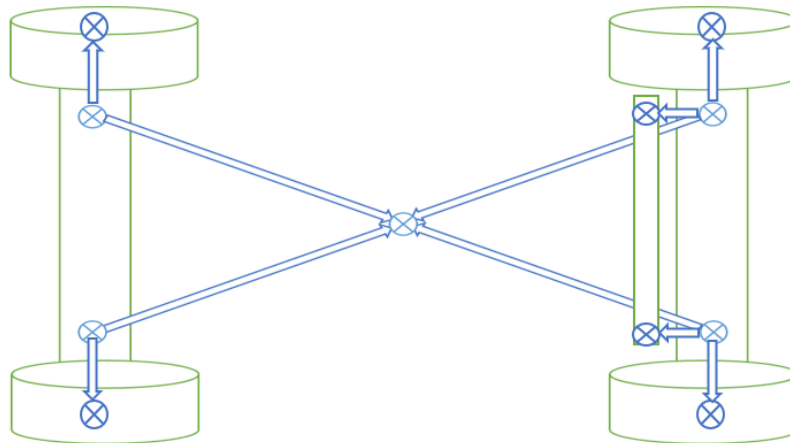


Рис. 3.4 – Опорні точки колісного рушію

Зміна параметрів дочірніх опорних точок колеса та рульової рейки відбувається за принципом прямого кінематичного зв'язку. Рульова рейка отримує вихідні дані для здійснення повороту від об'єкту Кермо. Потім ці дані передаються опорним точкам коліс. Таким чином відбувається реалізація повороту.

2.2.2 Методика налаштування амортизаційного блоку

Ключовим питанням є налаштування амортизаційного блоку. В роботі розглядається модель із залежною підвіскою та двотрубних телескопічних амортизаторах, будова яких розглядається у першому розділі. В залежній підвісці амортизатори кріпляться зверху до кузову та знизу до підвіски.

Елемент демпфірування (амортизатор) – це пристрій ходової частини, який працює за двома напрямками:

										Арк.
										53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат						

- забезпечує гасіння кузовних коливань, що виникають через наїзд на нерівності дорожнього покриття, а також виникнення інерційних сил;
- обмежує коливання невідконтрольних елементів (балки, мостів, шин, маточини та інших) по відношенню до кузова.

Навантаження від кузова розтягує амортизатор з боку крену та стискає з протилежної сторони.

Коливання невідконтрольних елементів виникають з причини руху по нерівній поверхні. Коли колесо перетинає нерівність поверхні, амортизатор стискається та розширюється, амортизуючи енергію, що виникає внаслідок цього руху, при цьому кузов залишається в нерухомому положенні (рис. 3.5).

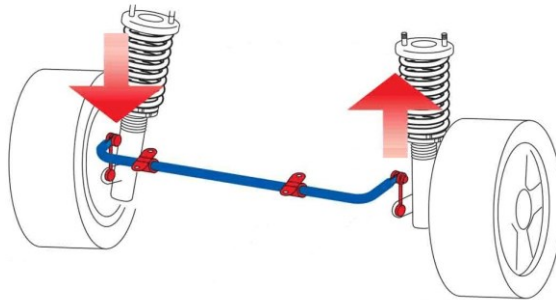


Рис. 3.5 – Напрями навантаження на амортизатор

Основа методики налаштування системи амортизації полягає у створенні двох рівнів ієрархії опорних точок: рівень кузова і рівень колісного рушію, між якими розміщуються телескопічні амортизатори (рис. 3.6).

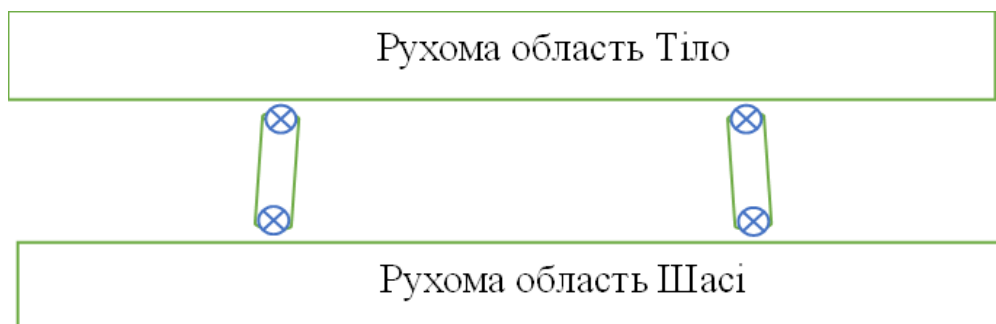


Рис. 3.6 – Опорні точки телескопічних амортизаторів

Верхні опорні точки амортизаторів поєднуються з ієрархією рухомої області Тіло, нижні опорні точки амортизаторів поєднуються з ієрархією рухомої області Шасі.

2.2.3 Методика налаштування інших рухомих областей

Для рухомої області Двері опорні точки встановлюються на середній лінії з двох боків геометрії дверей. Центр ієрархії відповідає боку, що залишиться на своїх координатах, дочірній вузол відповідає стороні, що буде змінювати координати (рис. 3.7).

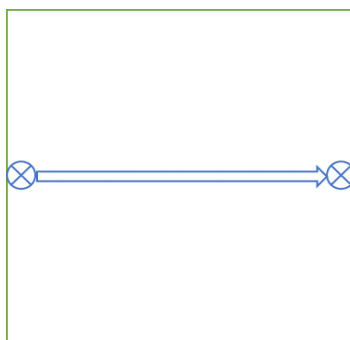


Рис. 3.7 – Опорні точки рухомої області Двері

Ієрархія опорних точок рухомої області Двері під'єднується до ієрархії Тіло для забезпечення скоординованих рухів.

Для рухомої області Ліфт опорні точки встановлюються на середній лінії у верхній площині геометрії кузову. Центр ієрархії відповідає нижній частині підйомного механізму кузову, який залишиться на своїх координатах. Опорні точки підйомного механізму повинні бути зорієнтовані у локальних координатах у зустрічному напрямку для забезпечення коректного впливу на геометрію полігональної сітки при розтягуванні (рис. 3.8).

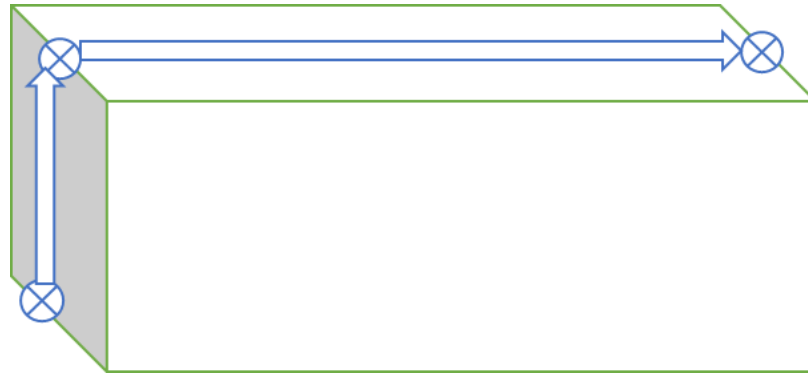


Рис. 3.8 – Опорні точки рухомої області Ліфт кузова

Ієрархія опорних точок рухомої області Ліфт не має прямого зв'язку з ієрархію Тіла, скоординованих рухів забезпечується встановленням обмежень.

Для рухомої області Склоочисник опорні точки встановлюються у верхній та нижній точках маятникового важелю. Опорні точки маятникового важелю орієнтуються у локальних координатах у зустрічному напрямку для забезпечення коректного впливу на геометрію маятникового важелю при повертанні. Щітки під'єднується до окремої опорної точки, скоординованість рухів досягається встановлення обмежувачів (рис. 3.9).

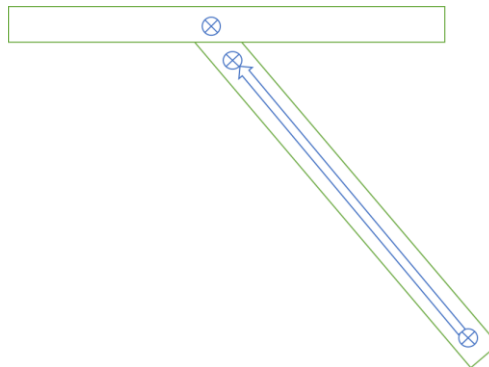


Рис. 3.9 – Опорні точки рухомої області Склоочисник

2.3 Методика прив'язки вершини

2.3.1 Визначення варіанту прив'язки

Перш ніж почати маніпулювати кісткою, щоб переміщати накладену сітку, потрібно попередньо сформулювати прив'язку [1]. Цей крок дуже важливий,

					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

оскільки, він є основною причиною проблем, що виникають при підході згладжування шкір. *Maya* дає кілька варіантів того, як прив'язати вершину до кістки:

1. Зважування з урахуванням близькості суглобів. Вершині буде призначено найближчий суглоб(и), не враховуючи ієрархію. Залежно від кількості впливаючих суглобів, цей метод може призвести до серйозних неправильних з'єднань.

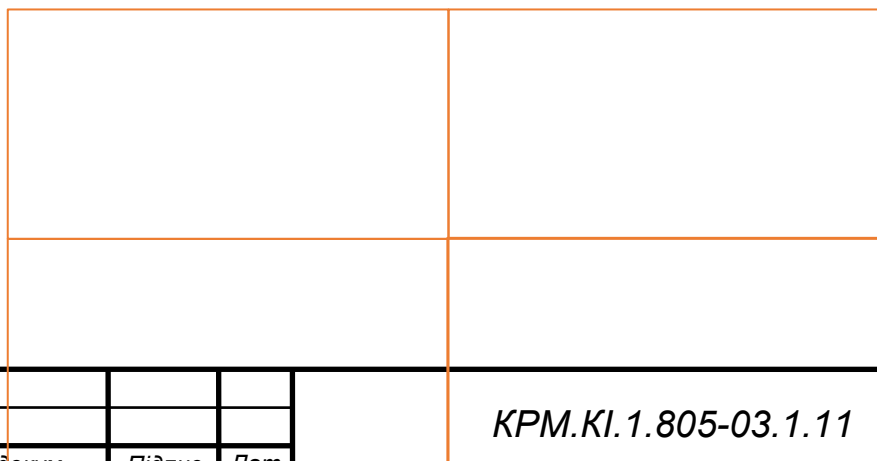
2. Зважування на основі ієрархії скелета. Тут ієрархія скелетної структури відіграє свою роль у призначенні ваг. Це в основному впливає на призначення ваг іншим найближчим з'єднанням, але тепер вони мають бути близькими в ієрархії, і тому сценарій попереднього методу не може відбутися.

3. Зважування на основі теплової карти: ця ідея походить від процесу розподілу тепла. Джерела тепла представлені у вигляді з'єднань, і кожне з'єднання розподіляє більше тепла до ближчих вершин і менше – до віддалених вершин. Вага призначається кількістю тепла, обчисленим у положенні вершини.

4. Обмежувальний об'єм: цей метод надає аніматору можливість використовувати кілька обмежувальних об'ємів для налаштування розподілу ваги. Цей метод є протилежним до попереднього.

Початкового зв'язування кістки та вершини відбуватиметься на основі методу обмежувального об'єму.

Обмежувальний об'єм можна уявити як віртуальний контейнер, в який потрапляють вершини, зв'язані з певною кісткою. Наприклад, обмежувальний об'єм для встановлених опорних точок рухомої області Шасі показаний на рисунку 3.10.



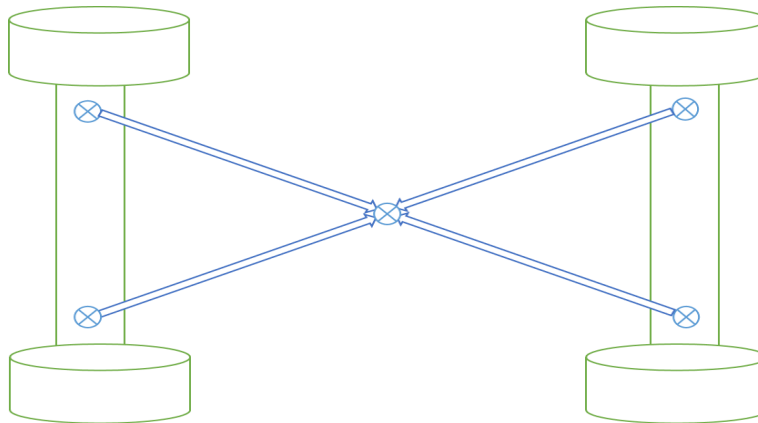


Рис. 3.10 – Обмежувальний об'єм рухомої області Шасі

Однак методу обмежувального об'єму призначає лише одну кістку на кожную вершину сітки i , таким чином, підходить для жорсткої трансформації та в якості початкової прив'язки.

Далі відбувається лінійне призначення вершинам навколо з'єднання коефіцієнтів впливу. При встановленні коефіцієнтів враховується відстань вершини шкіри до кістки. Близькість можна класифікувати так:

1. відстань між початковим суглобом та вершиною полігональної сітки;
2. відстань між торцевим з'єднанням та вершиною;
3. довжина перпендикулярного вектора кістки, що містить вершину.

Для встановлення ваги використовуються два методи:

- метод жорсткого зв'язування;
- метод лінійного змішаного зв'язування (*Linear Blend Skinning (LBS)*).

2.3.1 Використання методу жорсткого зв'язування

Алгоритм анімації з прив'язкою вершини до однієї кістки отримав назву *stitching* (літер. «зшивання»), тому що до кістки прив'язується не поверхня або сегмент цілком, а кожна з вершин.

Таким чином пов'язуються елементи, які управляються однією опорною точкою: колісні рушії, щітки склоочисників.

Трансформоване становище окремої вершини \vec{v} розраховується за формулою:

$$\vec{v}' = WB^{-1}\vec{v} \quad (3.1)$$

де

\vec{v} – базове положення вершини;

B – матриця суглоба, трансформації якого успадковує розглянута вершина, у позі прив'язки;

W – поточна матриця цього суглоба, що відповідає трансформованій позі скелета.

Усі компоненти формули задані у глобальних координатах.

Приклад використання методу жорсткого зв'язування: управління колесом (рис. 3.3).

Метод жорсткого зв'язування використовується також для областей обмежувального об'єму рухомої області Шасі. Кожна вершина області має прив'язку до однієї опорної точки (рис. 3.10).

2.3.2 Використання лінійного змішаного зв'язування

Для об'єктів, що мають декілька точок впливу на трансформацію, використовується техніка лінійного змішаного зв'язування.

На відміну від попереднього методу, кожній матриці призначається певний коефіцієнт, який визначає, наскільки матриця впливає на вершину. Такий коефіцієнт називають вагою. Ця величина лежить у межах 0..1. Очевидно: 0 – означає, що кістка зовсім не впливає, 1 – повністю визначає положення вершини.

Результуюче положення вершини розраховується за формулою:

$$v'_j = \sum_i w_{ij} T_i v_i^j \quad (3.2)$$

де

v'_j – базове становище вершини;

T_i – матриця і-кістки у позі прив'язки;

v_i^j – поточна матриця трансформації і-кістки;

					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

w_{ij} – скалярна вага вершини до кістки n , при цьому повинна виконуватися обов'язкова умова

$$\sum_{i=0}^n w_i = 1$$

Метод лінійного змішаного зв'язування використовується, наприклад, для управління рульовою рейкою (рис. 3.11).

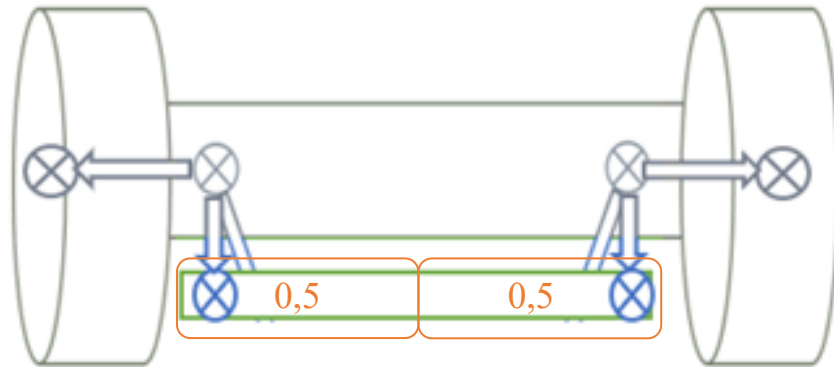


Рис. 3.11 – Призначення вагових коефіцієнтів елементу Рульова рейка

2.4 Визначення методів зв'язування атрибутів

2.4.1 Управляючі криві

Зв'язування атрибутів відповідає за скоординованість рухів різних елементів моделі.

1. Управляючі криві для опорних точок скелету (*Skeletal Controls*). Для зручності використання налаштування в ході анімації створюються управляючі криві. Ці криві складають власну ієрархію, яка відповідає ієрархії опорних точок скелета. Криві дозволяють безпосередньо контролювати опорні точки, але розташовані з урахуванням зручності маніпулювання.

Управляючі криві створюються для основних функціональних блоків:

- контроль руху;
- контроль рівня шасі;
- контроль рівня кузова;
- контроль відкриття дверей;
- контроль підйома кузова;

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

- контроль повороту керма;
- контроль зчеплення з поверхнею (рис. 3.12).

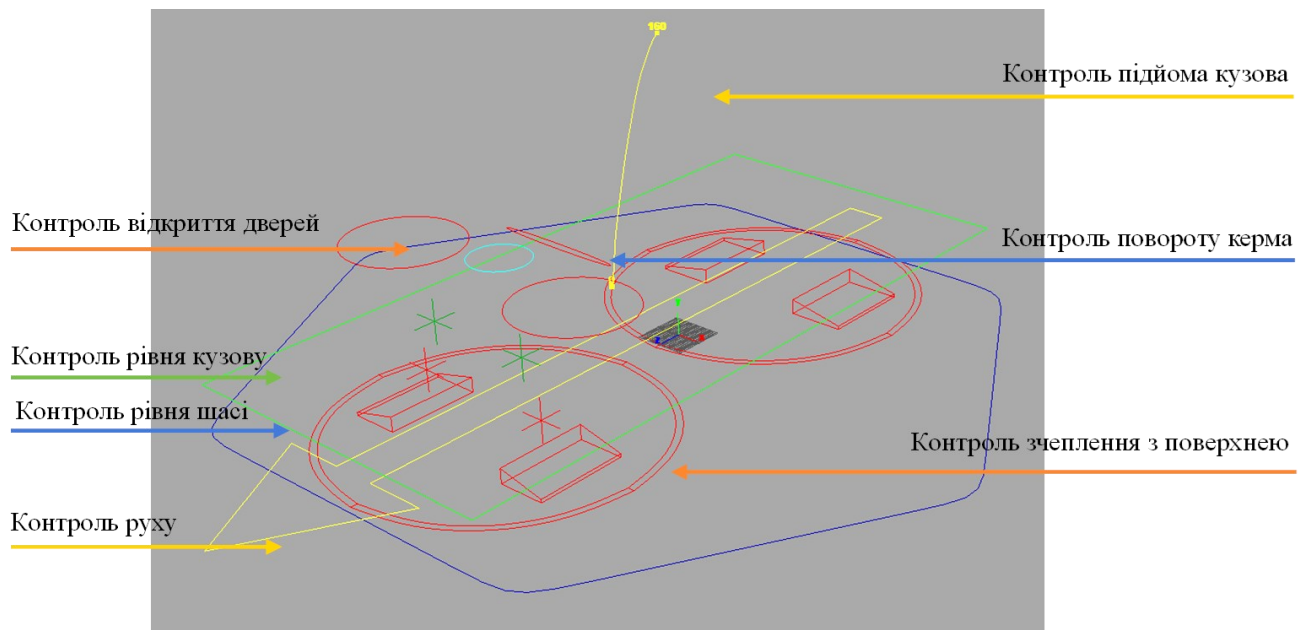


Рис. 3.12 – Набір управляючих кривих

Управління рівнем шасі буде складатися з кривих, представлених на рисунку 3.13.

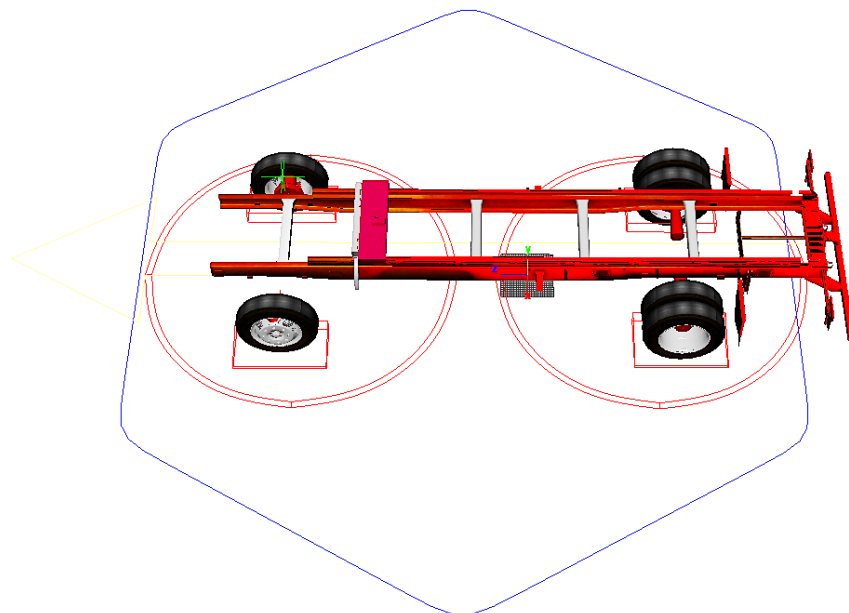


Рис. 3.13 – Набір управляючих кривих рівня шасі

Система руху з урахуванням амортизації виглядає наступним чином (рис. 3.14).

					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

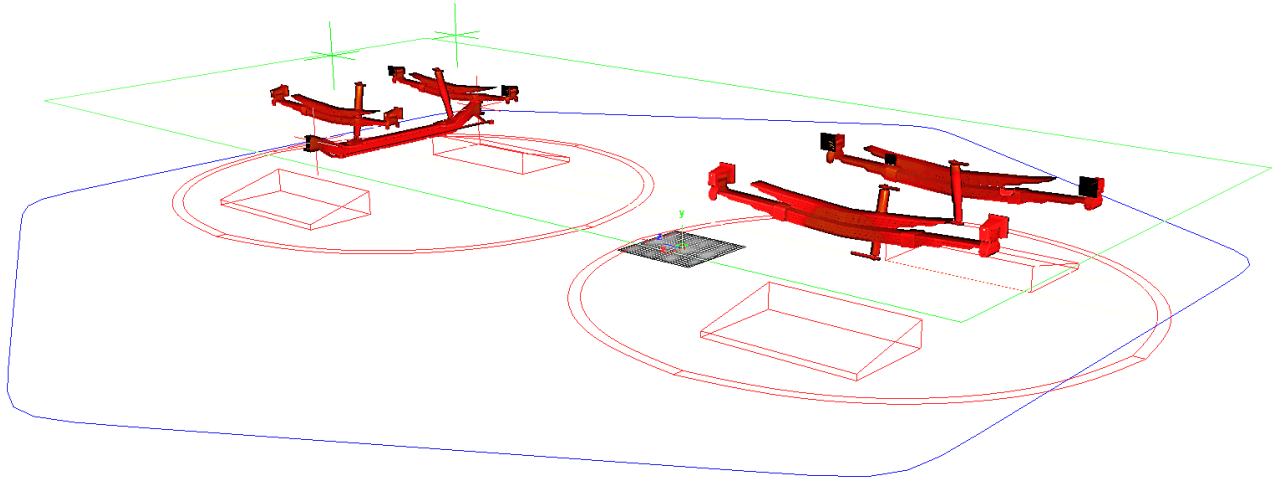


Рис. 3.14 – Набір управляючих кривих з урахуванням амортизації

2.4.2 Обмеження

1. *Parent*. Синхронізація руху зміни координат опорної точки, що є коренем ієрархії управління відповідним функціональним боком, відповідно до зміни положення управляючої кривої відбувається завдяки використанню обмеження *Parent*. Це обмеження, що пов'язує позицію (переміщення та поворот) одного об'єкта з іншим об'єктом.

Іноді не потрібно враховувати всі атрибути переміщення. В таких випадках встановлюється зв'язок лише для деяких атрибутів. Наприклад,

- кузов хитається по двох осях X та Z , а переміщується лише по осі Y ;
- колеса обертаються лише по осі Y , переміщення відбувається по всіх осях;
- зчеплення з поверхнею не фіксує повороти, лише переміщення по всіх осях.

2. *Aim*. Обмеження мети обмежує орієнтацію об'єкта, щоб об'єкт був націлений на інші об'єкти. Якщо об'єктом націлювання обрати опорну точку, можна відстежувати її рух.

Такий метод з'єднання застосовується для досягнення коректної деформації полігональної сітки при розтягуванні. Деформації розтягування

піддаються телескопічні амортизатори та ліфт підйомного механізму кузову. Опорні точки мають бути зорієнтовані одна на одну.



Рис. 3.15 – Орієнтація опорних точок для деформації розтягування

2.4.3 Прямий зв'язок атрибутів

З'єднання атрибутів – універсальний підхід до вирішення задач анімації. Підхід базується компонентній організації редактора *Autodesk Maya*, заснованій на системі вузлів. Дані першого вузла надходять на вхід наступного, який так чи інакше їх обробляє і видає нові дані, потім надходять на вхід іншого вузла. Таким дані проходять по мережі вузлів, починаючи з першого вузла і закінчуючи останнім.

Простежити зв'язки між атрибутами, представлених в вузлах можна у редакторі *Node Editor*. Кожен вузол має одну або кілька пов'язаних із ним властивостей. Такі властивості зазвичай називають атрибутами. Атрибут – це конкретна властивість цього вузла. Вузол *transform*, наприклад, містить атрибут, в якому зберігається поточне положення об'єкта на осі *X*.

1. Атрибути, що розраховуються.

Поряд із атрибутами всі вузли містять функцію *compute*. За своєю суттю функція *compute* приймає один або кілька вхідних атрибутів та обчислює результат, представлений вихідним атрибутом. Її можна розглядати як функцію мови програмування виду:

$$output = compute(input1, input2, \dots, inputN) \quad (3.3)$$

Власне редактор *Maya* не розрізняє вхідні чи вихідні атрибути. Будь-які атрибути просто містять дані. Поділ на входи та виходи має логічний характер. Вхідний атрибут – це атрибут, що надходить у функцію *compute* у складі вузла,

					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

вихідний – це атрибут, значення якого розраховується на основі одного або декількох вхідних атрибутів. Вхідні та вихідні атрибути функції *compute* є локальними атрибутами вузла.

Такий підхід використаний у випадках:

- створення скоординованих рухів всіх колес, які правильно рухаються в будь-якому напрямку на будь-якій відстані,
- та об'єднання їх з надійним налаштуванням кермового керування
- для більш реалістичного загального руху.

Атрибути управляючою кривої контролю руху є вхідними атрибутами:

- базові: переміщення, обертання, масштабування;
- та додатково створені: ширина колії автомобіля, колісна база, зовнішній радіус колеса, довжини кермової тяги, кут повороту керма, кут обертання колеса, переміщення колеса (рис. 3.16).

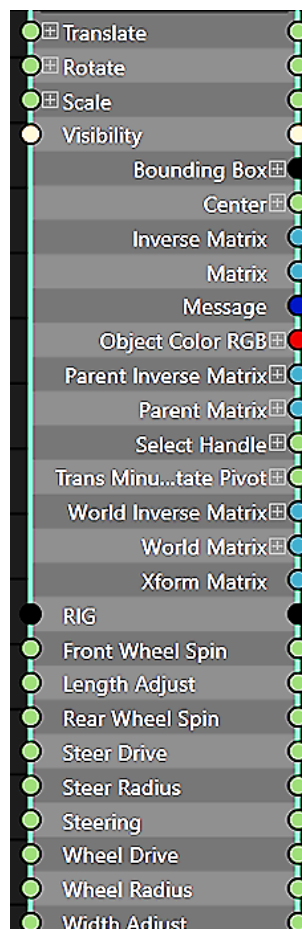


Рис. 3.16 – Атрибути управляючою кривої контролю руху

Вихідними є атрибути залежних об'єктів. Значення отримуються завдяки використанню спеціальних математичні вузлів *Maya multiplyDivide* і *plusMinusAverage*, які дозволяють створювати прості математичні формули.

2. Залежні атрибути. Якщо додаткові операції над вхідними атрибутами не потрібні, вони з'єднуються у редактор з'єднань (*Connection Editor*). Інтерфейс редактора має вікна, розташовані поруч один з одним, де можна переглянути два підключені вузли для вхідних та вихідних аргументів.

Такий підхід використаний у випадках:

- урахування зміщення залежних елементів підвіски від переміщення колес по осі *Y* під впливом деформації поверхні;
- урахування зміни кута повороту керма (рис. 3.17) та інші моменти.

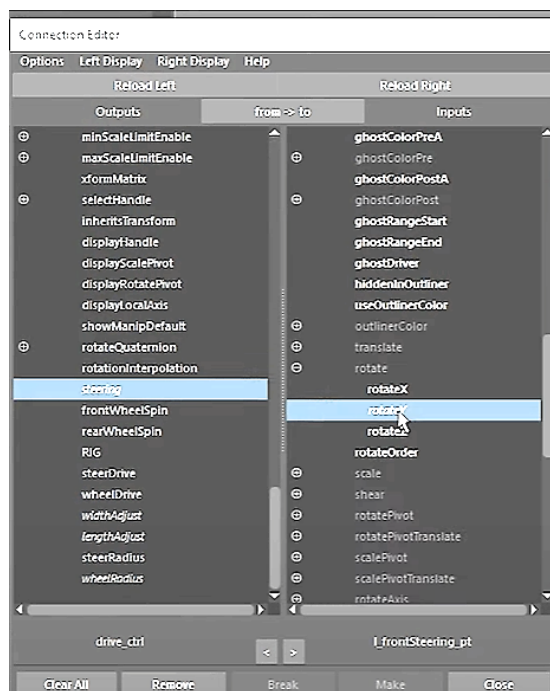


Рис. 3.17 – Встановлення зв'язку між кутом повороту керма та поворотом колеса

2.5 Визначення методики анімації

1. Використання методу ключової анімації.

Створене налаштування та встановлені зв'язки дозволяють частково автоматизувати процес анімації моделі.

З технічної точки зору анімація – це зміна атрибутів у часі. Автоматизація дає можливість задавати лише вхідні дані, решта розраховується рушієм.

Завдання вхідних даних відбувається за технологією ключових кадрів. Для анімації руху автомобіля достатньо встановити ключові значення повороту керма та зміщення по осі Z. Проміжні кадри інтерполюються рушієм.

2. Використання анімаційних виразів.

Вирази є альтернативою складним завданням ключових кадрів для анімації атрибутів, яку можна формалізувати. Вираз – це формула, яка розраховується під час відтворення анімації.

Вирази ефективні для анімації атрибутів, які змінюються поступово, випадково або ритмічно з часом. Наприклад, доречно створити вираз для анімації склоочисників.

3. Використання анімаційних скриптів.

Під час анімації колісного транспортного засобу застосування належної кількості обертання до шин може бути складним. В цьому випадку доречно створити анімаційний скрипт. Найбільш простий і доступний інтерфейс програмування *Maya* – це вбудований язык *MEL (Maya Embedded Language)*.

Висновок до третього розділу

1. Були сформовані базові положення методики, обговорені вихідні дані та умови застосування
2. Розроблена методика призначення опорних точок, прив'язки вершин, методів застосування обмежувачів.
3. Визначена методика анімації з використання зроблених налаштувань.

					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

РОЗДІЛ 4

АПРОБАЦІЯ МЕТОДИКИ

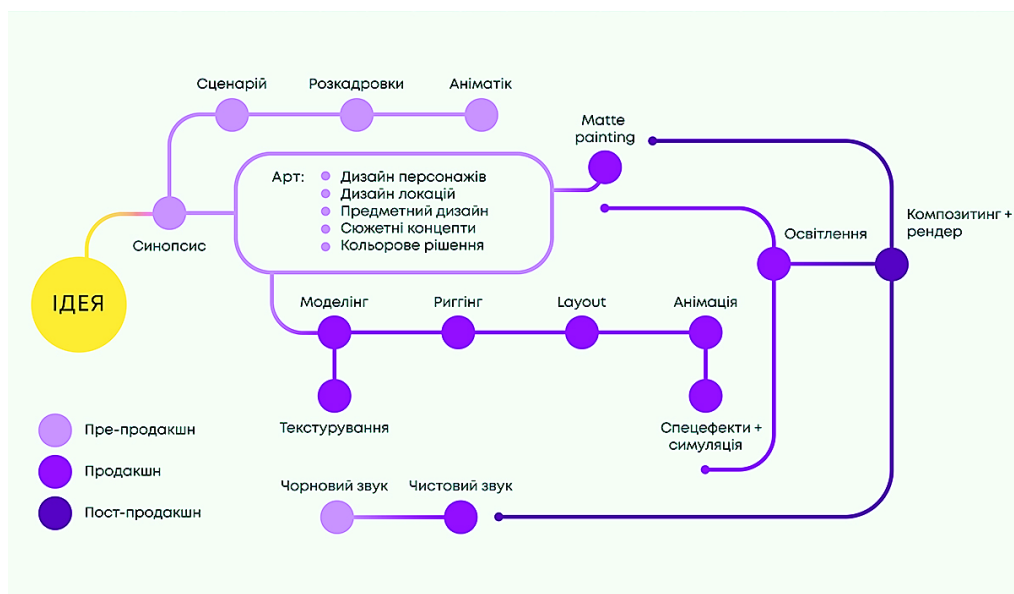
4.1 Розробка пайплайну

Пайплайн – це процес розробки (підготовки, виробництва), програмний конвеєр створення будь-якого «продукту». Відносно 3D (тривимірної) комп'ютерної графіки пайплайн – це ланцюжок процесів перетворення сценарію (вхідних даних) в 3D (стереоскопічну) картинку або в послідовність картинок (відео).

Пайплайн для гармат, техніки та предметів трохи відрізняється від пайплайну для персонажів чи будівель. Змінюються програми та технічні вимоги, проте порядок етапів залишається незмінним.

Незмінними залишаються лише три основні етапи:

1. Препродакшн – формування ідеї та концепції.
2. Продакшн – робота з усіма завданнями. Проводиться в редакторі тривимірної графіки *Autodesk Maya*.
3. Постпродакшн – корекція, збирання готового матеріалу. Проводиться в редакторі *Adobe After Effects* – програмне для редагування відео та динамічних зображень, розробки композицій.



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

КРМ.КІ.1.805-03.1.11

Арк.

67

Препродакшн.

1. Ідея. Це стартовий майданчик, який визначає наповнення кожного наступного етапу процесу. Ідея визначає рамки проекту. Якщо дотримуватись цих рамок, фінальний результат буде цілісним.

2. Сценарій. Зібрану інформацію сортують, аналізують та створюють логічні ланцюжки. Визначаються герої, локації, проблематика та сюжетні повороти.

3. Дизайн. Створенню всіх візуальних образів (*visual development*) надається велике значення. Завдяки грамотному, усвідомленому дизайну, проекту вдається донести ідею.

4. Концепція. Її суть у тому, що всі дизайн-рішення пов'язані між собою та працюють на одну ідею. Для цього оцінюють інформацію зі сценарію та з'ясовують технічні можливості реалізації. Крім дизайну персонажів важливою візуальною складовою є віртуальні світи, де відбуваються події. Такі світи завжди мають певні візуальні характеристики, щоб легко орієнтуватися в сюжеті.

Продакшн.

1. Моделювання – формування всіх об'єктів.

1.1. Моделювання починається з визначення референсів. Референс (від англ. *Reference*) – відсилка до джерела, довідкова інформація. Довідковою інформацією зазвичай виступають картинки або відео. Для моделей референсами є фотографії архітектури, тварин, креслення автомобілів і т.д.; для текстурування це приклади фактур і текстур, якими будуть пофарбовані 3D моделі (фотографії тканини, шкіри, бетонної стіни, металевої іржавої труби і т.д.); для анімацій – це відео потрібних рухів; для візуалізації – це приклади освітлення, властивостей матеріалів, щоб зрозуміти як світло відбивається, поглинається, як поширюється усередині об'єму і т.д.

1.2. Безпосередньо моделювання починається зі створення це спрощена версія всієї моделі, драфту (форми та силует). Потім відбувається блокінг – це робота над силуетом, правильними пропорціями моделі, начерк моделі великими

					КРМ.КІ.1.805-03.1.11	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

формами з примітивів, який передає суть об'єкта. Далі йде деталізація. На цьому етапі проробляються механіки моделі, визначається її функціональність.

1.3. Далі створюється полігональна сітка. Зазвичай після деталізації створюється високополігональна (*highpoly*) модель. На ній немає обмежень за кількістю полігонів. Завдання високополігональної моделі – відтворити всі деталі конструкції. Високополігональна модель не придатна для розгортки та анімації.

1.4. Ретопологія – процес переходу від високополігональної до низькополігональної (*lowpoly*) сітки. Високополігональна модель потрібна лише для запікання деталей та фасок на низькополігональну. Низькополігональна модель – це максимально легка 3D модель, в якій кожна площина, грань і вершина мають функціональне завдання: впливають на силует, правлять відблиск, вирішують завдання розгорнення і так далі.

1.5. Розгортання – це створення проєкції моделі на *UV* площину. *UV*-розгортка – це відповідність між координатами на поверхні тривимірного об'єкту (X, Y, Z) і координатами на текстурі (U, V). Розгортається низькополігональна модель. Після того, як модель розгорнута, на неї можна буде накладати необхідні текстурні карти.

1.6. Запікання — це процес перенесення) деталізації з високополігональної моделі на низькополігональну. Ця технологія дозволяє створювати величезну деталізацію на дуже легких модельках. Дрібні деталі (пом'ятості, круглі фаски, зварювальний шов, фактури та інші) на лоуполі імітуються картою нормалей.

2. Текстурування. Це етап фарбування лоуполі моделі. В сучасних проєктах використовується фізично коректний рендер – *PBR*. Суть цієї технології в використанні різних типів текстурних карт: карта чистого кольору, карта, що відповідає за силу відображень, карта, що передає гладкість/шорсткість поверхні, і карта, яка відповідає за розмір відблиску.

3. Рігінг та скінінг.

					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

3.1. Рігінг (*Rigging*) – це технічний етап, сутність якого у створенні шарнірного скелета всередині моделі. Скелет складається із взаємозалежних опорних точок, які потрібно поєднати між собою, щоб модель рухалась правдоподібно.

3.2. Скінінг (від англ. *skin* – шкіра) – прив'язка полігональної сітки до скелету. Задання вагів прив'язки, які вказують на рівень впливу опорної точки на вершини полігональної сітки.

3.3. Створення управляючих елементів. Для зручності використання до скелету додаються управляючі елементи. Вони є звичайними кривими, що виступають за межі полігональної сітки, на відміну від кісток, які знаходяться усередині моделі.

4. Дизайн сцени (*Layout*). Мова йде про створення заготовок для всіх локацій, щоб протестувати та налаштувати роботу камер, визначити масштаб та рельєф місцевості.

5. Постановка та анімація.

Готові 3D-моделі поміщають у підготовлені сцени і надають руху з використанням різних технологій. Вибір технології залежить від типу руху об'єкту та способу взаємодії з іншими об'єктами. Анімація може бути створена з використанням створених на етапі рігінгу управляючих елементів. Для анімації також можна скласти вираз або скрипт.

6. Освітлення

Освітлення дозволяє створювати різні ефекти світла та тіні, щоб надати сценам реалізму та атмосферності.

7. Візуалізація.

Це процес створення остаточних зображень із використанням спеціального програмного забезпечення.

					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Постпродакшен.

1. Композитінг. На цьому етапі різні елементи різних шарів об'єднуються в єдине зображення за допомогою спеціальних програм.
2. Звукове оформлення. Складання та зведення звуку.
3. Фінальна корекція зробленого матеріалу: невеликі спецефекти у вигляді *blur*, світлокорекція, баланс чорного та білого.

4.2 Сюжет і основні концепти

Для апробації сформованої методики потрібно створити демонстраційний відеоролик.

1. Ідея. Початок роботи над мультиплікаційним фільмом починається з розробки загальної концепції, написання сюжету, створення сценарію і розбиття його на сцени та епізоди. Основне завдання сценарію – продемонструвати основні положення методики. Для цього обрана наступна сюжетна лінія: автомобіль везе вантаж, при цьому погодні умови, навколишнє середовище та декорації змінюються.

2. Сюжет. На основі сюжетної лінії визначається набір мультиплікаційних кліпів:

- 2.1. Вантажівка їде по звивистій дорозі, небо вкрито хмарами, моросить дощ. Камера рухається перед вантажівкою, фіксує роботу склоочисників, забруднення лобового скла та фари.
- 2.2. Декорації ті ж самі, але камера фіксується на русі колес. Колеса повертаються під впливом повороту керма.
- 2.3. Сцена із технічним приміщенням, декораціями у вигляді рослин та каміння. Небо ясне, тому лобове скло прозоре. Демонструється відкриття дверей.
- 2.4. Та сама сцена. Демонструється робота підвіски. Вантажівка рухається по спеціально створеним нерівностям ґрунту.
- 2.5. Та сама сцена. Демонструється робота підйомний механізм кузова.

					КРМ.КІ.1.805-03.1.11	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

3. Персонажі. Головним об'єктом сцени є вантажівка. Модель достатньо деталізована для можливості демонстрації роботи основних вузлів. Персонаж Водій залишається в одній позі на протязі всього сюжету. Змінюється лише положення рук при демонстрації поворота керма.

4. Звуковий ряд. Фоновий трек встановлюється на увесь ролик.

При формуванні об'єктів і оточення треба домогтися балансу між реалістичністю зображень і часом візуалізації. Тому персонажі і оточення не повинні бути занадто складними: не завищувати кількість полігонів, не використовувати високі налаштування текстур.

4.3 Створення моделей

Моделювання – тривалий складний процес. В розпорядженні аніматорів існують ресурси тривимірних моделей вільного використання. Таким чином отримані моделі вантажівки та об'єктів сцени.

1. Вантажівка (рис. А.1). Самоскид *Mercedes Benz LP*. Моделювання зроблено в *Cinema 4D*, текстурювання – у *Substance Painter* і *Photoshop*. Формат імпортованого файлу *fbx*.

Потребує додаткового налаштування текстур:

- текстура шин: створено рельєфну карту для протектору шин;
- текстура віконного скла: карта прозорості, що відповідає забрудненому лобовому склу;
- текстура скла фар: налаштована прозорість та відтінок;
- текстура ламп фар: налаштовано люмінесцентну здатність матеріалу.

2. Оточення. Споруда технічного приміщення (рис. А.2). Формат імпортованого файлу *obj*.

Особливості моделі:

- приблизно 10881 полігонів;
- має внутрішню передню частину, яку видно через скляні вхідні двері;

					КРМ.КІ.1.805-03.1.11	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- має відкритий салон, який можна побачити, сховавши великі вхідні двері;
- містить *UV*-карту та карти текстури у форматі *jpg*.

Потребує додаткового налаштування матеріалу з додаванням текстурних карт у відповідні вузли.

3. Звивиста дорога (рис. А.3). Низькополігональний ігровий ресурс, змодельований та текстурований в *Blender*. Формат імпортованого файлу *fbx*.

Потребує додаткового налаштування люмінесцентного матеріалу дорожнього освітлення.

4. Водій. Завантажено з ресурсу *mixamo*. Персонаж має оснащення скелетом. На рисунку А.4 персонаж знаходиться у початковій позі.

Моделі надається поза За кермом (рис. А.5) та у форматі *fbx* імпортується до сцени.

5. Елементи оточення. Для формування оточення завантажені моделі дерева, кущів та каменів (рис. А.6).

Моделям надається потрібний розмір, поворот та положення. Додатково редагуються текстури.

4.4 Створення опорних точок

Оснащення моделей полягає у підготовці рухомих частин об'єктів для спільної анімації. Спочатку об'єкти потрібно розділити та згрупувати за призначенням. Створено наступна структура елементів (рис. Б.1):

1. Базова частина:

- рама;
- підвіска;
- інші елементи.

2. Ходова частина:

- колеса;
- рульова;

					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- амортизатори.

3. Кузовна частина:

- ківш;
- підйомний механізм.

4. Кабіна:

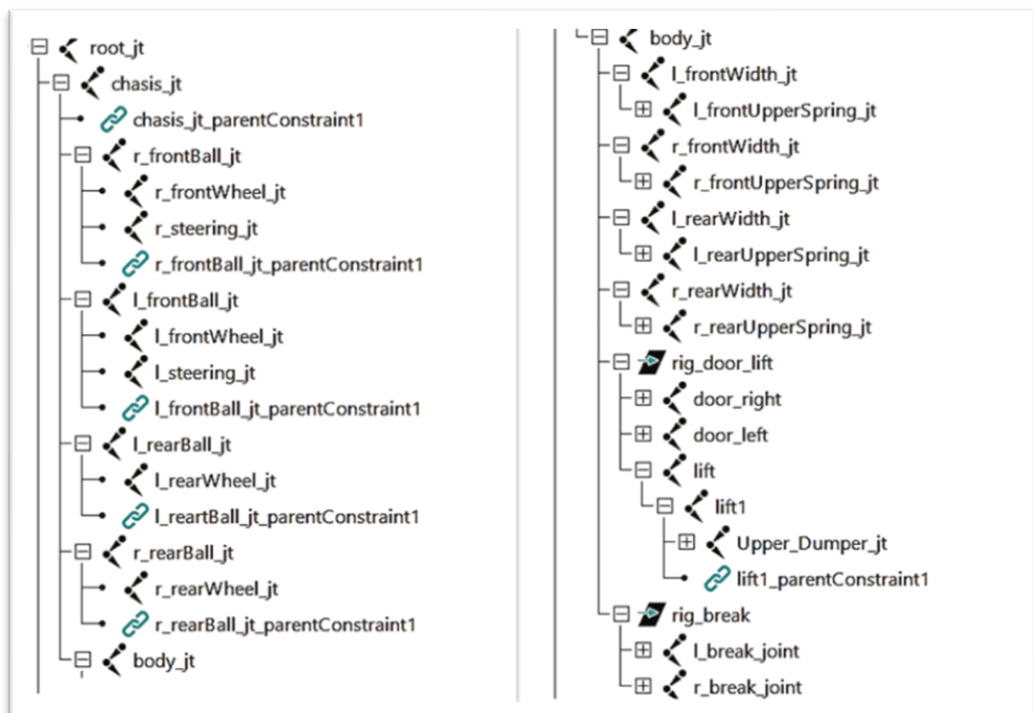
- зовнішні елементи;
- внутрішні елементи;
- двері;
- кермо.

Всім компонентам призначаються такі імена, щоб було легко ідентифікувати кожен елемент сцени.

Елементи згруповані за рівнями візуалізації. Це дає змогу відокремлювати потрібні елементи від інших для зручності роботи з ними (рис. Б.2).

Автомобіль має бути в центрі сітки, видаляється історію трансформацій, заморожуються перетворення, Опорні точки окремих елементів розміщуються у центрах ваги.

Опорні точки встановлюються у визначені методикою позиції (рис. В.1 – В.9). В підсумку опорні точки складають ієрархію (рис. 4.2).



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

Рис. 4.2 – Ієрархія опорних точок

Вкладена позиція в ієрархії відтворює технологію прямої кінематики. Тобто рух батьківської опорної точки викликає відповідний рух дочірньої опорної точки. Наприклад, опорна точка *Chasis_jt* (початок ієрархії рухомої частини Шасі) є батьківською для опорної точки *Body_jt* (початок ієрархії рухомої частини Тіло), що призводить до руху Тіла внаслідок зміщення Шасі.

Так само внаслідок зміщення Шасі переміщуються колеса та рульова система.

4.5 Прив'язка вершин

Для прив'язки вершини до опорних точок використовується інструмент *Bind Skin*.

Використання методу жорсткого зв'язування реалізується через завдання ваги, що дорівнює 1, для певної опорної точки.

Якщо опорна точка одна, як у колеса, то встановлюються налаштування:

- тип прив'язки: обрані опорні точки;
- кількість впливаючих опорних точок = 1 (рис. 4.3).

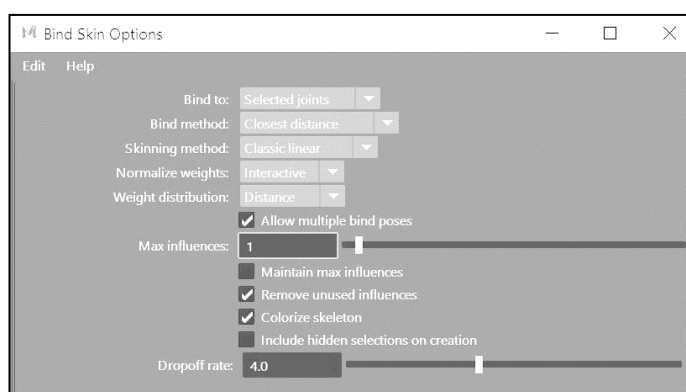


Рис. 4.3 – Налаштування жорсткого зв'язування для однієї опорної точки

Якщо у жорсткому зв'язуванні задіяні декілька точок, як для рухомої області Тіло, то встановлюються налаштування:

- тип прив'язки: обрані опорні точки;
- кількість впливаючих опорних точок = 4.

4.6 Зв'язування атрибутів

4.6.1 Ієрархічні зв'язки та обмежувачі

Деякі елементи вже пов'язані дочірніми зв'язками внаслідок надходження опорних точок, до яких вони прив'язані, в ієрархію. Але не всі типи зв'язків можна реалізувати лише через ієрархію.

Варіантом зв'язування є використання обмежувачів. Методика визначення методів зв'язування атрибутів вказує, до яких саме елементів застосовуються певні обмежувачі.

1. В більшості випадків використовується обмежувач *Parent*. Перш за все, це обмеження застосовується для зв'язування опорних точок до управляючих кривих. Управляючі криві між собою пов'язані ієрархічними відносинами (рис. 4.6).

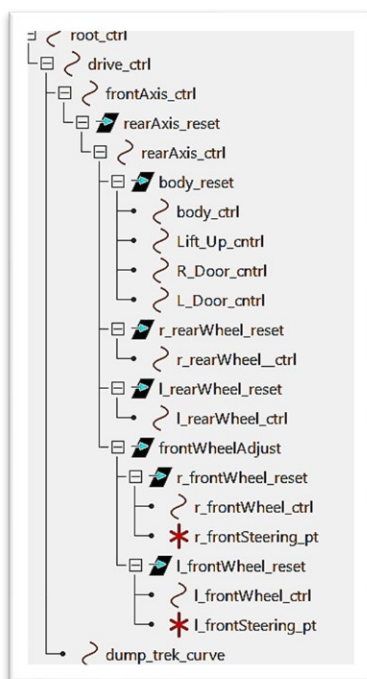


Рис. 4.6 – Ієрархія управляючих кривих

2. Особливість використання обмежувача Aim до об'єктів, що розтягуються, полягає в тому, що до одної опорної точки обмежувач

застосовується з позитивним напрямом вектора, а до другої – з негативним (рис. 4.7).

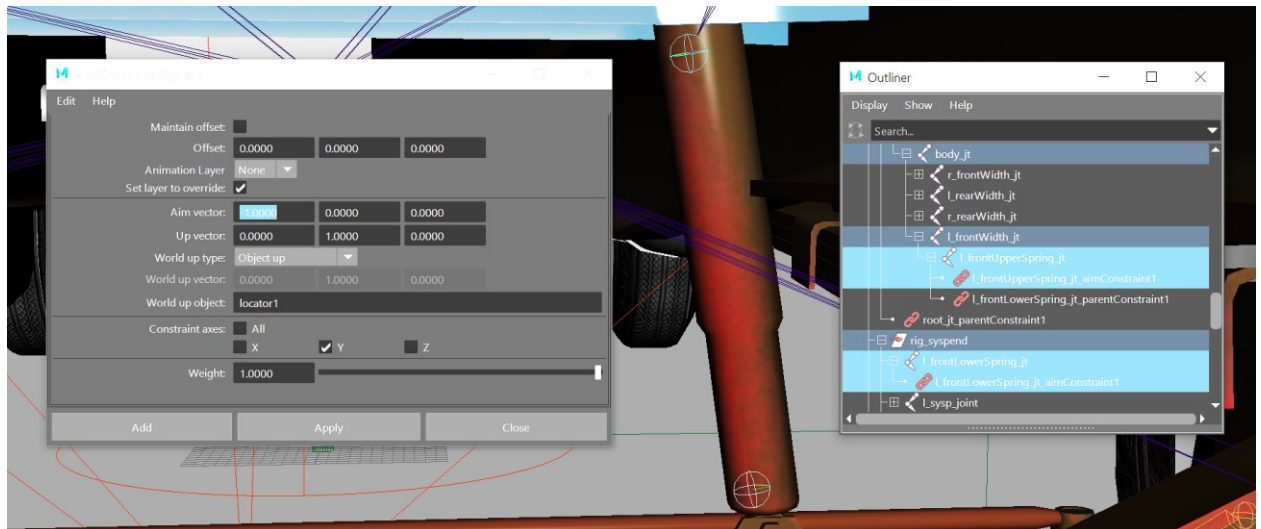


Рис. 4.7 – Застосування обмежувача Aim

3. Обмежувач *Point* (Точка) пов'язує опорну точку об'єкта, що обмежується, з опорною точкою мішені. Використовується для прив'язки опорної точки ліфту підйомного механізму та кріплення борту кузову (рис. 4.8).

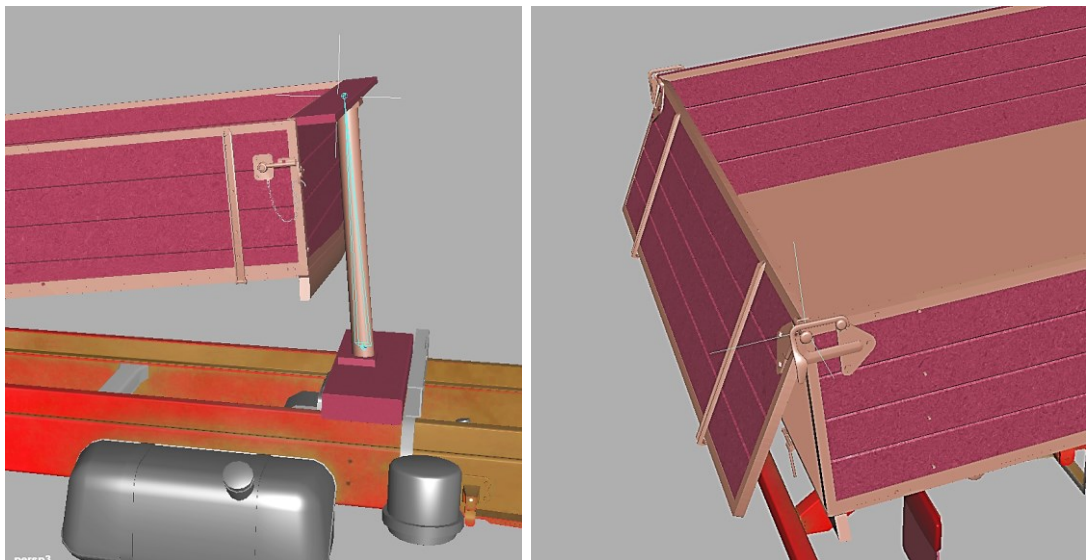


Рис. 4.8 – Застосування обмежувача point

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

4.6.2 Зв'язування атрибутів у *Node Editor*

Ключову роль має управляюча крива Контроль руху (*drive_ctrl*). Додатково до параметрів трансформації, були створені наступні атрибути (рис. 4.9):

- руління (*steering*) – відповідає за прийом значень куту оберту керма;
- рульовий привід (*steer drive*) – відповідає за передачу даних куту оберту керма від управляючої кривої обертання керма;
- колісний привід (*wheel drive*) – відповідає за узгоджені рухи коліс;
- обертання переднього колеса (*front wheel spin*) – відповідає за визначення параметрів обертання передніх коліс;
- обертання заднього колеса (*rear wheel spin*) – відповідає за визначення параметрів обертання задніх коліс;
- радіус колеса (*wheel radius*) – відповідає за прийом значень радіусу колеса від параметрів моделі
- радіус керма (*steer radius*) – відповідає за прийом значень радіусу керма від параметрів моделі.

drive_ctrl	
Translate X	0
Translate Y	0
Translate Z	0
Rotate X	0
Rotate Y	0
Rotate Z	0
Steering	0
Front Wheel Spin	0
Rear Wheel Spin	0
RIG	ADJUST
Steer Drive	0
Wheel Drive	0
Width Adjust	20
Length Adjust	0
Steer Radius	35
Wheel Radius	35

Рис. 4.9 – Атрибути кривої Контроль руху

Основні прорахунку руху відбуваються для аргументу Колісний привід (wheel drive). Для цього створений скрипт. Отримані дані підсумовуються і передаються аргументам обертання коліс. Передача даних відбувається через встановлення зв'язків між аргументами, для чого використовується редактор *Node Editor* (рис. Г.1).

Аргумент Радіус керма використовується для визначення зміщення рульової рейки, для чого створюються відповідні зв'язки (рис. Г.2).

Значення аргументу Рульовий привід (*steer drive*) визначається на підставі радіус колеса, радіус керма, куту обертання керма. Для цього створюються відповідні зв'язки (рис. Г.3).

Обертання колеса встановлюється в залежності від обертання керма (рис. Г.4).

Демпферні елементи управляються через вузли *Front_Arm* та *Rear_Arm* для передніх та задніх елементів відповідно. Створюється протилежне зміщення верхнього кріплення та нижнього. Для завдання протилежного напрямку для встановлених зв'язків (Рис. Г.5, Г.6) задається від'ємне значення вектору (рис. 4.10).

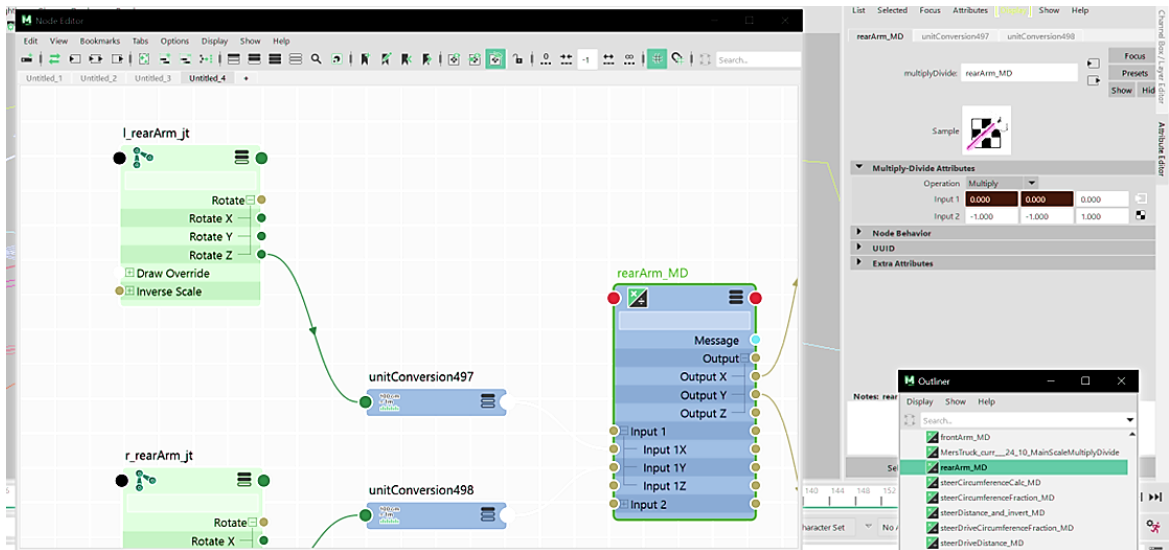


Рис. 4.10 – Встановлення напрямку вектору дії

4.7 Анімація

4.7.1 Створення анімаційних виразів та скриптів

Вирази застосовані для прорахунку автоматичного руху склоочисників.

Склоочисник складається з двох об'єктів: рукоятка та щітка. Склоочисник має бути в положенні «у спокої»: щітка лежить трохи вище вітрового скла, не проникаючи в нього.

В налаштуванні використовуються три кістки:

- перша кістка буде розташована у точці повороту двірника («Корінь»);
- друга кістка буде служити шарніром важеля склоочисника, що дозволить йому провести лезом по лобовому склі.
- третя кістка буде шарніром для щітки склоочисника, щоб вона могла залишатися орієнтованою по лобовому склу під час руху по ньому.

Кістки переміщуються у потрібне положення та зорієнтуються, щоб кожна з них правильно впливала на об'єкт. Лезо було розташоване на одній лінії з лобовим склом і якомога ближче, не проникаючи в нього. Для цього використовується обмежувач *Geometry*.

Склоочисник обертається навколо осі Z. Загальний вираз (рівняння) для склоочисників:

$$rZ = (\sin (0.9 * time) * Angle) + Position \quad (4.1)$$

де

rZ – вісь обертання;

Angle – кут витирання;

Position – початкове положення склоочисника.

Тоді при заданих значеннях вираз перетвориться в наступний

$$rY = Wipers_On_Off * (\sin (0.9 * frame * 60) + 330)$$

									Арк.
									81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат					

Таким чином створюється циклічний рух склоочисників, що можна простежити в редакторі *Graph Editor* (рис. 4.11).

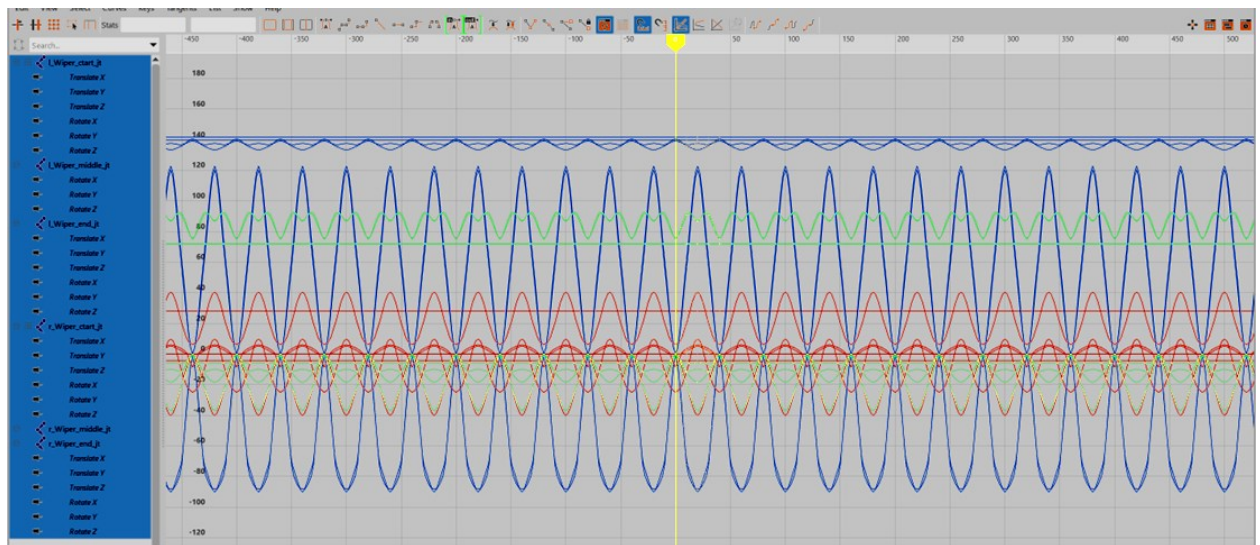


Рис. 4.11 – Циклічний рух склоочисників

Для розрахунку значень аргументу Колісний привід (*wheel drive*) створений скрипт *car_expression* на вбудованій мові MEL (*Maya Embedded Language*).

Листінг 4.1 Скрипт розрахунку значень аргументу Колісний привід

```
global vector $vPos = << 0, 0, 0 >>;
float $distance = 0.0;
int $direction = 1;
vector $vPosChange = `getattr drive_ctrl.translate`;
float $cx = $vPosChange.x - $vPos.x;
float $cy = $vPosChange.y - $vPos.y;
float $cz = $vPosChange.z - $vPos.z;
float $distance = sqrt( `pow $cx 2` + `pow $cy 2` + `pow $cz 2` );
float $angle = drive_ctrl.rotateY%360;

if ( ( $vPosChange.x == $vPos.x ) && ( $vPosChange.y != $vPos.y ) && ( $vPosChange.z == $vPos.z ) ){
else {
    if ( $angle == 0 ){
        if ( $vPosChange.z > $vPos.z ) $direction = 1;
        else $direction=-1;}
    if ( ( $angle > 0 && $angle <= 90 ) || ( $angle <- 180 && $angle >= -270 ) ){
        if ( $vPosChange.x > $vPos.x ) $direction = 1 * $direction;
        else $direction = -1 * $direction; }
    if ( ( $angle > 90 && $angle <= 180 ) || ( $angle < -90 && $angle >= -180 ) ){
        if ( $vPosChange.z > $vPos.z ) $direction = -1 * $direction;
        else $direction = 1 * $direction; }
    if ( ( $angle > 180 && $angle <= 270 ) || ( $angle < 0 && $angle >=
```

```

-90 ) ){
if ( $vPosChange.x > $vPos.x ) $direction = -1 * $direction;
else $direction = 1 * $direction; }
if ( ( $angle > 270 && $angle <= 360 ) || ( $angle < -270 && $angle
>= -360 ) ) {
if ( $vPosChange.z > $vPos.z ) $direction = 1 * $direction;
else $direction = -1 * $direction; }
drive_ctrl.wheelDrive = drive_ctrl.wheelDrive + ( ( $direction *
(( $distance / ( 6.283185 * drive_ctrl.wheelRadius )) * 360.0
)); }
$vPos = << drive_ctrl.translateX, drive_ctrl.translateY,
drive_ctrl.translateZ >>;

```

4.7.3 Використання динамічної анімації

Для створення складних наборів об'єктів однотипного вигляду і подібної поведінки використана Система частинок *Maya*.

Частинки включаються до сцени з використанням *Point-omni* (Точковий всеспрямований) генератора. В цьому випадку Частинки поширюються з однієї точки у всіх напрямках. Частинки можуть брати участь у зіткненнях з поверхнями об'єктів сцени та перебувати під впливом різних полів. Установка *Make Collide* (зіткнення) працює незалежно від того, чи рухаються система частинок та опорна площина.

Для заміни довільного об'єкта системою частинок служить функція *Instancer* (Примірник).

Така технологія використана при моделюванні вантажу цегли. Робочий процес використання системи частинок наступний:

- створення об'єкту-примірника (цеглина);
- створення форми-обмежувача;
- створення генератора частинок всередині форми;
- призначення пасивного колайдери до форми, бортів кузова та поверхні ґрунту;
- редагування атрибутів *nParticle Collisions* (об'єм та силу зіткнення, ширину самозіткнення);
- редагування атрибутів динаміки частинок (гравітацію, тертя);
- встановлення довільного значення повороту для масиву частинок;

					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

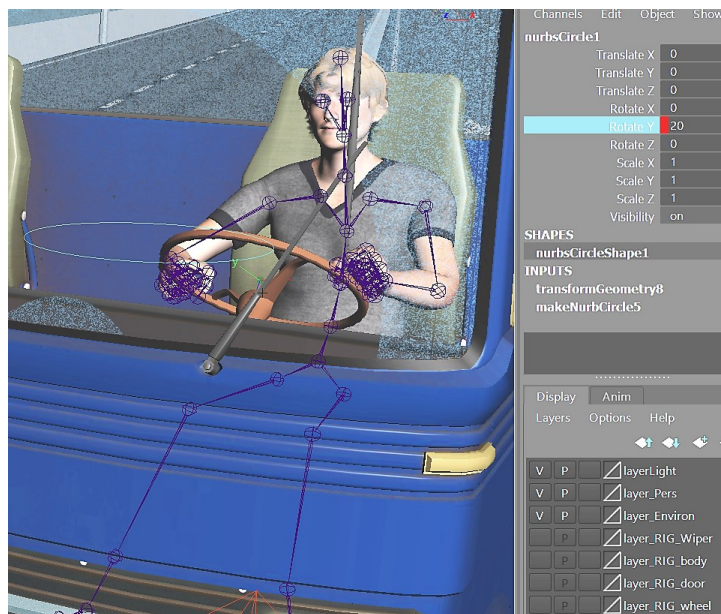


Рис. 4.13 – Ключові кадри зміни положення рук персонажу-водія при крутінні керма

4. Використовується для анімації знімальної камери, яка повинна примати у полі зору певні рухомі частини вантажівки.

4.8 Підготовка відеоматеріалу

4.8.1 Налаштування освітлення

Для візуалізації сцени обраний рендер *V-ray*. На відміну від більшості тривимірних движків, і на відміну від стандартного движка, движок *V-ray* симулює відбите світло, а також симулює пучки світла, які переломлені або відбиті від викривленої поверхні або об'єкта.

В якості ключового джерела світла використані два освітлювача *VRayLightRectShape1* із набору освітлювачів рендер *V-ray*. Їх призначення освітлювати головну точку зйомки, реалізовувати карту шорсткості та створювати природні тіні.

За допомогою спеціального джерела світла *VrayDome* вирішується питання зі створенням небесного куполу. Атрибут *texture* заповнюється файлом із зображенням *HDR*-формату, яке є сферичним зображенням в 360 градусів і обертається навколо сфери. *VrayDome* буде використовуватися для освітлення і відображення навколишнього середовища, тому обраний рисунок із зображенням хмарного неба.

						<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк. 85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат			

За допомогою джерела світла типу прожектор (*spotLight*) створюється імітація світіння передніх фар.

Точкове джерело світла використовується для освітлення кабіни водія (рис. 4.14).

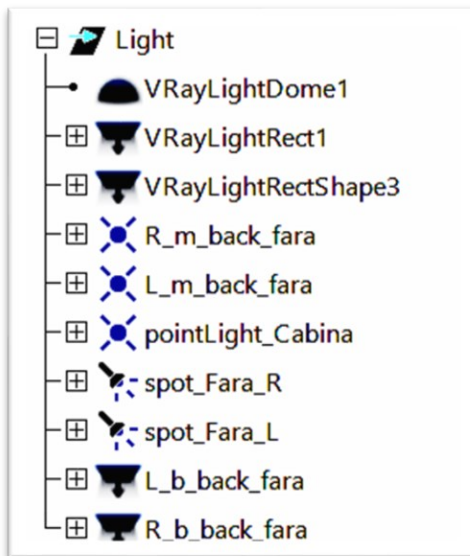


Рис. 4.14 – Джерела світла

4.8.2 Візуалізація та монтаж

Стадія візуалізації виконується комп'ютером, який обраховує сцену і створює набір растрових зображень для майбутнього фільму. Процес, при якому візуалізується послідовність кадрів називається пакетної візуалізацією (*batch rendering*). Перед запуском візуалізації потрібно налаштувати параметри:

1. Розмір кадру. Виражається в пікселях та підбирається в залежності від призначення зображення. Використано 1920×1080 пікселів.
2. Діапазон кадрів. Візуалізація анімації проводиться поетапно, що спрощує процес. Етапи визначаються проміжком кадрів, наприклад, 1 – 200.
3. Активна камера задає ракурс огляду. Встановлена камера, для якої створена анімація за ключовими кадрами.

4.8.3 Постобробка

Збірка відеоряду з кадрів секвенції відбувається в Програмі *Microsoft Movie Maker*, далі імпортується у програму *Adobe After Effects*, де відбувається монтаж, постобробка та накладання звуку.

Пост-продакшн передбачає здійснення наступних процесів:

- композитинг, тобто об'єднання візуальних елементів із різних джерел у єдине зображення, обробка переходів від одного відео до іншого;
- візуальна корекція кольору, стилізація;
- симуляція природних явищ;
- фінальна візуалізація у секвенцію з високими налаштуваннями рендеру;
- додавання титульних та заключних кадрів;
- фінальна збірка з додаванням звукоряду.

Висновок до четвертого розділу

1. Розроблений пайплайн процесу апробації сформованої методики.
2. Описані основні етапи пайплайну.
3. Описані способи реалізації методики.
4. Описаний процес створення фінального відеоролику.

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

У сучасних умовах розвитку комп'ютерної техніки та технологій все більшого поширення набуває використання анімаційних моделей для відображення руху транспортних засобів. Анімація транспортних засобів дозволяє створювати реалістичні відео та візуальні ефекти, що використовуються в різних сферах, таких як кіно, телебачення, ігри, реклама та ін. Метою даної дипломної роботи є формування методики анімації транспортного засобу із залежною підвіскою.

					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

5.1 Порівняльний аналіз методів анімації транспортного засобу та конкурентів

Таблиця 5.1

Порівняльний аналіз методик анімації транспортних засобів

Назва	Переваги	Недоліки
Методики, що базуються на деформації моделі транспортного засобу.	У цих методиках рух транспортного засобу моделюється шляхом деформації його геометричної моделі.	Ці методики є більш простими у реалізації, але вони не забезпечують високої реалістичності руху.
Методики, що базуються на використанні динамічних моделей.	У цих методиках рух транспортного засобу моделюється шляхом вирішення системи диференціальних рівнянь, що описують його рух.	Ці методики другої групи забезпечують більш високу реалістичність руху, але вони є більш складними у реалізації та вимагають значних обчислювальних ресурсів.

Запропонована методика анімації транспортного засобу із залежною підвіскою базується на використанні динамічної моделі транспортного засобу.

Ця модель складається з наступних компонентів:

- геометрична модель транспортного засобу;
- модель шин;
- модель підвіски;
- модель силового агрегату.

Геометрична модель транспортного засобу описує його зовнішній вигляд та розміри. Модель шин описує їхню еластичність та деформацію. Модель підвіски описує її динамічні характеристики. Модель силового агрегату описує характеристики двигуна та трансмісії.

					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Для реалізації запропонованої методики використовується наступний алгоритм:

1. Розрахунок початкових умов.
2. Розв'язання системи диференціальних рівнянь, що описують рух транспортного засобу.
3. Оновлення геометричної моделі транспортного засобу.

Розрахунок початкових умов включає в себе визначення положення, швидкості та прискорення транспортного засобу в початковий момент часу.

Розв'язання системи диференціальних рівнянь виконується чисельним методом.

Оновлення геометричної моделі транспортного засобу виконується на основі результатів розв'язання системи диференціальних рівнянь.

Впровадження запропонованої методики анімації транспортного засобу із залежною підвіскою дозволить підвищити реалістичність руху таких моделей. Це дасть можливість створювати більш якісні візуальні ефекти, що призведе до підвищення конкурентоспроможності продукції, що розробляється.

За оцінками, впровадження запропонованої методики дозволить:

1. Знизити витрати на розробку анімаційних моделей транспортних засобів на 15-20%.
2. Підвищити якість анімаційних моделей на 20-30%.

Запропонована методика анімації транспортного засобу із залежною підвіскою є ефективною та економічно вигідною. Вона дозволяє підвищити реалістичність руху таких моделей, що призведе до підвищення конкурентоспроможності продукції, що розробляється.

Таблиця 5.2

Основні конкуренти проекту "Анімація транспортних засобів"

Назва	Оцінка діяльності
-------	-------------------

					КРМ.КІ.1.805-03.1.11	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

<i>Autodesk</i>	Компанія є одним із провідних світових виробників програмного забезпечення для 3D-моделювання, анімації та рендерінгу. У її портфелі продуктів є динамічна модель підвіски для автомобілів, яка може використовуватися для анімації транспортних засобів із залежною підвіскою.
<i>Blender</i>	Компанія <i>Blender</i> є безкоштовним і відкритим програмним забезпеченням для 3D-моделювання, анімації, рендерінгу, комп'ютерної графіки та постобробки. У ньому є вбудовані інструменти для анімації транспортних засобів із залежною підвіскою.
<i>Unity</i>	Компанія є платформою для створення віртуальної та доповненої реальності. Вона пропонує широкий спектр інструментів для анімації транспортних засобів, включаючи динамічну модель підвіски.

Проект "Анімація транспортних засобів" має ряд переваг перед конкурентами:

1. Висока реалістичність руху. Запропонована методика анімації дозволяє враховувати всі особливості руху транспортного засобу, включаючи деформацію шин і підвіски.
2. Ефективність. Запропонована методика є ефективною з точки зору обчислювальних ресурсів.
3. Простота використання. Запропонована методика є простою у використанні, навіть для користувачів з базовими знаннями комп'ютерної графіки та анімації.

Ці переваги дозволяють проекту конкурувати з існуючими рішеннями на ринку та завоювати свою частку ринку. Для успішної реалізації проекту необхідно провести маркетингові дослідження, щоб визначити потреби ринку та

					<i>КРМ.КІ.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

конкурентне середовище. Також необхідно розробити ефективну маркетингову стратегію, яка дозволить просувати продукт на ринку.

5.2 Розрахунки економічної ефективності впровадження нового програмного продукту

Аналіз представлений в таблиці 5.2 показав основні недоліки аналогів – це висока ціна рендерінгу та складність використання сервісу, що потребує початкового досвіду в використанні.

Етапи виконання розділів кваліфікаційної роботи магістра:

1. Постановка технічного завдання: В цьому розділі представлені: формулювання мети створення хмарного сервісу з рендерінгу 3D моделей; аналіз існуючих систем хмарних обчислень та технологій рендерінгу 3D моделей, методи взаємодії клієнта з хмарним сервісом; порівняння існуючих аналогів, а саме їх характеристик, переваг та недоліків та ціноутворення рендерінгу за одиницю часу; огляд концепції двостороннього ринку у контексті рендерінгу 3D моделей; вимоги до розробки програмного продукту; постановка задачі. Термін виконання – 20 днів.

2. Розробка робочого проекту: опис архітектури та інфраструктури потрібних для сервісу; вибір технологій, інструментів та програмного забезпечення для реалізації; створення майданчику, де користувачі можуть бути як замовниками, так і надавачами рендерингових послуг; розробка механізму взаємодії між цими двома сторонами. На стадії робочого проекту створюється вся необхідна документація об'єкта (специфікації, пояснювальна записка, інструкції та ін.). Термін виконання – 1 місяць.

3. Техніко-економічна частина: проведення розрахунків собівартості та обґрунтування економічної доцільності впровадження даного програмного продукту. Термін виконання – 12 днів.

У кваліфікаційній роботі магістра представлений наступний склад робіт:

1. Технічне завдання. Термін виконання – 9-11 днів;

					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

2. Розробка програмного продукту. Термін виконання – 28-30 днів;
3. Розробка робочого проекту. Термін виконання – 30-35 днів;
4. Впровадження проекту. Термін виконання – 8-12 днів.

За структуру розроблювального проекту прийнята структура, орієнтована на результати проекту. Така структура заснована на побудові мережного графіка.

Таблиця 5.3

Склад робіт по життєвому циклу проекту.

№ код роботи	Назва роботи	T, дні
1-2	Збір та аналіз даних, існуючих сервісів	10
2-3	Аналіз вимог користувачів як замовників, так і виконавців	7
2-4	Визначення вимог до функціоналу сервісу та технічних можливостей	8
3-5	Визначення цілей та завдань проекту	5
4-5	Визначення плану розвитку сервісу	4

Продовження таблиці 5.3

№ код роботи	Назва роботи	T, дні
5-6	Створення архітектури, інфраструктури та інтерфейсу користувача	8
5-7	Розробка системи управління	16
6-8	Створення платформи для замовників та виконавців, включаючи механізми обміну послугами	23
7-8	Проведення тестів на функціональність, безпеку та продуктивність платформи	15
8-9	Виправлення недоліків після тестувань програмного продукту	6

9-10	Підтвердження закінчення розробки	6
9-11	Запуск платформи та старт роботи з першими користувачами	8
10-12	Підготовка звітів	8
11-12	Підготовка кадрів для експлуатації програмного продукту	6
12-13	Оцінка результатів проекту	5

За складом робіт складений мережевий графік рис. 5.2.

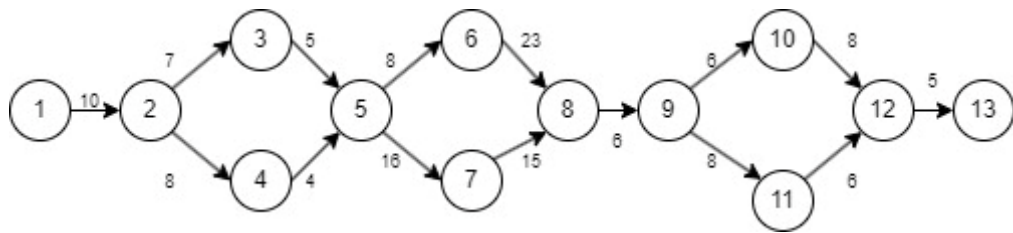


Рис. 5.2 – Мережевий графік проекту

Надалі проведемо розрахунок параметрів мережевого графіку. Для цього визначимо:

T – тривалість роботи; $T^{рп}$ – ранній початок роботи; $T^{рз}$ – раннє закінчення роботи; $T^{пп}$ – пізніший початок роботи; $T^{пз}$ – пізніше закінчення роботи; R_j – резерв часу події.

Таблиця 5.4

Розрахунок параметрів мережевого графіку

Попередня робота	Фактична робота	T	$T^{рп}$	$T^{рз}$	$T^{пп}$	$T^{пз}$	R_j
1	2	10	0	10	0	10	0
2	3	7	10	17	10	17	0
2	4	8	10	18	10	18	19
3	5	5	17	22	17	22	0
4	5	4	18	22	18	22	20
5	6	8	22	30	22	30	13

5	7	16	22	38	22	38	0
6	8	23	30	53	30	53	3
7	8	15	38	53	38	53	0
8	9	6	53	59	53	59	0
9	10	6	59	65	59	65	7
9	11	8	59	67	59	67	0
10	12	8	65	73	65	73	7
11	12	6	67	73	67	73	0
12	13	5	73	78	73	78	0

Тривалість критичного шляху 78 днів, не перевищує часу на проектування (73 дні), тому оптимізувати мережеву модель немає потреби.

Визначення трудомісткості розробки програмного продукту (ПП). Тривалість розробки ПП залежить від обсягу ІС, трудомісткості її розробки, кваліфікації кадрів, а також планових термінів, що диктуються умовами ринку. У якості вихідних даних для визначення трудомісткості розробки ІС визначається обсяг програмних засобів в тисячах умовних машинних команд програми-аналога. Вибравши аналог програмного засобу (ПЗ), що містить V_0 в умовних машинних командах. У даному проекті розробляється новий програмний продукт, який відповідає аналогу ПЗ організації обчислювального процесу с $V_0 = 1300$ умовних машинних команд із трудомісткістю $T_p = 244$ чол/год.

Трудомісткість розробки ІС повинна включати розробку наступних етапів: технічного завдання – ТЗ; технічного проекту – ТП; робочого проекту – РП; впровадження – ВП.

Трудомісткість розроблювального ІС визначається на кожному етапі окремо на підставі трудомісткості аналога, з урахуванням складності розробки, ступеня новизни та ступеня використання в розробці стандартних модулів на підставі формул 8.1–8.4:

$$T_{ТЗ} = T_p * L_1 * K_n \quad (5.1)$$

					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$T_{\text{тп}} = T_p * L_2 * K_n \quad (5.2)$$

$$T_{\text{рп}} = T_p * L_3 * K_n * K_T \quad (5.3)$$

$$T_{\text{вн}} = T_p * L_4 * K_n \quad (5.4)$$

де

T_p – укрупнення норма часу на розробку аналога ПЗ, чол/год, що коректується поправочним коефіцієнтом, що враховує умови розробки ПЗ, тобто в умовах комп'ютера, $K_n = 1,5$. У даному проекті $T_p = 244 * 1,5 = 366$ чол/год

L_j – питома вага і-го етапу розробки. У даному проекті залежно від ступеня новизни проекту (А): $L_1 = 0,15$; $L_2 = 0,16$; $L_3 = 0,55$; $L_4 = 0,14$.

K_n – поправочний коефіцієнт, що враховує ступінь новизни, у нашому випадку $K_n = 1,5$.

K_T – поправочний коефіцієнт, що враховує ступінь використання в розробці типових програм, $K_T = 0,7$.

При розрахунках прийняті наступні об'єми розробленої документації по етапах проекту:

$N_{\text{тз}} = 9$ – кількість сторінок технічного завдання;

$N_{\text{тп}} = 28$ – кількість сторінок технічного проекту;

$N_{\text{рп}} = 53$ – кількість сторінок робочого проекту;

$N_{\text{інстр}} = 11$ – кількість сторінок інструкції по налагодженню та впровадженню;

$N_{\text{пр}} = 82$ – кількість сторінок пояснювальної записки.

Розрахунок трудомісткості розробки ІС:

1. Технічне завдання

$$T_{\text{тз}} = T_p * L_1 * K_n = 366 * 0,15 * 1,5 = 82,35 \text{ чол/год}$$

$$T_{\text{кк}} = 0,7 * N_{\text{тз}} = 0,7 * 9 = 6,3 \text{ чол/год}$$

$$T_{\text{нк}} = 0,15 * N_{\text{тз}} = 0,15 * 9 = 1,35 \text{ чол/год}$$

2. Розробка технічного проекту (алгоритму й блок-схеми)

					<i>КРМ.КІ.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$T_{ТЗ} = T_p * L_2 * K_H = 366 * 0,16 * 1,5 = 87,84 \text{ чол/год}$$

$$T_{КК} = 0,7 * N_{ТП} = 0,7 * 28 = 19,6 \text{ чол/год}$$

$$T_{НК} = 0,15 * N_{ТП} = 0,15 * 28 = 4,2 \text{ чол/год}$$

3. Розробка робочого процесу

$$T_{ТЗ} = T_p * L_3 * K_H * K_T = 366 * 0,55 * 1,5 * 0,7 = 211,37 \text{ чол/год}$$

$$T_{КК} = 0,7 * N_{рп} = 0,7 * 53 = 37,1 \text{ чол/год}$$

$$T_{НК} = 0,15 * N_{рп} = 0,15 * 53 = 7,95 \text{ чол/год}$$

4. Налагодження і впровадження

$$T_{ТЗ} = T_p * L_4 * K_H = 366 * 0,14 * 1,5 = 76,86 \text{ чол/год}$$

$$T_{КК} = 0,7 * N_{інст} = 0,7 * 11 = 7,7 \text{ чол/год}$$

$$T_{НК} = 0,15 * N_{інст} = 0,15 * 11 = 1,65 \text{ чол/год}$$

5. Пояснювальна записка

$$T_{ТЗ} = 1,5 * N_{пз} = 1,5 * 83 = 124,5 \text{ чол/год}$$

$$T_{КК} = 0,7 * N_{пз} = 0,7 * 83 = 58,1 \text{ чол/год}$$

$$T_{НК} = 0,15 * N_{пз} = 0,15 * 83 = 12,45 \text{ чол/год}$$

Всього: $T_p = 82,35 + 87,84 + 211,37 + 76,86 + 124,5 = 582,92 \text{ чол/год}$

$$T_{КК} = 6,3 + 19,6 + 37,1 + 7,7 + 58,1 = 128,8 \text{ чол/год}$$

$$T_{НК} = 1,35 + 4,2 + 7,95 + 1,65 + 12,45 = 27,6 \text{ чол/год}$$

$$T_{общ} = 582,92 + 128,8 + 27,6 = 739,32 \text{ чол/год}$$

Тривалість розробки ІС у днях визначається за формулою 8.5:

$$T_{пп} = \Sigma T_{ij} / 5,84 \text{ дн.}, \quad (5.5)$$

де

ΣT_{ij} – сумарна тривалість розробки, год;

8 – тривалість робочого дня (коефіцієнт переказу в робочі дні), ч;

0,73 – коефіцієнт переведення в календарні дні.

					<i>КРМ.КІ.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						96
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

T_{ij} – трудомісткість j -го виду робіт по i -му етапу.

$$T_{\text{ип}} = 739,32 / 5,84 = 126 \text{ дн.}$$

Порівнюючи отримані результати з розрахунками тривалості розробки ІС за допомогою мережевої моделі, вибираємо для подальших розрахунків останнє значення, так як воно, на наш погляд, ближче до фактичної тривалості розробки ІС.

Визначення вартості програмного продукту. Ціна визначається за формулою:

$$Ц = К * V_{\text{ндр}} + П_p, \quad (5.6)$$

де:

$V_{\text{ндр}}$ – витрати на розробку програмної продукції (кошторисна собівартість);

$$К = 1,1;$$

$П_p$ – нормативний прибуток, розраховується за формулою:

$$П_p = С * P_n / 100,$$

де:

P_n – норматив рентабельності, $\% P_n = 20 \%$;

$С_m$ – матеріальні витрати.

$V_{\text{ндр}}$ визначаються на підставі складання кошторису витрат на проведення НДР у таблиці 8.7.

В кошторис також можуть введені додаткові статті витрат, наприклад, оренда приладів. Додаткові статті розміщують після статті “Амортизаційні відрахування”.

При визначенні витрат на матеріали враховують: вартість сировини та матеріалів для проведення досліджень з урахуванням додаткових накладних витрат (витрат на транспорт, комісійних зборів тощо), вартість канцелярських матеріалів (паперів тощо), вартість інших матеріалів (табл. 8.3)

Таблиця 5.6

					КРМ.КІ.1.805-03.1.11	Арк.
						97
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Витрати на матеріали

Найменування матеріалів	Ціна, грн/од	Кількість	Сума, грн.
Папір	150	2	300,0
Ручки	20	3	60,0
Інформаційні носії	200	1	200,0
Разом			560,0

Витрати по заробітній платі визначаються як сума заробітної плати усіх учасників НДР. Орієнтовний склад учасників, ступінь їх участі у НДР та заробітна плата наведені у таблиці 5.7.

Таблиця 5.7

Орієнтовний склад учасників НДР, їх заробітна плата та ступінь участі

Учасник НДР	Місячна заробітна плата, грн.	Тривалість роботи, міс	Ступінь участі, %
Студент-дослідник	5000	6	90
Науковий керівник роботи	10000	4	10

Основна заробітна плата виконавця з урахуванням окладу і часу.

$$Взп = 10000 * 40 * 0,1 / 22 + 5000 * 126 * 0,9 / 22 = 27590 \text{ грн}$$

Z_i – середньомісячний оклад

D_p – середня кількість робочих днів ($D_p = 22$)

K_0 – коефіцієнт обліку окладу консультантів проекту ($K_0 = 0,1$)

Додаткова заробітна плата 10 % від основної заробітної плати.

$$Взд = 27590 * 0,1 = 2759 \text{ грн.}$$

Єдиний соціальний внесок беруть у розмірі 22 % від величини заробітної плати.

					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк. 98
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Отже, витрати на електроенергію складуть 1830 грн.

Інші витрати беруть у розмірі 10 % від суми витрат по статтях 1-5.

Накладні витрати беруть у розмірі 30 % від суми витрат по статтях 1-6.

Таблиця 5.10

Кошторис витрат на проведення прикладних НДР

Найменування статей витрат	Сума витрат, грн.
1. Матеріали	560,0
2. Паливо та енергія	1830,0
3. Заробітна плата (основна і додаткова)	30349
4. Єдиний соціальний внесок	6676,78
5. Амортизаційні відрахування	1347,0
6. Інші витрати	1251,47
7. Накладні витрати	4075,88
Виробнича собівартість	46090,13
Адміністративні витрати 3,5 % від виробничої собівартості	1613,15
Витрати на збут – 1 % від виробничої собівартості	460,9
Всього повна собівартість	48164,18

Нормативний прибуток: $Pr = (48164,18 - 560) * 0,15 = 7140,63$ грн.

Ціна програмного продукту складе: $C = 1,1 \times 48164,18 + 7140,63 = 60121,23$ грн.

5.3 Визначення капітальних витрат

Розрахунок f капітальних витрат, пов'язаних з впровадженням (вдосконаленням) ІС здійснюється за формулою:

$$K = K_{\Pi} + K_{\text{ко}} + K_{\text{во}} + K_{\text{с}} \quad (5.7)$$

де

K_{Π} – довиробничі витрати;

$K_{\text{ко}}$ – вартість комп'ютерного устаткування: $K_{\text{ко}} = 8500$ грн.;

					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						100
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$K_{во}$ – вартість допоміжного устаткування: $K_{во} = 1500$ грн.;

K_c – вартість будівництва у зв'язку з впровадженням: $K_c = 0$.

$K_{п} = Ц = 60121,23$ грн. – передвиробничі витрати:

Розрахунок поточних (експлуатаційних) витрат

$$C = C_{опл} + C_a + C_{ел} + C_{п} + C_p + C_{всп} \quad (5.8)$$

де

$C_{опл}$ – річний фонд основної і додаткової оплати праці персоналу;

C_a – сума річних амортизаційних відрахувань від вартості основного і допоміжного устаткування;

$C_{ел}$ – вартість витрат на енергію за рік;

C_p – вартість річного ремонту:

$$6 \% K_{ко} = 510 \text{ грн.};$$

$C_{всп}$ – річна вартість допоміжних матеріалів на експлуатацію ІС:

$$2 \% K_{ко} = 170 \text{ грн.};$$

$C_{п}$ – вартість утримання приміщень:

$$C_{п} = 2500 \text{ грн.}$$

Річний фонд заробітної плати:

1. до впровадження програмного продукту дана задача вирішувалася двома співробітниками з окладом по 5000 грн/міс:

$$З_{осн}^{до} = (5000 * 2) * 12 = 120000 \text{ грн.}$$

2. після впровадження програмного продукту чисельність фахівців скоротилася до одного фахівця – адміністратор додатку з окладом 8000 грн.:

$$З_{осн}^{після} = 8000 * 12 = 96000 \text{ грн.}$$

Фонд додаткової заробітної плати:

					<i>КРМ.КІ.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						101
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$З_{\text{доп}} = З_{\text{осн}} * К_{\text{доп}} \quad (5.9)$$

де

$К_{\text{доп}}$ – коефіцієнт додаткової заробітної плати: $К_{\text{доп}} = 0,1$.

$$З_{\text{доп}}^{\text{до}} = 120000 * 0,1 = 12000 \text{ грн.}$$

$$З_{\text{доп}}^{\text{після}} = 96000 * 0,1 = 9600 \text{ грн.}$$

Єдиний соціальний внесок 22 %:

$$З_{\text{ЄСВ}}^{\text{до}} = (120000 + 12000) * 0,22 = 29040 \text{ грн.}$$

$$З_{\text{ЄСВ}}^{\text{після}} = (96000 + 9600) * 0,22 = 23232 \text{ грн.}$$

Загальні витрати на оплату праці:

$$С_{\text{опл}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} + З_{\text{ЄСВ}} \quad (5.10)$$

Разом:

$$С_{\text{опл}}^{\text{до}} = 120000 + 12000 + 29040 = 161040 \text{ грн.}$$

$$С_{\text{опл}}^{\text{після}} = 96000 + 9600 + 23232 = 128832 \text{ грн.}$$

Розрахунок амортизаційних відрахувань визначається за формулою:

$$С_{\text{а}} = К_{\text{кко}} * Н_{\text{а}} / 100 \quad (5.11)$$

де

$Н_{\text{а}}$ – норма амортизаційних відрахувань ($Н_{\text{а}} = 15 \%$)

$$С_{\text{а}} = 10000 * 0,15 = 1500 \text{ грн.}$$

Річна вартість споживаної електроенергії, визначається за формулою:

$$С_{\text{ел}} = М_{\text{у}} * Т_{\text{ко}} * Ц_{\text{э}} * К_{\text{и}} \quad (5.12)$$

де

$М_{\text{у}}$ – установлена сумарна потужність комп'ютерного устаткування

$$М_{\text{у}} = 0,6 \text{ кВт;}$$

					<i>КРМ.КІ.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						102
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$T_{ко}$ – річний фонд роботи ЕОМ з урахуванням часу на профілактичні

огляди: $T_{ко} = 6320$ год;

$Ц_э$ – вартість 1 кВт – години ел. енергії 3,05 грн.;

$K_{и}$ – коефіцієнт інтенсивного використання потужності $K_{п} = 0,9$.

$$C_{ел} = 0,6 * 6320 * 3,05 * 0,9 = 10409 \text{ грн.}$$

Разом: $C = C_{опл} + C_a + C_{ел} + C_p + C_{п}$

$$C^{до} = 161040 + 1500 + 10409 + 510 + 170 + 2500 = 176129 \text{ грн.}$$

$$C^{після} = 128832 + 1500 + 10409 + 510 + 170 + 2500 = 143921 \text{ грн.}$$

Розрахунок показників економічної ефективності проекту.

$$\mathcal{E}_o = \mathcal{E}_r - E_n * K_{п} \quad (5.13)$$

де

\mathcal{E}_r – річна економія на поточних витратах;

$K_{п}$ – передвиробничі витрати на проект: $K_{п} = 60121,23$ грн.;

E_n – нормативний коефіцієнт: $E_n = 0,25$.

$$\mathcal{E}_r = (C^{до} - C^{після}) + \Delta\Pi \quad (5.14)$$

де

$\Delta\Pi$ – приріст прибутку господарчого суб'єкта та його структурного розподілу $\Delta\Pi = 0$

$$\mathcal{E}_r = 161040 - 128832 + 0 = 32208 \text{ грн.}$$

$$\mathcal{E}_o = 32208 - 0,25 * 60121,23 = 19418,75 \text{ грн.}$$

Коефіцієнт ефективності одноразових витрат:

$$E = \mathcal{E}_o / K_{п} \quad (5.15)$$

$$E = 19418,75 / 60121,23 = 0,32$$

$0,32 > 0,25$ проект ефективний

Строк окупності одноразових витрат проекту:

					<i>КРМ.КІ.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						103
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

$$T = 1 / 0.54 = 1,85 \text{ року}$$

$$T = 22,22 \text{ місяця}$$

Основні економічні показники проекту надані в таблиці 5.11

Таблиця 5.11

Економічні показники проекту

№	Показники	Числове значення	Одиниці виміру
1	Тривалість розробки	86	Дні
2	Ціна ПП	71 422	Грн
3	Капітальні затрати	91 422	Грн
4	Річна економія на поточних витратах після введення ПП	192 621	Грн
5	Економічний ефект	169 621	Грн
6	Коефіцієнт ефективності	2,10	–
7	Термін окупності проекту	0,47	Рік

5.4 Бізнес-план стартап-проекту анімація транспортного засобу із залежною підвіскою

Резюме. У даному бізнес-плані пропонується реалізувати стартап-проект з розробки методики анімації транспортного засобу із залежною підвіскою.

Метою проекту є створення високоякісної та реалістичної анімації транспортних засобів із залежною підвіскою, яка може бути використана в різних сферах, таких як кіно, телебачення, ігри, реклама та ін.

Проект передбачає розробку динамічної моделі транспортного засобу, яка включає в себе такі компоненти:

1. Геометрична модель транспортного засобу.
2. Модель шин.

3. Модель підвіски.
4. Модель силового агрегату.

Для реалізації проекту буде використана команда з 5 фахівців з досвідом роботи в галузі комп'ютерної графіки та анімації.

За оцінками, загальні витрати на реалізацію проекту складуть 100 000 гривень. Очікуваний прибуток від проекту становитиме 200 000 гривень на рік.

Опис проекту. Анімація транспортного засобу із залежною підвіскою є складною задачею, оскільки вона вимагає врахування багатьох факторів, таких як деформація шин, підвіски та кузова транспортного засобу. Запропонована методика анімації базується на використанні динамічної моделі транспортного засобу. Ця модель дозволяє враховувати всі особливості руху транспортного засобу, включаючи деформацію шин і підвіски.

Для реалізації запропонованої методики буде використано наступний алгоритм:

1. Розрахунок початкових умов.
2. Розв'язання системи диференціальних рівнянь, що описують рух транспортного засобу.
3. Оновлення геометричної моделі транспортного засобу.

Розрахунок початкових умов включає в себе визначення положення, швидкості та прискорення транспортного засобу в початковий момент часу. Розв'язання системи диференціальних рівнянь виконується чисельним методом.

Оновлення геометричної моделі транспортного засобу виконується на основі результатів розв'язання системи диференціальних рівнянь.

Маркетинговий аналіз. Ринок анімаційних моделей транспортних засобів є досить великим та перспективним. Він включає в себе такі сегменти:

1. Кіно.
2. Телебачення.

					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						105
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

3. Ігри.

4. Реклама.

За оцінками, обсяг ринку анімаційних моделей транспортних засобів у світі становить близько 5 мільярдів доларів США. Пропонована методика анімації транспортного засобу із залежною підвіскою має ряд переваг, що дозволяють їй конкурувати з іншими аналогічними методиками:

1. Висока реалістичність руху.
2. Ефективність.
3. Простота використання.

Організація виробництва. Для реалізації проекту буде створено стартап-компанію з назвою "Анімація транспортних засобів". Компанія буде розташована в місті Одеса, Україна. Для роботи компанії буде залучено команду з 5 фахівців з досвідом роботи в галузі комп'ютерної графіки та анімації.

Фінансовий план. Загальні витрати на реалізацію проекту складуть 100 000 гривень. Ці витрати будуть спрямовані на такі статті:

1. Розробка методики анімації.
2. Розробка програмного забезпечення.
3. Маркетингові дослідження.
4. Організація виробництва.

Очікуваний прибуток від проекту становитиме 200 000 гривень на рік. Цей прибуток буде отриманий за рахунок таких джерел:

1. Ліцензування методики анімації.
2. Послуги з анімації транспортних засобів.

					<i>КРМ.КІ.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						106
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Висновок до п'ятого розділу

Проект з розробки методики анімації транспортного засобу із залежною підвіскою є перспективним та має шанси на успішну реалізацію. Проект має такі переваги:

1. Високий попит на ринку.
2. Значні переваги перед конкурентами.
3. Команда з досвідченими фахівцями.
4. За оцінками, проект може бути реалізований протягом 1 року.

					КРМ.КІ.1.805-03.1.11	Арк.
						107
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Загальні положення

Охороною праці є система законодавчих актів, що включає соціально-економічні, організаційні, технічні, гігієнічні та лікувально-профілактичні заходи та засоби, що забезпечують збереження життя, здоров'я, а також працездатності людини у процесі праці.

Завдання, поставлені перед охороною праці:

1. Навчання персоналу основним нормативним актам охорони праці.
2. Виявлення та вивчення небезпечних та шкідливих виробничих факторів, ступеня їх впливу на працюючих.
3. Розробка організаційних та технічних заходів, спрямованих на профілактику виробничого травматизму та професійних захворювань.
4. Створення технічних засобів захисту, що усувають або зменшують вплив цих факторів навколишнього середовища на персонал, що запобігають нещасним випадкам, що створюють безпечні умови праці на робочому місці, високу продуктивність.

У запропонованій дипломній роботі наводиться технологічне обґрунтування та розробка автоматизованої системи. Значна частина роботи полягає в програмуванні на персональній ЕОМ.

Шкідливими факторами, що негативно впливають на здоров'я оператора ПЕОМ, є:

- електромагнітне випромінювання;
- небезпека ураження електричним струмом;
- пожежонебезпека.

					<i>КРМ.КІ.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						108
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

6.2. Електромагнітні випромінювання

У розроблюваному алгоритмі джерелами електромагнітних полів та іонізуючих випромінювань є застосовувані комп'ютери.

Знижувальний трансформатор на виході комп'ютера є джерелом електромагнітного поля, яке практично повністю екранується металевим кожухом заводського виготовлення.

Електронно-променева трубка (ЕЛТ) – ще одне джерело полів. Для зниження впливу цих шкідливих виробничих факторів необхідно використовувати комп'ютери з дисплеями типу LR (з понижувальною радіоактивністю). Застосування захисних екранів за наявності заземлення дозволяє практично повністю зняти електростатичне поле (до 95%) та радіоактивне випромінювання в кілька разів.

Для захисту від випромінювання використовуються захисні екрани і методи захисту часом і відстанню. Захист відстанню полягає в тому, щоб оператор знаходився на відстані не менше 70 см від монітора. Захист часом полягає в тому, що час безперервної роботи оператора за персональним комп'ютером не повинен перевищувати 4 години на день і, відповідно, 20 годин на тиждень.

6.3 Електробезпека обладнання

Електробезпека – це система організаційних і технічних заходів і засобів, що забезпечують захист людей від шкідливого і небезпечного впливу електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля і статичної електроенергії.

Класифікація приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом.

Приміщення, в якому знаходиться обчислювальний центр, відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки, тобто сухе, з підлогами з струмопровідних матеріалів, без пилу і без великої кількості заземлених металевих предметів.

					<i>КРМ.КІ.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						109
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Способи захисту від ураження електричним струмом:

1. Захисне заземлення – навмисне електричне з'єднання із землею або її еквівалентом металевих невідповідних частин, які можуть опинитися під напругою. Призначення захисного заземлення – усунення небезпеки поразки людей електричним струмом у разі напруги на конструктивних частинах електроустановки, тобто за замикання на корпус. Для електроустановок з напругою до 1000 В опір заземлювального пристрою повинен бути не більше 4 Ом.

2. Але оскільки в комп'ютерах використовується пластмасовий корпус і для ізоляції провідників електричного струму використовується подвійна ізоляція, то заземлення не потрібне і необхідно застосовувати занулення. Зануленням називається навмисне з'єднання нетоковедущих частин, які можуть опинитися під напругою з нульовим захисним провідником. Нульовим захисним провідником називається провідник, що з'єднує частини, що занулюються, з глухозаземленою нейтральною точкою обмотки джерела струму або її еквівалентом.

Завданням занулення є усунення небезпеки ураження людей струмом під час замикання на корпус. Принцип дії занулення – перетворення замикання на корпус однофазне коротке замикання, тобто. замикання між фазним і нульовим проводами з метою створення великого струму, здатного забезпечити спрацьовування захисту і тим самим автоматично відключити пошкоджену установку від мережі живлення.

6.4 Пожежна профілактика

Пожари на підприємствах становлять велику небезпеку для працюючих і можуть заподіяти величезний матеріал шкоди. Пожарна безпека може бути забезпечена заходами пожежної профілактики та активного пожежного захисту. Поняття пожежної профілактики включає комплекс заходів, необхідних для запобігання виникненню пожежу або зменшення його наслідків. Під активним

					<i>КРМ.КІ.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						110
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

пожарним захистом розуміються заходи, що забезпечують успішну боротьбу з виникаючими пожежами або вибухонебезпечною ситуацією.

Як засоби пожеарогасіння на даному підприємстві застосовуються вуглекислотні вогнегасники, призначені для гасіння загорань установок напруженням до 1000 В: ручні ОУ-2А, ОУ-5, ОУ-8.

У вуглекислотних вогнегасниках застосовують зріджений двоокис вуглецю. Вогнегасна дія його полягає в розвільненні повітря і зниженні в ньому вмісту кисню до концентрації, при якій припиняється горіння. Вогнегасний ефект обумовлюється втратами теплоти на нагрівання двоокису вуглецю і зниженням теплового ефекту реакції.

6.5 Виробниче висвітлення

Виробниче висвітлення. Правильно спроектоване та виконане освітлення забезпечує можливість нормальної виробничої діяльності. Збереження зору людини, стан її центральної нервової системи та безпека на виробництві значною мірою залежать від умов освітлення.

У проєктованому приміщенні застосовується поєднане освітлення, при якому у світлий час доби недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним.

За конструктивним виконанням штучне освітлення може бути двох систем – загальне і комбіноване, коли до загального освітлення додається місцеве, що концентрує світловий потік безпосередньо на робочих місцях. У проєктованому приміщенні застосовується система загального освітлення.

Основні вимоги до виробничого висвітлення. Основне завдання освітлення на виробництві – створення найкращих умов для бачення. Це завдання можна вирішити тільки освітлювальною системою, що відповідає наступним вимогам:

1. Освітленість на робочому місці повинна відповідати характеру зорової роботи, який визначається такими параметрами як об'єкт розрізнення, фон і контраст об'єкта з фоном.

					<i>КРМ.КІ.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						111
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

2. Необхідно забезпечити досить рівномірне розподіл яскравості на робочій поверхні, а також в межах навколишнього простору на робочій поверхні повинні бути відсутні різкі тіні.
3. У полі зору повинна бути відсутня пряма і відбита підвищена яскравість поверхонь, що світяться.
4. Величина освітленості повинна бути постійною у часі.
5. Слід вибирати оптимальну спрямованість світлового потоку.
6. Всі елементи освітлювальних установок повинні бути досить довговічними, електробезпечними, а також не повинні бути причиною виникнення жару або вибуху.
7. Освітлювальна установка повинна бути зручною та простою в експлуатації, відповідати вимогам естетики.

6.6 Системи вентиляції

Оптимальні та гранично допустимі метеорологічні умови встановлені ГОСТ 12.1.0005-88. Нормальне самопочуття людини забезпечується при дотриманні рівняння теплового балансу. Але не можна говорити про те, що тільки температура повітря забезпечує нормальне самопочуття людини, всі параметри навколишнього середовища взаємопов'язані. Низька вологість веде до пересихання дихальних шляхів, тоді як висока, несприятливо позначається на терморегуляції. Мінімальна швидкість повітря, що відчувається людиною становить 0,2 м/с. У спекотному приміщенні рух повітря сприяє тепловіддачі, в холодному-надає негативний вплив на організм людини. Повітряні потоки можуть поширювати пил, шкідливі речовини в приміщенні.

Щоб зменшити запиленість рекомендується два рази на день, до і після робочої зміни, виробляти вологе прибирання приміщення, дежурний електрик повинен обглядати і очищати від пилу все електроустаткування не рідше, ніж раз на тиждень.

На проектуваному підприємстві використовується загальнообмінна приточно-витяжна вентиляція.

					<i>KPM.KI.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						112
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Дія загальнообмінної вентиляції засноване на розвільненні забрудненого, нагрітого, вологого повітря приміщення свіжим повітрям до гранично допустимих норм. Вона застосовується у зв'язку з тим, що теплота і волога виділяються рівномірно по всьому приміщенню.

У системі питно-витяжної вентиляції повітря подається в приміщення риткової вентиляцією, а видаляється витяжною вентиляцією, що працюють одночасно.

Установки слухової вентиляції зазвичай складаються з наступних елементів: повітрязабірного пристрою для забору чистого повітря, що встановлюється спорядження будівлі в тих місцях, де вміст шкідливих речовин мінімальний або вони відсутні взагалі; повітроводів, за якими повітря подається до приміщення; фільтрів для очищення повітря від пилу; калориферів і вентилятора; добрих отворів, через які повітря потрапляє в приміщенні - зосереджено або рівномірно по приміщенню.

6.7 Загальнотехнічні вимоги безпеки

До роботи з персональними ЕОМ та пристроями підготовки та виведення даних допускаються особи, які пройшли інструктаж з техніки безпеки на робочому місці, ознайомлені з інструкцією з експлуатації відповідної машини та цією інструкцією.

Вимоги до виробничих приміщень для експлуатації ВДТ ЕОМ.

1. Площа приміщення на одне робоче місце – 6 м², а об'єм – не менше 20м³.
2. Площа приміщень, у яких розташовуються термінали, повинна бути не менше 6м.кв на одне робоче місце. Об'єм має бути не менше 20м.куб. на одне робоче місце. Внутрішні поверхні приміщень повинні виготовлятися із матеріалів для оздоблення приміщень.
3. Розміщення робочих місць ВДТ ЕОМ у підвальних та цокольних будинках забороняються.

					<i>КРМ.КІ.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						113
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

4. Приміщення з ВДТ ЕОМ повинні мати природне та штучне освітлення. На робочих місцях коефіцієнт природного освітлення має бути не менше ніж 1,5%. Приміщення з ВДТ ЕОМ мають бути обладнані вентиляцією, опаленням, кондиціонуванням повітря. Віконні отвори повинні бути обладнані фіранками, жалюзями, зовнішніми козирками.
5. Покриття підлоги має бути матовим, рівним, не слизьким, з антистатичними властивостями.
6. Робочі приміщення можуть бути обладнані шафами, площа яких повинна бути врахована щодо загальної площі приміщення.
7. У приміщеннях з ВДТ ЕОМ необхідно проводити щоденне вологе прибирання. При робочих приміщеннях повинні бути обладнані кімнати для відпочинку психологічного розвантаження.

Гігієнічні вимоги до організації та обладнання робочих місць:

- від вікна до терміналу щонайменше 1 м;
- між бічними поверхнями терміналу 1,2м;
- відстань від тильної поверхні одного екрана іншого 2,5м;
- екран ВДТ має бути розташований на оптимальній відстані від очей 60-70см;
- поверхня клавіатури має бути матовою з коефіцієнтом 0,4.

Висновок до шостого розділу

На підставі вивченої літератури, були вказані загальнотехнічні вимоги до робочого місця, проведено вибір системи оптимального освітлення виробничого приміщення, а також вентиляції та системи штучного заземлення.

					<i>КРМ.КІ.1.805-03.1.11</i>	Арк.
						114
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті аналізу предметної області були виявлені особливості функціонування основних рухомих вузлів транспортного засобу. Проаналізовано існуючі варіанти автоматизації анімації транспортного засобу, вказані особливості їх використання.

Здійснено постановку задачі з зазначенням очікуваного результату, технологій, яким надається перевага.

Досліджено базові технології анімації. Досліджено методи реалістичної деформації тривимірних моделей високої складності. Проаналізовані підходи створення скриптів та виразів, їхні проблеми, можливі рішення.

Були сформовані базові положення методики, обговорені вихідні дані та умови застосування. Розроблені ключові моменти методики автоматизації анімації рухомих вузлів транспортного засобу. Розроблена методика призначення опорних точок, прив'язки вершин, методів застосування обмежувачів. Визначена методика анімації з використання зроблених налаштувань.

Проведена апробація сформованої методики на прикладі вантажівки-самоскиду. За розробленим пайплайном було створений відеоролик, який демонструє можливості методики, має додаткові візуальні та звукові ефекти. Результати роботи представлені у вигляді відеоряду формату *mp4*.

Подальшу роботу над темою можна розвивати у напрямку удосконалення методики та розширення функції анімації, що автоматизуються.

					КРМ.КІ.1.805-03.1.11	Арк.
						115
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. *Вс. Boris Bondarenko. Skin deformation techniques Fakulta informatiky Posudek vedoucího diplomové práce. V Brně dne 7. 6. 2013.*
2. *Complete guide to the 3d pipeline – URL: <https://www.gdp.academy/article/-pipeline-guide> (дата звернення: 07.09.2023).*
3. *Fonseca Ana Catarina. 3D Modeling Creation Pipeline for Games. Exploring and implementing work methods for low poly models with hand painted textures. – Tampere University of Applied Sciences, 2018. – 49 p.*
4. *Justin Slick. The Basics of Texture Mapping – URL: <https://www.lifewire.com/-texture-mapping> (дата звернення: 10.09.2023).*
5. *Learning 3D: Recommendations from Christophe Desse – URL: <https://80.lv/-articles/learning-3d-professional-recommendations-from-christophe-desse>.*
6. *N. Fong // Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques.— SIGGRAPH '00.—New York, NY, USA: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., 2000.— P. 165–172.*
7. *Herbez, A. Rigging for Animation 1 - Skeletons and Skinning, Maya Online – Additional Resources. – URL: <http://www.purplestatic.com/courses/maya/431/-06/-index.htm>.*
8. *McLaughlin, T. Character rigging, deformations, and simulations in film and game production / T. McLaughlin, L. Cutler, D. Coleman // ACM SIGGRAPH 2011 Courses.— SIGGRAPH'11.— New York, NY, USA: ACM, 2011.— P. 5:1–5:18.*
9. *Introduction to rigging in Maya - Part 11 - Corrective blendshapes – URL: <https://3dtotal.com/tutorials/t/maya-rigging-corrective-blendshapes-jahirul-am-in-animation-blend-shapes>. (дата звернення 15.06.2023).*
10. *Weight Paint – URL: <https://mmorley.hatenablog.com/entry/2016/03/28234354>. (дата звернення 15.06.2023).*

					КРМ.КІ.1.805-03.1.11	Арк.
						116
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

11. *Editing Weight* – URL: https://docs.blender.org/manual/en/latest/ sculpt_paint/weight_paint/editing.html. (дата звернення 15.06.2023).
12. X. S. Yang and Jian J. Zhang. *Realistic skeleton driven skin deformation*. In *In ICCSA (3, pages 1109–1118*. John Wiley & Sons, Ltd, 2005.
13. Xiaosong Yang and Jian J. Zhang. *Stretch it - realistic smooth skinning*. In *Proceedings of the International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualisation, CGIV '06, pages 323–328, Washington, DC, USA, 2006*. IEEE Computer Society.
14. Будова авто списком. – URL: <https://green-way.com.ua/uk/dovidniki/pidruchnykpo-vlashtuvannju-avtomobilja>. (дата звернення 15.06.2023).
15. *Maya User Guide* – URL: <https://help.autodesk.com/view/MAYAUL/2022-/ENU/?guid=GUID-C8C1E017-04B5-4748-B3D7-8AFA6DBE48ED>
16. *Complete guide to the 3d pipeline* – URL: <https://www.gdp.academy/article/pipeline-guide> (дата звернення: 07.09.2023).
17. Fonseca Ana Catarina. *3D Modeling Creation Pipeline for Games. Exploring and implementing work methods for low poly models with hand painted textures*. – Tampere University of Applied Sciences, 2018. – 49 p.
18. *3D Models only for your own personal use*. – URL: <https://downloadfree3d.com/-category/3d-models/vehicles> (дата звернення: 07.12.2023).
19. ДСТУ 7152:2010. Видання. Оформлення публікацій у журналах і збірниках. [Чинний від 2010-02-18]. Вид. офіц. Київ, 2010. 16 с. (Інформація та документація).
20. Про затвердження змін та доповнень Правил безпечної експлуатації електроустановок – Законодавство України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0213-00#Text> (дата звернення 15.06.2023).
21. Басюркіна Н.Й., Свистун Т.В. «Оцінка науково-технічної ефективності: Методичні вказівки». Одеса: ОНТУ, 2023р. 18с.

					КРМ.КІ.1.805-03.1.11	Арк.
						117
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		