

Київський столичний університет імені Бориса Грінченка
Факультет інформаційних технологій та математики
Кафедра комп'ютерних наук

Допущено до захисту

Завідувач

кафедри комп'ютерних наук,
Кандидат технічних наук, доцент
Машкіна Ірина Вікторівна
(підпис)

« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня «бакалавр»
Спеціальність 122 Комп'ютерні науки
Освітня програма 122.00.01 Інформатика

Тема:

РОЗРОБКА МОДЕЛІ АВТОМОБІЛЯ, ВИКОРИСТОВУЮЧИ
ТЕХНОЛОГІЇ NURBS МОДЕЛЮВАННЯ

Виконала

Студентка групи ІНб-2-21-4.0д

Горай Злата Олексіївна



(підпис)

Науковий керівник:

кандидат педагогічних наук

Співак Світлана Михайлівна

(підпис)

Київ – 2025

Київський столичний університет імені Бориса Грінченка
 Факультет інформаційних технологій та математики
 Кафедра комп'ютерних наук

«Затверджую»

Завідувач кафедри комп'ютерних наук,
 Кандидат технічних наук, доцент
 Машкіна Ірина Вікторівна
 « ____ » _____ 2025 р

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА
«Розробка моделі автомобіля, використовуючи технології NURBS моделювання»

Виконавець – студентка групи ІНБ-2-21-4.0д,
 спеціальності 122 Комп'ютерні науки,
 освітньої програми 122.00.01 Інформатика
 Горай Злата Олексіївна

1. Вихідні дані: законодавство та нормативно-правові акти України в навчальній сфері, наукові роботи та публікації за напрямом дослідження, теоретичні положення про методи 3D-моделювання та технологію NURBS; програмне середовище Autodesk 3ds Max; технічні вимоги до створення цифрової моделі автомобіля; приклади професійних моделей, виконаних з використанням кривих Безьє та NURBS-поверхонь; методика побудови концептуального дизайну кузова. Також ураховуються сучасні тенденції промислового дизайну, потреби CAD/CAM-систем і можливості візуалізаційного представлення об'єктів.
2. Основні завдання: Дослідити теоретичні засади, зокрема вивчити сутність, переваги та недоліки NURBS-моделювання у порівнянні з іншими методами моделювання. Проаналізувати сфери застосування NURBS у транспортному дизайні, особливо в автомобільній промисловості. Проаналізувати та обґрунтувати вибір програмного забезпечення для роботи з NURBS-об'єктами. Розробити концептуальну модель кузова автомобіля з використанням NURBS-кривих і поверхонь у 3ds Max та визначити практичні сфери використання отриманого цифрового прототипу.
3. Пояснювальна записка: Обсяг – до 60 стор. формату А4 комп'ютерного набору з дотриманням вимог стандарту і методичних рекомендацій кафедри.
4. Графічні матеріали: презентація, розроблений цифровий прототип автомобіля.
5. Додатки: Додаток А. Створення отвору для поворотника; Додаток Б. Створення бокових вікон; Додаток В Деталізація автомобіля; Додаток Г. Текстурування моделі.
6. Строк подання роботи на кафедру: « ____ » _____ 2025 р.

Науковий керівник Виконавець: к.т.н.,
 Кандидат педагогічних наук
 Співак Світлана Михайлівна
 дата

Виконавець:
 Горай Злата Олексіївна
 дата

Календарний план

№	Назва етапу дипломної роботи	Строк виконання етапу роботи	Примітка
1	Формування теми дипломної роботи бакалавра	25.10.2024	Виконано
2	Ознайомлення з методичними рекомендаціями до дипломної роботи	6.11.2024	Виконано
3	Складання змісту та календарного плану роботи	12.11.2024	Виконано
4	Підбір літератури, складання завдання	25.11.2024	Виконано
5	Написання реферату та вступу	30.11.2024	Виконано
6	Написання першого розділу	10.12.2024	Виконано
7	Написання другого розділу	20.01.2025	Виконано
8	Написання третього розділу	16.02.2025	Виконано
9	Написання висновків	10.04.2025	Виконано
10	Виправлення зауважень	16.04.2025	Виконано
11	Створення презентації	01.05.2025	Виконано
12	Захист матеріалів дипломної роботи на засіданні кафедри	22.05.2025	Виконано
13	Офіційний захист матеріалів дипломної роботи на засіданні екзаменаційної комісії	16.06.2025	Виконано

Здобувач _____



Керівник роботи _____

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна бакалаврська робота: 68 стор., 48 рис., 34 посилання.

Актуальність дослідження: Сучасна автомобільна промисловість дедалі активніше інтегрує інноваційні методи комп'ютерного моделювання у всі етапи розробки продукції – від концепції до виготовлення фізичного прототипу. Однією з найперспективніших технологій у цій галузі є NURBS-моделювання (Non-Uniform Rational B-Splines), яке дозволяє досягати високої точності при створенні складних криволінійних поверхонь. Зростаючий інтерес до цього підходу в транспортному та промисловому дизайні, а також недостатня кількість прикладних робіт, присвячених повноцінному проєктуванню кузова автомобіля у NURBS-середовищі, зумовлюють актуальність теми дослідження.

Об'єкт дослідження: процес комп'ютерного моделювання складних тривимірних форм: побудови точних і реалістичних поверхонь з використанням технології NURBS у процесі створення 3D-моделі автомобіля.

Предмет дослідження: розробка моделі автомобіля, використовуючи технології NURBS моделювання.

Мета роботи: Дослідити та проаналізувати існуючі підходи створення моделей автомобілей, розробити цифрову 3D-модель автомобіля з використанням NURBS-моделювання.

Завдання дослідження:

1. Дослідити та проаналізувати існуючі підходи створення моделей автомобілей, розглянути теоретичні засади та переваги NURBS-моделювання в порівнянні з іншими методами 3D-моделювання;
2. Проаналізувати та обґрунтувати вибір програмного забезпечення для роботи з NURBS-об'єктами;

3. Розробити концептуальну модель кузова автомобіля з використанням NURBS-кривих і поверхонь у 3ds Max та визначити практичні сфери використання отриманого цифрового прототипу.

Основні результати: у процесі роботи було створено повноцінну 3D-модель кузова легкового автомобіля з використанням NURBS-моделювання в середовищі 3ds Max. На основі проведених досліджень було з'ясовано переваги NURBS-моделювання в порівнянні з іншими методами 3D-моделювання і обґрунтовано доцільність застосування NURBS-технології в проектуванні складних обтічних форм. Проаналізовано можливості програмного забезпечення для роботи з NURBS-об'єктами. Одержано нові практичні результати щодо оптимізації геометрії автомобільних поверхонь, а також продемонстровано можливість адаптації створеної моделі до візуалізаційних і виробничих процесів.

Практичне значення дослідження полягає у тому, що розроблена цифрова модель може бути використана у візуалізаційних, виробничих процесах, анімації та 3д друці, а теоретична частина дослідження може бути використана студентами при вивченні NURBS-моделювання, яке дозволяє значно пришвидшити створення точних 3D-прототипів і оптимізувати процеси проектування. Також може бути задіяна у навчальному процесі для ознайомлення студентів технічних і дизайнерських спеціальностей з основами моделювання складних 3D-об'єктів, під час виконання лабораторних або курсових проєктів, пов'язаних з комп'ютерним дизайном та 3D-моделюванням, як основа для подальших досліджень і вдосконалення методик візуалізації в рамках освітніх або наукових ініціатив, при підготовці демонстраційних матеріалів для виставок, презентацій або навчальних платформ, орієнтованих на цифровий дизайн.

Ключові слова: 3d-моделювання, автомобільний дизайн, NURBS поверхні, 3ds MAX, CAD, концептуальна модель, цифровий прототип, комп'ютерна графіка, візуалізація.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ	7
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 РОЗВИТОК І СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО 3D-МОДЕЛЮВАННЯ В АВТОМОБІЛЬНОМУ ДИЗАЙНІ	11
1.1. Історичні етапи становлення 3D-моделювання у дизайні транспортних засобів	11
1.2. Огляд та порівняння сучасних методів 3D-моделювання у контексті автомобільного дизайну: полігональне, сплайнове та NURBS-моделювання	13
1.3. Застосування NURBS-моделювання в промисловому дизайні: переваги, обмеження та сфери використання	17
1.4. Аналіз програмного забезпечення для NURBS-моделювання в CAD/CAM-середовищах	21
РОЗДІЛ 2 ОСНОВИ NURBS-МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВИБІР СЕРЕДОВИЩА РОЗРОБКИ	27
2.1. Математичні засади побудови NURBS-кривих: вузли, вагові коефіцієнти, контрольні точки	27
2.2. Обґрунтування вибору програмного забезпечення для реалізації моделі: аналіз можливостей 3ds Max.	31

2.3. Етапи побудови концептуальної 3D-моделі автомобіля в середовищі 3ds Max	
35	

2.4. Особливості візуалізації та рендерингу NURBS-об'єктів у середовищі 3ds Max	38
---	----

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ У 3DS MAX	
41	

3.1. Побудова базової конструкції автомобіля з використанням NURBS-кривих	41
---	----

3.2. Формування об'ємних поверхонь кузова: методика та інструменти	44
--	----

3.3. Деталізація, текстурювання та оформлення зовнішнього вигляду моделі	47
--	----

3.4. Оцінка технічної та візуальної якості створеної моделі	57
---	----

ВИСНОВКИ	64
----------	----

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	65
--------------------------------	----

Додаток А	67
-----------	----

Додаток Б	68
-----------	----

Додаток В	69
-----------	----

Додаток Г	72
-----------	----

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

3D – тривимірний (three-dimensional)

CAD – система автоматизованого проєктування (Computer-Aided Design)

CAM – система автоматизованого виробництва (Computer-Aided Manufacturing)

NURBS – неуніформні раціональні B-сплайни (Non-Uniform Rational B-Splines)

UI – інтерфейс користувача (User Interface)

UX – користувацький досвід (User Experience)

FBX – формат обміну 3D-даними, підтримуваний багатьма програмами

OBJ – формат збереження геометрії 3D-моделей

PSD – формат графічних зображень Adobe Photoshop

API – інтерфейс прикладного програмування (Application Programming Interface)

RAM – оперативна пам'ять (Random Access Memory)

GPU – графічний процесор (Graphics Processing Unit)

ВСТУП

Актуальність дослідження. Сучасна автомобільна промисловість дедалі активніше інтегрує інноваційні методи комп'ютерного моделювання у всі етапи розробки продукції, від концепції до виготовлення фізичного прототипу. Однією з найефективніших технологій у цій сфері є NURBS-моделювання (Non-Uniform Rational B-Splines), яке дозволяє створювати високоточні та гладкі поверхні, що ідеально підходять для формування обтічних кузовів, складних геометричних форм та ергономічних деталей автомобілів. Аналіз науково-технічної літератури свідчить про зростаючу зацікавленість у впровадженні NURBS-технологій у транспортному та промисловому дизайні. У вітчизняних і зарубіжних дослідженнях (роботи Alias, Rhino, Siemens NX, Autodesk, Dassault Systèmes) розглядаються теоретичні основи NURBS-моделей, однак у більшості з них бракує прикладного спрямування щодо створення цілісної 3D-моделі автомобіля з подальшою можливістю її адаптації до виробничих процесів. Існує низка інструментальних засобів, але практичні навички розробки реалістичних моделей, які враховують виробничі та технологічні вимоги, потребують подальшого дослідження й узагальнення.

Одже, актуальність теми обумовлена необхідністю вдосконалення методів тривимірного моделювання об'єктів зі складною поверхнею. Застосування NURBS-технології дозволяє підвищити точність, якість та швидкість створення віртуальних прототипів у порівнянні з полігональним чи сітковим моделюванням, що актуально для сучасного промислового дизайну, CAD/CAM систем і віртуального тестування.

Мета дослідження: Дослідити та проаналізувати існуючі підходи створення моделей автомобілей, розробити цифрову 3D-модель автомобіля з використанням NURBS-моделювання.

Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати наступні **завдання**:

1. Дослідити та проаналізувати існуючі підходи створення моделей автомобілей, розглянути теоретичні засади та переваги NURBS-моделювання в порівнянні з іншими методами 3D-моделювання;
2. Проаналізувати та обґрунтувати вибір програмного забезпечення для роботи з NURBS-об'єктами;
3. Розробити концептуальну модель кузова автомобіля з використанням NURBS-кривих і поверхонь у 3ds Max та визначити практичні сфери використання отриманого цифрового прототипу.

Об'єкт дослідження: процес комп'ютерного моделювання складних тривимірних форм: побудови точних і реалістичних поверхонь з використанням технології NURBS у процесі створення 3D-моделі автомобіля.

Предмет дослідження: розробка моделі автомобіля, використовуючи технології NURBS моделювання.

Методи дослідження: аналітичний огляд літератури, комп'ютерне моделювання, порівняльний аналіз CAD-систем, практичне тестування інструментів NURBS у середовищі моделювання RHINOCEROS 3D, AUTODESK ALIAS, BLENDER з плагінами NURBS.

Практичне значення дослідження полягає у тому, що розроблена цифрова модель може бути використана у візуалізаційних, виробничих процесах, анімації та 3д друці, а теоретична частина дослідження може бути використана студентами при вивченні NURBS-моделювання, яке дозволяє значно пришвидшити створення точних 3D-прототипів і оптимізувати процеси проектування. Також може бути задіяна у навчальному процесі для ознайомлення студентів технічних і дизайнерських спеціальностей з основами

моделювання складних 3D-об'єктів, під час виконання лабораторних або курсових проєктів, пов'язаних з комп'ютерним дизайном та 3D-моделюванням, як основа для подальших досліджень і вдосконалення методик візуалізації в рамках освітніх або наукових ініціатив, при підготовці демонстраційних матеріалів для виставок, презентацій або навчальних платформ, орієнтованих на цифровий дизайн.

Галузь застосування: промисловий та транспортний дизайн, комп'ютерна графіка, інженерне проєктування, розробка віртуальних моделей для презентацій і 3D-візуалізації. Результати роботи можуть бути апробовані в межах наукових семінарів і конференцій з дизайну та комп'ютерного моделювання.

РОЗДІЛ 1 РОЗВИТОК І СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО 3D-МОДЕЛЮВАННЯ В АВТОМОБІЛЬНОМУ ДИЗАЙНІ

1.1. Історичні етапи становлення 3D-моделювання у дизайні транспортних засобів

Розглядаючи основні етапи розвитку 3D – моделювання у автомобільному дизайні, можна сказати, що історія 3D-моделювання в автомобільному дизайні нерозривно пов'язана з еволюцією комп'ютерних технологій та переходом промисловості від традиційного креслення до цифрового проектування. На початку XX століття процес створення автомобільної форми відбувався виключно вручну: дизайнери створювали ескізи олівцем, виготовляли глиняні моделі, що слугували основою для подальшого виробництва [4]. Даний підхід був трудомістким, вимагав значного часу та не допускав швидкого внесення змін.

У 1960–1970-х роках з розвитком перших комп'ютерних систем автоматизованого проектування (CAD) розпочався перехід до комп'ютерної підтримки інженерних і дизайнерських процесів [11]. Одними з піонерів у цій сфері стали компанії GENERAL MOTORS та IBM, які в рамках спільних проєктів впровадили елементи комп'ютерної графіки у процес побудови технічної документації. Перші CAD-системи мали обмежені функції, однак уже

тоді стало очевидно, що цифрове моделювання здатне значно оптимізувати роботу автомобільних конструкторів.

Суттєвий прорив відбувся у 1980-х роках, коли на ринку з'явилися такі програмні продукти, як CATIA, Pro/ENGINEER, Unigraphics. Вони забезпечували побудову тривимірних моделей з можливістю деталізації, редагування і навіть моделювання фізичних характеристик [14]. На цьому етапі провідні автовиробники почали активно використовувати 3D-моделі у процесі прототипування, виготовлення кузовних панелей, а також при аеродинамічних розрахунках. У 1990-х роках значна увага почала приділятися не лише інженерному, а й естетичному аспекту 3D-моделювання. Виникла потреба у створенні досконалих з точки зору зовнішнього вигляду форм, що було особливо важливо в умовах конкуренції та зростання очікувань споживачів. Саме в цей період активно впроваджується поверхневе моделювання, зокрема технологія NURBS — Non-Uniform Rational B-Splines. Дана математична модель дозволила будувати надзвичайно точні та плавні поверхні, що особливо важливо у процесі формування елементів кузова автомобіля [3]. Завдяки NURBS-дизайнери отримали змогу моделювати складні контури, обводи, згини та опуклості, які важко або навіть неможливо відтворити полігональними методами.

У 2000–2010-х роках спостерігається бурхливий розвиток програмного забезпечення, яке спеціалізується на промисловому та транспортному дизайні [2]. Такі пакети як AUTODESK ALIAS, RHINOCEROS 3D, SIEMENS NX, SOLIDWORKS почали поєднувати параметричне та вільне моделювання, що дозволило створювати не лише точні, а й візуально привабливі концепти. З'являються інструменти для реалістичного рендерингу, симуляції поведінки матеріалів, аналізу світлотіньових характеристик, що сприяє формуванню повноцінної системи віртуального дизайну. Паралельно з цим у великих автомобільних корпораціях створюються відділи цифрового дизайну, які замінюють традиційні студії фізичного прототипування.

Сучасний етап розвитку 3D-моделювання характеризується високим рівнем інтеграції між етапами дизайну, інженерії та виробництва. За допомогою єдиної цифрової моделі можливе не лише створення дизайну кузова, але й перевірка геометричної сумісності, аеродинамічних характеристик, ергономіки салону, міцності конструкції та багато іншого. Віртуальне прототипування дозволяє зменшити кількість фізичних макетів, що суттєво скорочує витрати й терміни проектування [1]. Окрім того, із розвитком хмарних сервісів, технологій віртуальної реальності та штучного інтелекту відбувається автоматизація процесів та персоналізація дизайну під конкретного користувача.

Таким чином, 3D-моделювання стало основою сучасного автомобільного дизайну, а його розвиток демонструє постійне вдосконалення інструментів і методів у напрямку точності, швидкості, реалістичності та інтеграції з виробництвом.

1.2. Огляд та порівняння сучасних методів 3D-моделювання у контексті автомобільного дизайну: полігональне, сплайнове та NURBS-моделювання

Виконуючи огляд сучасних методів 3D-моделювання, можна стверджувати, що сучасне 3D-моделювання охоплює широкий спектр методів, кожен із яких має свої переваги та сфери застосування залежно від цілей розробки, типу об'єкта, ступеня деталізації, технічних вимог і доступного програмного забезпечення. У контексті автомобільного дизайну особливого значення набули ті підходи, що дозволяють створювати точні, гладкі та легко редаговані поверхні, які відповідають вимогам аеродинаміки, ергономіки та стилістичної виразності [5]. Основними напрямками, що сформувалися у 3D-моделюванні, є полігональне моделювання, моделювання за допомогою поверхонь, твердотільне моделювання та параметричне моделювання, а також

NURBS-моделювання, яке вважається ключовим для створення складних обтічних форм у транспортному дизайні.

Доцільно зауважити, що полігональне моделювання є одним з найдавніших і найпоширеніших методів побудови тривимірних моделей. Його суть полягає в тому, що об'єкт формується з великої кількості багатокутників, найчастіше — трикутників або чотирикутників. Такий підхід дозволяє швидко створювати форми будь-якої складності, однак при цьому виникає потреба у значному числі полігонів для досягнення гладкості поверхні. Полігональні моделі активно використовуються в індустрії комп'ютерних ігор, анімації та візуалізацій, але в інженерному моделюванні, де потрібна висока точність, цей метод має суттєві обмеження [6].

Твердотільне моделювання базується на точному геометричному описі об'єкта як цілого масиву. У цьому випадку моделі створюються із заготовок — блоків, циліндрів, призм, які модифікуються шляхом операцій об'єднання, віднімання та перетину [6]. Такий метод забезпечує високу точність і широко застосовується в інженерних CAD-системах для створення механічних деталей, конструкцій, вузлів, але менш придатний для художнього або концептуального дизайну, де важливу роль відіграють плавні та нестандартні форми.

Поверхневе моделювання дозволяє формувати 3D-об'єкти, задаючи не тіло, а зовнішню оболонку. Цей метод ідеально підходить для проєктування складних обтічних форм, таких як кузови автомобілів, крила літаків, корпуси яхт. Саме на базі цього підходу реалізовані технології Bezier-кривих, сплайнів та, зокрема, NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines). Поверхневе моделювання забезпечує високу гнучкість і точність, дає змогу досягти неперервності першого і другого порядку ($G1$, $G2$), що критично важливо в дизайні зовнішніх поверхонь транспортних засобів [15].

Варто додати, що NURBS-моделювання є логічним розвитком і вдосконаленням звичайного сплайнового моделювання. Основна перевага

NURBS у тому, що воно забезпечує математичну точність опису кривих і поверхонь, дозволяє працювати з гладкими, рівномірними і змінними сегментами, задаючи ваги та контрольні точки. У сучасному автомобільному моделюванні цей підхід вважається стандартом, особливо на ранніх етапах концептуального дизайну та для створення так званих А - серфейсових поверхонь (Class-A surfaces), що будуть використовуватись безпосередньо у виробництві [29].

Окрім перерахованих, важливе місце посідає параметричне моделювання, яке дозволяє створювати моделі, де геометрія жорстко пов'язана з числовими параметрами, рівняннями або обмеженнями [11]. Завдяки цьому можливо швидко змінювати розміри, пропорції або взаємне розташування частин об'єкта. Такий метод активно використовується в програмних пакетах, орієнтованих на інженерію та машинобудування, наприклад, SOLIDWORKS, SIEMENS NX, FUSION 360.

Таким чином, на сьогодні в арсеналі 3D-моделювальника є широкий спектр інструментів. Вибір методу залежить від поставленої задачі: для анімації або візуалізації доцільно застосовувати полігональне моделювання; для точного опису складних інженерних форм — твердотільне або параметричне; для створення складних, гладких поверхонь, як у випадку з автомобілями, — поверхневе та NURBS-моделювання. Саме останнє і є ключовим інструментом у розробці цифрових моделей транспортних засобів, оскільки поєднує в собі художню свободу і математичну точність.

У 3D-моделюванні виділяють кілька ключових підходів до побудови об'ємних форм, серед яких найбільш поширеними є полігональне моделювання, сплайнове моделювання та NURBS-моделювання. Кожен з цих методів має свої особливості, переваги та обмеження, а також специфіку застосування у різних галузях — від анімації до інженерного проєктування [22]. Вибір між ними визначається насамперед вимогами до точності, гладкості поверхонь,

обчислювальної складності та подальшого використання моделі (рендеринг, симуляція, виготовлення деталей).

Полігональне моделювання (polygonal modeling) базується на принципі розбиття об'єкта на сітку плоских поверхонь — полігонів [29]. Найчастіше використовуються трикутники або чотирикутники, які спільно утворюють геометричну сітку, що приблизно описує поверхню моделі. Даний метод є надзвичайно поширеним у комп'ютерній графіці, зокрема в анімації, розробці відеоігор, віртуальній реальності та кіновиробництві. Головними перевагами полігонального підходу є швидкість роботи, простота інструментів та можливість створення моделей будь-якої складності. Проте поверхні, побудовані таким чином, завжди залишаються ламаними, навіть якщо використовуються мільйони полігонів, що знижує точність при моделюванні складних технічних об'єктів.

Сплайнове моделювання (spline modeling) стало наступним етапом розвитку 3D-графіки, коли з'явилась потреба у створенні більш гладких і візуально приємних форм. Основою цього методу є математичні криві, що проходять через або поблизу заданих контрольних точок [26]. Найвідомішими серед них є криві Безьє, B-сплайни та їхні модифікації. Поверхні, побудовані зі сплайнів, мають високу ступінь гладкості та візуальної естетики. Такий підхід дозволяє будувати як окремі компоненти, так і цілісні оболонки складних об'єктів. Однак традиційне сплайнове моделювання має певні обмеження у гнучкості контролю форми, а також не завжди забезпечує точне математичне представлення кривих при їх складному редагуванні або конвертації.

Розширенням і вдосконаленням сплайнового моделювання стало використання технології NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines), яка є нині провідним інструментом у промисловому дизайні та CAD/CAM-системах [26]. NURBS дозволяють побудову поверхонь і кривих, що визначаються через контрольні точки, вагові коефіцієнти та вузлові вектори. Головна перевага

NURBS-моделювання полягає у здатності створювати об'єкти з ідеально гладкими поверхнями, які точно описуються математично [25]. Завдяки цьому такі моделі можуть бути не тільки використані для візуалізації, але й безпосередньо передані у виробничі процеси. Крім того, вони забезпечують неперервність першого та другого порядку ($G1$, $G2$) між поверхнями, що критично важливо для аеродинаміки та безшовного з'єднання панелей кузова автомобіля.

Порівнюючи полігональне та NURBS-моделювання, можна стверджувати, що перше є більш гнучким у творчих проєктах з акцентом на швидкість та ефекти, тоді як друге орієнтоване на точність, реальну геометрію та виробничі стандарти. Сплайнове моделювання, у свою чергу, виступає як проміжна ланка, яка поєднує зручність редагування з високою гладкістю форм, однак вимагає досвіду та точного розуміння математичних основ побудови кривих [19].

Таким чином, сучасне 3D-моделювання у транспортному дизайні базується на комбінуванні цих підходів, проте саме NURBS-технологія вважається стандартом у галузі, оскільки забезпечує і точність, і гладкість, і функціональність, необхідні для створення реалістичних і придатних до виробництва моделей автомобілів.

1.3. Застосування NURBS-моделювання в промисловому дизайні: переваги, обмеження та сфери використання

Виконуючи порівняння методів у контексті автомобільного дизайну, ми бачимо, що у сучасному автомобільному дизайні вибір методу тривимірного моделювання відіграє ключову роль, оскільки саме від нього залежить точність геометрії, естетична якість форми, зручність подальшого редагування та можливість інтеграції в інженерно-виробничі процеси. Для ефективного застосування 3D-моделювання в галузі автотранспорту необхідно враховувати

технічні та функціональні вимоги, особливості програмного забезпечення, а також рівень взаємодії між етапами дизайну, прототипування і виробництва. Основними методами, які застосовуються в автомобільному проєктуванні, залишаються полігональне, сплайнове та NURBS-моделювання [17]. Кожен з них має свої переваги, недоліки й сферу найбільш ефективного використання.

Варто зауважити, що полігональне моделювання, незважаючи на свою обмежену точність, широко використовується на ранніх етапах концептуального проєктування. Воно дозволяє швидко створити загальну форму, відпрацювати пропорції та зручно інтегрується з інструментами для рендерингу та візуалізації.

У рамках демонстраційних моделей, відеопрезентацій або концепт-дизайну, де не вимагається абсолютна геометрична точність, полігональні об'єкти є зручними і досить ефективними [23]. Однак під час переходу до інженерного рівня, де необхідно забезпечити злагоджену роботу між кузовними панелями, ідеальну гладкість поверхонь та адаптацію до технологічних вимог, цей метод стає непридатним через ламану природу поверхонь і складність у створенні високоточної геометрії.

Доцільно додати, що сплайнове моделювання в автомобільному дизайні здебільшого використовується для формування окремих елементів або профілів, з яких потім створюються поверхні. Воно дозволяє контролювати форму через набір кривих і є придатним для проєктування внутрішніх і зовнішніх елементів, особливо тоді, коли потрібно забезпечити плавні переходи та стилістичну цілісність. Застосування сплайнів є поширеним при формуванні панелей інтер'єру, світлотехніки, декоративних вставок [28]. Утім, цей підхід не завжди дає змогу досягти промислового рівня якості поверхонь, якщо не підкріплений точними математичними алгоритмами, як це реалізовано в NURBS.

Цікавим є факт, що NURBS-моделювання виступає як найбільш універсальний і точний метод у контексті автомобільного дизайну. Саме завдяки йому можливе створення поверхонь з неперервною кривизною, збереження

високої точності при масштабуванні та легкість у подальшому редагуванні. У великих автомобільних компаніях, таких як BMW, Mercedes-Benz, Toyota, Audi, Volkswagen, саме NURBS використовується при створенні так званих Class-A поверхонь — найвищого рівня якості зовнішніх кузовних елементів [8]. Дані поверхні повинні не лише виглядати бездоганно, але й бути готовими до безпосереднього використання у виробничих процесах без додаткової геометричної обробки. Завдяки можливості тонкого контролю кривизни, точного позиціонування контрольних точок та збереження безшовності, NURBS-поверхні ідеально підходять для аеродинамічних обчислень, підгонки деталей та візуального брендингу [8].

Одже, полігональне моделювання є доречним на стадії попередніх ескізів і концептів, коли пріоритетом є швидкість і візуалізація. Сплайнове моделювання ефективне у формуванні структурно простих, але візуально важливих компонентів. А NURBS-моделювання забезпечує необхідну якість, точність і функціональність для переходу від цифрової моделі до інженерної документації та реального виробництва. У поєднанні всі ці методи створюють повноцінну систему, яка охоплює весь цикл автомобільного дизайну — від концепції до готового продукту.

У сучасному промисловому дизайні, де високі вимоги ставляться як до функціональності, так і до естетики виробу, технологія NURBS-моделювання (Non-Uniform Rational B-Splines) займає провідне місце серед засобів створення тривимірної геометрії. Вона стала стандартом у галузях, де точність поверхні та її безперервність відіграють ключову роль — зокрема, в автомобілебудуванні, авіаційній промисловості, дизайні побутової техніки, електроніки, медичних пристроїв і суднобудуванні [3]. Завдяки можливості побудови ідеально гладких, математично коректних форм, NURBS-моделі ідеально відповідають вимогам як концептуального проєктування, так і серійного виробництва.

Однією з ключових причин популярності NURBS у промисловому дизайні є те, що ця технологія дозволяє створювати поверхні з високим ступенем точності, незалежно від складності форми. На відміну від полігональних сіток, які лише наближено імітують кривизну, NURBS забезпечує безперервну геометрію першого (позиція) та другого (кривизна) порядків [21]. Що особливо важливо у створенні зовнішніх панелей автомобіля, де візуальна цілісність, аеродинаміка та легкість складання мають критичне значення.

Ще одним аспектом ефективності NURBS у промисловому дизайні є можливість побудови так званих Class-A поверхонь — поверхонь найвищої якості, які є готовими до виробництва без подальшої геометричної оптимізації. Такі поверхні повинні бути візуально привабливими, не мати зламів, бути безшовно інтегрованими в загальну форму та відповідати інженерним стандартам виробництва. Саме завдяки NURBS-підходу компанії можуть створювати віртуальні прототипи, які одразу використовуються у цифрових макетах, інженерних аналізах та симуляціях [27].

Доцільно зауважити, що у промисловому середовищі NURBS-моделювання зазвичай реалізується у високопрофесійних CAD/CAS-системах, таких як Autodesk Alias, Siemens NX, Rhino 3D, CATIA, які спеціально розроблені для обробки складної поверхневої геометрії. Представлені програмні продукти не лише дозволяють будувати NURBS-моделі, а й надають розширені інструменти аналізу кривизни, з'єднання поверхонь, контролю гладкості та адаптації до виробничих технологій, таких як лиття, пресування або фрезерування.

Наприклад, у процесі проєктування побутових приладів — фенів, прасок, кавоварок — дизайнери можуть вручну налаштовувати плавність переходів між поверхнями, розміщення панелей, підписи та текстури, що враховуються у фінальній формі виробу.

Крім геометричної точності, NURBS-моделі мають ще одну перевагу — вони є незалежними від роздільної здатності, на відміну від полігональних сіток. Що означає, що масштабування або зміна кута огляду не призводить до спотворення або втрати якості зображення, що критично важливо для візуалізацій, презентацій і подальшої інженерної обробки [30].

У контексті сталого дизайну та сучасних тенденцій цифрового виробництва, застосування NURBS-моделей сприяє мінімізації витрат на фізичне прототипування, скороченню часу на розробку продукту та забезпеченню більш гнучкого й адаптивного підходу до розробки нових виробів [7]. Дизайнери можуть швидко вносити зміни, відстежувати взаємозв'язки між елементами моделі, адаптувати форми до змінних умов ринку або побажань замовника без повного перезбирання моделі [26].

Одже, технологія NURBS-моделювання не лише забезпечує необхідну точність і гладкість поверхонь, але й відіграє стратегічну роль у цифровій трансформації промислового дизайну. Її використання дозволяє поєднувати естетику, функціональність і виробничу придатність, що робить її незамінною у створенні сучасних промислових продуктів — від концепції до готового об'єкта.

1.4. Аналіз програмного забезпечення для NURBS-моделювання в CAD/CAM-середовищах

Виконуючи аналіз програмного забезпечення для NURBS-моделювання, можна сказати, що розвиток цифрових технологій і зростання вимог до точності та якості тривимірних моделей у промисловому дизайні, зокрема в автомобільному проєктуванні, привів до створення широкого спектра програмного забезпечення, яке підтримує технологію NURBS-моделювання. Дані програмні засоби відрізняються не лише функціональністю, а й рівнем

складності, інтерфейсом, можливостями інтеграції з іншими інженерними системами та орієнтацією на конкретні професійні галузі. У контексті промислового та транспортного дизайну найбільш широко використовуються такі програмні продукти, як RHINOCEROS 3D, AUTODESK ALIAS, SIEMENS NX, CATIA, SOLIDWORKS, а також BLENDER із відповідними доповненнями.

Одним із найвідоміших і водночас доступних рішень є Rhinoceros 3D (або скорочено Rhino) [9]. Дане програмне забезпечення вирізняється гнучкістю, зручним інтерфейсом і повною підтримкою NURBS-моделювання. Основною перевагою Rhino є його здатність працювати з високоточною геометрією та великою кількістю об'єктів без істотного зниження продуктивності. Крім того, Rhino має потужний візуальний скриптовий інструмент Grasshopper, що дозволяє автоматизувати процеси, створювати параметричні об'єкти та будувати складні геометричні залежності [16]. Завдяки своїй відкритості, Rhino також легко інтегрується з іншими CAD/CAM-системами, підтримує численні формати експорту, включно з IGES, STEP, STL, DWG, OBJ та багатьма іншими, що робить його універсальним інструментом у проєктуванні.

Autodesk Alias є спеціалізованим середовищем для автомобільного та промислового дизайну, де особливу увагу приділено саме роботі з поверхнями класу А. Така програма орієнтована на професійних дизайнерів, які займаються створенням концепт-моделей, формуванням стилістики виробів, а також готує геометрію для передачі в інженерні відділи [16]. Alias має широкі можливості аналізу кривизни, автоматичного згладжування переходів між поверхнями, підтримує точне керування сплайнами та NURBS-поверхнями. Саме ця система використовується у студіях таких компаній, як Audi, BMW, Honda та інших світових брендів [18]. Разом із тим, її вивчення вимагає значної кількості часу, а використання – спеціалізованої підготовки.

Siemens NX є потужною інженерною платформою, яка поєднує можливості твердотілого, поверхневого, параметричного і

NURBS-моделювання. Вона забезпечує повний цикл розробки продукту — від створення концепту до виготовлення деталей і збору конструкторської документації [16]. Завдяки високій точності побудови та інструментам цифрової валідації, NX активно використовується на виробництві та в серійному проектуванні. Система має серйозну інфраструктуру інтеграції з CAE та CAM-рішеннями, що дозволяє проводити симуляцію механічних навантажень, теплових процесів і оптимізацію технологій виготовлення безпосередньо на основі створеної NURBS-моделі.

CATIA (Computer Aided Three-dimensional Interactive Application) — це ще один флагман серед програм для моделювання складних поверхонь, який активно використовується в аерокосмічній, автомобільній і суднобудівній галузях. CATIA дозволяє працювати як з твердотільними моделями, так і з поверхнями, підтримуючи побудову елементів з високою точністю. Завдяки модульній структурі система дозволяє гнучко налаштовувати функціональність під конкретні виробничі завдання [10]. Однією з сильних сторін CATIA є робота в умовах колективного проектування, що актуально для великих підприємств, де кілька підрозділів працюють одночасно над різними частинами моделі.

Також слід відзначити SolidWorks, який хоч і не є класичним інструментом для NURBS-моделювання у повному сенсі, однак підтримує побудову поверхонь на базі сплайнів і кривих, забезпечує параметризацію об'єктів і тісну інтеграцію з інженерною частиною виробництва. SolidWorks найчастіше використовується у машинобудуванні, при створенні деталей середньої складності, де критично важливо дотримуватись інженерних стандартів.

Окремо варто згадати Blender — безкоштовне програмне забезпечення з відкритим кодом, яке традиційно асоціюється з полігональним моделюванням. Однак із розвитком спільноти та появою додаткових плагінів Blender отримав часткову підтримку NURBS, що дозволяє використовувати його для початкового проектування або в освітніх цілях [13]. У професійному інженерному

середовищі він застосовується рідко, однак може бути корисним на ранніх стадіях концептуального дизайну, особливо при розробці візуалізацій, анімацій або інтерактивних презентацій.

Підсумовуючи, можна зазначити, що для роботи з NURBS-моделями в автомобільному та промисловому дизайні найбільш ефективними є Autodesk Alias та Rhinoceros 3D, як спеціалізовані інструменти для формоутворення, а також Siemens NX і CATIA як комплексні інженерні системи. Кожне з програмних рішень має власну нішу, технічні особливості та рівень складності, тому вибір програмного забезпечення повинен базуватися на конкретних завданнях, доступних ресурсах і професійному досвіді розробника.

Незважаючи на стрімкий розвиток технологій тривимірного моделювання та широке впровадження NURBS-підходу в галузі промислового і транспортного дизайну, в цій сфері все ще залишаються актуальними низка проблем, які потребують подальшого теоретичного осмислення й практичного вирішення. Аналіз літературних джерел, існуючих підходів до формування 3D-моделей, а також особистий досвід роботи з програмним забезпеченням для NURBS-моделювання свідчить про те, що окремі аспекти, пов'язані як з технологічними, так і з методологічними складнощами, можуть суттєво впливати на якість кінцевого результату та ефективність самого процесу моделювання.

Однією з ключових проблем залишається високий рівень складності побудови NURBS-моделей, особливо у випадках, коли йдеться про багатокomпонентні об'єкти з численними взаємопов'язаними поверхнями. На відміну від полігонального або твердотільного моделювання, де робота з об'єктами часто інтуїтивно зрозуміла, NURBS вимагає точного контролю над вузлами, кривими, ваговими коефіцієнтами та логікою побудови кожної поверхні [14]. Для досягнення високої якості геометрії потрібні глибокі знання у сфері математичного апарату моделювання та практика роботи з відповідними

інструментами. Така ситуація створює бар'єр для початківців і ускладнює впровадження цієї технології у навчальні програми, малий бізнес або індивідуальні дизайн-проекти.

Ще одним проблемним аспектом є складність у забезпеченні неперервності та злиття великої кількості NURBS-поверхонь у межах однієї моделі [11]. Навіть незначна розбіжність між кривими або контрольними точками може призвести до появи зламів, зазорів або зміни кривизни, що є критичним для об'єктів з високими вимогами до візуальної бездоганності, наприклад, зовнішніх кузовних панелей автомобіля. Вирішення таких питань вимагає глибокого розуміння принципів побудови кривих другого порядку та навичок аналізу кривизни ($G1$, $G2$ continuity), що не завжди передбачено у базовій функціональності програмного забезпечення [27].

Також існує проблема недостатньої взаємної сумісності між різними програмами для NURBS-моделювання. Незважаючи на те, що більшість сучасних CAD/CAS-систем підтримують імпорту і експорту у форматах IGES, STEP чи SAT, під час перенесення моделі з однієї програми до іншої можуть виникати неточності, втрата параметрів, порушення топології поверхонь або зміни масштабування. Що, у свою чергу, ускладнює командну роботу над одним проектом, коли різні відділи використовують різні платформи, або коли модель потрібно передати на сторонній виробничий майданчик.

Ще однією помітною проблемою є недостатня адаптація NURBS-моделювання до сучасних підходів швидкого прототипування, зокрема до технологій 3D-друку. Полігональні сітки, які є основним форматом для адитивного виробництва, часто не сприймають криві та поверхні NURBS без попередньої конверсії у трикутну сітку. Така конверсія, особливо при високій складності моделі, може призводити до спотворень, втрати точності або збільшення обсягу файлу в десятки разів. Що створює додаткові етапи в

робочому процесі та може знижувати ефективність реалізації цифрового прототипу [22].

Варто також зазначити проблему обмеженої підтримки з боку відкритого програмного забезпечення. Комерційні продукти, які повністю підтримують NURBS-моделювання, як правило, є досить дорогими і вимагають високих технічних характеристик комп'ютерного обладнання. Безкоштовні або умовно-безкоштовні програми, натомість, зазвичай мають урізаний функціонал або не дозволяють експортувати повноцінні моделі у виробничо-придатному форматі. Що обмежує доступність технології для широкого кола користувачів, зокрема студентів, незалежних дизайнерів або стартапів.

Проблемним залишається й недостатнє методичне забезпечення у процесі викладання теми NURBS-моделювання в технічних та художніх навчальних закладах. Часто навчальні курси зосереджуються на основах 3D-моделювання без глибокого занурення у специфіку побудови кривих, типологію поверхонь, управління топологією або методики оптимізації складних об'єктів. Що, в свою чергу, призводить до того, що випускники можуть володіти лише базовими навичками, недостатніми для професійної роботи у сфері високоточних цифрових проєктів [4].

Узагальнюючи вищевикладене, можна стверджувати, що хоча технологія NURBS-моделювання є однією з найефективніших і найточніших у сучасному 3D-дизайні, її практичне застосування супроводжується низкою викликів. Подолання цих бар'єрів можливе через удосконалення програмного забезпечення, розвиток освітніх програм, забезпечення кращої сумісності між платформами, а також поглиблену міждисциплінарну підготовку майбутніх фахівців. Саме вирішення зазначених проблем і стало передумовою для формування теми цієї дипломної роботи, яка має на меті розробити якісну модель автомобіля з використанням NURBS-інструментарію, враховуючи виявлені обмеження і оптимізуючи підходи до створення поверхонь.

РОЗДІЛ 2 ОСНОВИ NURBS-МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВИБІР СЕРЕДОВИЩА РОЗРОБКИ

2.1. Математичні засади побудови NURBS-кривих: вузли, вагові коефіцієнти, контрольні точки

NURBS-моделювання (Non-Uniform Rational B-Splines) базується на потужному математичному апараті, який забезпечує точне представлення геометричних форм будь-якої складності — від простих ліній до складних поверхонь з подвійною кривизною. Представлений підхід поєднує у собі гнучкість вільного моделювання з високою точністю математичних описів, що робить його незамінним у галузях, де потрібна сувора відповідність геометрії — у промисловому дизайні, авіації, автомобілебудуванні, суднобудуванні та візуалізації продукції [6].

Основу NURBS становить поняття сплайну — математично визначеної кривої, побудованої з часткових поліномів, які з'єднуються в певних вузлових точках (knots). Класичні В-сплайни (Basis splines) вже забезпечують гладкість та безперервність кривої, проте NURBS є їхнім узагальненням. У NURBS-кривих додатково використовується ваговий коефіцієнт, що дозволяє представляти не лише довільні криві, а й точні геометричні форми — зокрема, кола, дуги, еліпси, гіперболи — які неможливо змоделювати звичайними поліноміальними В-сплайнами.

Формально, NURBS-крива визначається як:

$$C(u) = \frac{\sum_{i=0}^n N_{i,p}(u) \cdot w_i \cdot P_i}{\sum_{i=0}^n N_{i,p}(u) \cdot w_i}, \quad u \in [u_0, u_m] \quad (2.1.)$$

де:

- $C(u)$ — точка на кривій при параметрі u ;
- P_i — контрольні точки (control points), що визначають форму кривої;
- w_i — вагові коефіцієнти, які впливають на «тягнення» кривої до відповідної контрольної точки;
- $N_i, p(u)$ — базисні функції ступеня p , які будуються рекурсивно на основі вузлового вектора;
- u_0, u_m — кінці параметричного інтервалу;
- n — кількість контрольних точок мінус один;
- m — розмірність вузлового вектора, що дорівнює $n+p+1$.

Важливу роль у побудові кривих відіграє вузловий вектор — упорядкований набір параметрів, що визначає, у яких точках закінчується дія однієї базисної функції та починається дія іншої. Залежно від розташування цих вузлів NURBS-крива може мати рівномірний, нерівномірний або кластеризований характер — останній дозволяє створювати різку зміну форми в обмеженому фрагменті без порушення глобальної гладкості [21].

Завдяки раціональному (тобто зваженому) характеру опису, NURBS забезпечує більшу точність і контроль за кривиною. Коли всі вагові коефіцієнти рівні одиниці, NURBS-крива перетворюється на B-сплайн [26]. Проте зміна ваг дозволяє витягувати або навпаки «згладжувати» окремі сегменти кривої, що надзвичайно важливо при моделюванні складних поверхонь кузова автомобіля, крила літака або обтічників техніки.

Математична перевага NURBS-представлення полягає ще й у тому, що цей опис є інваріантним до афінних перетворень — тобто криву можна повертати, масштабувати або відображати, і її форма залишатиметься точною без повторного перерахунку всієї геометрії. Така властивість є критично важливою для адаптації моделей до різних умов експлуатації, перенесення між програмними середовищами та інтеграції в складні CAD/CAM-системи [29].

Окрім кривих, аналогічні принципи застосовуються і до поверхонь NURBS, які будуються як двопараметричні функції за аналогічною формулою. Поверхні можуть бути побудовані за допомогою мережі контрольних точок, що формують сітку, де кожна точка має власну вагу, а розрахунок відбувається за двома незалежними параметрами u і v . Що дозволяє створювати такі геометрії, як куполи, крила, бампери, капоти, приладові панелі тощо з високою точністю і контрольованою гладкістю.

З точки зору обчислювальної ефективності, реалізація NURBS вимагає значного ресурсу, оскільки передбачає побудову та оновлення матриць базисних функцій у кожній точці моделі. Проте більшість сучасних програмних систем

включають оптимізовані бібліотеки, що забезпечують реальний час обробки складних поверхонь із тисячами контрольних точок [16]. У сучасних умовах це робить NURBS не лише теоретично привабливим, але й практично реалізованим інструментом моделювання у промисловому дизайні.

Одже, слід зазначити, що саме математичні властивості NURBS — неперервність, точність, масштабованість і універсальність — забезпечують їм лідируюче місце серед сучасних технологій тривимірного моделювання. Глибоке розуміння цих основ є необхідною передумовою для ефективного практичного використання даного методу у проектуванні реалістичних, функціональних і візуально досконалих моделей у транспортному та промисловому дизайні.

У технології NURBS-моделювання (Non-Uniform Rational B-Splines) кожен об'єкт створюється як результат математичного опису, де форма кривої чи поверхні визначається сукупністю параметрів: контрольних точок, вагових коефіцієнтів і вузлового вектора. Дані елементи є ключовими для забезпечення високої точності, гнучкості та універсальності моделювання складних форм, що робить NURBS надзвичайно ефективним інструментом у сфері промислового та автомобільного дизайну.

Контрольні точки — це набір опорних точок у просторі, які не обов'язково лежать на самій кривій або поверхні, але саме вони визначають її геометричну конфігурацію [8]. Крива «тягнеться» до цих точок, формуючи загальну форму. Розташування контрольних точок визначає кривизну, вигини й контури об'єкта. Важливо, що зміщення лише однієї точки призводить до локальних змін, що дозволяє коригувати деталі без порушення загальної структури моделі.

Вагові коефіцієнти (weights) додають ще одну важливу властивість — раціональність [4]. Що означає, що кожна контрольна точка має свій «вплив» на форму кривої або поверхні. Завдяки ваговим коефіцієнтам можна моделювати ідеальні геометричні об'єкти, наприклад, дуги кола або сферичні поверхні, які

не можуть бути точно описані звичайними B-Spline або Bézier кривими. Збільшення ваги певної точки робить криву ближчою до неї, надаючи моделювальнику більше контролю над формою.

Вузли (knots) — це набір чисел, які утворюють вузловий вектор і визначають, як параметричний простір (інтервал, в якому побудована крива) розподіляється між контрольними точками [4]. Від типу вузлового вектора (рівномірного, нерівномірного чи повторюваного) залежить ступінь впливу кожної контрольної точки на криву, а також плавність переходів між сегментами. Наприклад, повторення значення вузла знижує ступінь гладкості кривої в цій точці — це дозволяє створювати кути або ребра на поверхні.

Усі три складові — контрольні точки, ваги й вузли — тісно взаємопов'язані та функціонують як єдина система [4]. Вони забезпечують NURBS-моделям універсальність і точність, необхідні для розробки як естетично витончених, так і функціонально складних компонентів, що є особливо важливим у автомобільному дизайні. Саме ця здатність до точного управління геометрією обумовлює широке використання NURBS у програмному забезпеченні, такому як Autodesk 3ds Max, Rhino чи Alias.

2.2. Обґрунтування вибору програмного забезпечення для реалізації моделі: аналіз можливостей 3ds Max.

Для розробки концептуальної моделі автомобіля нами було вирішено використати програму Autodesk 3ds Max, оскільки вона поєднує у собі широкий набір інструментів для 3D-моделювання, зручний інтерфейс і потужні засоби для візуалізації. Однією з головних причин вибору стало те, що 3ds Max підтримує різні типи моделювання — полігональне, сплайнове та NURBS. Саме NURBS-моделювання було ключовим для мого проєкту, бо воно дозволяє

створювати гладкі, обтічні та точні поверхні, які добре підходять для автомобільного дизайну.

Ще одним плюсом стало те, що 3ds Max має інтуїтивно зрозуміле середовище, що дозволило швидше освоїти процеси створення і редагування моделей. Програма також добре інтегрується з іншими додатками та підтримує популярні формати файлів, що дає змогу легко переносити моделі або імпортувати референси [10]. Окрім цього, у 3ds Max є багато навчальних матеріалів, відео, форумів і документації — це значно спростило роботу над проектом і допомогло швидше знаходити відповіді на технічні питання.

Нарешті, важливим фактором став якісний рендеринг. Завдяки підтримці таких рушіїв, як Arnold або V-Ray, ми мали можливість отримати реалістичні зображення автомобіля, які гарно виглядають на презентації. Усе це разом зробило 3ds Max оптимальним вибором для реалізації мого проекту.

У процесі створення тривимірних моделей, особливо в контексті автомобільного дизайну, ключову роль відіграє правильний вибір програмного забезпечення. Серед широкого спектру інструментів для 3D-моделювання Autodesk 3ds Max вирізняється як одна з найпотужніших і найбільш універсальних платформ, що поєднує гнучкість, точність та професійний інтерфейс користувача. Його застосування в проекті NURBS-моделювання концептуального автомобіля обґрунтоване низкою технічних, функціональних та практичних переваг [14].

По-перше, 3ds Max має розвинену систему NURBS-моделювання, що дозволяє будувати складні поверхні з високим рівнем деталізації. Завдяки точному управлінню контрольними точками, ваговими коефіцієнтами й вузловими векторами, програма забезпечує створення ідеально гладких поверхонь, що є критично важливим для моделювання обтічного кузова автомобіля, декоративних елементів або технічних компонентів.

По-друге, інтерфейс і модульна архітектура 3ds Max дозволяє адаптувати робочий процес до потреб користувача. Що особливо важливо для дизайнерів, які поєднують художній підхід із технічною точністю. Програма підтримує різноманітні формати файлів, що спрощує інтеграцію з іншими інженерними і графічними платформами, такими як AutoCAD, Revit або Adobe After Effects.

Також варто зазначити, що 3ds Max має потужні можливості візуалізації та рендерингу, що дозволяє отримати фотореалістичне зображення створених моделей. У контексті автомобільного дизайну це критично для демонстрації концепту, презентацій або комунікації з потенційними замовниками.

Ще одним аргументом на користь 3ds Max є велика спільнота користувачів, обширна база навчальних матеріалів та регулярні оновлення від розробника. Що забезпечує підтримку та навчання на всіх рівнях — від початківців до професіоналів [18].

На завершення, 3ds Max не лише підтримує NURBS-моделювання як частину своєї функціональності, але й дозволяє поєднувати його з іншими техніками: полігональним, сплайновим чи процедурним моделюванням, що дає змогу створювати гібридні моделі, оптимізовані як для візуалізації, так і для подальшої інженерної обробки. Саме ця гнучкість і функціональна повнота робить 3ds Max ідеальним вибором для розробки тривимірної моделі автомобіля в межах даного дослідження.

Виконуючи огляд можливостей NURBS - моделювання в 3ds Max, маємо сказати, що, це потужне середовище для 3D-моделювання, яке включає у свій функціонал розширений набір інструментів для роботи з NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines). Хоча програма більш відома завдяки полігональному та сплайновому моделюванню, вона також пропонує повноцінну підтримку NURBS-поверхонь, що дозволяє створювати складні, гладкі та параметрично контрольовані форми — ключовий аспект у розробці концептуальних моделей автомобілів.

Основні можливості NURBS-моделювання в 3ds Max включають [29]:

1. *Побудова кривих та поверхонь з високою точністю.* 3ds Max дозволяє створювати криві будь-якої складності за допомогою контрольних точок або інтерполювання. Дані криві можуть бути базою для побудови поверхонь за допомогою операцій loft, extrude, revolve або rail. Такий підхід є особливо ефективним при моделюванні плавних вигинів автомобільного кузова, капотів, дахів або бічних панелей.
2. *Інтерактивне редагування контрольних точок.* Завдяки візуалізації сітки контрольних точок і можливості вільного редагування їх положення, користувач отримує гнучкий контроль над формою об'єкта. Зміна ваги окремих точок дозволяє точно налаштувати кривизну поверхні.
3. *Підтримка різноманітних типів поверхонь.* NURBS-інструменти в 3ds Max дають змогу створювати як основні поверхні (rule, extrude, revolve), так і складніші — за допомогою blend-операцій або поверхонь за сіткою (point surface), що використовуються для плавного поєднання елементів кузова або інтеграції нових деталей у вже готову модель.
4. *Інструменти реконструкції та згладжування.* Програма дозволяє змінювати щільність контрольних точок, перебудовувати поверхні для досягнення більшої плавності, а також згладжувати зони переходу між поверхнями. Що надзвичайно важливо при створенні реалістичних обводів автомобіля без видимих швів чи зламів.
5. *Імпорт/експорт NURBS-даних.* 3ds Max підтримує обмін моделями з іншими CAD-системами (наприклад, Rhino, Alias, SolidWorks) через формати IGES, STEP або SAT. Що дозволяє поєднувати художнє моделювання з інженерним проєктуванням у єдиному робочому процесі.
6. *Використання NURBS як основи для подальшої деталізації.* Створені NURBS-моделі можуть бути конвертовані у полігональні об'єкти, що відкриває доступ до інструментів деталізації, текстурювання та візуалізації

в межах одного середовища, що особливо цінно на стадії рендерингу та створення презентаційних матеріалів.

7. *Засоби візуального контролю якості поверхні.* Вбудовані інструменти перегляду ізоліній, відображення нормалей та перевірки тіней допомагають оцінити, наскільки рівною, гладкою або технічно коректною є створена модель.

Одже, NURBS-моделювання в 3ds Max — це не лише інструмент створення криволінійних поверхонь, а цілий комплекс засобів, що забезпечує точність, контроль і художню виразність при розробці автомобільних форм. Його застосування дозволяє досягати професійного рівня якості без необхідності переходу до спеціалізованих CAD-програм, що робить його ідеальним вибором для дизайнерів концептуального транспорту.

2.3. Етапи побудови концептуальної 3D-моделі автомобіля в середовищі 3ds Max

Процес створення концептуальної моделі автомобіля у середовищі 3ds Max передбачає чітко структурований підхід, що поєднує аналітичне планування та креативне моделювання. Метою такого моделювання є формування візуально привабливої та технічно коректної 3D-моделі, яка може використовуватись як для подальшого рендерингу, так і як основа для інженерного доопрацювання. У межах цієї методики особливу увагу приділено використанню NURBS-моделювання як інструменту для створення складних органічних форм, властивих сучасному автомобільному дизайну [23].

1. *Підготовка довідкових матеріалів (blueprints).* Перед початком моделювання збираються референсні зображення — проекції автомобіля (вигляд спереду, збоку, зверху та ззаду). Дані зображення імпортуються у вікна проєкцій

(Viewports) 3ds Max та вирівнюються відповідно до масштабів. Вони слугують орієнтиром для побудови каркасу та форм основних поверхонь кузова.

2. *Побудова каркасної основи за допомогою NURBS-кривих.* На основі референсів створюється набір NURBS-кривих, які окреслюють ключові контури автомобіля — колісні арки, лінії даху, бокові панелі тощо. Дані криві розміщуються в різних площинах, створюючи «скелет» моделі [23].

3. *Формування основних поверхонь кузова.* За допомогою інструментів Loft, ULoft або Surface from Cross-Sections на базі побудованих кривих створюються плавні поверхні. На цьому етапі контролюється плавність переходів і коректне з'єднання елементів кузова — капота, даху, багажника, крил. Активно використовується редагування контрольних точок для досягнення необхідної обтічності форм.

4. *Деталізація моделі.* Після створення базової геометрії додаються елементи: дверні прорізи, решітки, фари, ручки, колісні диски тощо. Дані елементи можуть створюватися як за допомогою NURBS, так і полігонального моделювання, залежно від їх складності та подальшого застосування [23].

5. *Створення інтер'єру (за потреби).* Якщо концепт передбачає демонстрацію внутрішнього простору, створюється базова геометрія салону: сидіння, кермо, панель приладів. Такий етап менш деталізований, проте важливий для загального враження від моделі.

6. *Підготовка до візуалізації.* Застосовуються матеріали та текстури, налаштовується освітлення сцени. Поверхні NURBS можна конвертувати у полігони для гнучкішого текстурування. Для реалістичності додаються відблиски, тіні, HDRI-освітлення.

7. *Рендеринг та експорт результатів.* На фінальному етапі виконується рендеринг сцени з кількох ракурсів. Створюються презентаційні зображення, які можна використовувати для демонстрації концепту, портфоліо або захисту дипломної роботи.

Одже, вся методика передбачає поступовість та можливість корекції на кожному етапі. Саме це робить 3ds Max надзвичайно зручним середовищем для експериментального дизайну, де студент або дизайнер може протестувати різні варіанти форм, матеріалів і конфігурацій автомобіля. Процес моделювання у 3ds Max — це поетапна робота над створенням тривимірної об'єкта, яка включає як побудову базової геометрії, так і поступову деталізацію та підготовку до рендерингу. У контексті розробки концептуальної моделі автомобіля дані етапи мають чітку логіку та взаємозв'язок, що дозволяє досягти високої якості й реалістичності результату. Розглянемо кожен з них більш детально [9]:

1. Імпорт референсів (blueprints) та підготовка сцени. Робота розпочинається з розміщення креслень автомобіля у відповідних вікнах проєкцій (Front, Side, Top, Back). Важливо правильно масштабувати зображення й прив'язати їх до координатної сітки, щоб у подальшому уникнути похибок у геометрії.

2. Створення базової структури (каркас). Використовуючи сплайни або NURBS-криві, моделюється контур автомобіля у різних площинах. Криві з'єднуються поверхнями методом Loft, ULoft, Surface from Cross-Sections тощо. Це дає змогу побудувати загальний об'єм кузова.

3. Формування основних об'ємів. На цьому етапі створюються великі геометричні частини: капот, дах, багажник, двері, колісні арки. Застосовується симетрія, щоб працювати лише з однією половиною кузова й автоматично дублювати зміни на інший бік.

4. Деталізація поверхні. Додаються малі елементи: прорізи для вікон, дзеркала, решітка радіатора, фари, дверні ручки. Використовуються інструменти Boolean, Extrude, Bevel, Chamfer для обробки країв, виступів, заглиблень.

5. Побудова інтер'єру (опціонально). За необхідності створюється базовий салон автомобіля: передні сидіння, панель приладів, кермо. Найчастіше інтер'єр

моделюється спрощено — для загального сприйняття через лобове або бокове скло.

6. *Налаштування матеріалів і текстур.* До кожного елемента моделі застосовуються відповідні матеріали — метали, пластик, скло, гума. Матеріали створюються в редакторі матеріалів (Material Editor), із налаштуванням кольору, відбиття, блиску тощо. При потребі додаються карти текстур (bump, reflection, opacity).

7. *Розміщення освітлення та камери.* Для фотореалістичного рендерингу сцени розміщуються джерела світла — стандартні або V-Ray/Arnold (залежно від рушія рендерингу). Налаштовується HDRI для природного освітлення. Камера розміщується під потрібним кутом для презентаційних кадрів.

8. *Рендеринг та експорт зображень.* Завершальний етап — запуск рендеру з оптимальними параметрами якості. Створені візуалізації експортуються у форматах .jpg або .png. За потреби результат може бути допрацьований у графічному редакторі (наприклад, Photoshop).

9. *Збереження файлів і створення резервних копій.* Важливо регулярно зберігати версії файлу та створювати резервні копії, особливо після завершення ключових етапів. Що гарантує захист від втрати даних.

Одже, завдяки цьому поетапному підходу 3ds Max забезпечує зручність, контроль і якість у створенні 3D-моделей. Його модульність і широка підтримка інструментів дає змогу адаптувати процес моделювання під специфіку будь-якого дизайнерського чи інженерного завдання.

2.4. Особливості візуалізації та рендерингу NURBS-об'єктів у середовищі 3ds Max

Розглядаючи особливості рендерингу та візуалізації NURBS-моделей у 3ds Max, ми бачимо, що рендеринг та візуалізація є завершальним і надзвичайно

важливим етапом у процесі створення 3D-моделі, оскільки саме вони визначають, як модель буде виглядати на екрані або у презентаційних матеріалах. У випадку з NURBS-моделюванням у 3ds Max, візуалізація має свої особливості, пов'язані з математичною природою поверхонь і способом їх обробки програмою.

Перед рендерингом слід переконатися, що всі поверхні замикаються належним чином, не мають проривів і накладених один на одного сегментів. У 3ds Max NURBS-поверхні іноді вимагають додаткової оптимізації або конвертації в полігональні (Editable Poly) для уникнення артефактів під час візуалізації [10].

Оскільки NURBS-поверхні визначаються параметричними кривими, їх точність і гладкість безпосередньо залежать від щільності сітки, з якою вони виводяться на рендер. У властивостях поверхонь можна керувати параметром «Tessellation», який визначає ступінь розбиття криволінійної поверхні на полігони. Занадто низьке значення спричинить кутові переходи, надто високе — перевантажить сцену.

Для отримання реалістичного вигляду моделі використовуються фізично коректні матеріали (PBR — Physically Based Rendering), які підтримують взаємодію зі світлом. У 3ds Max можна застосовувати стандартні матеріали або V-Ray/Arnold-шейдери. Важливим є коректне налаштування властивостей: блискучості (glossiness), відбиття (reflectivity), шорсткості (roughness), що дозволяє передати різні типи матеріалів: метал, скло, пластик [9].

Успішна візуалізація значною мірою залежить від освітлення. Для NURBS-моделей, які часто мають складні криволінійні форми, важливо використовувати м'яке і рівномірне освітлення (наприклад, HDRI-середовище), щоб уникнути різких тіней і підкреслити плавність поверхонь. Також часто використовують студійне освітлення з кількома джерелами світла для акцентування силуету та рефлексів.

Камера розміщується під вигідними ракурсами для демонстрації характеру форми. Використовується глибина різкості (Depth of Field), зміна фокусної відстані та перспективи. Часто створюються кілька кадрів з різних боків, а також анімовані повороти для інтерактивних презентацій.

3ds Max підтримує кілька рушіїв рендерингу — Arnold (вбудований за замовчуванням), V-Ray, Corona Renderer та інші. Для NURBS-моделей найбільш оптимальними є ті рушії, що забезпечують фізично точну обробку світла й матеріалів, а також коректне згладжування поверхонь [10].

Після завершення рендерингу результати часто допрацьовуються в графічних редакторах (наприклад, Adobe Photoshop) для корекції кольору, контрасту, яскравості, а також додавання фонових елементів або логотипів. У більш складних випадках може застосовуватися композитинг у After Effects або Nuke.

Таким чином, візуалізація NURBS-моделей у 3ds Max — це поєднання точного технічного підходу та художнього бачення. Правильно налаштовані матеріали, світло і камера здатні не лише продемонструвати якість моделі, але й підкреслити дизайнерську ідею, зробити її виразною та привабливою для цільової аудиторії.

РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ У 3DS MAX

3.1. Побудова базової конструкції автомобіля з використанням NURBS-кривих

DeLorean DMC-12 був спроектований відомим інженером Джоном Делореаном та його командою в середині 1970-х років. Ключовою особливістю цього автомобіля став його футуристичний зовнішній вигляд, зокрема двері типу "крила чайки", що відкриваються вгору. Це нестандартне рішення забезпечувало зручний доступ до салону, особливо в обмежених просторах, і стало однією з основних рис, що визначають стиль автомобіля.

Матеріал кузова DeLorean DMC-12 також був інноваційним на той час: він був виготовлений з нержавіючої сталі, що надавало йому не лише унікальний вигляд, а й високу стійкість до корозії. Однак, нержавіюча сталь мала свої технічні недоліки, такі як висока вага та схильність до подряпин, що не було враховано на етапі проектування. Попри це, такий матеріал став відображенням

бажання створити "автомобіль майбутнього", який відрізнявся від звичних автомобілів того часу.

Екстер'єр автомобіля також включав прямі, чітко виражені лінії, які підкреслювали його спортивний характер. Кузов мав характерну прямокутну форму, що забезпечувала великий простір для внутрішнього компонування та створювала відчуття потужності та стабільності. Конструкція кузова була розроблена з урахуванням принципів аеродинаміки, хоча на той час ці деталі були не настільки оптимізованими, як у сучасних спортивних автомобілях .

DeLorean DMC-12 мав центрально розташований двигун, що забезпечувало хорошу балансованість та динаміку руху. Двигун був шестициліндровим V-образним агрегатом потужністю 130 к.с., що дозволяло автомобілю досягати максимальних швидкостей близько 200 км/год. Однак для спортивного автомобіля такої категорії ці показники були порівняно невисокими, що в певній мірі знижувало його конкурентоспроможність .

Автомобіль був оснащений п'ятиступінчастою механічною коробкою передач або автоматичною трансмісією, що дозволяло водієві вибирати найбільш комфортний режим керування. Однак незважаючи на деякі технічні обмеження, DeLorean DMC-12 був справжнім символом епохи і мав достатній потенціал для любителів швидкості та інновацій .

Незважаючи на короткий період виробництва, автомобіль DeLorean DMC-12 зробив значний вплив на розвиток автомобільної промисловості. Вже на етапі проектування цього автомобіля було зроблено багато інновацій, таких як використання нестандартних матеріалів і рішень в конструкції кузова, що ставали основою для подальших розробок у галузі. Цей автомобіль також став важливим елементом поп-культури, завдяки своїй ролі в серії фільмів *Назад у майбутнє*, де він був використаний як часова машина. Це додало DeLorean DMC-12 особливої привабливості та дозволило йому стати культовим автомобілем серед колекціонерів і автолюбителів .

На цьому етапі розпочинається безпосередня побудова 3D-моделі основних форм кузова автомобіля.

Для початку референсні зображення були розміщені у в'юпорті. Для цього було створено 4 площини, по одній на кожний ракурс автомобіля (перед, зад, бік, верх). Після цього за допомогою текстур на площини було нанесено референсне зображення з різними планами автомобіля. Для зручної роботи площини були підлаштовані одна під одну, щоб не рухати модель при розробці. Також для кожної площини в налаштуваннях об'єкту було увімкнено параметр see-through, щоб площини не заважали бачити модель.

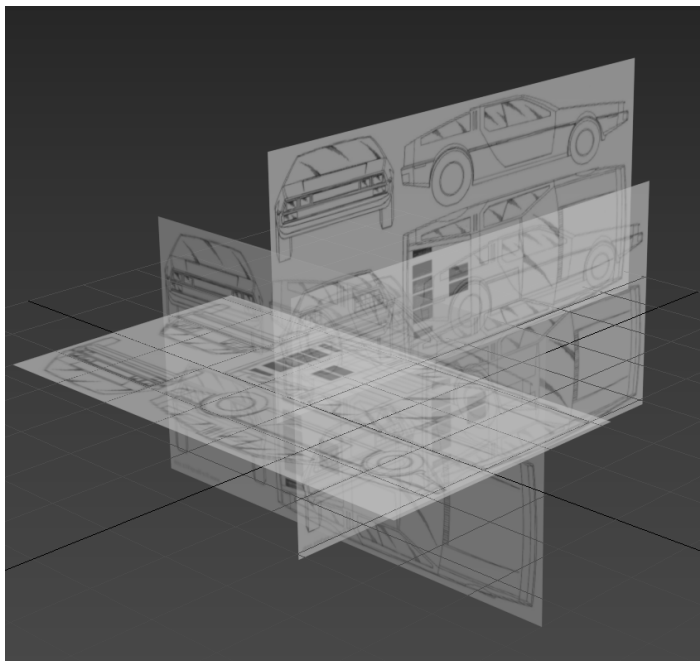


Рисунок 3.1. Референсні зображення у середовищі програми

Наступним кроком було створення основного каркасу кузова автомобіля, з кривих, які потім будуть використані для побудови NURBS-поверхонь. Ці криві задають основні лінії форми кузова, такі як лінії дверей, арки коліс, контури даху та бокової частини. Використовуючи ці криві, було сформовано основу для побудови поверхонь кузова.

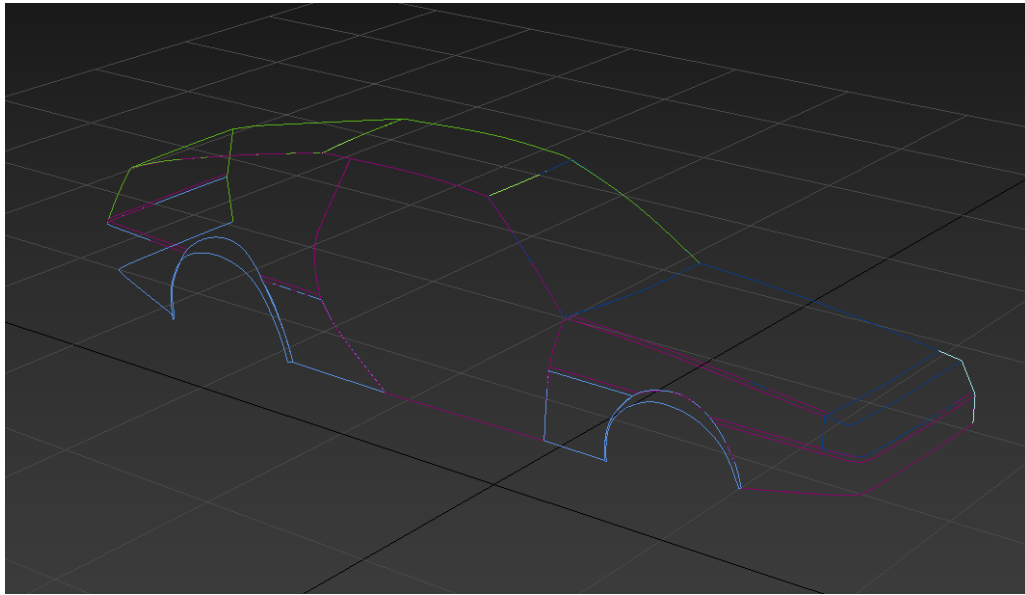


Рисунок 3.2. Каркас автомобіля побудований з кривих

Там де це потрібно, частини кривих було продубльовано, для створення деталей, які ділять між собою лінії кузова. Наприклад, для створення поверхні багажнику, який знаходиться спереду, адже DMC-12 передньомоторний, нам потрібні всі 4 його сторони, тому маємо продублювати по 1 дотичній лінії лобового скла та переднього бампера, так ми отримаємо всі потрібні лінії для створення капота. (Рис 3.3.)

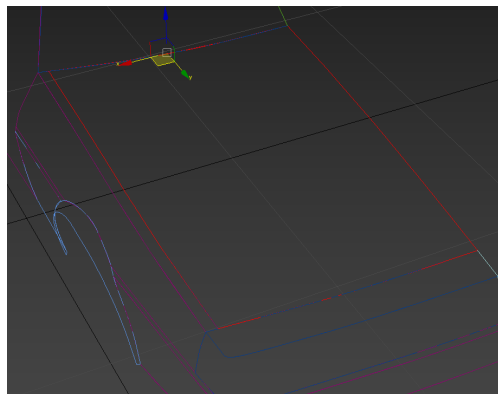


Рисунок 3.3. Каркас капота

3.2. Формування об'ємних поверхонь кузова: методика та інструменти

Після побудови основного каркасу кузова за допомогою кривих наступним

етапом є створення гладких поверхонь, які формують об'ємну геометрію автомобіля. Для початку окремі лінії були об'єднані в NURBS-curve об'єкти, формуючи собою деталі кузова. Це було виконано за допомогою вбудованої в NURBS об'єкти функції **Attach**, яка дозволяє швидко приєднати всі потрібні криві.

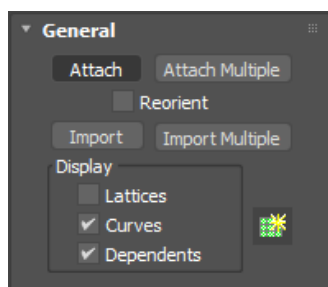


Рисунок 3.4. Функція Attach

Далі, для створення поверхонь, використовувався інструмент **2-Rail Sweep**, який знаходиться в меню **Create Surfaces**, в режимі модифікації для NURBS об'єктів. Він дозволяє створювати більш складні поверхні, орієнтуючись на дві напрямні криві і одну або кілька поперечних кривих. Цей метод ідеально підходить для моделювання деталей кузова. Поверхня, створена за допомогою 2-Rail Sweep, автоматично адаптується до заданих форм рейок, забезпечуючи плавність і точність моделі.

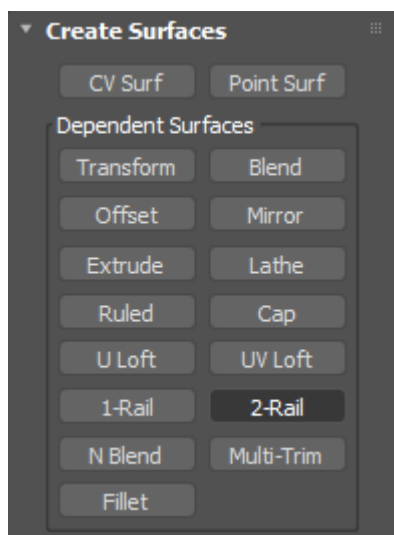


Рисунок 3.5. Інструмент 2-Rail Sweep

В результаті роботи з цим інструментом, було створено всі основні поверхні автомобіля.

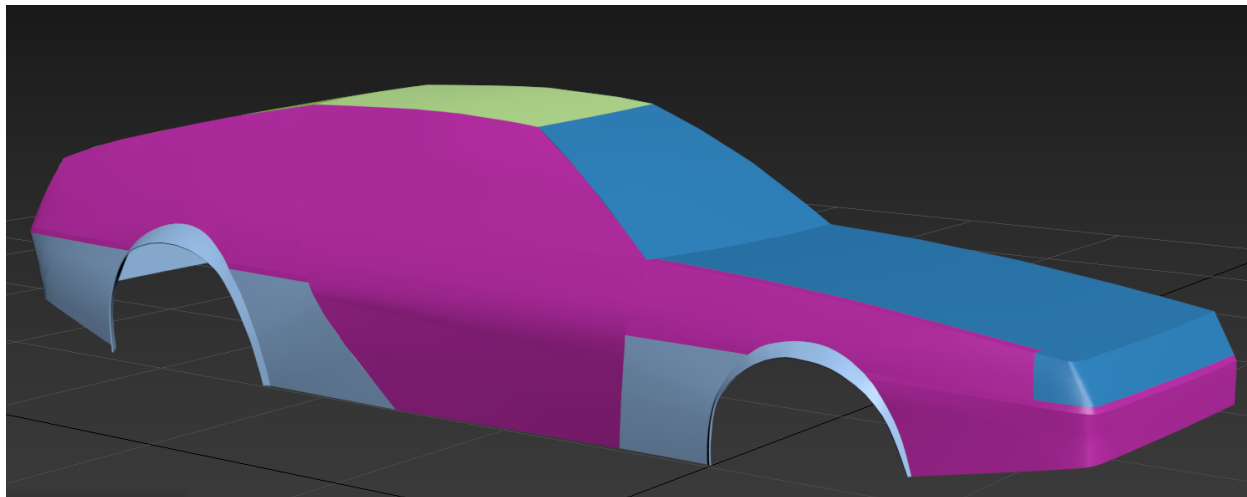


Рисунок 3.6. Кузов DMC-12 з NURBS поверхонь

Після цього, для оптимізації моделі був використаний інструмент **Make Loft**, який дозволяє перебудувати поверхню, зменшивши кількість полігонів. Він знаходиться в меню **Surface Common**, при виборі площини в NURBS об'єктах.

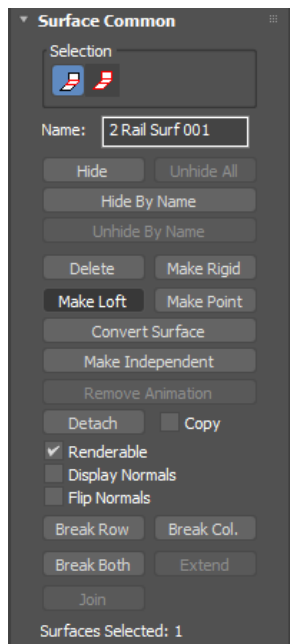


Рисунок 3.7. Інструмент Make Loft

Після вибору кожної окремої поверхні, було обрано параметр **From V Iso Lines**, для побудови з горизонтальних ліній, та підібрано найменшу можливу

кількість ліній, яка збереже форму відповідної поверхні.

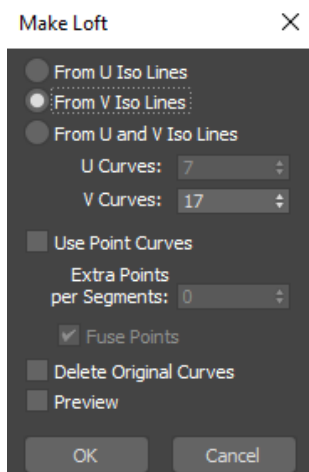


Рисунок 3.8. Меню інструмента Make Loft

За допомогою цього інструменту була оптимізована кожна деталь автомобіля.

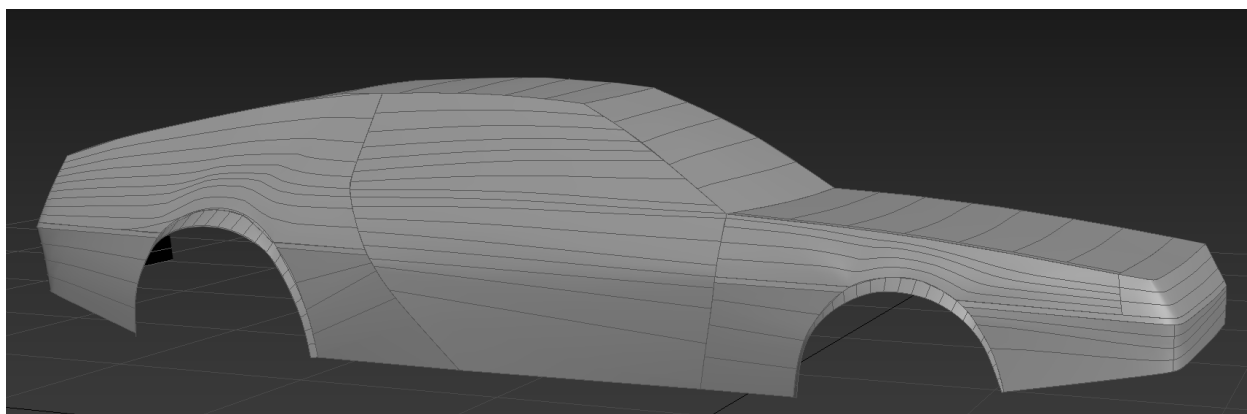


Рисунок 3.9. Кузов DMC-12 з оптимізованих поверхонь

3.3. Деталізація, текстурування та оформлення зовнішнього вигляду моделі

Для початку деталізації, всі об'єкти були перетворені на **Editable Poly**, для можливості їх редагування.



Рисунок 3.10. Меню перетворень об'єктів

Деталізація була почата з передньої частини авто. На передньому бампері інструментом **Cut**, що знаходиться в розділі **Edit Geometry** був вирізаний прямокутник і за допомогою інструмента **Extrude**, який знаходиться в меню **Edit Polygons**, була створена область під фари та решітку радіатора.

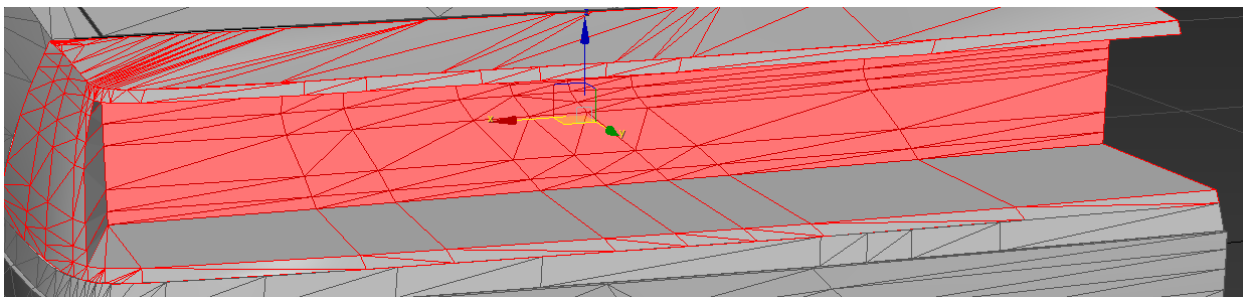


Рисунок 3.11. Область під фари та решітку радіатора

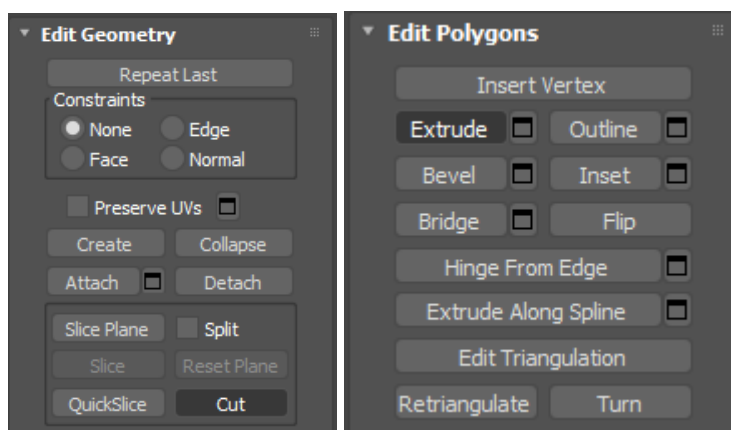


Рисунок 3.12. Інструменти Cut та Extrude

Аналогічним чином було виконано моделювання отвору для поворотника, див додаток А.

Після цього, зі звичайного прямокутника, за допомогою модифікатора **Bevel**, було створено фари автомобіля.

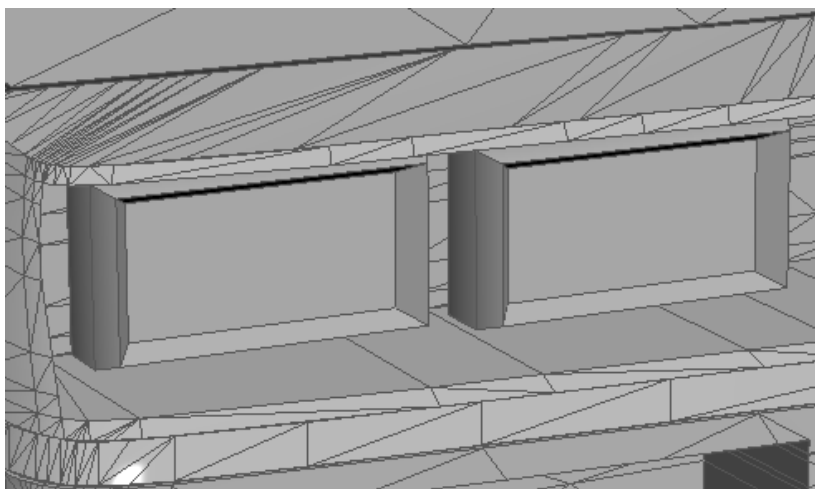


Рисунок 3.13. Фари автомобіля

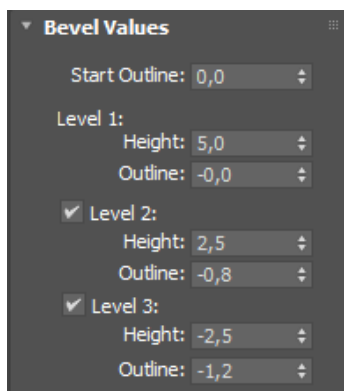


Рисунок 3.14. Меню модифікатора **Bevel**

Також, з форм бампера була створена решітка радіатора.

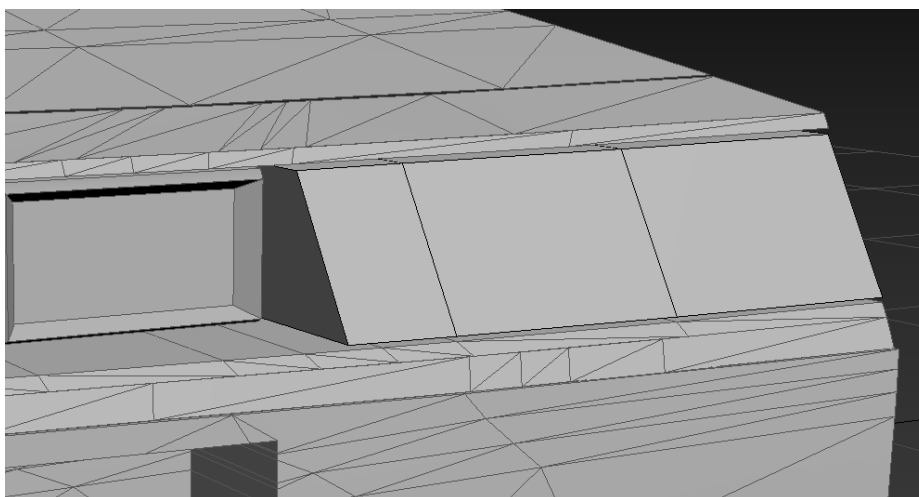


Рисунок 3.15. Решітка радіатора

Потім з **Box**, за допомогою модифікатора **Chamfer** було створено і сам

поворотник.

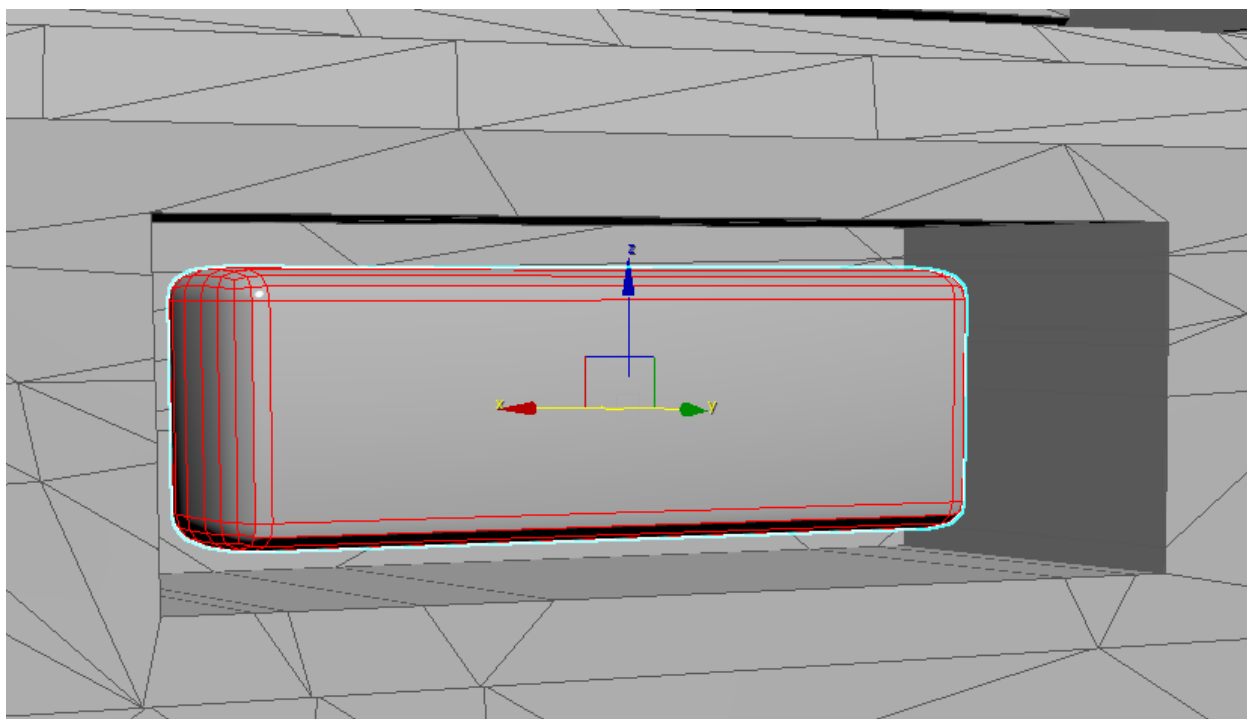


Рисунок 3.16. Поворотник

Після цього з циліндрів за допомогою **Extrude** було створено гвинтики поворотника.

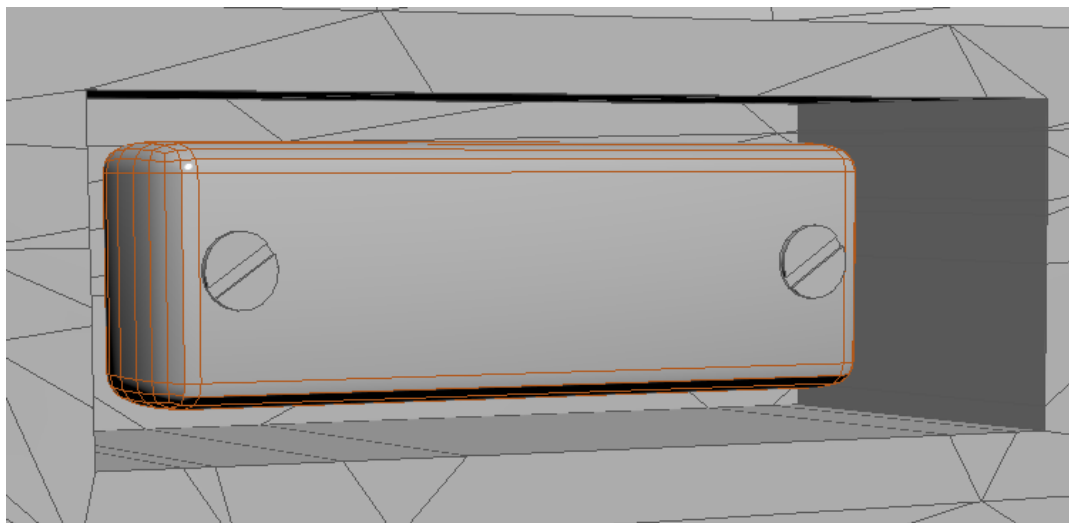


Рисунок 3.17. Гвинтики поворотника

Далі була деталізація лобового скла. Воно має стальну рамку, тому маємо виділити центральну скляну частину за допомогою **Extrude**

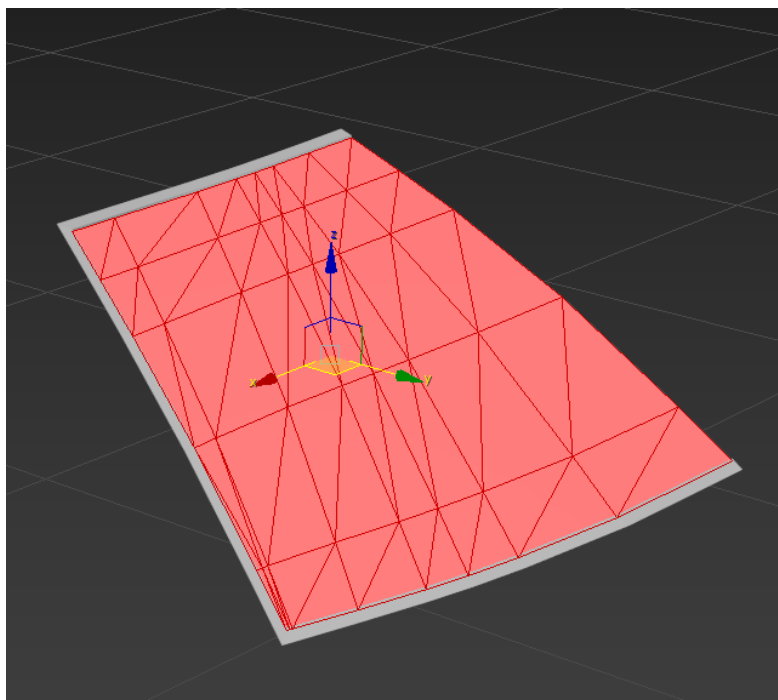


Рисунок 3.18. Лобове скло

Створення бокових вікон було зроблено аналогічно з **Cut** та **Extrude**, див додаток Б.

Далі за допомогою **Extrude** були створені внутрішні частини колісних арок.

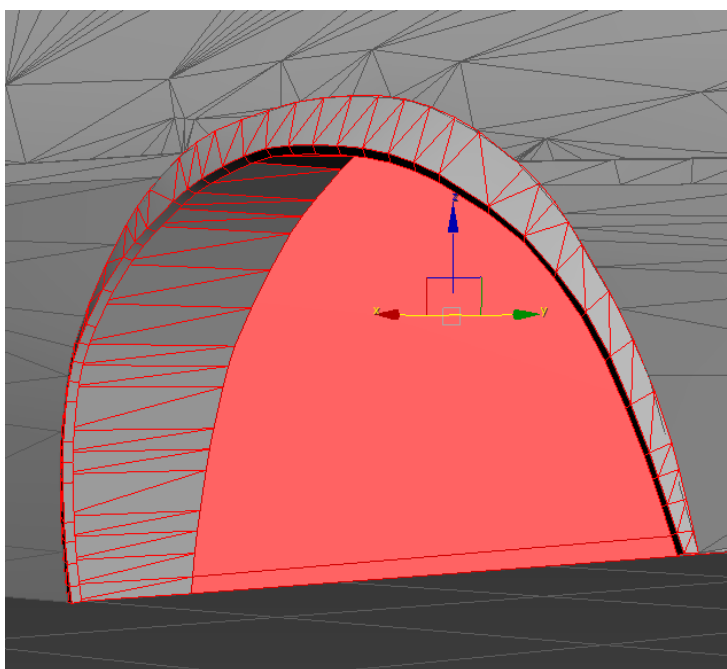


Рисунок 3.19. Колісні арки

DMC-12 має двері типу крила чайки, тому інструментом **Extrude** була сформована верхня частина дверей, а використовуючи **Cut**, в даху був вирізаний відповідний отвір.

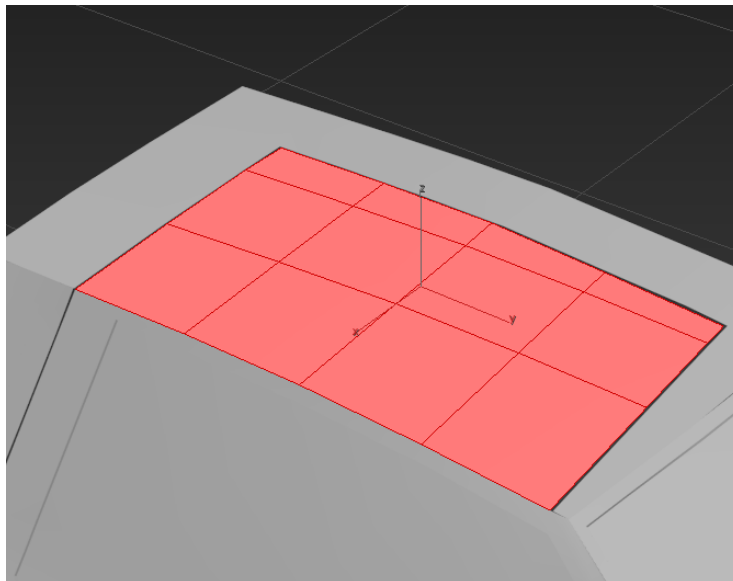


Рисунок 3.20. Верхня частина дверей авто

Після цього у задній арці також через **Extrude** було створено декоративну решітку та дверну ручку; створено перекриття моторного відсіку задіюючи **Cut** та **Extrude**, див додаток В.

Із заднього бампера, за допомогою **Cut** та **Extrude** було створено рамку з ліхтарями та номерним знаком.

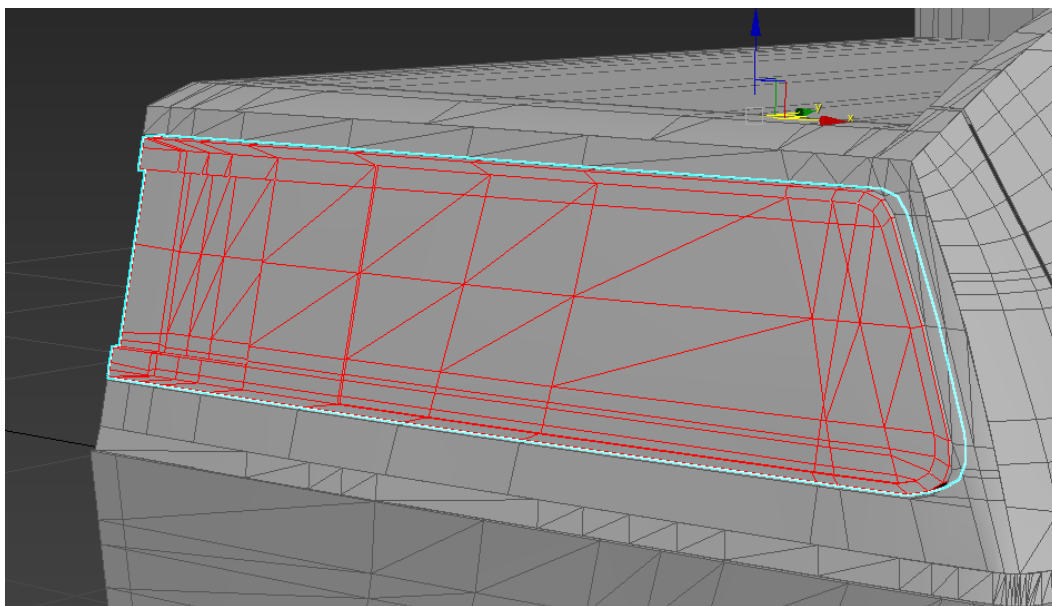


Рисунок 3.21. Рамка з ліхтарями та номерним знаком

З поверхні задньої частини було залишено лише окремі лінії, які потім за допомогою **Extrude** були перетворені на решітку моторного відсіку.

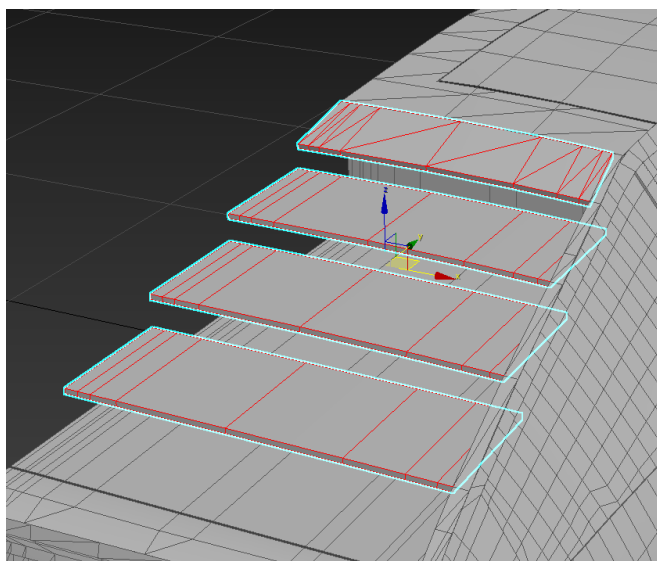


Рисунок 3.22. Решітка моторного відсіку

Потім з елементи кузова були продубльовані і з них був зроблений молдінг, таким самим способом було створено дно авто див додаток В.

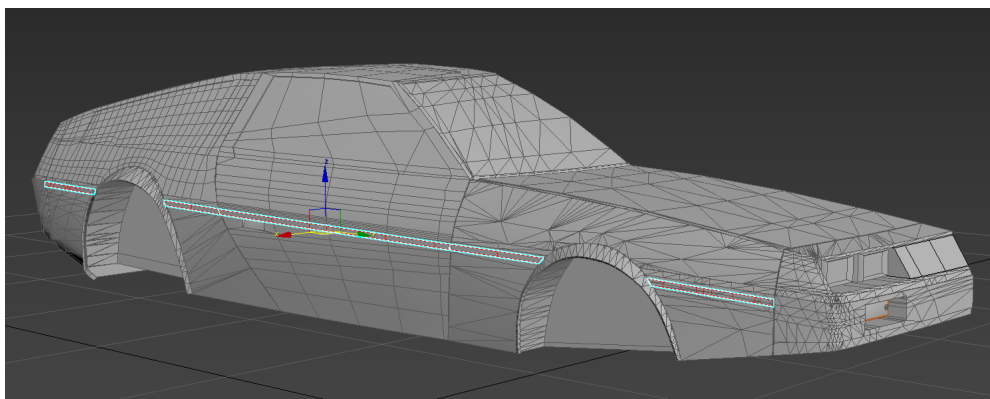


Рисунок 3.23. Молдінг авто

Після цього з **Box** було змодельовано дзеркала.

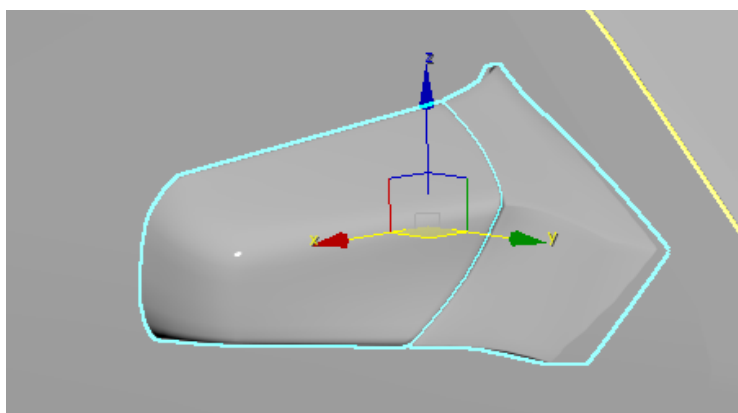


Рисунок 3.24. Дзеркала автомобіля

І з циліндра інструментом **Extrude** була утворена антена.

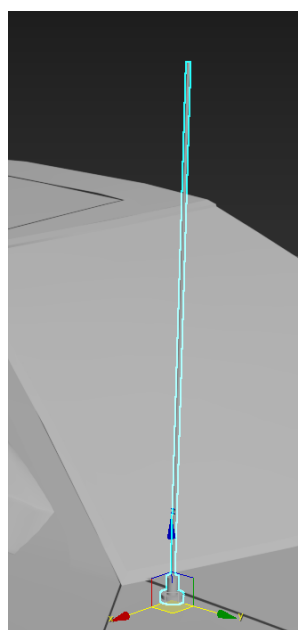


Рисунок 3.25. Антена

Передній бампер було витягнуто через **Extrude** і змодельовано сплітер.

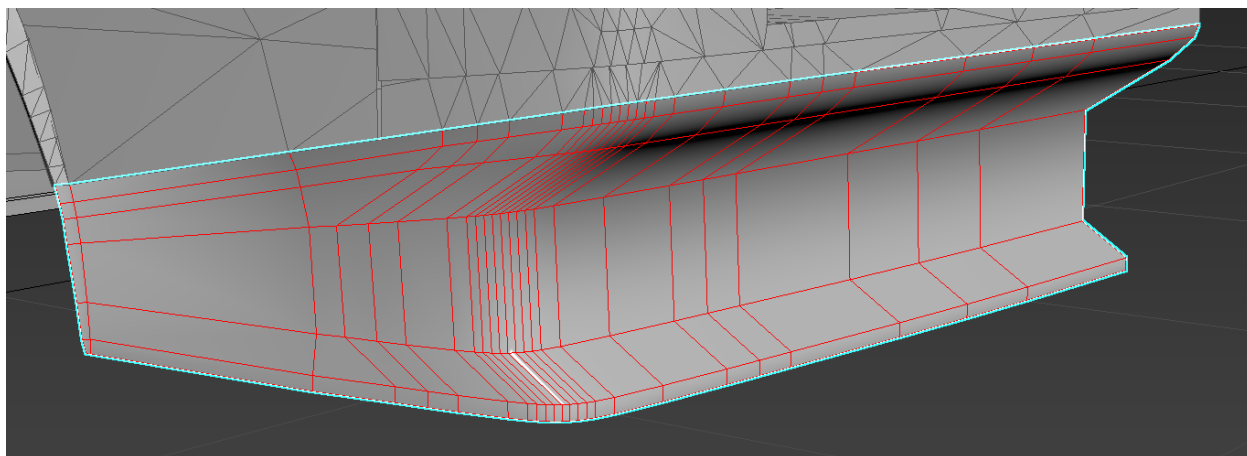


Рисунок 3.26. Сплітер

Між деталями були створені зазори, та модифікатором **Shell** їм була надана товщина, для більшої реалістичності моделі. Також всі поверхні були згладжені параметром **Auto-Smooth** в модифікаторі **Smooth**. На час створення UV-розгортки та текстур, модифікатори були вимкнені.

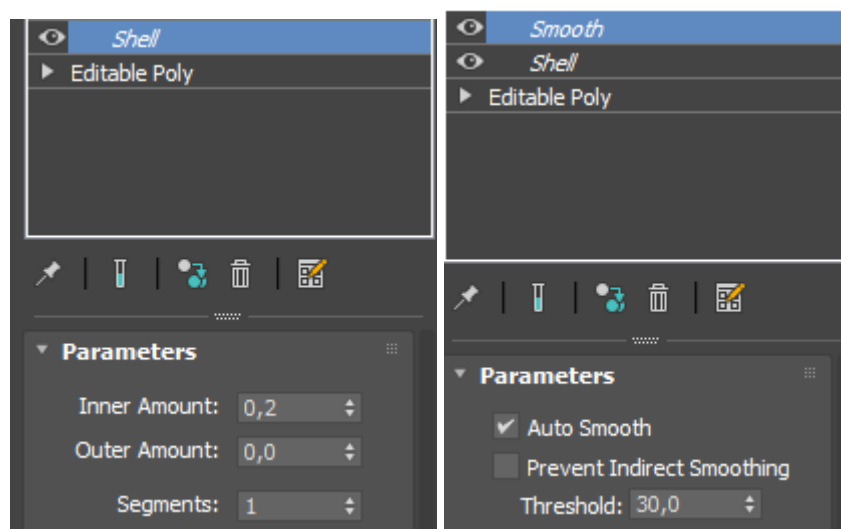


Рисунок 3.27. Модифікатори Shell та Smooth

Останній крок деталізації – колеса. Змодельовано диски з площини, надано товщини модифікатором **Shell**, використано модифікатор **Array**, щоб зробити круглу форму. Виконано центральну частину та гайки з циліндрів та

сфер. Створено гуму з циліндра, малюючи на ньому протектор за допомогою **Cut** та **Extrude**, і так само утворено круглу форму з **Array**.

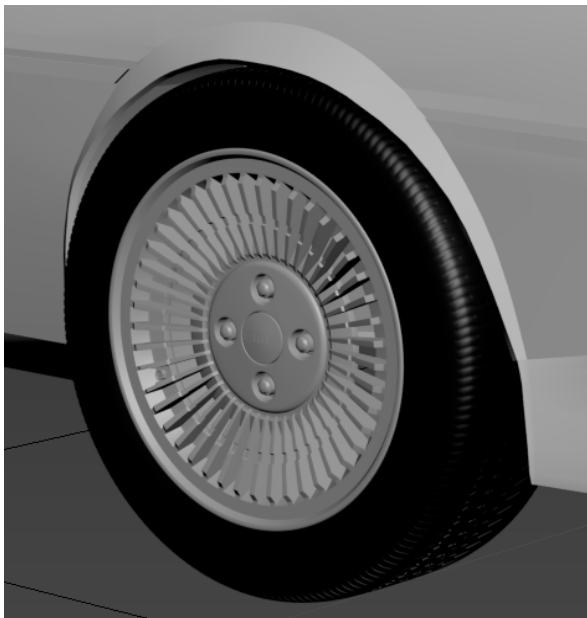


Рисунок 3.28. Модель колеса DMC-12

Після деталізації була отримана половина готової моделі.

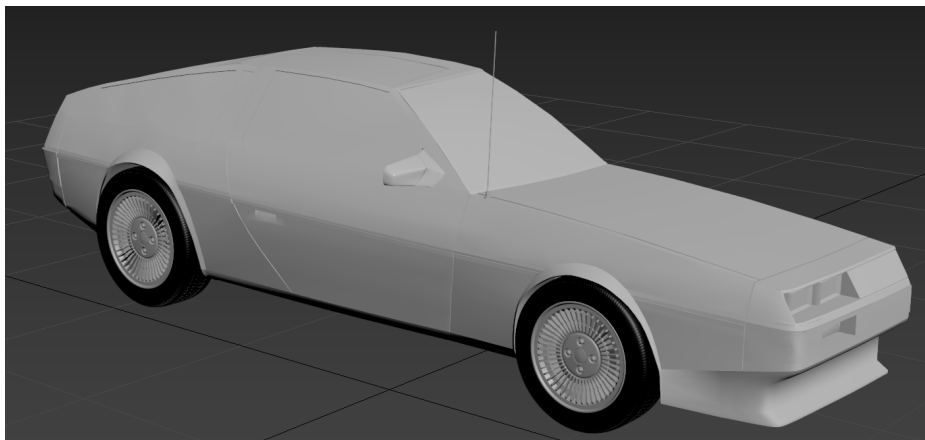


Рисунок 3.29. Деталізована модель DeLorean DMC-12

Наступним кроком створення є **UV-Mapping** моделі, для подальшого накладання на неї текстур.

Почато було з лобового скла. На нього був доданий модифікатор **Unwrap-UVW**. В підрозділі Edge були виділені всі кути, на них були

встановлені шви, за допомогою функції **Convert Edge Selection To Seams**, в розділі **Peel**. Після цього був відкритий редактор UV і у ньому обрана функція **Quick Peel**, яка дозволяє швидко розкласти модель на UV-мапу.

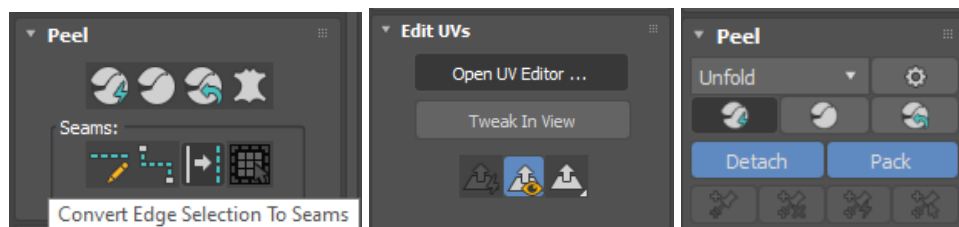


Рисунок 3.30. Процес UV-розгортки деталей

Такі самі дії були пророблені з кожною деталлю авто, після чого, виділивши всі деталі одразу, на них був знову доданий модифікатор **Unwrap-UVW**, для їх пакування на одну UV-мапу. На цей раз у редакторі UV була обрана функція **Pack Normalize**, у розділі **Arrange Elements**. Він дозволяє швидко розташувати всі деталі на одній UV-карті.

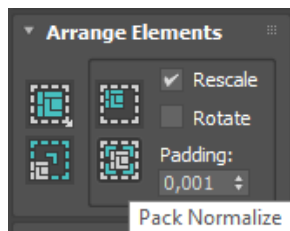


Рисунок 3.31. Функція Pack Normalize

Була отримана така UV-розгортка.

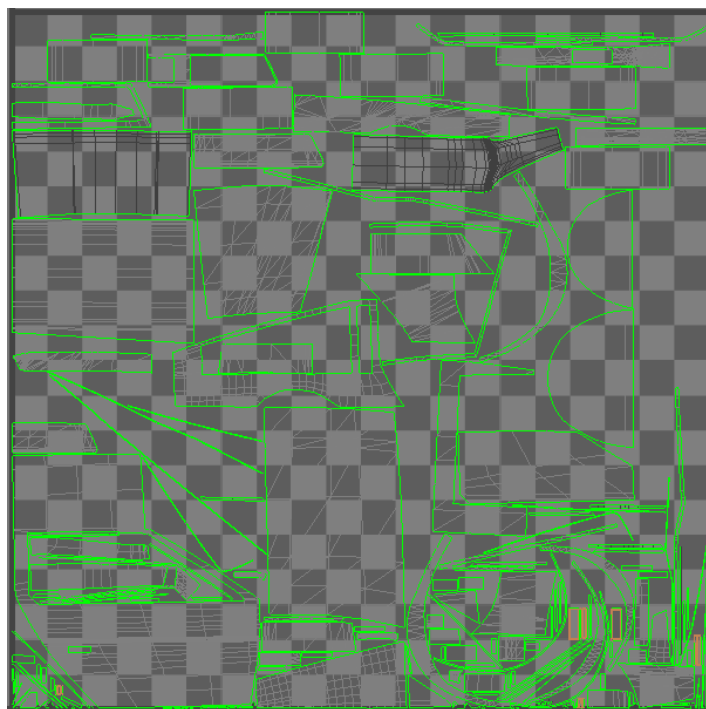


Рисунок 3.32. UV-мапа моделі

3.4. Оцінка технічної та візуальної якості створеної моделі

Для початку потрібно було експортувати модель, для розробки текстур в редакторі Adobe Substance 3D Painter. Для цього було виділені всі деталі авто, після чого в меню File було обрано Export > Export Selected, та обрано формат експорту FBX.



Рисунок 3.33. Експорт моделі в форматі FBX

При створенні проєкту всі параметри були залишені стандартними, крім розміру документа, він був встановлений на 2048. Файлом був обраний наш експортований FBX файл.

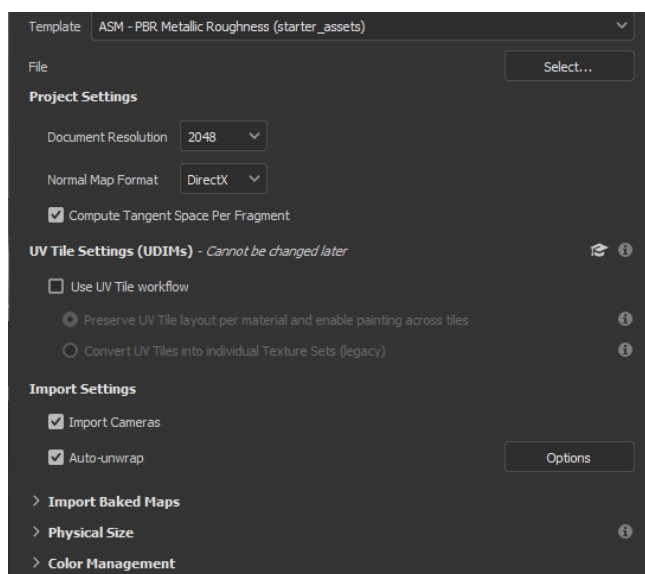


Рисунок 3.34. Створення проєкту в Adobe Substance 3D Painter

Робота була почата з бамперів, на їх елементи було нанесено смарт матеріал пластик, з підібраним кольором.

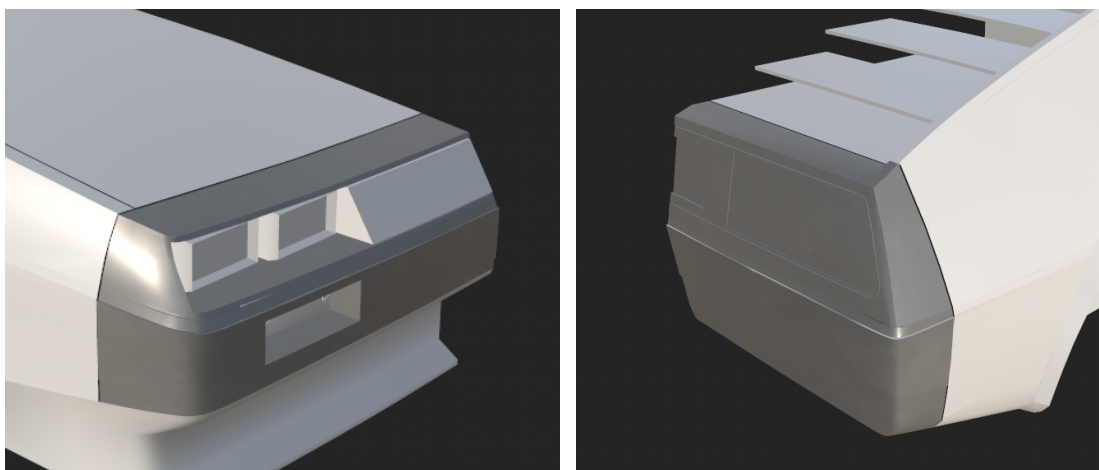


Рисунок 3.35. Бампери авто покриті пластиком

Для цього в матеріалі було обрано базовий шар і у ньому обраний близький до референсу сірий колір.

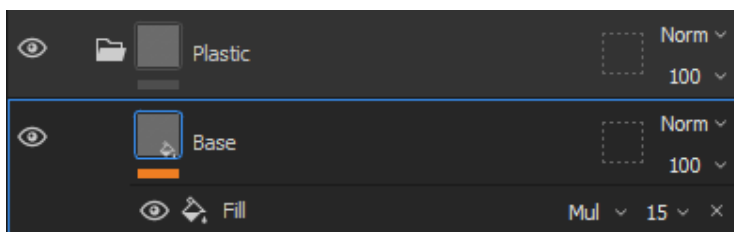


Рисунок 3.36. Меню редагування шарів

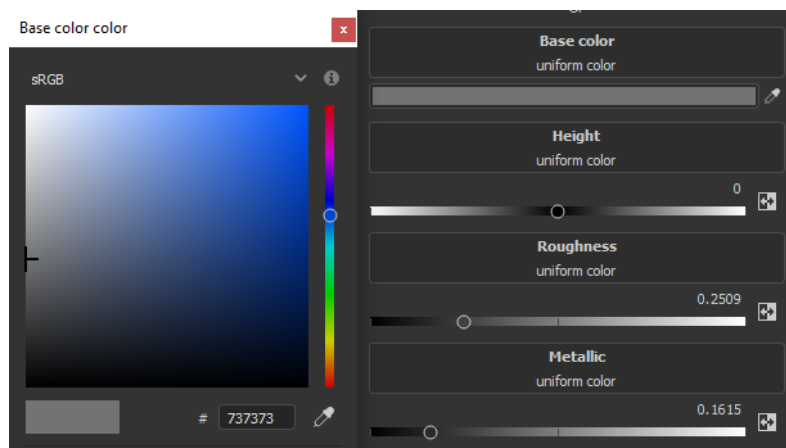


Рисунок 3.37. Меню вибору кольору

На матеріал була додана чорна маска, в яку був доданий шар фарби, для того щоб нанести матеріал тільки на потрібні нам деталі моделі.

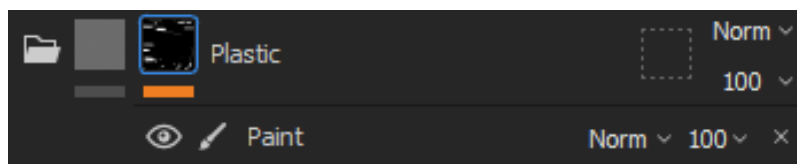


Рисунок 3.38. Додавання чорної маски шару фарби на матеріал

Після цього на модель був доданий смарт матеріал сталь.

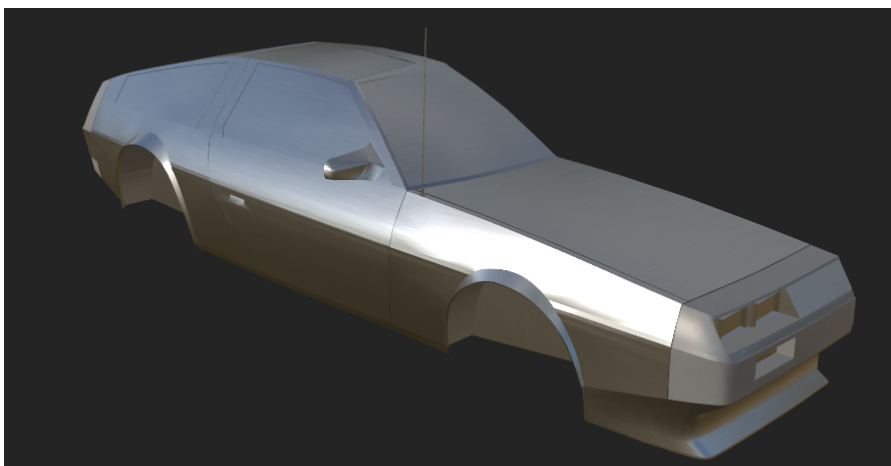


Рисунок 3.39. Кузов авто покритий сталлю

Потім на всі чорні деталі був доданий той самий матеріал пластик, але тепер вже чорного кольору, див додаток Г.

На всі вікна був нанесений смарт матеріал скло.

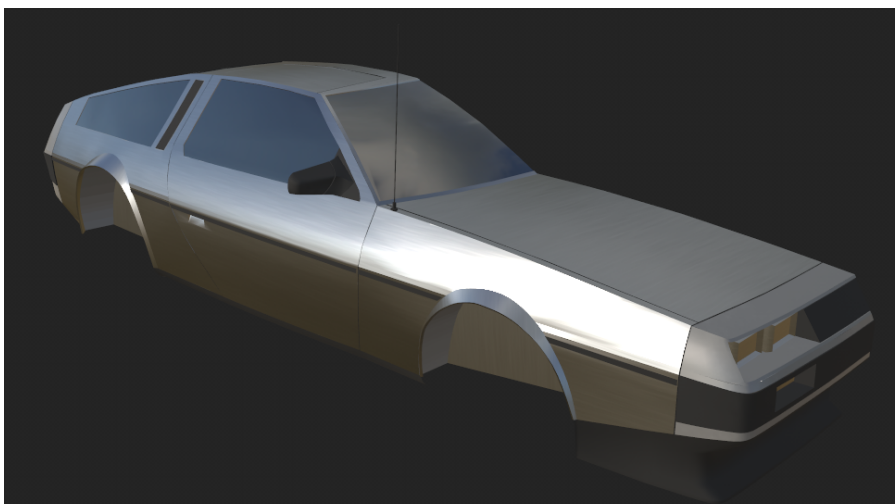


Рисунок 3.40. Вікна покриті склом

Фари були покриті світло свірим смарт матеріалом пластик, а центральна частина смарт матеріалом скло, світлішого відтінку. Поворотник був покритий смарт матеріалом скло аналогічним чином, див додаток Г.

На задній частині автомобіля було встановлено зображення ліхтаря.

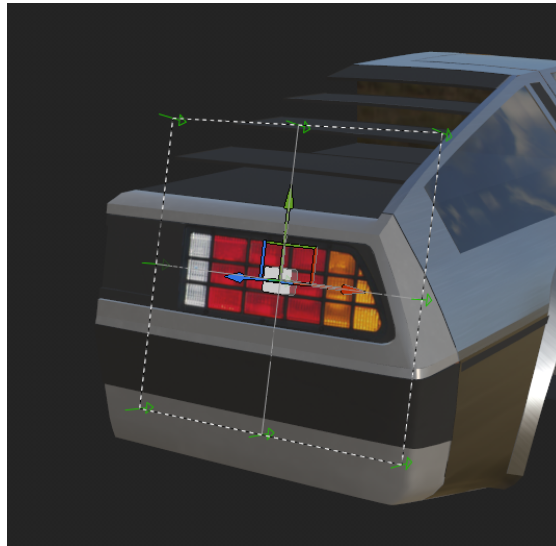


Рисунок 3.41. Ліхтар DMC-12

Потім було створено бокове дзеркало з заповнючого шару, на якому було встановлено максимальний параметр **Metallic** та мінімальний **Roughness**.

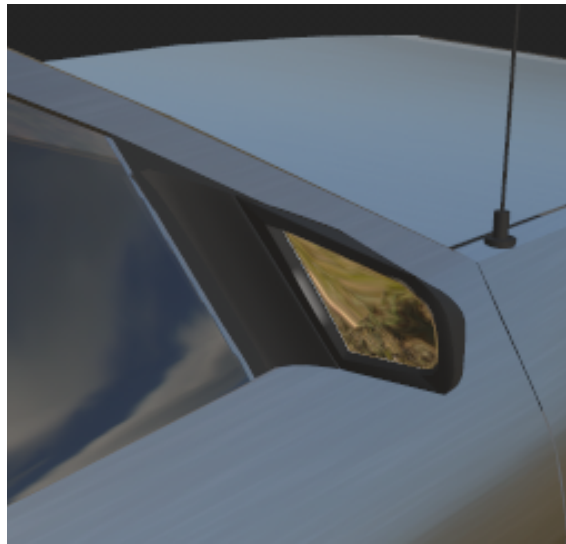


Рисунок 3.42. Дзеркало автомобіля

Наступним кроком було експортування текстур. Для цього в меню файл було обрано **Export Textures**, після натискання **Export** всі мапи були збережені в потрібному місці.

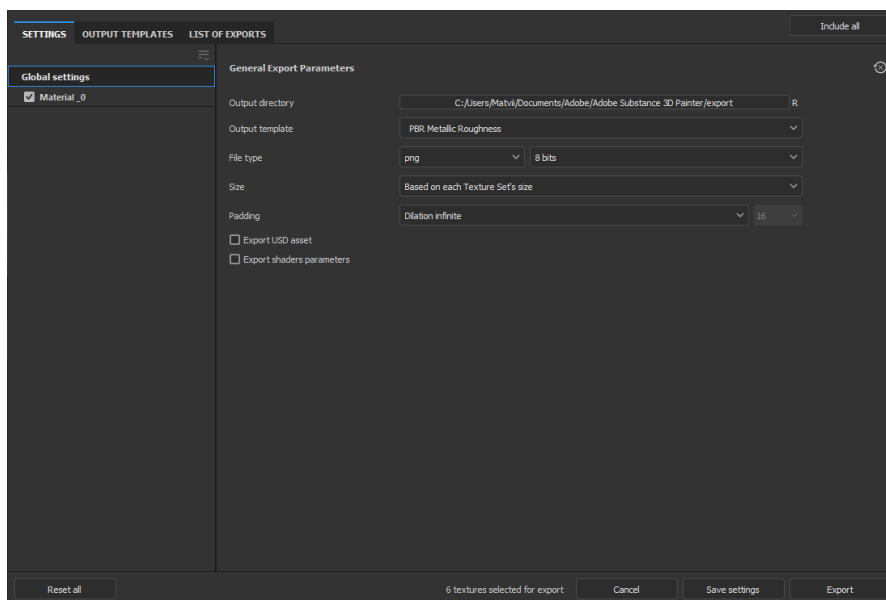


Рисунок 3.43. Меню експорту текстур

Так виглядала модель після імпортування текстур в 3DS Max за допомогою утиліти **Import PBR Material**.



Рисунок 3.44. Модель з текстурами у 3DS Max

Потім всі деталі моделі крім антени були виділені і відзеркалені за допомогою відповідного інструменту і об'єднані в цілі частини інструментом **Collapse** в меню утиліт.

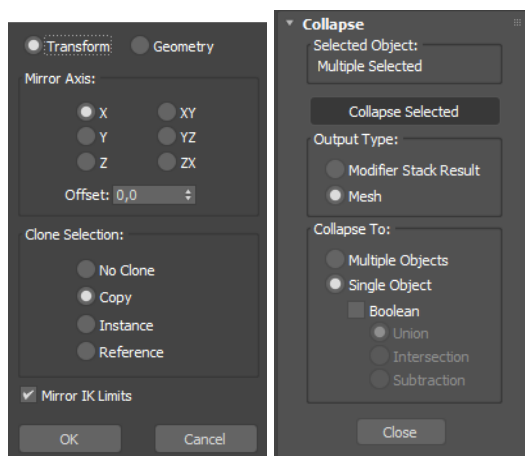


Рисунок 3.45. Меню інструментів Mirror та Collapse

Окремо була створена текстура з логотипом для решітки радіатора, а на задню частину був встановлений номерний знак з кінофільму “Назад в Майбутнє”.



Рисунок 3.46. Решітка автомобіля з логотипом DMC



Рисунок 3.47. Номерний знак з кінофільму “Назад в Майбутнє”

Фінальний рендер

Після встановлення HDRI середовища взятого з ресурсу **Polyhaven** [31] та рендеру отримали такий результат.



Рисунок 3.48. Фінальні зображення готової моделі автомобіля DeLorean DMC-12

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломної роботи проведено комплексне дослідження методів тривимірного моделювання в контексті автомобільного дизайну. Досліджено та проаналізовано основні підходи до створення 3D-моделей транспортних засобів, зокрема полігональне, сплайнове та NURBS-моделювання. Виявлено, що технологія NURBS має низку переваг — зокрема, забезпечує високу точність, плавність криволінійних поверхонь, гнучкість у редагуванні та контрольованість форм, що є критично важливим для відтворення складних геометричних об'єктів. На основі порівняльного аналізу методів було обґрунтовано доцільність застосування NURBS-моделювання як головного засобу побудови цифрового прототипу.

Проаналізовано програмне забезпечення, придатне для роботи з NURBS-об'єктами. Обґрунтовано вибір платформи 3ds Max завдяки її інструментам для створення NURBS-поверхонь, підтримці комбінованого моделювання та зручному користувацькому середовищу. Окремо розглянуто програму Substance 3D Painter, яка забезпечила ефективне виконання текстурювання. Застосування даного інструментарію дозволило реалізувати повноцінний цикл створення 3D-моделі — від побудови геометрії до презентаційного рендера.

У практичній частині роботи розроблено концептуальну модель кузова автомобіля DeLorean DMC-12. Моделювання виконано із використанням NURBS-кривих та поверхонь у поєднанні з полігональними й сплайновими методами. Проведено деталізацію окремих елементів, текстурювання у середовищі Substance 3D Painter та фінальний рендеринг.

Розроблена концептуальна модель кузова автомобіля з використанням NURBS-кривих і поверхонь може використовуватися як приклад для студентів, викладачів, дизайнерів або інженерів, як демонстраційний матеріал при вивченні NURBS-моделювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Вербицький М. Ю. *Основи комп'ютерної графіки*. — Київ : Каравела, 2019. — 256 с.
2. Петренко О. В. *3D-модельовання та візуалізація у промисловому дизайні*. — Львів : Видавництво ЛНТУ, 2021. — 212 с.
3. Котляр І. М. *Технології візуалізації у дизайні*. — Харків : Факт, 2020. — 144 с.
4. В Машкіна, ВО Абрамов, ТІ Носенко, ЄВ Іваніченко. Навчально-методичний посібник до виконання і захисту кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальностей 122 Комп'ютерні науки для здобувачів вищої освіти денної форми навчання, Київський столичний університет імені Бориса Грінченка. Київ, 2024.- 43 с.
5. Теоретичні та практичні аспекти використання математичних методів та інформаційних технологій в освіті й науці: моногр. / за заг. ред. О. Литвин. — К.: Київ. ун-т ім. Б. Грінченка, 2021. — 332 с.
6. Теоретичні основи комп'ютерної графіки . Нвчальний посібник / С.М. Співак: Київ. ун-т Б.Грінченка, Ін-т суспільства, каф, інформатики. - К. : [ун-т ім. Б. Грінченка), 160 С
7. Смирнов В. Ю. *Комп'ютерна графіка в інженерії*. — Київ : Політехніка, 2018. — 228 с.
8. Autodesk. *3ds Max 2023 Documentation*. — San Rafael, CA : Autodesk Press, 2023. — 642 p.
9. Rogers D. F. *An Introduction to NURBS: With Historical Perspective*. — Burlington : Morgan Kaufmann, 2001. — 344 p.
10. Piegl L., Tiller W. *The NURBS Book*. — Berlin : Springer, 1997. — 646 p.
11. Чорний В. С. *Інженерна графіка з основами CAD-систем*. — Вінниця : ВНТУ, 2017. — 198 с.

- 12.Власенко Н. П. *Інструменти 3D Studio Max для дизайнерів*. — Одеса : Астропринт, 2019. — 186 с.
- 13.Пилипенко Т. М. *Методи створення 3D моделей у дизайні*. — Чернівці : Рута, 2020. — 168 с.
- 14.Bartels R., Beatty J., Barsky B. *An Introduction to Splines for Use in Computer Graphics and Geometric Modeling*. — San Francisco : Morgan Kaufmann, 1998. — 512 p.
- 15.Курилко О. О. *3D моделювання та дизайн середовища*. — Дніпро : ДНУ, 2021. — 198 с.
- 16.Mortenson M. E. *Geometric Modeling*. — New York : Wiley, 2006. — 432 p.
- 17.Шевченко І. П. *Графічне моделювання у промисловому дизайні*. — Харків : ХНУМГ, 2020. — 210 с.
- 18.Ткаченко Л. В. *Дизайн і 3D-графіка: методичні рекомендації*. — Суми : СНАУ, 2018. — 132 с.
- 19.Мельничук С. О. *Комп'ютерне моделювання у дизайні інтер'єру*. — Тернопіль : ТНТУ, 2022. — 176 с.
- 20.Farin G. *Curves and Surfaces for Computer-Aided Geometric Design*. — Boston : Academic Press, 2002. — 512 p.
- 21.Велика Г. І. *Тривимірне моделювання в архітектурі та дизайні*. — Київ : Арістей, 2020. — 204 с.
- 22.Захарченко І. С. *Основи комп'ютерного дизайну у 3ds Max*. — Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. — 150 с.
- 23.Хамітов Ф. Р. *Технології моделювання візуальних середовищ*. — Луцьк : Вежа-Друк, 2017. — 198 с.
- 24.Foley J., van Dam A. *Computer Graphics: Principles and Practice*. — Boston : Addison-Wesley, 2014. — 1264 p.

25. Ma Y., Kruth J. P. *NURBS curve and surface fitting for reverse engineering*. // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. — 1995. — Vol. 10. — P. 341–355.
26. Іванченко П. І. *3D-моделювання в AutoCAD та 3ds Max*. — Київ : Ліра-К, 2020. — 248 с.
27. Autodesk. *NURBS Modeling in 3ds Max — Official Help Guide*. — San Rafael, CA : Autodesk Press, 2022. — 153 p.
28. Кравченко А. В. *Технології створення віртуального простору*. — Полтава : ПолтНТУ, 2019. — 188 с.
29. Hughes J. F. et al. *Computer Graphics: Principles and Practice in C*. — Upper Saddle River, NJ : Pearson, 2013. — 1176 p.
30. Середа М. М. *Графічне моделювання автомобілів*. — Львів : Видавництво ЛНАМ, 2021. — 172 с.
31. Zeid I. *CAD/CAM Theory and Practice*. — New York : McGraw-Hill, 2005. — 600 p.
32. Книш О. С. *Основи NURBS-моделювання для дизайнерів*. — Миколаїв : Іліон, 2018. — 140 с.
33. Mitchell C. *3ds Max Modeling for Games*. — Boca Raton : CRC Press, 2016. — 368 p.
34. Poly Haven • Poly Haven. *Poly Haven*. URL: <https://polyhaven.com/> (date of access: 18.04.2025).

Додаток А

Створення отвору для поворотника

В передньому бампері був створений отвір для поворотника за допомогою інструмента **Extrude**, який знаходиться в меню **Edit Polygons**.

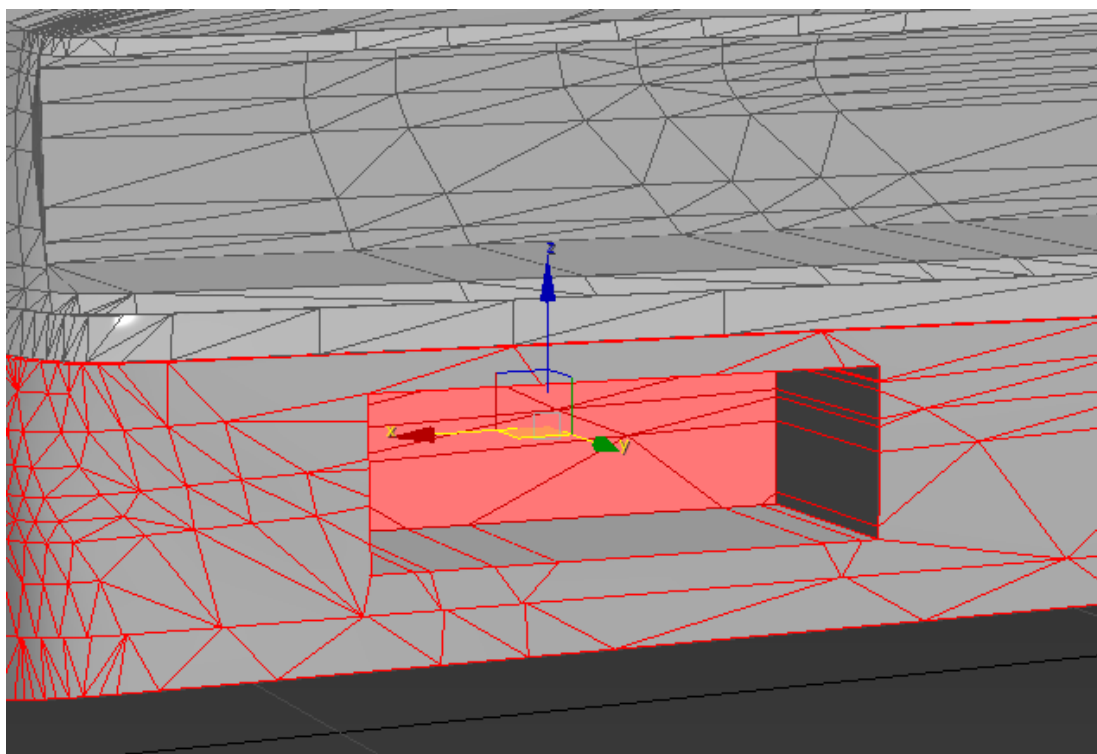


Рисунок 4.1. Отвір для поворотника

Додаток Б

Створення бокових вікон

Створення бокових вікон було зроблено аналогічно з **Cut** та **Extrude**.

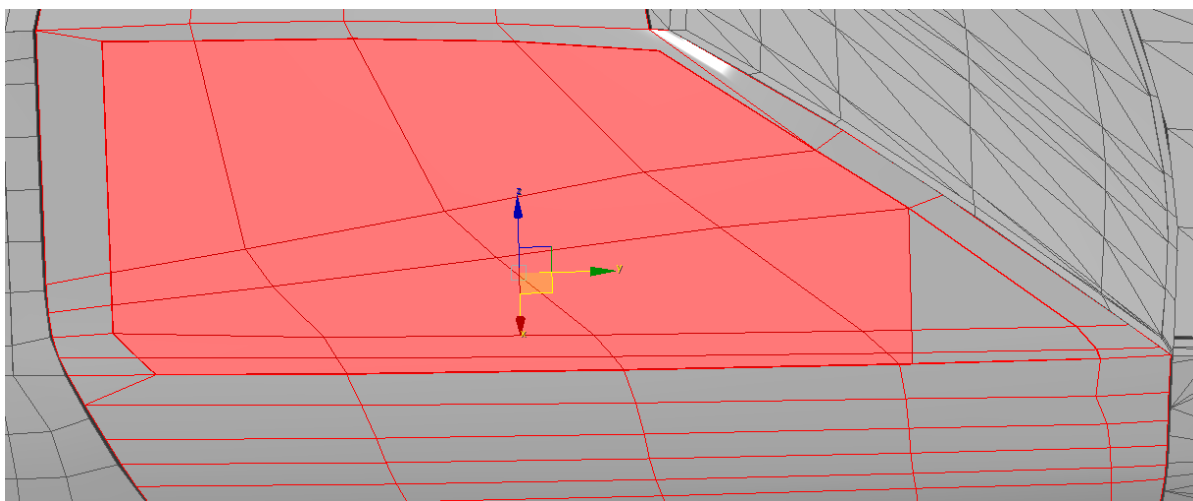


Рисунок 4.2. Переднє бокове вікно

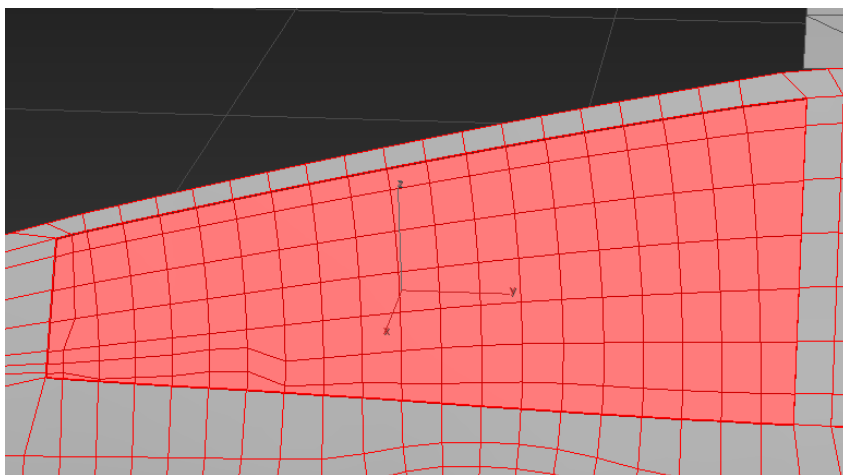


Рисунок 4.3. Заднє бокове вікно

Додаток В

Деталізація автомобіля

У задній арці через **Extrude** було створено декоративну решітку

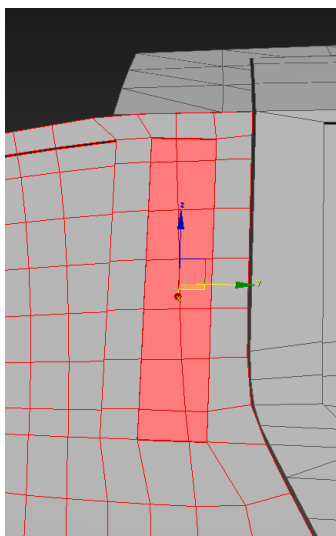


Рисунок 4.4. Декоративна решітка

Потім, задіюючи **Cut** та **Extrude** було створено перекриття моторного відсіку та область для рамки з ліхтарями.

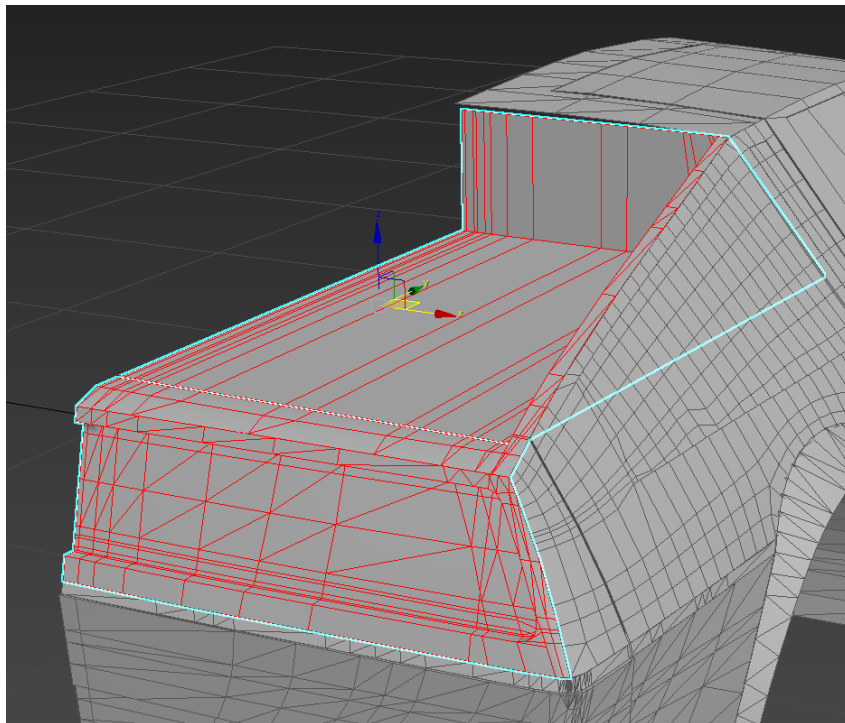


Рисунок 4.5. Перекриття моторного відсіку

Інструментом **Extrude** було зроблено ручку в двері.

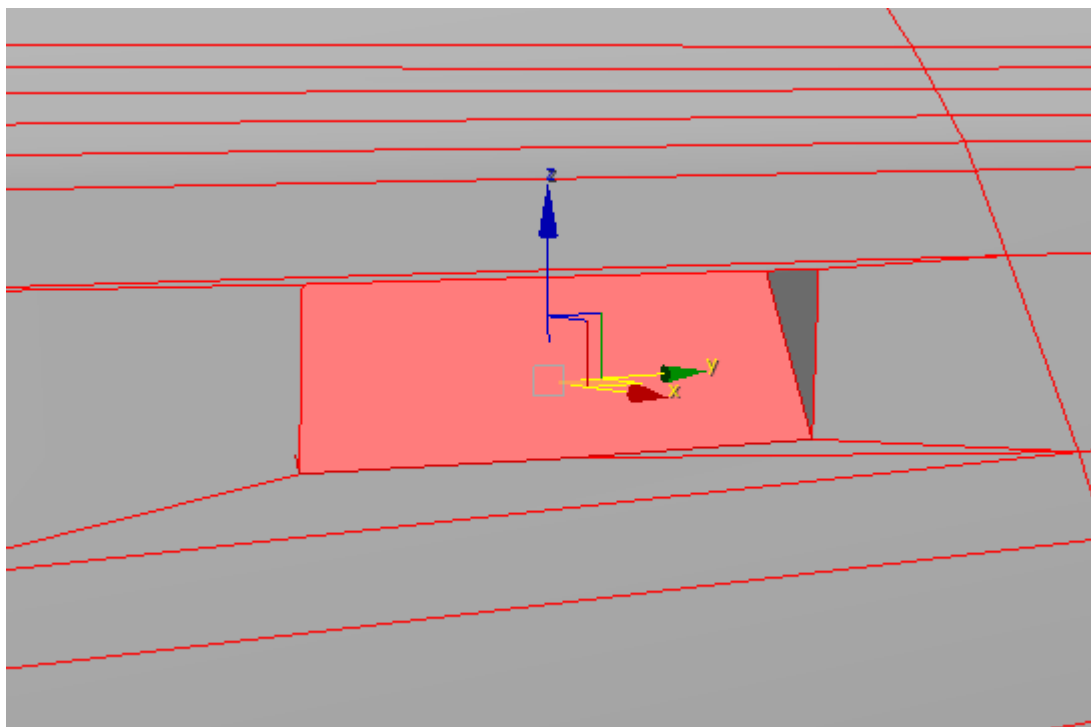


Рисунок 4.6. Ручка двері

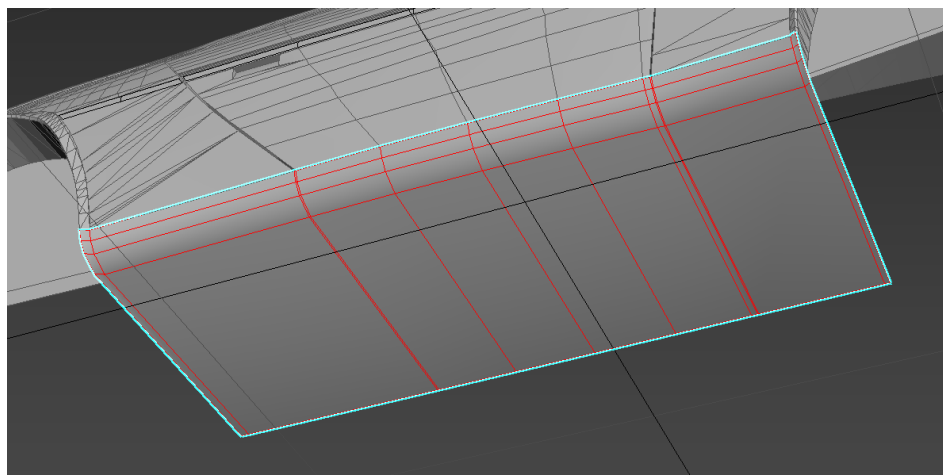


Рисунок 4.7. Дно автомобіля

Текстурування моделі

Аналогічним чином для бамперів, було нанесено смарт матеріал пластик, з чорним кольором.

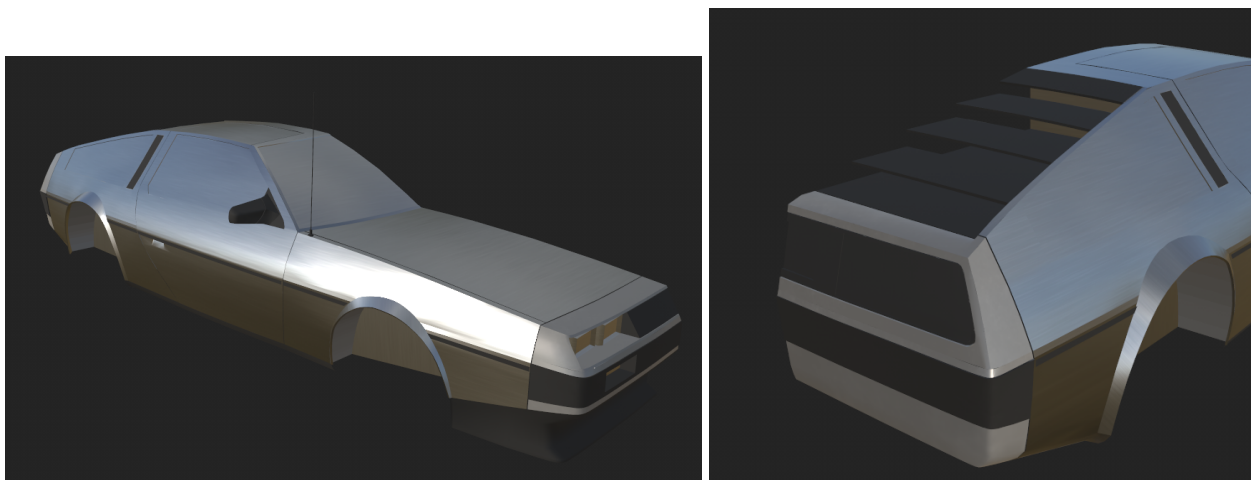


Рисунок 4.8. Деталі авто покриті чорним пластиком

Поворотник був покритий смарт матеріалом скло. В матеріалі був встановлений помаранчевий колір, показник **Roughness** встановлений на значення 0,9, а **Opacity** на 0,95.

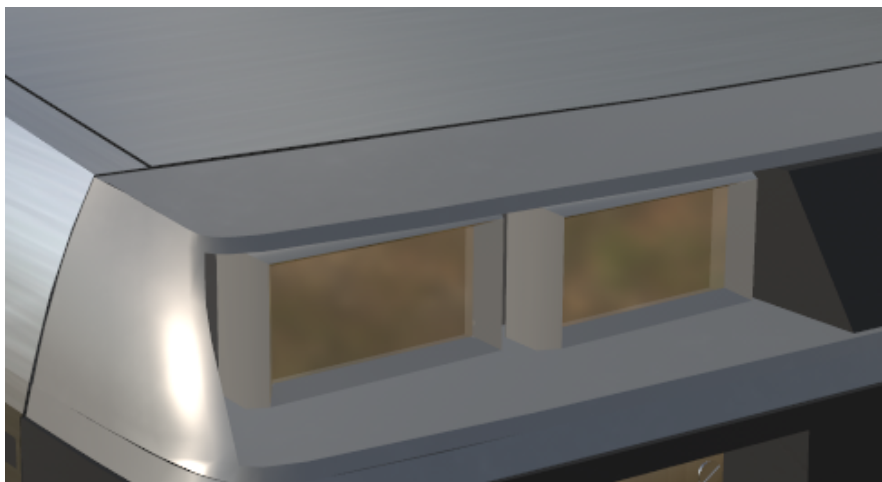


Рисунок 4.9. Фари авто з нанесеними матеріалами

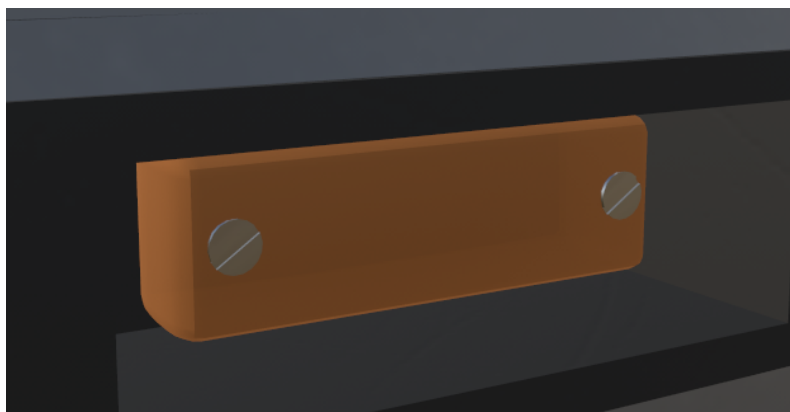


Рисунок 4.10. Поворотник покрытий помаранчевим склом

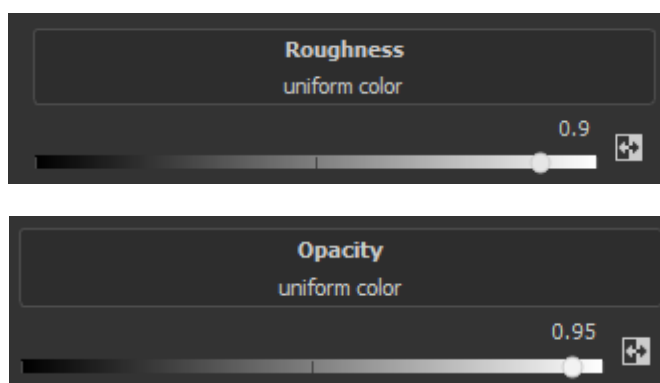


Рисунок 4.11. Параметри Roughness та Opacity