

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: “**Дослідження впливу аеродинамічних характеристик автомобіля на показники зчеплення з дорогою**”

Виконав: студент IV курсу групи Ат-44 сп
Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”
(шифр і назва)

Віталій ІВАШКІВ

(ім'я та прізвище)

Керівник: Богдан НЕСТЕР

(ім'я та прізвище)

Дубляни 2024

УДК 62-422.15

Дослідження впливу аеродинамічних характеристик автомобіля на показники зчеплення з дорогою.

Івашків Віталій Миколайович. Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024

Кваліфікаційна робота: 44 с. текст, 42 рис., 27 джерела.

Об'єкт дослідження: аеродинаміка легкового автомобіля.

Мета роботи: дослідження та оптимізація аеродинамічних властивостей легкового автомобіля з використанням різних спойлерів та антикрил.

Методи дослідження: математичне моделювання аеродинамічних процесів, комп'ютерне моделювання в програмному середовищі SOLIDWORKS Flow Simulation.

У дипломній роботі проведено аналіз основних факторів, що впливають на аеродинамічний опір автомобіля. Розглянуто основні методи збільшення прижимної сили автомобіля шляхом застосування різних типів спойлерів і антикрил. Проведено чисельне моделювання аеродинамічних характеристик автомобіля з використанням програмного забезпечення SOLIDWORKS Flow Simulation. Визначено найбільш ефективні конструктивні рішення для покращення керованості автомобіля, що в свою чергу збільшує безпеку водіння на спортивних змаганнях.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. РОЗДІЛ. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	6
1.1 Завдання та основні поняття автомобільної аеродинаміки	6
1.2 Класифікація та особливості застосування аеродинамічних елементів автомобіля	9
1.3 Способи вивчення аеродинаміки автомобіля	17
2. МЕТОДИКА АЕРОДИНАМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	19
3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	28
3.1. Результати моделювання руху автомобіля без спойлера	28
3.1. Результати моделювання руху автомобіля зі спойлером	30
ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ.....	35
4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	36
5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	39
ВИСНОВКИ	41
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	42

ВСТУП

Аеродинаміка та аеродинамічні властивості автомобіля є одними з основних факторів, що впливають на його роботу. Зокрема, опір повітря: чим менший цей опір, тим менші сили діють на автомобіль під час руху. Потужність також важлива, оскільки вона впливає на паливну економічність. Правильний аеродинамічний дизайн може покращити стабільність автомобіля на високих швидкостях та забезпечити кращу керованість, а поганий дизайн може призводити до збільшення шуму в кабіні через вихори повітря. Ефективне керування повітряними потоками може знизити рівень шуму та покращити комфорт пасажирів. Також це впливає на температурний режим автомобіля, зокрема, на ефективність охолодження двигуна та теплові втрати.

Аеродинамічні властивості розраховуються для всіх типів автомобілів, від звичайних легкових до вантажних, спортивних, спеціалізованих і навіть військових транспортних засобів. У деяких випадках це грає ключову роль. Аеродинаміка важлива і для військового і для спеціалізованого транспорту. Вони можуть мати особливі вимоги щодо аеродинаміки залежно від своїх функцій та умов експлуатації. Військова техніка, зазвичай, розробляється з урахуванням зменшення візуального виявлення на полі бою. Особливий аеродинамічний дизайн може допомогти зменшити відбиття радіосигналів, інфрачервоного випромінювання та інших видимих ознак. Такий транспорт може потребувати особливої стійкості та маневреності в різних умовах, включаючи бездоріжжя та різні кліматичні умови. Аеродинаміка транспорту може покращити паливну економію, що дуже важливо для військової і спецтехніки у довгих місіях або в умовах, коли ресурси обмежені.

Один з основних елементів, який впливає на аеродинаміку автомобіля, є спойлер. Спойлер виконує функцію зменшення підйомної сили, що діє на автомобіль при високих швидкостях, і таким чином покращує зчеплення з дорогою. Встановлення правильної форми та конструкції спойлера може значно підвищити ходові характеристики автомобіля.

Також важливими аеродинамічними елементами є переднє антикрило та дифузор. Переднє антикрило допомагає зменшити підйомну силу на передній вісі автомобіля, підвищуючи стабільність та керованість, особливо на великих швидкостях. Дифузор, розташований під задньою частиною автомобіля, сприяє ефективнішому відведенню повітряного потоку з-під кузова, що також сприяє зменшенню опору повітря та підвищенню притискної сили.

Ця робота присвячена дослідженню впливу аеродинамічних характеристик автомобіля з акцентом на використанні спойлера, переднього антикрила та дифузора. Метою є підвищення ходових характеристик автомобіля шляхом оптимізації аеродинамічного дизайну. Для досягнення цієї мети будуть використані методи комп'ютерного моделювання, що дозволять визначити оптимальні параметри аеродинамічних елементів.

1. РОЗДІЛ. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Дана робота присвячена вирішенню важливої технічної проблеми, яка має актуальність як з теоретичної, так і з практичної точок зору. Конкретно, метою є розробка конструкційних вирішень для додаткових кузовних деталей складних профілів (спойлерів) з метою зменшення аеродинамічного опору автомобілів.



Рисунок 1.1 – Практичні випробування в аеродинамічній трубі

1.1 Завдання та основні поняття автомобільної аеродинаміки

Аеродинаміка автомобіля - це параметр, який відображає опір руху автомобіля повітряному потоку. Аеродинамічні характеристики автомобіля визначають його максимальну швидкість, споживання палива, рівень шуму в салоні та рівень підйомної сили, яка діє на нього.

Аеродинаміка автомобіля вирішує різноманітні завдання, спрямовані на поліпшення ефективності, безпеки та комфорту автомобіля. Відомо, що чим плавніші форми кузова автомобіля, тим менший опір руху повітря і витрата палива. Такий автомобіль буде набагато економічним, та ще й більш екологічним. Основне завдання фахівців з аеродинаміки - правильно розрахувати та поєднати всі деталі і аспекти в цій галузі, щоб це призвело до вирішення таких основних питань, як:

- Мінімізація опору повітря: Розробка профілю кузова та аеродинамічних деталей для зменшення опору повітря та покращення ефективності автомобіля.
- Збільшення зчеплення з дорогою: Використання аеродинамічних елементів для стабілізації автомобіля на великих швидкостях та покращення зчеплення з дорожнім покриттям.
- Покращення керованості: Дослідження впливу аеродинамічних характеристик на керованість автомобіля та розробка оптимальних рішень для поліпшення цього аспекту.
- Оптимізація ефективності палива: Використання аеродинамічних розрахунків для зменшення опору повітря та підвищення паливної економічності автомобіля.
- Максимізація швидкості: Аналіз аеродинамічних параметрів з метою досягнення максимальної швидкості без втрати контролю та стабільності автомобіля.
- Вибір місця забору та виходу повітря для системи вентиляції в салоні;

Вирішення однієї задачі часто конфліктує з вирішенням іншої. Наприклад, зниження коефіцієнта лобового опору поліпшує аеродинаміку, але одночасно може погіршити стійкість автомобіля на відхилення від боку вітру. Тому фахівцям необхідно знаходити розумний компроміс, який задовольняв би різні вимоги.

Дію повітря на автомобіль зазвичай описують за допомогою трьох компонентів, що направлені вздовж осі машини (X), перпендикулярно до неї горизонтально (Y) та вертикально (Z) (див. рис. 1.2). Під час руху особливо важливими є опір повітря та підйомна чи притискна сили. Видимий вплив бічної складової може виникнути лише в разі дуже несиметричного кузова, що є рідкістю, або за умов бічного вітру - що є досить складним для передбачення.

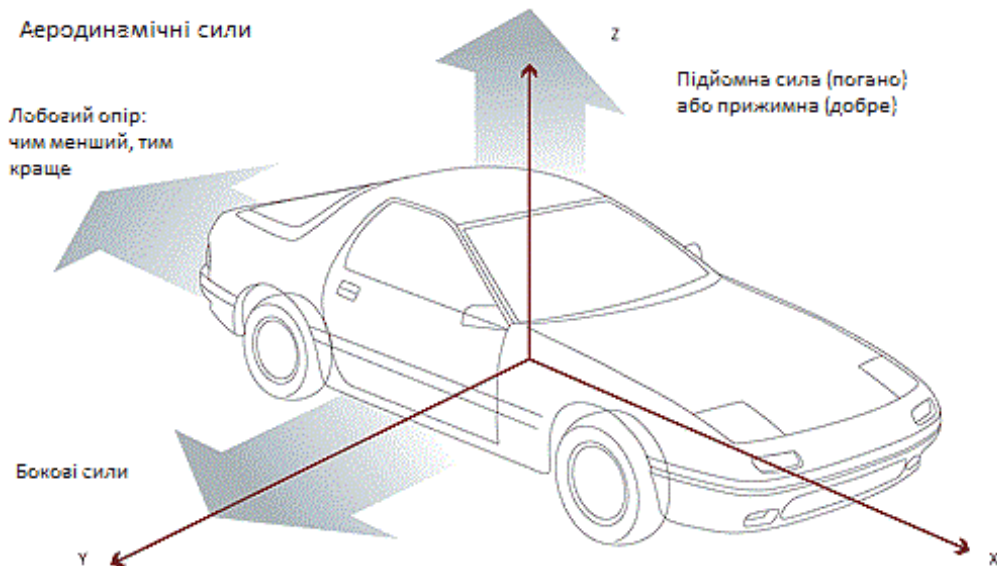


Рисунок 1.2 – Аеродинамічні сили, що діють на автомобіль

Фізика аеродинаміки в тісному зв'язку з коефіцієнтом опору, який є безрозмірним числом, відображає ступінь взаємодії між рухомим об'єктом та навколишнім середовищем. Зменшення коефіцієнта опору сприяє підвищенню продуктивності дорожніх транспортних засобів шляхом заощадження палива та збільшення швидкості. Коефіцієнт опору повітря може бути виражений наступним рівнянням (1.1):

$$C_d = 2 \cdot F / (\rho \cdot A \cdot V^2) \quad (1.1)$$

де C_d - коефіцієнт опору, F - сила тертя, ρ - густина повітря, A - фронтальна ділянка поперечного перерізу, а V - швидкість руху автомобіля.

Швидкість транспорту тісно пов'язана з формою тіла, що охоплюється повітрям. Форма крила, також відома як аерофол, є моделлю, яка забезпечує найефективніше переміщення предмета всередині рідини. Виробники автомобілів протягом багатьох років змінювали форму корпусу та додаткові елементи на кузові для розробки швидкісного транспорту.

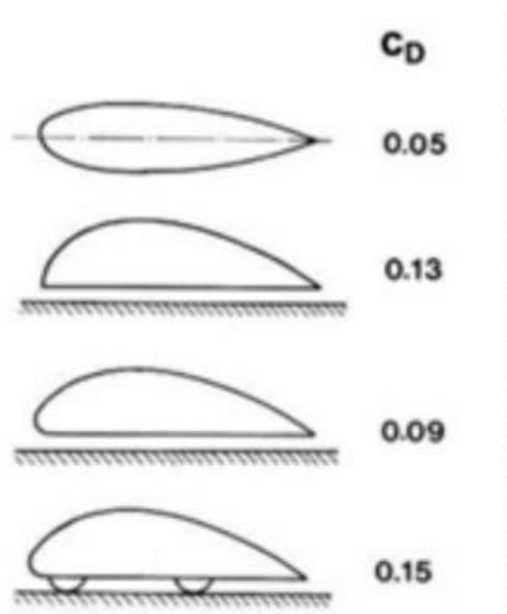


Рисунок 1.3 – Коефіцієнт притискання для транспортного засобу типу «крила»

1.2 Класифікація та особливості застосування аеродинамічних елементів автомобіля

Спойлер (антикрило) - це окремий елемент або набір елементів, що допомагає змінити аеродинамічні властивості кузова.

Автомобілі використовують антикрила для підвищення зчеплення з дорогою. Зазвичай, вага автомобіля визначає, наскільки добре шини тримаються на дорозі. Без антикрил, єдиним способом підвищення зчеплення було б збільшення ваги автомобіля, що не відповідає принципам автоспорту, де кожен зайвий грам є зайвим часом. Ця додаткова вага також має інерцію, яку треба подолати для поворотів. Робота спойлера схожа на роботу крила літака, але вона виконується догори дригом. Спойлер фактично генерує так звану "притискну силу" для автомобіля. Сучасні гоночні машини використовують два типи спойлерів: статичні (рис 1.4) та адаптивні (1.5).



Рисунок 1.4 – Вигляд статичного спойлера

Задній статичний спойлер - це елемент що розташовується і жорстко закріплюється на задній частині автомобіля і особливістю якого є відсутність жодних рухомих частин. Цей тип спойлера зазвичай закріплюється за допомогою болтів або клейких стрічок на задньому краї багажника або на кришці багажника. Виготовляється він з різних матеріалів, таких як пластик, карбон або скловолокно. Задні статичні спойлери можуть мати різні форми та конструкції, що дозволяє вибрати оптимальний варіант для конкретного автомобіля.



Рисунок 1.5 – Вигляд адаптивного спойлера

Задні адаптивні спойлери, розташовані на багатьох сучасних автомобілях, виявляють здатність змінювати своє положення чи форму, адаптуючись до потреб автомобіля відповідно до його швидкості та інших факторів. Наприклад, при великій швидкості вони можуть автоматично підніматися для збільшення стійкості, або знижуватися з метою покращення паливної економії на низьких швидкостях. Деякі моделі мають можливість ручного регулювання, щоб водії могли вибрати оптимальне положення в залежності від умов дороги чи власних вподобань. В цілому, адаптивні спойлери є досить складними аеродинамічними елементами, які дозволяють покращити як ефективність, так і вигляд автомобіля.

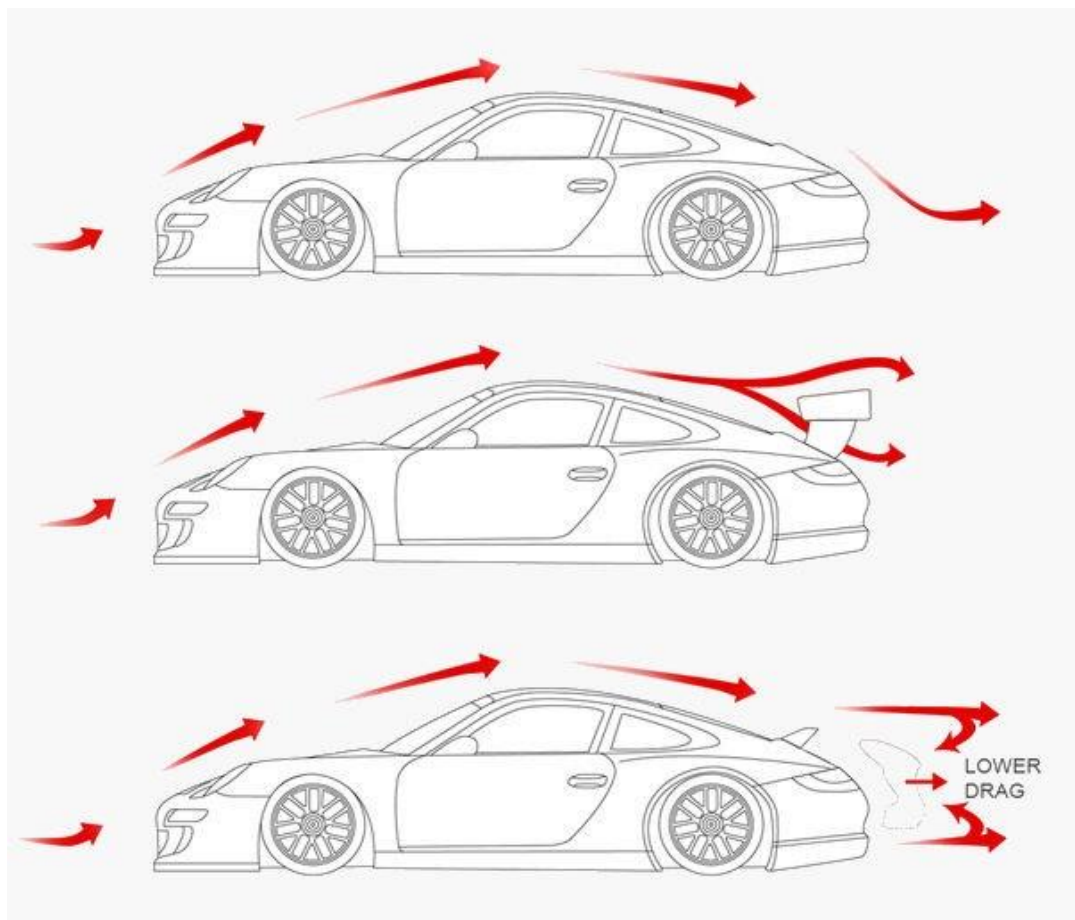


Рисунок 1.6 – Візуалізація повітряних потоків в залежності від виду спойлера

Для спортивних автомобілів потрібна набагато більша стабільність, тому вони використовують більше різних типів спойлерів, що вказано на зображенні (рис. 1.7) і перераховано нижче.

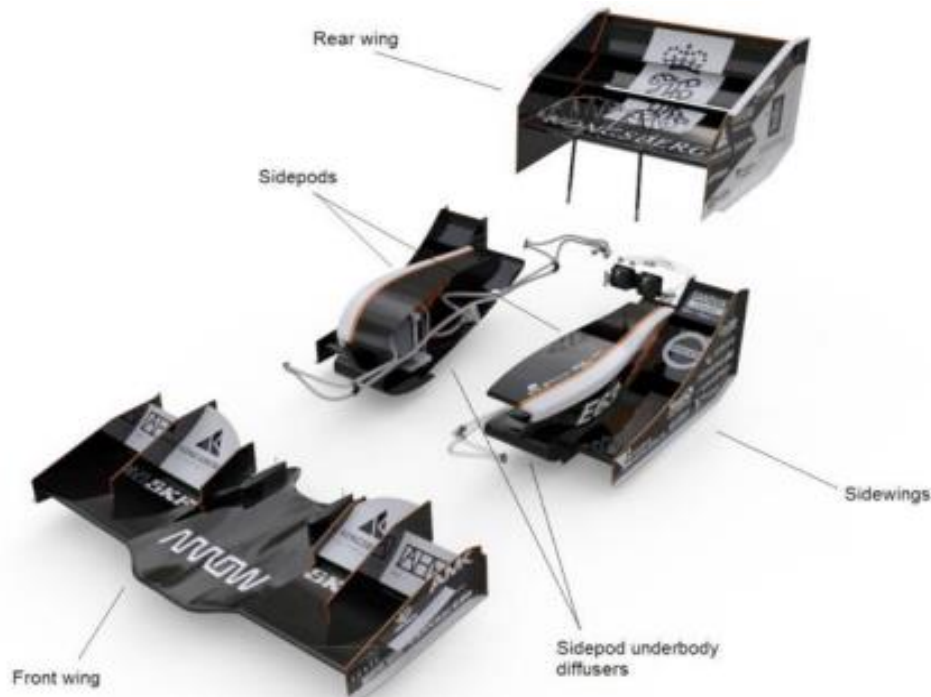


Рисунок 1.7 – Приклад аеродинамічної системи для гоночного боліда

На гоночних автомобілях часто використовуються такі види спойлерів:

- **Передні спойлери (Front Spoilers):** Розташовані на передній частині боліда, вони призначені для керування потоком повітря навколо машини. Це сприяє збільшенню стійкості та збереженню оптимального зчеплення з дорогою.
- **Задні спойлери (Rear Spoilers):** Розташовані на задній частині боліда, вони генерують додатковий затиск на задній вісі. Це поліпшує зчеплення з дорогою та стабільність на великих швидкостях.
- **Дифузори (Diffusers):** Розташовані на задній частині боліда під спойлером, вони прискорюють потік повітря під автомобілем, що допомагає знизити тиск і збільшити затиск на задній вісі.
- **Крила (Wings):** Розташовані на передній або задній частині боліда, вони генерують додатковий затиск вище або нижче автомобіля. Їхній кут нахилу може регулюватися для оптимізації аеродинаміки на різних трасах і умовах.

- Вінглети (Winglets): Малі аеродинамічні елементи, які розташовані на краях крил або інших частин боліда. Вони використовуються для керування потоком повітря та зменшення турбулентності.

Окремої уваги окрім заднього антикрила чи спойлера також заслуговують такі елементи як переднє антикрило і дифузор.

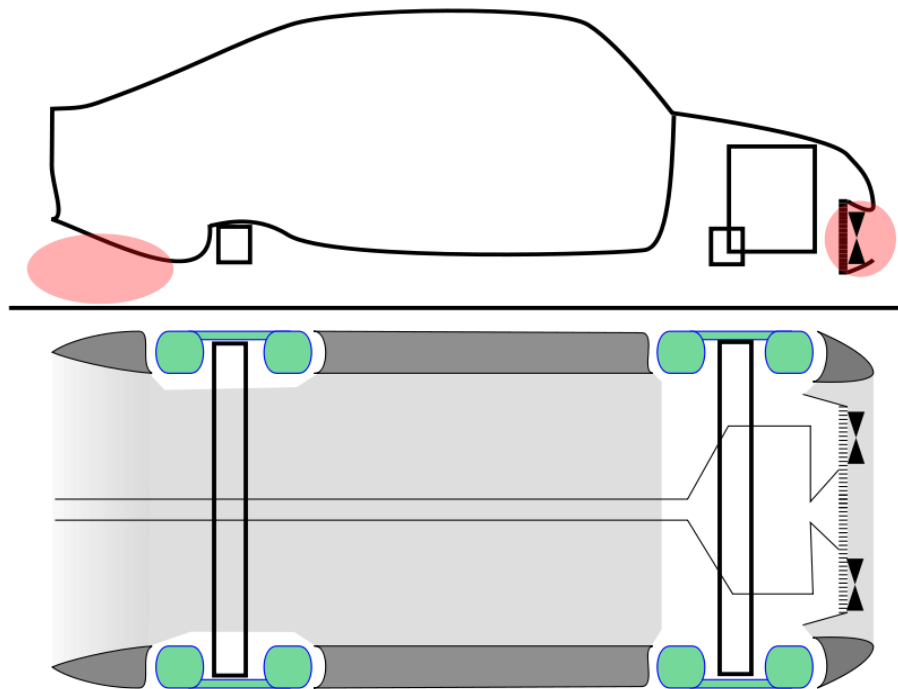


Рисунок 1.8 — Вище — вид збоку: червоні кружечки позначають передню (переднє антикрило) і задню (дифузор) повітряну заслінку. Нижче — вигляд здолу.

Переднє антикрило автомобіля (також відоме як спойлер або аеродинамічне крило) - це аеродинамічний елемент, розташований спереду на кузові транспортного засобу. Головна функція переднього антикрила полягає в тому, щоб зменшити підйомну силу на передній вісі автомобіля та підвищити зчеплення передніх коліс з дорожнім покриттям. Це допомагає зберегти стабільність та керуваність автомобіля на великих швидкостях, особливо під час різких маневрів або на поганому покритті. Поліпшення аеродинаміки та

керованості автомобіля відбувається шляхом забезпечення оптимального розподілу повітря навколо автомобіля під час руху.



Рисунок 1.9 — Спойлер переднього бампера для MERCEDES E W212

Передні антикрила можуть бути виготовлені з різних матеріалів, таких як пластик, карбонові волокна, скло або метал. Дизайн антикрила може бути розроблений з урахуванням багатьох факторів, таких як форма кузова автомобіля, потужність двигуна, тип дорожнього покриття та швидкість руху.

Деякі передні антикрила можуть бути обладнані механізмами регулювання, що дозволяють змінювати їх кут нахилу або висоту в залежності від умов дороги та швидкості руху. Це дозволяє оптимізувати аеродинамічні характеристики автомобіля для різних умов їзди.



Рисунок 1.10 — Передній спойлер універсальний

Як і задні спойлери, передні антикрила можуть бути статичними або адаптивними, але окрім цих двох типів існує ще третій – роздільний спойлер (Роздільне переднє антикрило). Цей тип антикрила складається з окремих секцій, які можуть регулюватися незалежно одна від одної. Це дозволяє водієві налаштувати аеродинамічні характеристики автомобіля відповідно до його вимог та умов на дорозі. Роздільні антикрила надають більшу гнучкість та контроль над аеродинамікою автомобіля.

Функція переднього спойлера полягає в тому, щоб уникнути потоку повітря, який спрямовується вниз, під дно автомобіля. Коли потік повітря проникає під днище, він, рухаючись, натрапляє на різні деталі ходової частини і, по проходженню під автомобілем, заповнює позаду нього розріджений простір.

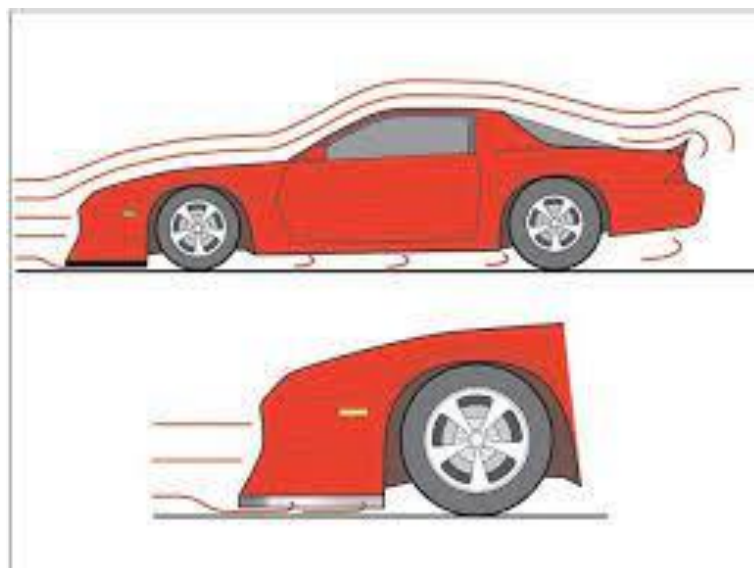


Рисунок 1.11 — Вплив переднього спойлера на потоки повітря

Дифузор автомобіля - це елемент кузова, який перетворює кінетичну енергію потоку повітря, що надходить під автомобіль, у підвищення тиску, що дорівнює атмосферному. Під час взаємодії потоку повітря з дорожнім покриттям в дифузорі виникає негативний тиск, який забезпечує краще прилягання автомобіля до дороги. В більшості випадків дифузори виготовляють із карбону.

Дифузор зазвичай має форму зворотної піраміди зі скосом, який розширюється у напрямку заднього кінця автомобіля.



Рисунок 1.12 — Дифузор кузова автомобіля

Принцип роботи полягає в тому, що під час руху автомобіля висока швидкість повітря формує зону негативного тиску під його днищем. Дифузор розширює цю зону, зменшуючи тиск і створюючи вакуум, що допомагає забезпечити більш сильне зчеплення автомобіля з дорогою та зменшує аеродинамічний опір.

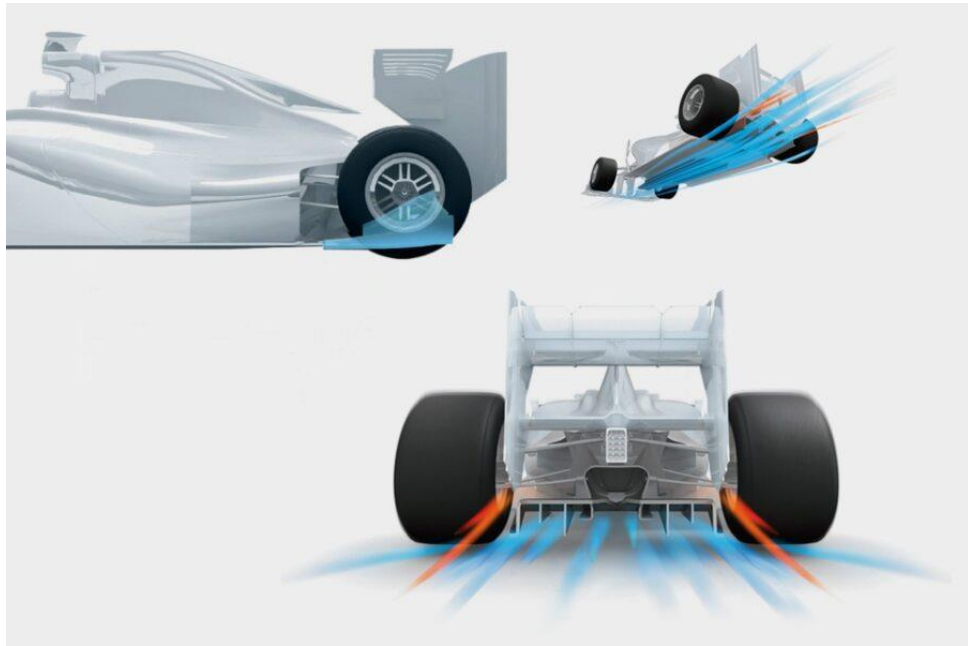


Рисунок 1. 13 — Принцип роботи дифузора

Дифузори застосовуються у спортивних і швидких автомобілях, а також у деяких серійних моделях для покращення їхньої аеродинаміки та ефективності на дорозі. Вони є важливою складовою частиною аеродинамічного комплексу, який сприяє досягненню оптимальних характеристик руху та керованості автомобіля.

1.3 Способи вивчення аеродинаміки автомобіля

Для вивчення аеродинаміки автомобілів використовуються два основних підходи: експериментальні випробування у вітрових тунелях та комп'ютерне моделювання. У випробуваннях у вітрових тунелях, аеродинамічні труби іноді оснащуються рухомою доріжкою, що імітує рухоме дорожнє полотно, та приводяться в рух колеса випробовуваного автомобіля. Це робиться для того, щоб врахувати вплив дорожнього покриття та обертання коліс на повітряні потоки.



Рисунок 1.14 — Практичні випробування в аеродинамічній трубі Mercedes-Benz CLA Coupe 2019

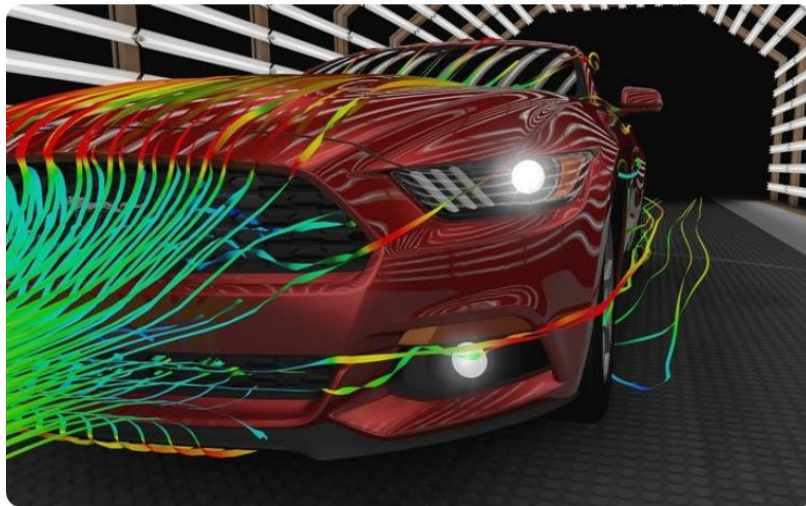


Рисунок 1.15 — Комп'ютерне моделювання

Висновки за розділом.

Враховуючи значення аеродинаміки для ефективності, безпеки та комфорту автомобіля, робота висвітлює різні аспекти оптимізації, включаючи збільшення зчеплення з дорогою та покращення керованості. Використання спойлерів важливе для стабілізації автомобіля на великих швидкостях. Основними методами вивчення аеродинаміки, є експериментальні випробування та комп'ютерне моделювання.

2. МЕТОДИКА АЕРОДИНАМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Оскільки випробування аеродинамічних властивостей автомобіля є дорого затратним навіть для великих компаній тому варто звернути увагу на другий підхід, який доступний кожному, а саме комп'ютерне моделювання за допомогою програмного забезпечення SOLIDWORKS Flow Simulation.

В цьому розділі детально та покроково описано процес проведення аеродинамічних випробувань 3D моделі автомобіля Mazda Miata.

Для початку роботи необхідно підготувати моделі з якими ми будемо працювати. Дослідження проводились на чотирьох 3D моделях автомобіля: автомобіль без спойлера та автомобілі з різним положенням спойлера. Іншим важливим елементом є модель поверхні дороги. Для того щоб симуляція пройшла успішно до моделей є вимога, щоб вони були твердотілими.

Першим кроком буде відкриття самої програми SOLIDWORKS і створення нової збірки.

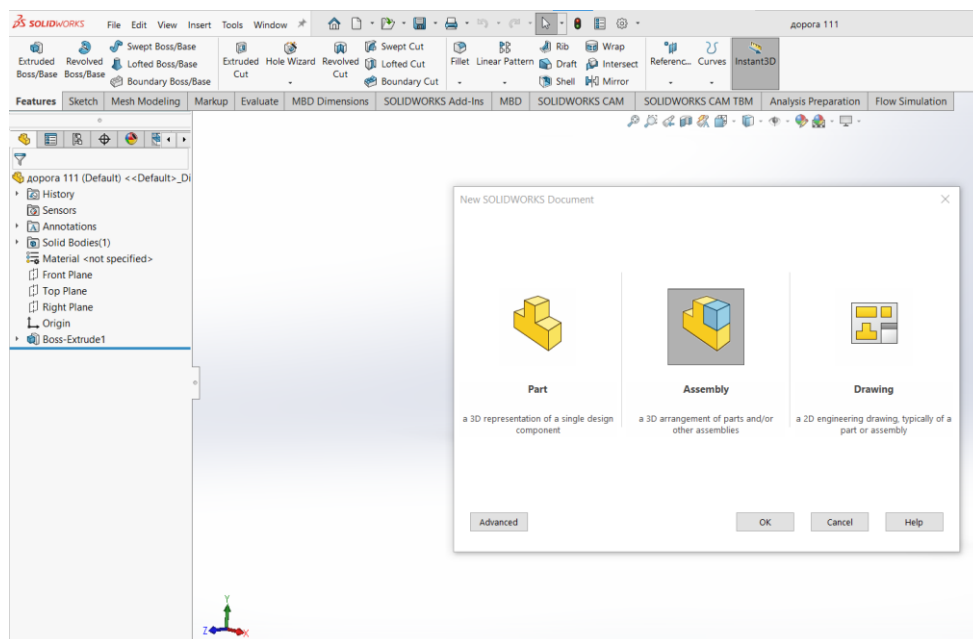


Рисунок 2.1 — Робоче вікно для вибору створення елемента.

Наступним кроком буде додавання елемента Дорога, який було створено завчасно, в такій послідовності як вказано на Рис 2.2, розташувати її в необхідних осях. В результаті має получитися так як на Рис 2.3.

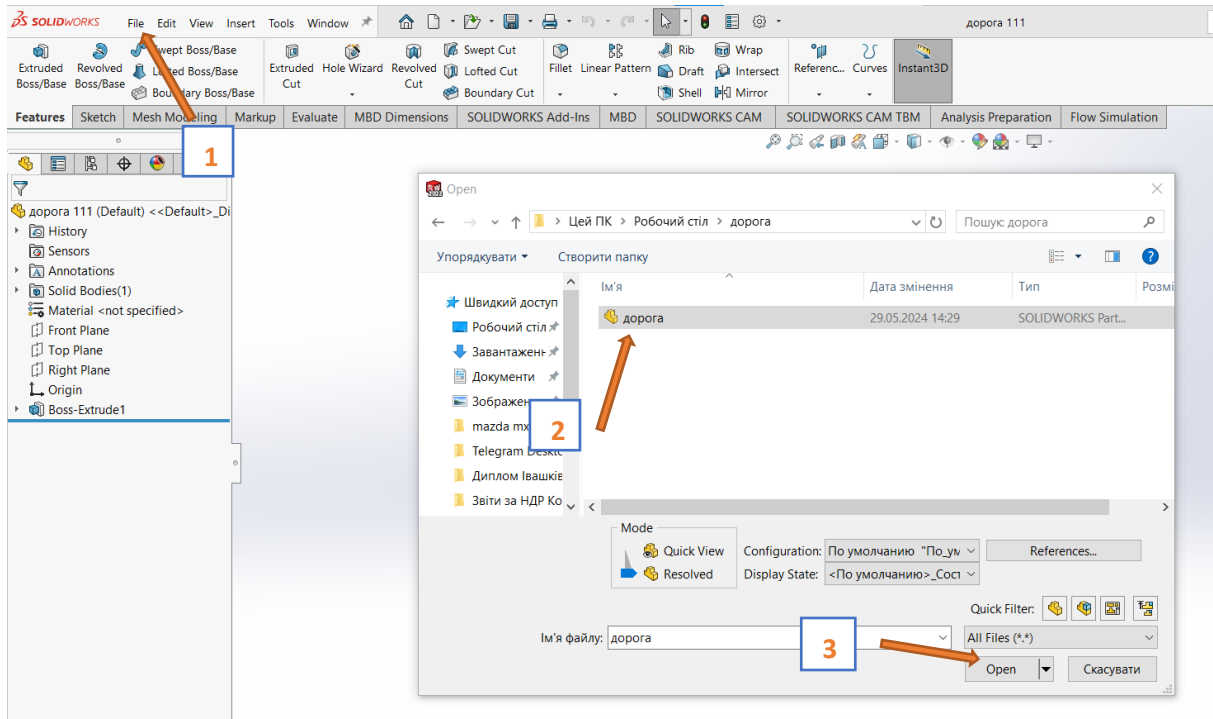


Рисунок 2.2 — Робоче вікно для додавання нового елемента.

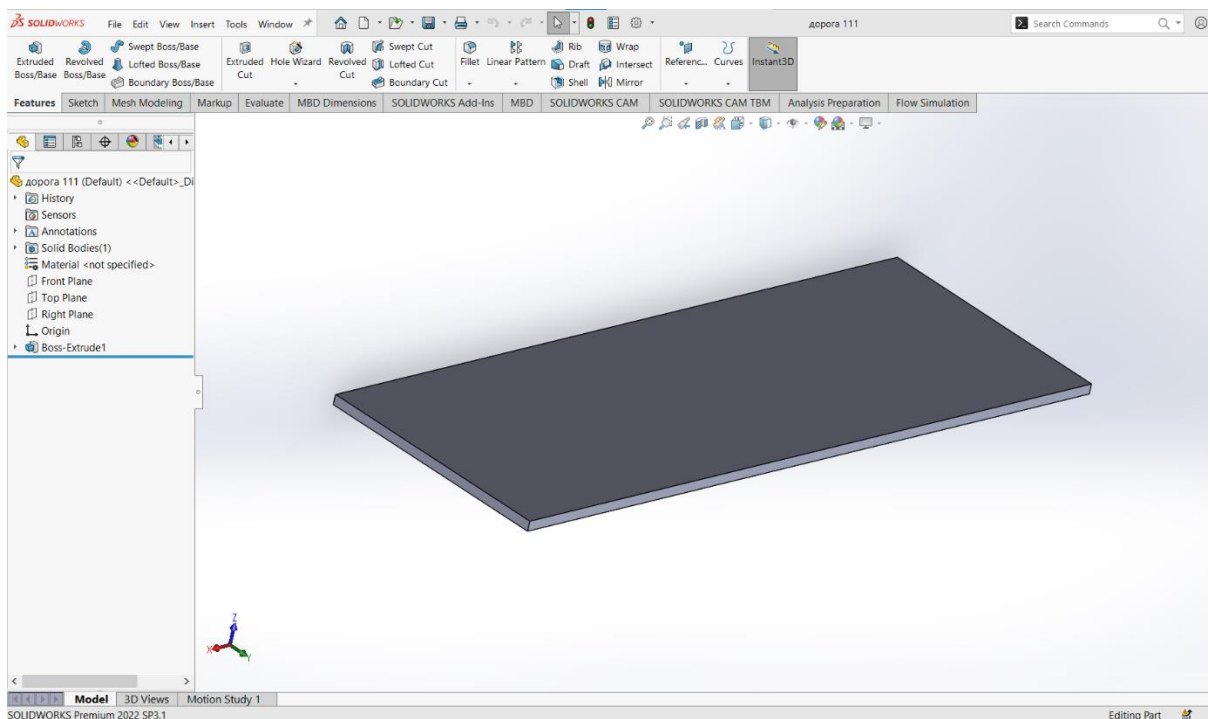


Рисунок 2.3 — Загальний вигляд дороги.

Аналогічним способом, як на Рис 2.2 додаємо модель автомобіля без спойлера. Від результатів симуляції саме цієї моделі я буду відштовхуватися в наступних моделюваннях. Коли два об'єкти додані, необхідно розмістити наш автомобіль на поверхні дороги. Для цього виставляємо камеру на вид з боку і використовуємо Умови спряження => Контактність (елементами контакту

обираємо найнижчий фрагмент протектора шини Рис 2.4 і поверхню дороги). В результаті ми отримуємо автомобіль на платформі так як на рис 2.5.

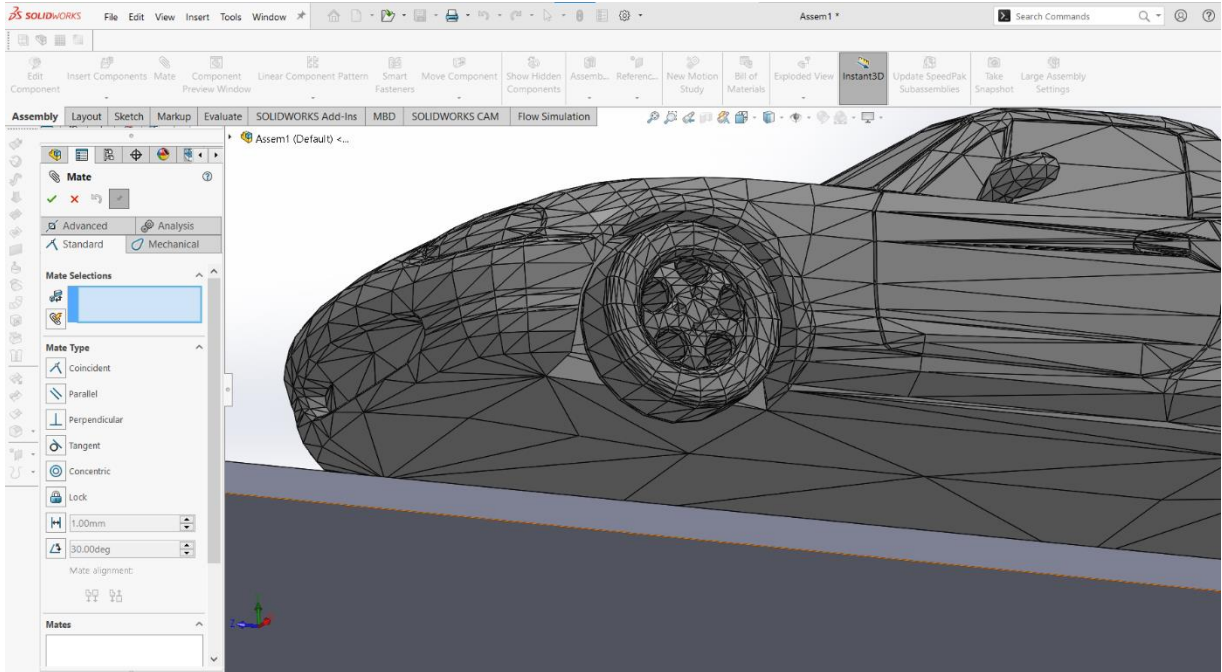


Рисунок 2.4 — Створення спряження.

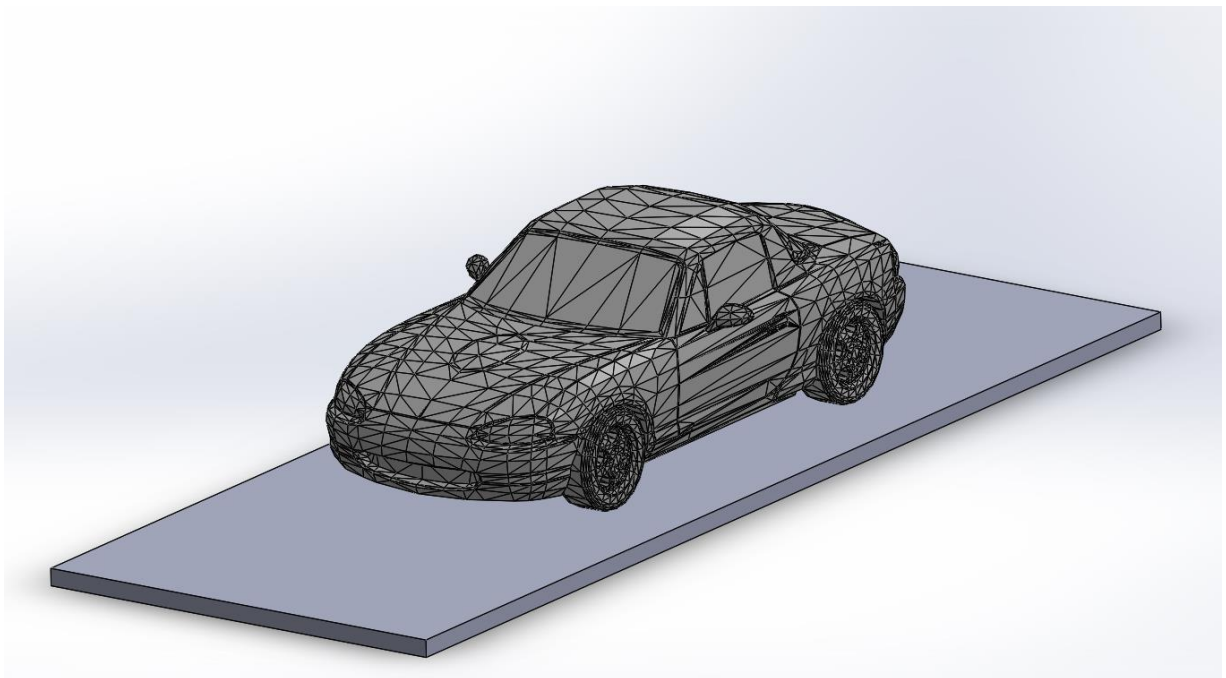


Рисунок 2.5 — Загальний вигляд збірки.

Після проведення підготовчих процесів відкриваємо середовище симуляції Flow Simulation. Зберігаємо збірку і натискаємо на Майстер проекту що

розташований в лівому верхньому куті вікна програми. Даємо назву проекту і натискаємо Далі. В параметрах Швидкість одиниці виміру обираю км/год Рис 2.7. А в наступному вікні обираю Тип задачі Зовнішній і виключаю внутрішній простір моделі Рис 2.7.

Далі вибираємо середовище моделювання, для цього обираємо Гази => Air (повітря) за допомогою подвійного кліку Рис 2.8. Вікно з вибором шоруховатості залишаємо незмінним. А параметр швидкості обираю по осі, відповідно до положення моделі автомобіля і прописую значення швидкості зі знаком “-” рис 2.8. Натискаємо кнопку завершити.

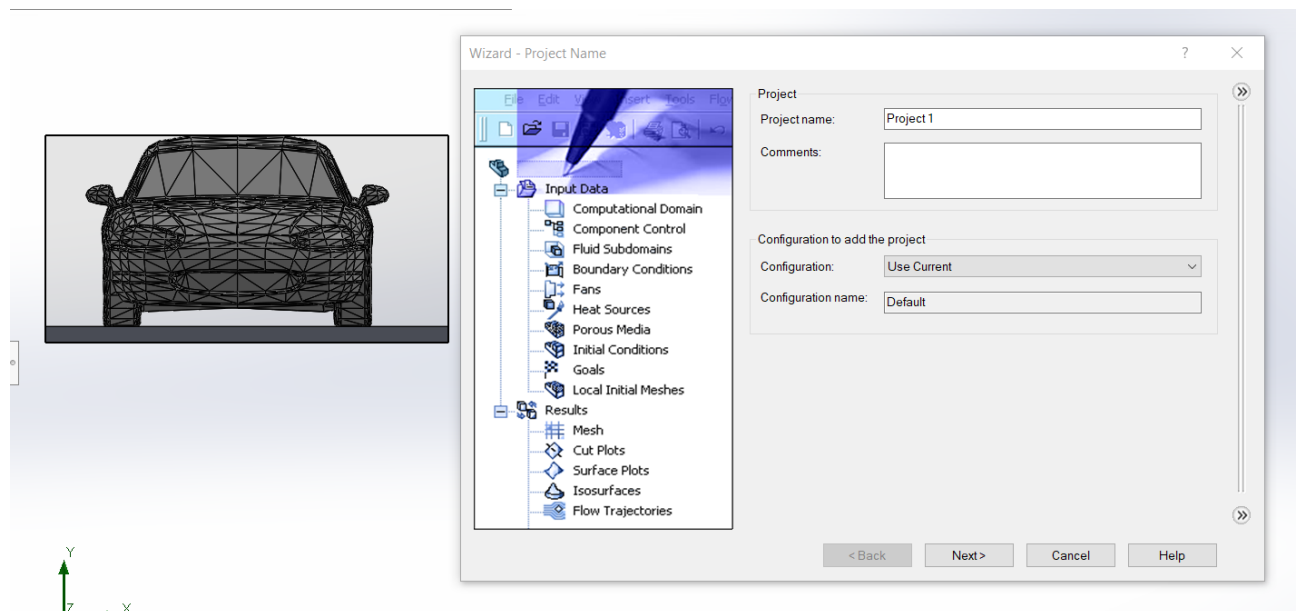


Рисунок 2.6 — Вигляд Майстра проекту

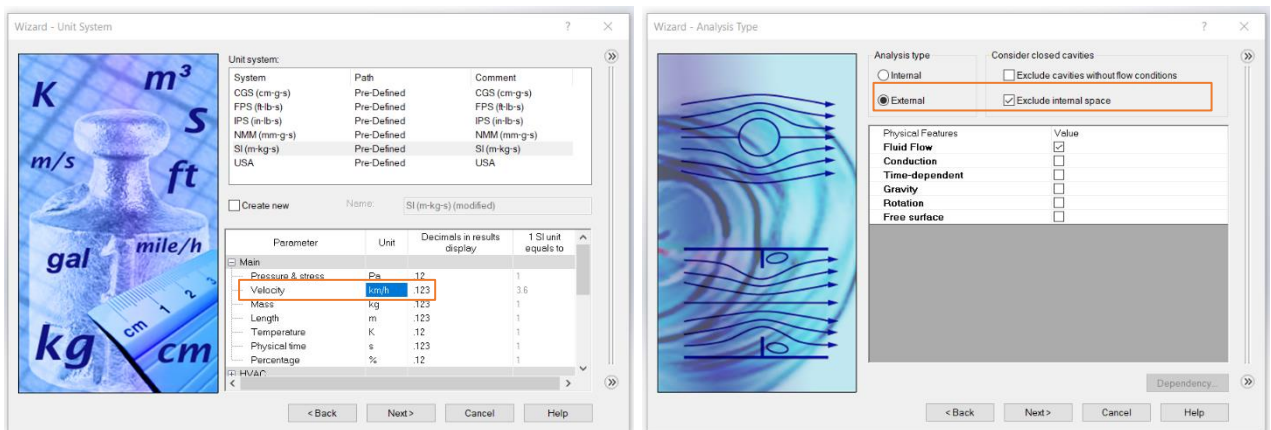


Рисунок 2.7 — Вибір одиниць виміру і типу задачі

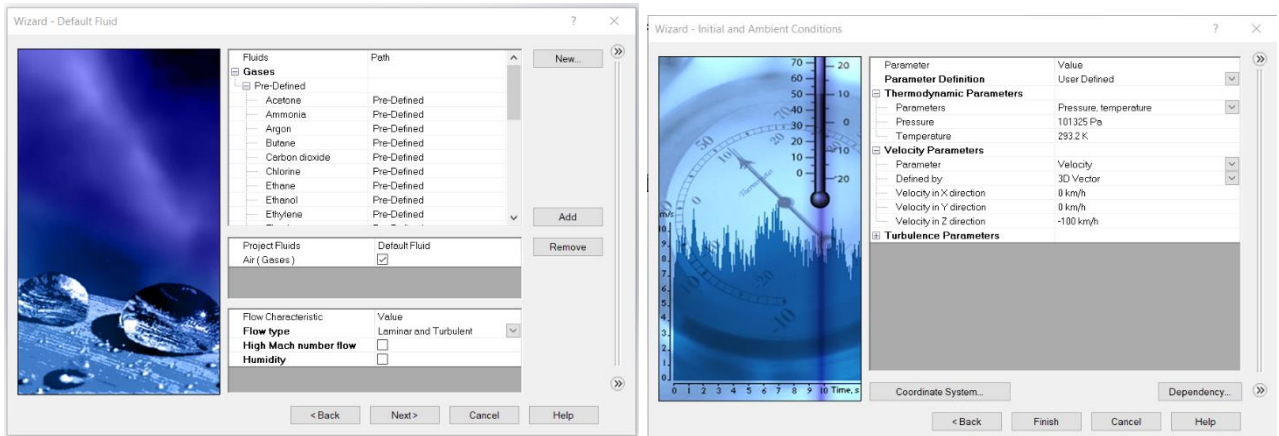


Рисунок 2.8 — Вибір середовища і параметрів швидкості руху

Після завершення роботи в Майстрі проекту наш об'єкт опиняється в просторі що називається Розрахункова область, як видно на рис 2.9.

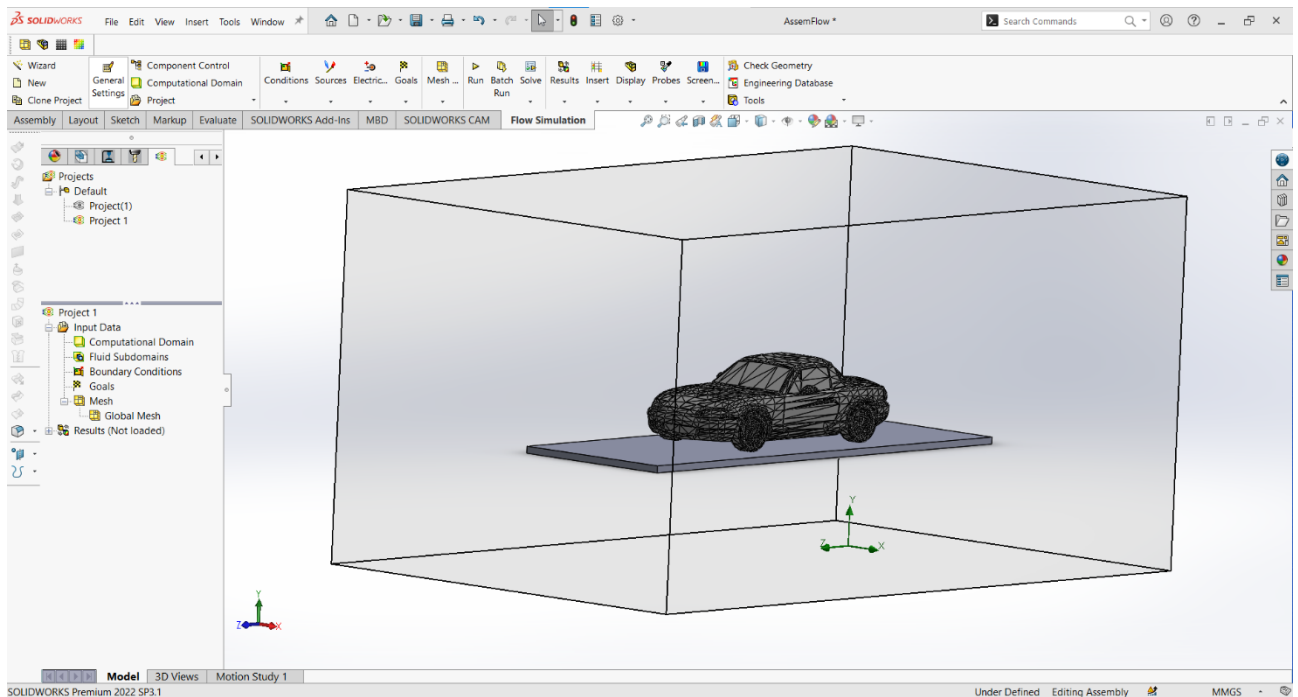


Рисунок 2.9 — Загальний вигляд розрахункової області

Оскільки для розрахунку такої великої області потрібні великі ресурси як часу так і потужності комп'ютера. Тому необхідно зменшити дану область. Вибираємо Розрахункова область і за допомогою стрілок що появилися зменшуємо область на рис 2.10.

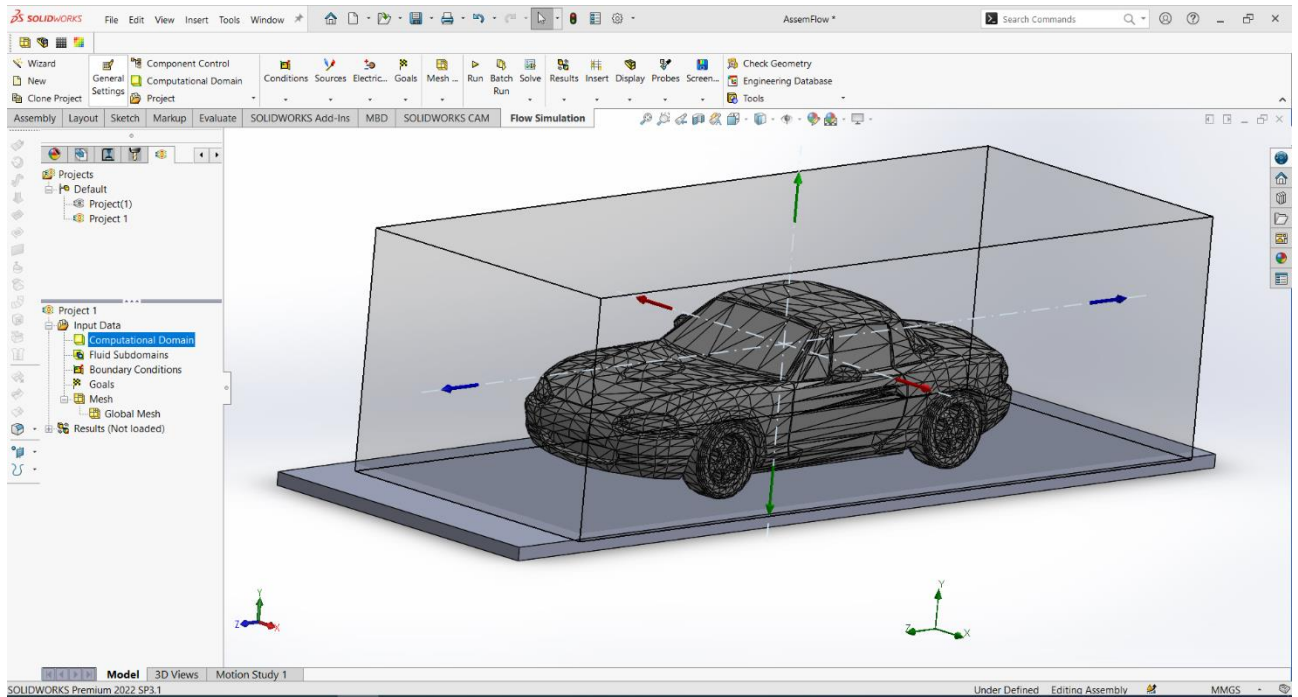


Рисунок 2.10 — Загальний вигляд розрахункової області

Для подальшої роботи необхідно задати Граничні умови з дорогою. Для цього натискаємо ПКМ на рядок Граничні умови і обираємо функцію Додати граничні умови (рис 2.11). Опісля виділяємо покриття дороги на якому розташована модель автомобіля і дотримуємося покрокової інструкції зображеної на рис 2.12., в такій послідовності: Стінка => Ідеальне покриття => ОК.

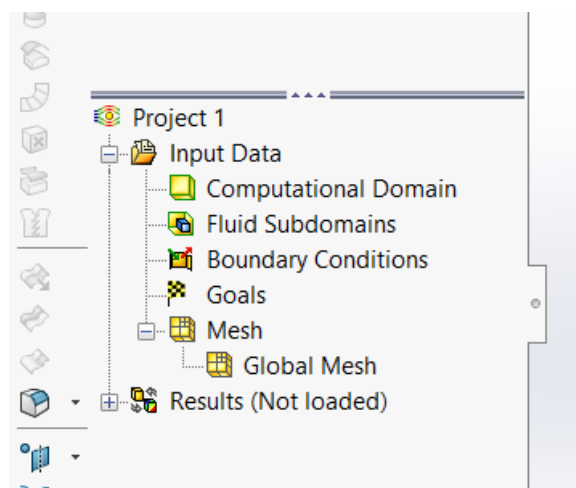


Рисунок 2.11 — Робоче вікно Flow simulation

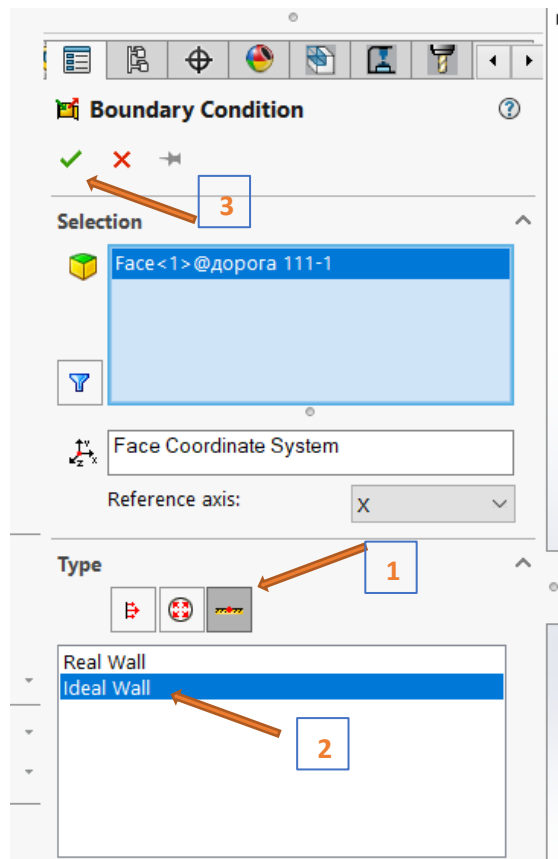


Рисунок 2.12 — Робоче вікно Flow simulation

Наступним кроком задаємо параметри Сітки. Для цього натискаємо ПКМ на однойменний рядок і провалюємося в рядок, що появився під назвою Глобальна сітка і виставляю повзунок на значення 5 як на рис. 2.13.

Далі необхідно додати Цілі. Це потрібно щоб програма розуміла, що саме їй потрібно розрахувати та які результати симуляції видавати в кінці. Для цього ПКМ натискаємо на рядок Цілі, він розташований над рядком Сітка яким ми щойно налаштували. Обираємо Додати глобальні цілі і з наступного списку обираємо сили згідно осей в яких розташований автомобіль, в даному варіанті це вісь Y яка буде характеризувати притискну силу і вісь Z, що впливає на автомобіль як опір повітря(лобовий опір). Цей крок показано на рис 2.14. Після глобальних цілей треба задати Поверхневі цілі, які будуть стосуватися самої моделі автомобіля. Знову натискаємо ПКМ на рядок Цілі, але цього разу обираємо Додати поверхневі цілі, повністю виділяємо модель автівки (Рис.2.15) і в списку відмічаємо ті самі сили Y і Z.

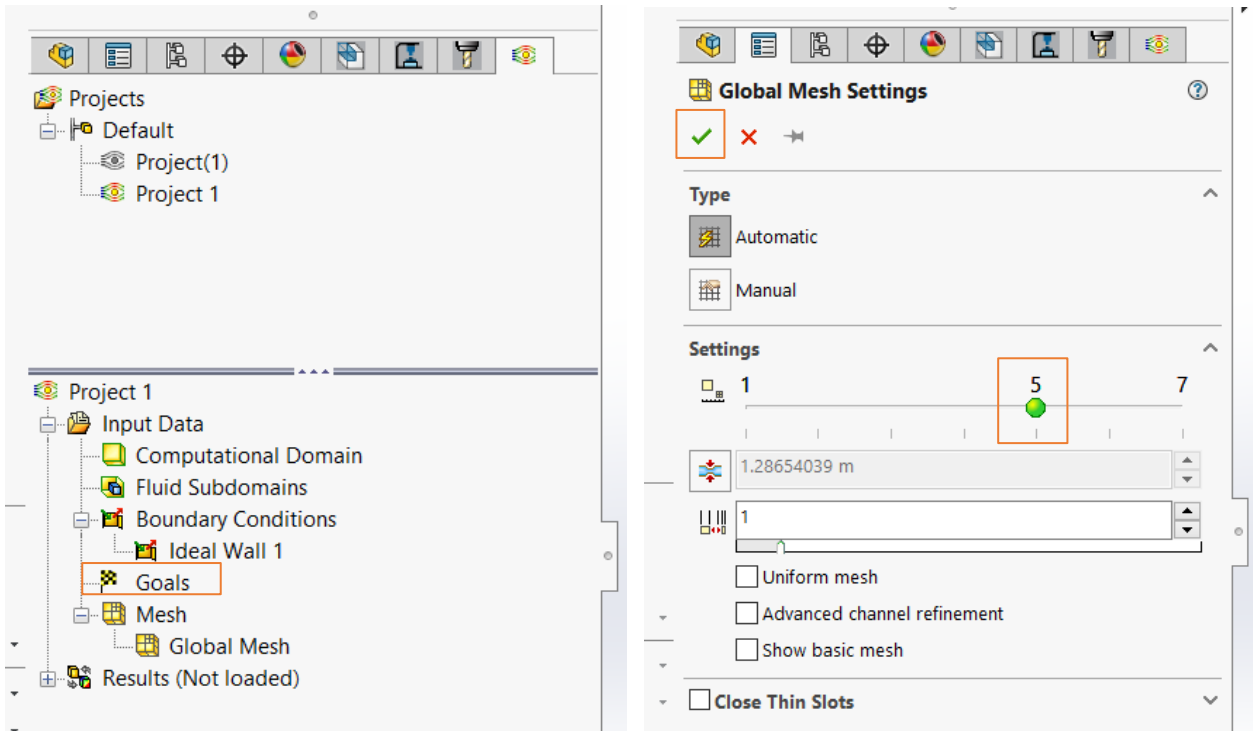


Рисунок 2.13 — Робоче вікно Flow simulation

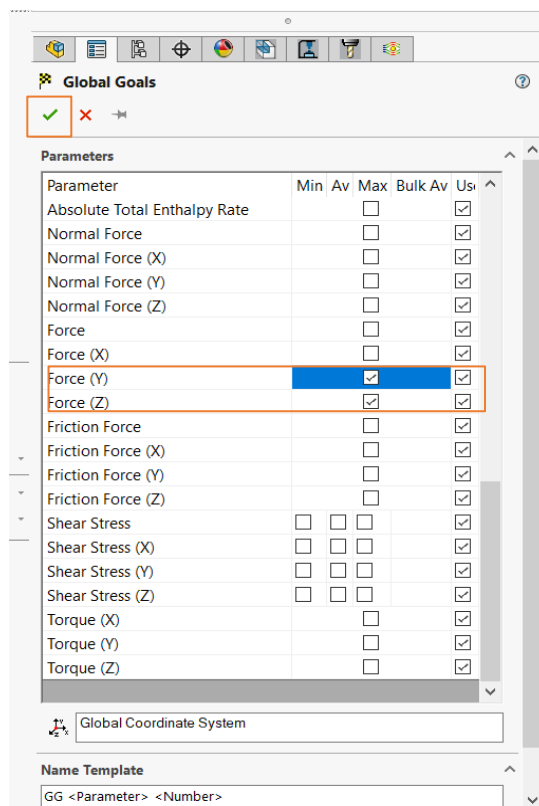


Рисунок 2.14 — Робоче вікно Flow simulation

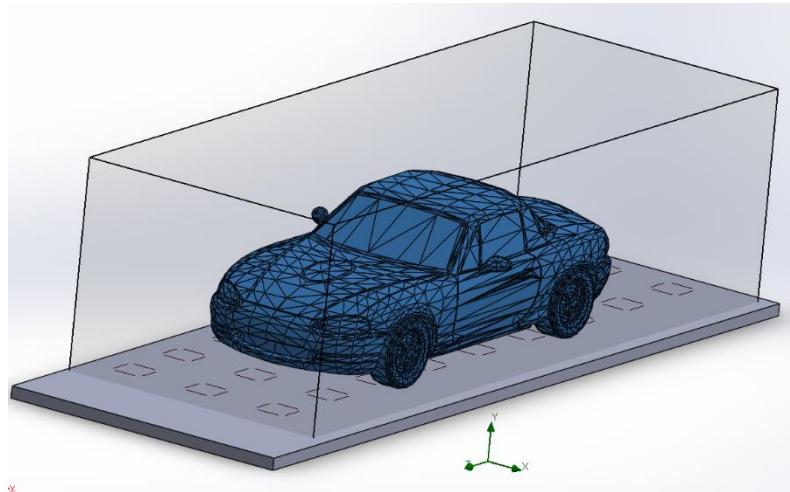


Рисунок 2.15 — Загальний вигляд моделі готової для симуляції

Після всіх цих маніпуляцій в нас все готово для проведення розрахунків. Для початку розрахунків потрібно натиснути на кнопку Запустити, яка розташовується у верхній частині екрана на панелі інструментів. Симуляція та розрахунки займуть певний час, в результаті ми отримаємо всі необхідні данні по аеродинамічних властивостях автомобіля і навіть зможемо побачити як саме повітряні потоки взаємодіють з моделлю автомобіля без спойлера.

Симуляція руху автомобіля відбувалась за таких умов:

- швидкість повітряного потоку 100км/год;
- атмосферний тиск – 101325 Па;
- температура повітря – 293,2 К;
- густина повітря – 1,21 кг/м³;

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Результати моделювання руху автомобіля без спойлера

В результаті моделювання ми отримали результати при яких прижимна сила мала відємне значення, це пов'язано з тим, що наша модель автомобіля має мінімальну пляму контакту з дорогою, а також що дорога в нас виступає ідеальною поверхнею. Тому ми будемо описувати силу протилежну прижимній, а саме підйомну.

Для перевірки правильності дослідження провели моделювання при однакових умовах але на різних швидкостях, а саме 25, 50, 75, 100, 150 та 190 кілометрів на годину.

Результати досліджень підйомної сили на різних швидкостях для автомобіля без спойлера показано на рис 3.1.

Имя	Текущее значение	Прогресс сходи...	Критерий	Среднее значение
GG Сила (Y) 1	-4.65226 N	достигнуто (IT = 10)	0.297906 N	-4.73798 N
GG Сила (Z) 2	-17.5658 N	достигнуто (IT = 7)	1.84583 N	-17.5214 N
SG Сила (Y) 1	13.8548 N	достигнуто (IT = 8)	1.1543 N	14.0072 N
SG Сила (Z) 2	-17.5658 N	достигнуто (IT = 7)	1.84583 N	-17.5214 N

Имя	Текущее значение	Прогресс сходи...	Критерий	Среднее значение
GG Сила (Y) 2	-17.1719 N	достигнуто (IT = 8)	1.56855 N	-17.9132 N
GG Сила (Z) 3	-82.3413 N	достигнуто (IT = 6)	8.02395 N	-82.8442 N
SG Сила (Y) 1	71.5459 N	достигнуто (IT = 8)	4.2321 N	72.3903 N
SG Сила (Z) 2	-82.3413 N	достигнуто (IT = 6)	8.02395 N	-82.8442 N

Имя	Текущее значение	Прогресс сходи...	Критерий	Среднее значение
GG Сила (Y) 1	-37.3034 N	достигнуто (IT = 16)	5.00555 N	-39.1297 N
GG Сила (Z) 2	-312.667 N	достигнуто (IT = 6)	32.3269 N	-312.63 N
SG Сила (Y) 1	268.368 N	достигнуто (IT = 5)	16.0341 N	270.243 N
SG Сила (Z) 2	-312.667 N	достигнуто (IT = 6)	32.3269 N	-312.63 N

Имя	Текущее значение	Прогресс сходи...	Критерий	Среднее значение
GG Сила (Y) 1	-19.0943 N	достигнуто (IT = 7)	5.46805 N	-20.9845 N
GG Сила (Z) 2	-168.359 N	достигнуто (IT = 6)	18.5302 N	-169.039 N
SG Сила (Y) 1	149.695 N	достигнуто (IT = 8)	13.3263 N	150.99 N
SG Сила (Z) 2	-168.359 N	достигнуто (IT = 6)	18.5302 N	-169.039 N

Имя	Текущее значение	Прогресс сходи...	Критерий	Среднее значение
GG Сила (Y) 1	-138.385 N	достигнуто (IT = 98)	16.7102 N	-147.875 N
GG Сила (Z) 2	-663.465 N	достигнуто (IT = 68)	74.1539 N	-662.992 N
SG Сила (Y) 1	551.023 N	достигнуто (IT = 85)	41.2556 N	563.466 N
SG Сила (Z) 2	-663.465 N	достигнуто (IT = 68)	74.1539 N	-662.992 N

Имя	Текущее значение	Прогресс сходи...	Критерий	Среднее значение
GG Сила (Y) 1	-166.998 N	достигнуто (IT = 84)	35.2447 N	-178.028 N
GG Сила (Z) 2	-1033.05 N	достигнуто (IT = 70)	121.948 N	-1038.4 N
SG Сила (Y) 1	916.357 N	достигнуто (IT = 87)	73.7834 N	933.529 N
SG Сила (Z) 2	-1033.05 N	достигнуто (IT = 70)	121.948 N	-1038.4 N

Рисунок 3.1 – Результати досліджень підйомної сили на швидкостях 25, 50, 75, 150 і 190 км/год

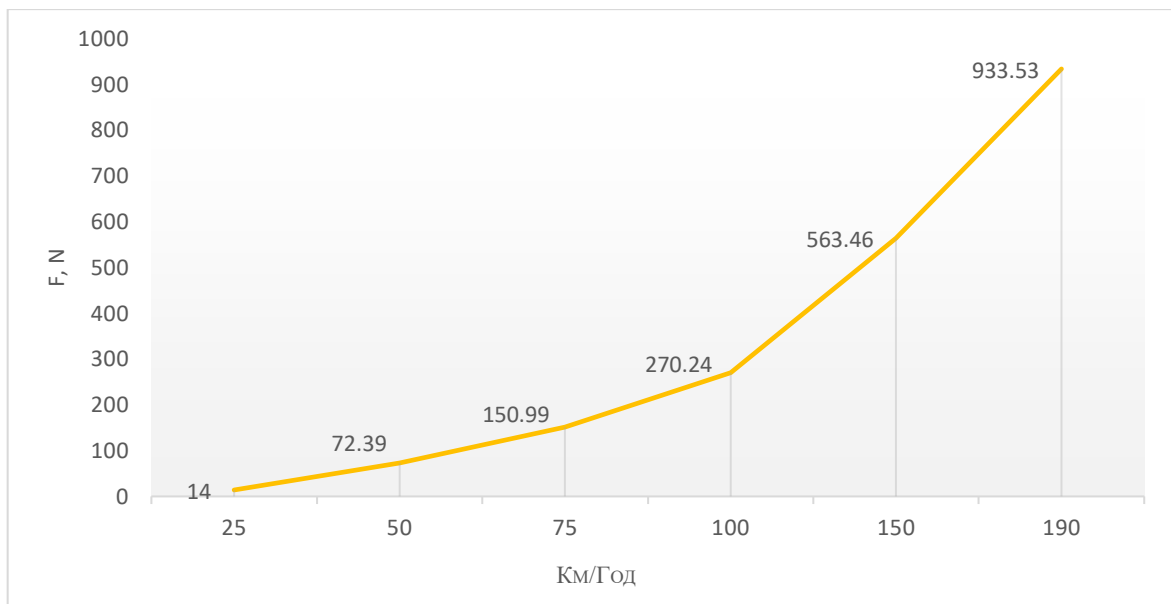


Рисунок 3.2 – Залежність підйомної сили автомобіля від його швидкості

Як можна помітити на графіку при збільшенні швидкості автомобіля його підйомна сила зростає, що підтверджує теоретичні дослідження.

Підйомна сила для швидкості 100км/год дорівнює 270.24 Н.

3.1. Результати моделювання руху автомобіля зі спойлером

Для розрахунків моделювання руху автомобіля зі спойлером було проведено порівняльну оцінку результатів за трьома положеннями висоти спойлера. Кут атаки антикрила становить 12° до поверхні дороги, що є оптимальним кутом для цієї моделі. Зазвичай середній кут атаки становить від 5 до 15 градусів, що залежить від специфікацій і призначення автомобіля.

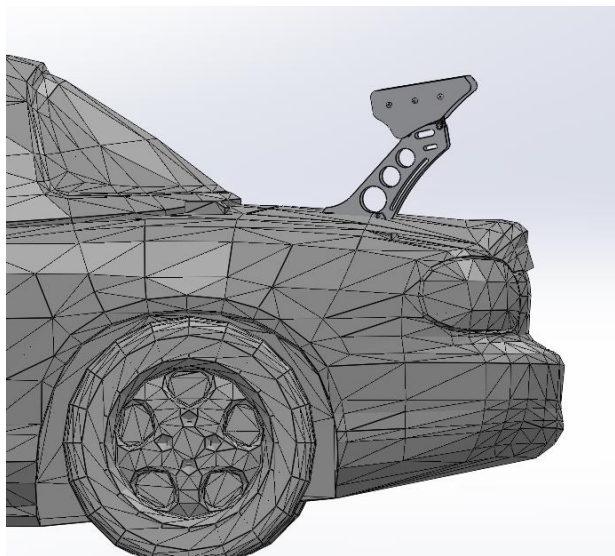


Рисунок 3.3 – Вигляд спойлера на висоті 35см

Виставивши спойлер на висоті 35 см (рис3.3) отримали результат в 146,3 Н (Рис 3.4). В порівнянні з автомобілем без спойлера притискна сила виросла на 45,93%.

Имя	Текущее значение	Прогресс сходи...	Критерий	Среднее значение
GG Сила (Y) 1	-165.924 N	достигнуто (IT = 11)	8.43054 N	-167.079 N
GG Сила (Z) 2	-299.125 N	достигнуто (IT = 11)	34.5986 N	-298.602 N
SG Сила (Y) 1	143.231 N	достигнуто (IT = 12)	16.4 N	146.3 N
SG Сила (Z) 2	-299.125 N	достигнуто (IT = 11)	34.5986 N	-298.602 N

Рисунок 3.4 – Результати досліджень з антикрилом на висоті 35см

На черзі дослідження моделі зі спойлером на висоті 25см (рис 3.5).

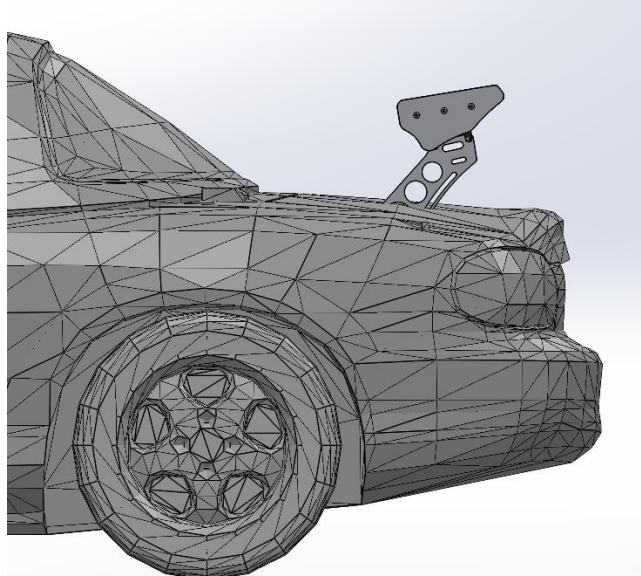


Рисунок 3.5 – Вигляд спойлера на висоті 25см

Після повторного розрахунку отримали результат в 218,3 Н (Рис 3.6). В даному випадку зміна висоти на меншу призвела до падіння ефективності відносно положення антикрила з висотою приблизно на 33%.

Имя	Текущее значение	Прогресс сходи...	Критерий	Среднее значение
GG Сила (Y) 1	-143.943 N	достигнуто (IT = 12)	9.05921 N	-142.789 N
GG Сила (Z) 2	-302.672 N	достигнуто (IT = 12)	32.1902 N	-302.559 N
SG Сила (Y) 1	214.156 N	достигнуто (IT = 13)	18.1914 N	218.304 N
SG Сила (Z) 2	-302.672 N	достигнуто (IT = 12)	32.1902 N	-302.559 N

Рис 3.6 – Результати досліджень з антикрилом на висоті 25см

Останнім дослідом буде розміщення антикрила на висоті 15см(рис 3.6).

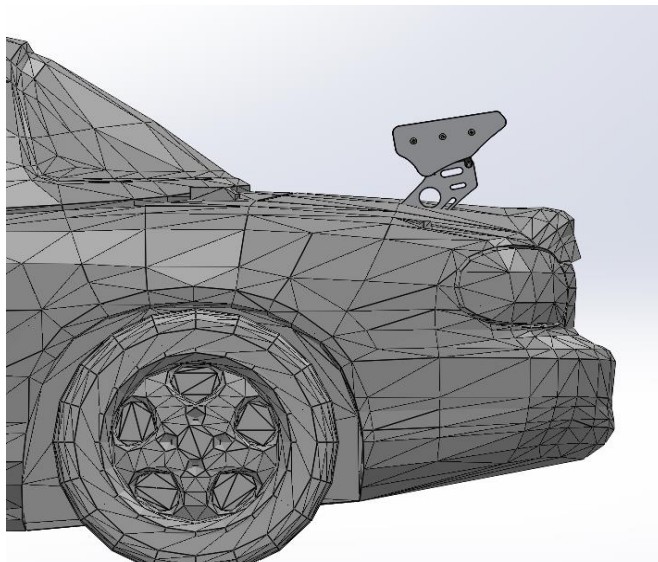


Рисунок 3.7 – Вигляд спойлера на висоті 15 см

Результатом симуляції стало значення в 227,53 Н (Рис 3.7) притискної сили, що є найменшим значення за всі три дослідження. Не дивлячись на це, значення є кращим за результат дослідів автомобіля без спойлера.

Имя	Текущее значение	Прогресс сходи...	Критерий	Среднее значение
GG Сила (Y) 1	-133.803 N	достигнуто (IT = 11)	9.89244 N	-133.375 N
GG Сила (Z) 2	-279.481 N	достигнуто (IT = 11)	31.9201 N	-279.706 N
SG Сила (Y) 1	223.869 N	достигнуто (IT = 13)	19.0674 N	227.53 N
SG Сила (Z) 2	-279.481 N	достигнуто (IT = 11)	31.9201 N	-279.706 N

Рис 3.8 – Результати досліджень з антикрилом на висоті 15см

Узагальнені результати симуляцій показано на графіку(рис3.8)

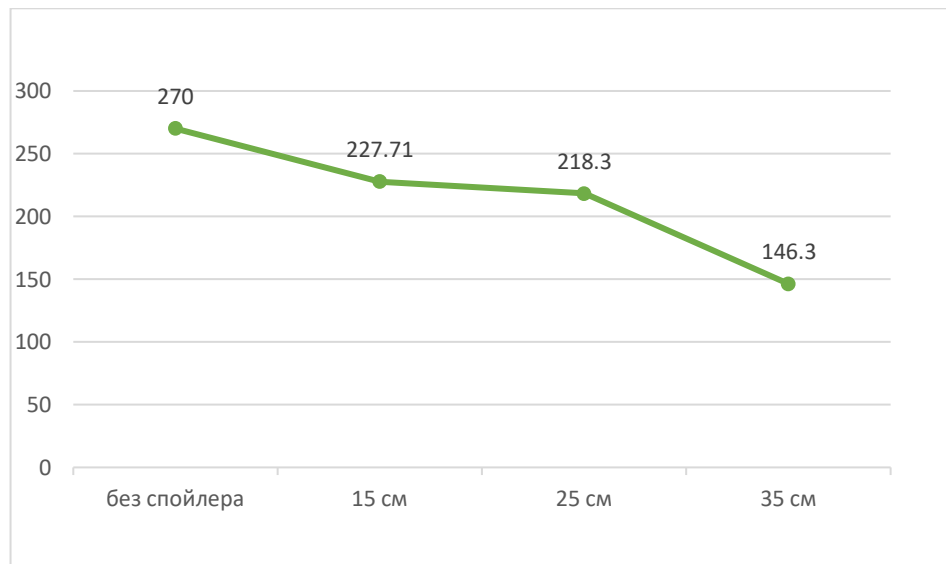


Рисунок 3.9 – Залежність підйомної сили від висоти розташування спойлера

Для більшого розуміння залежностей впливу на підйомну силу проведено додаткову візуалізацію повітряних потоків при різних висотах спойлера.

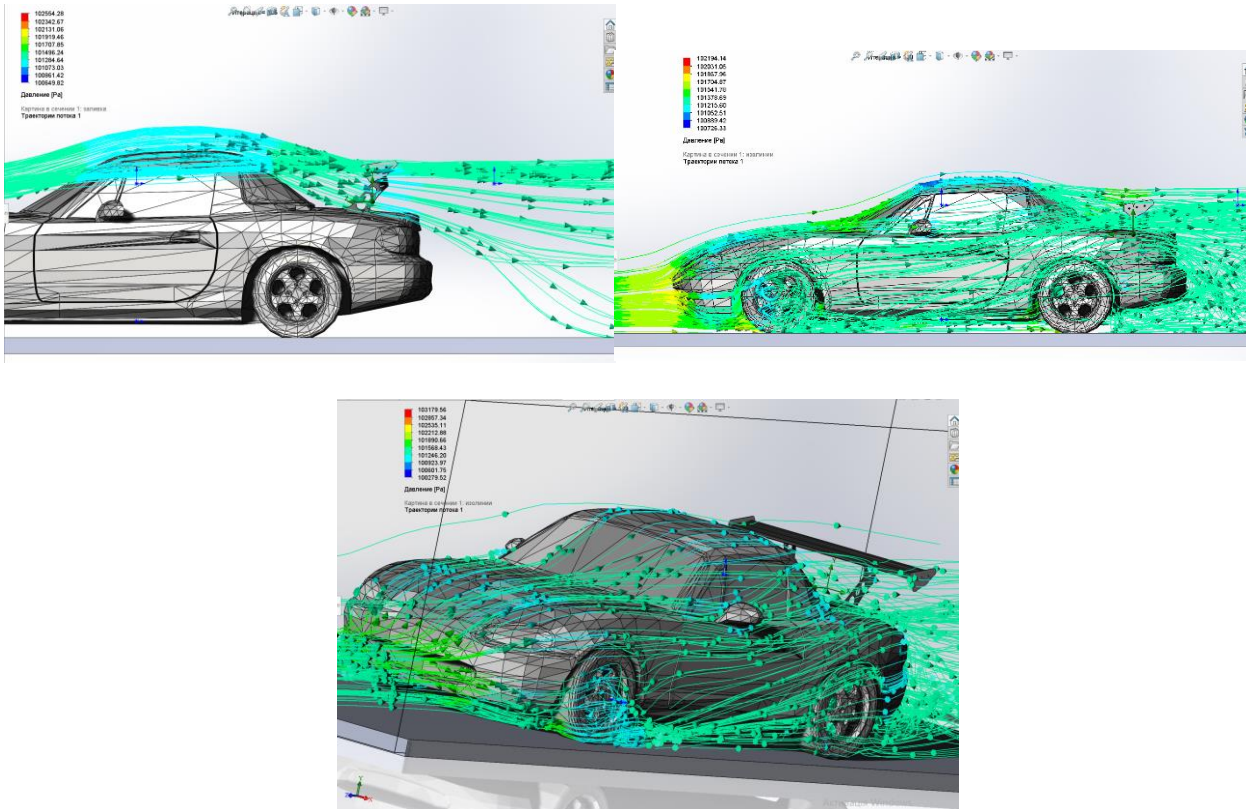


Рис 3.10 – Зображення повітряних потоків на моделі Mazda Miata з антикрилом

Аналізуючи результати повітряних потоків можемо стверджувати, що на антикрило яке знаходиться на висоті 35 см додатково діють потоки які йдуть вище машини. Через те що в даного автомобіля хороший коефіцієнт опору повітря то потоки з кузова сходять досить плавно.

Отже, для ефективного використання антикрила на автомобілі марки Mazda Miata MX-5 його потрібно розташовувати на задньому багажнику максимально високо.

Чудово видно ефективність антикрила на Рис 3.10 і 3.11 де показано зони підвищеного та пониженого тисків різниця яких і призводить до утворення притискної сили.

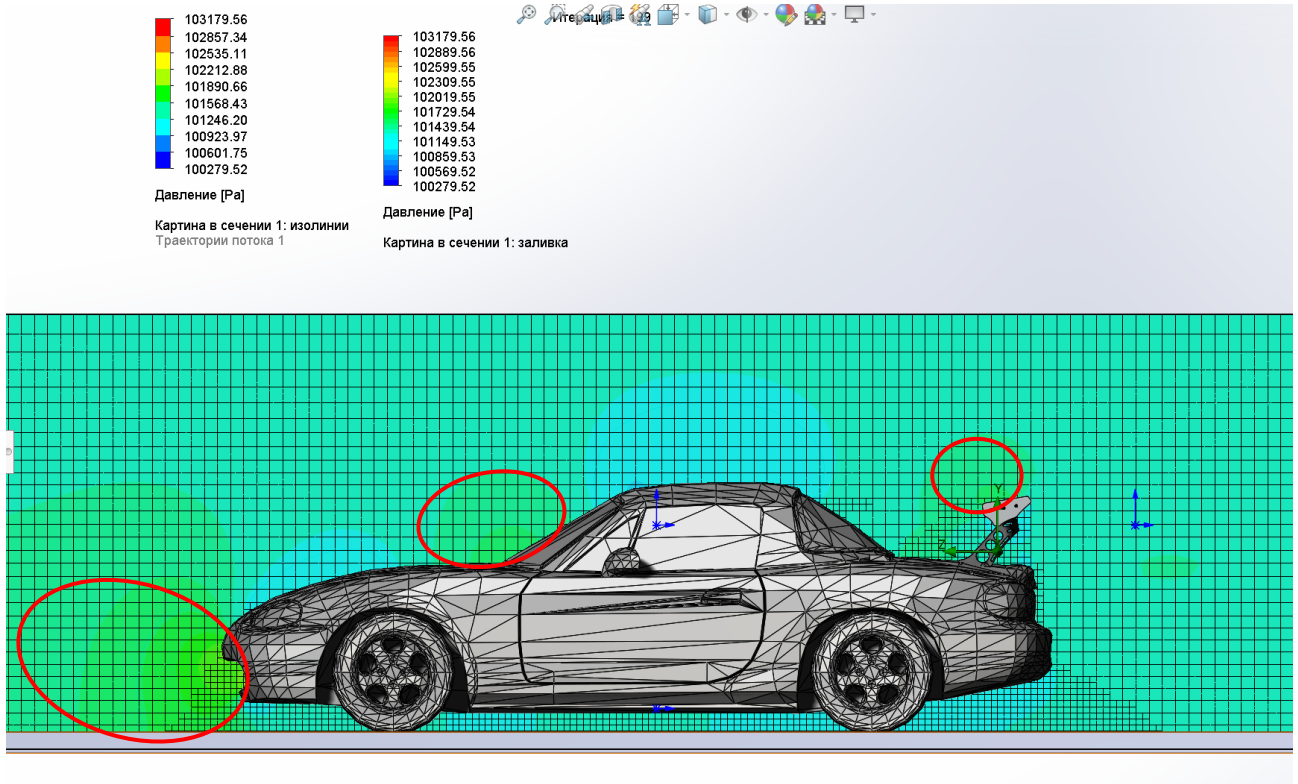


Рис 3.11 – Схема зонування високого тиску

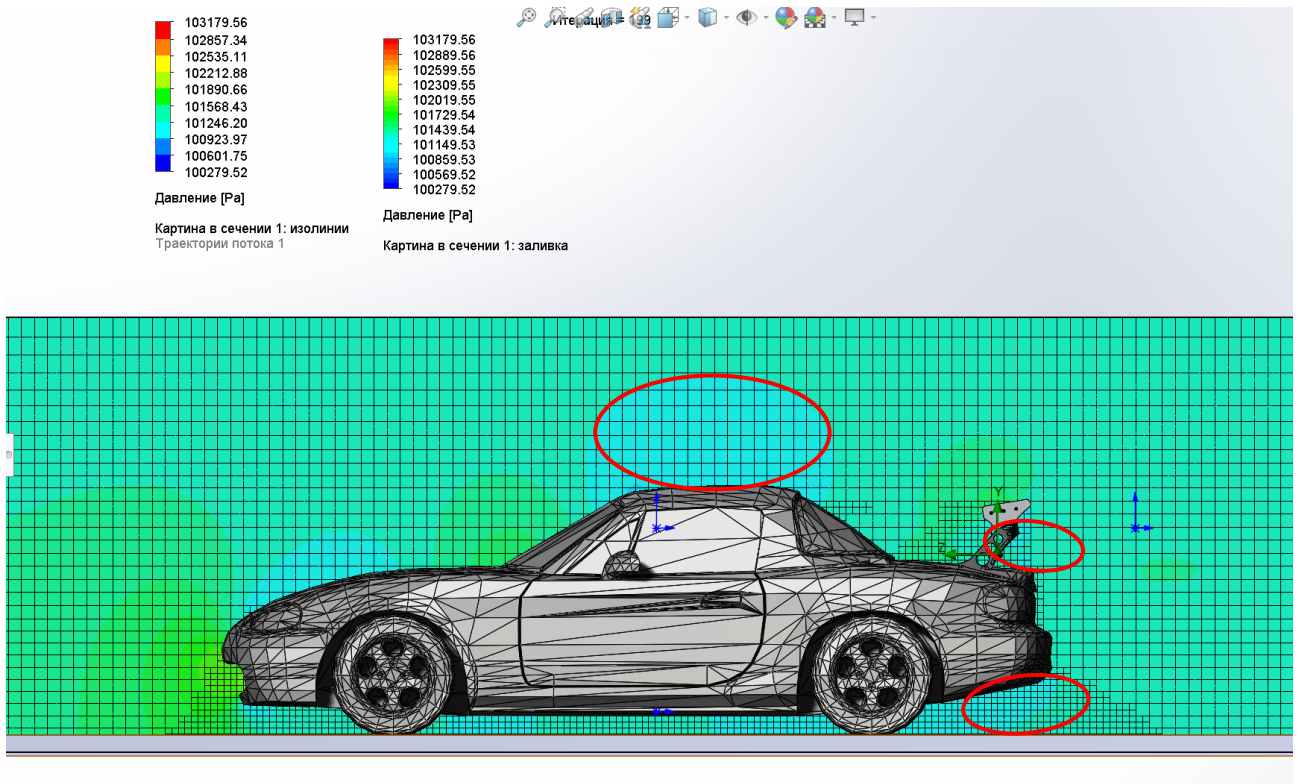


Рис 3.12 – Схема зонування низького тиску

В даному розділі значення сили є умовними і не відповідають дійсним числам, але їх достатньо, щоб наглядно продемонструвати різницю тисків і те що антикрило справді створює притискну силу на автомобілі.

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ

У даній частині дипломної роботи було проведено комп'ютерне моделювання аеродинамічних властивостей автомобіля Mazda Miata з різним розташуванням антикрила і без нього.

В результаті моделювання було встановлено, що оптимальним є розташування антикрила на максимально можливій висоті відносно багажника автомобіля. Це забезпечує максимальну притискну силу, що підвищує стабільність та керуваність автомобіля при високих швидкостях.

Залежність підйомної сили від швидкості руху автомобіля була проаналізована шляхом моделювання при різних швидкостях (25, 50, 75, 100, 150, 190 км/год). Ці дані є ключовими для розуміння того, як швидкість впливає на аеродинамічні характеристики автомобіля і допомагають визначити найкращі налаштування для різних умов експлуатації.

Таким чином, проведені розрахунки підтвердили ефективність використання антикрил та спойлерів для покращення аеродинамічних характеристик автомобіля, що сприяє підвищенню безпеки та комфорту водіння.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ.

Застосування аеродинамічних елементів, таких як спойлери, не тільки покращує аеродинамічні характеристики автомобіля, але й суттєво підвищує безпеку під час руху. Покращена притискна сила забезпечує краще зчеплення з дорогою, що знижує ризик заносу і підвищує стійкість автомобіля під час маневрування. Це особливо важливо на високих швидкостях та в умовах різких змін напрямку руху.

Оптимізація аеродинамічного дизайну також сприяє покращенню керованості автомобіля. Водій отримує більш точний контроль над транспортним засобом, що підвищує комфорт і безпеку керування. Завдяки використанню спойлерів та інших елементів, автомобіль стає більш передбачуваним у поведінці на дорозі, що значно зменшує ймовірність аварійних ситуацій. Ці покращення забезпечують водію впевненість у керуванні автомобілем, що позитивно впливає на загальну безпеку дорожнього руху.

Також важливо відмітити вплив шуму на водія під час руху автомобіля, оскільки він відіграє важливу роль у комфорті водія в авто. Шкідливий та небезпечний вплив шуму на організм людини встановлено з повною достовірністю. Ступінь такого впливу переважно залежить від рівня та характеру шуму, форми та тривалості впливу, а також індивідуальних особливостей людини. Що належить до загальних фізіологічних подразників, які за певних обставин можуть впливати на більшість органів та систем організму людини. За даними медиків, дія шуму може спричинити нервові, серцево-судинні захворювання, виразкову хворобу, порушення обмінних процесів та функціонування органів слуху тощо. Крім безпосереднього впливу на орган слуху, що впливає на різні відділи головного мозку, змінюючи при цьому нормальні процеси вищої нервової діяльності. Цей так званий неспецифічний вплив шуму може виникнути навіть раніше, ніж зміни в самому органі слуху. Характерними є скарги на підвищену втомлюваність, загальну слабкість, роздратованість, апатію, позбавлення пам'яті, погану розумову діяльність тощо.

Один з основних джерел шуму в місті – автомобільний транспорт, інтенсивність руху якого постійно зростає. Найбільші рівні шуму (90-95 дБ) відзначаються на магістральних вулицях міст з середньою інтенсивністю руху 2-3 тис. і більше транспортних одиниць на годину. Акустична характеристика транспортного потоку визначається показниками галасливості автомобільного транспорту. Шум, вироблений окремими транспортними екіпажами, залежить від багатьох факторів: потужності та режиму роботи двигуна, технічного стану екіпажу, якості дорожнього покриття, швидкості руху. Крім того, рівень шуму, як і економічність експлуатації автомобіля, залежить від кваліфікації водія. Шум від двигуна різко зростає в момент його запуску і прогрівання (до 10 дБ). Рух автомобіля на першій швидкості (до 40 км/год) викликає зайві витрати палива, при цьому шум двигуна в два рази перевищує шум, створюваний ним на другій швидкості. Звичайний шум викликає різке гальмування автомобіля, перерусі на великій швидкості. Шум помітно знижується, якщо швидкість руху гасяться за рахунок гальмування двигуном до моменту включення ножного гальма. Наближену дію шуму різних рівнів можна схарактеризувати наступним чином: Шум до 50 дБ зазвичай не чинить шкідливого впливу на людину в процесі її трудової діяльності. Шум у 50-60 дБ може мати психологічний вплив, що виявляється у погіршенні розумової діяльності, послабленні уваги, швидкості реакції, утруднених роботах з масивами інформації тощо. При рівні шуму 65-90 дБ можлива його фізіологічний вплив: пульс підвищується, тиск крові зростає, судини звужуються, що погіршує постачання органів кров'ю. Дія шуму з рівнем 90 дБ і вище може призвести до функціональних порушень в органах та системах організму людини, знижується слухова чутливість, погіршується діяльність шлунку та кишківника, з'являється відчуття нудоти, головний біль, шум у вухах. При рівні шуму 120 та вище здійснюється механічний вплив на орган слуху, що виявляється у порушенні зв'язків між окремими ділянками внутрішнього вуха, можливий навіть розрив барабанної перетинки. Такі високі рівні шуму впливають не лише на органи слуху, а й на весь організм. Звукові хвилі проникають крізь шкіру, спричиняють механічні коливання тканин організму,

що внаслідок цього відбувається руйнування нервових клітин, розриви дрібних судин, тощо.

Під час руху автомобілі викидають у повітря багато шкідливих газів, що несе за собою велику шкоду для навколишнього середовища і довкілля в цілому. Зменшення витрат палива допоможе нам покращити екологічність автомобіля, а також зменшення фінансових затрат на заправку транспортного засобу.

Автомобільний транспорт відноситься до основних джерел забруднення довкілля у великих містах. На нього припадає більше половини обсягу шкідливих викидів. Рівень забруднення повітря шкідливими речовинами на автомагістралях перевищує в 5-10 разів гранично допустимі концентрації. Джерелами шкідливих викидів двигуна внутрішнього згоряння є відпрацьовані гази, картерні гази та випари з системи живлення. Серед цих джерел забруднення основними є відпрацьовані гази. Визначено, що один автомобіль щорічно поглинає з атмосфери понад 4 т кисню, викидаючи з відпрацьованими газами приблизно 800 кг оксиду вуглецю, близько 40 кг оксидів азоту та майже 200 кг різних вуглеводнів. Ці речовини є найбільш небезпечними для навколишнього середовища. Вони осідають на поверхню землі, і навіть сильні дощі не можуть їх змити.

Дані про вміст основних шкідливих компонентів відпрацьованих газів наведені в таблиці нижче. З цієї таблиці видно, що спосіб сумішоутворення суттєво впливає на склад і кількість шкідливих викидів.

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Вигоди комп'ютерного моделювання в порівнянні з аеродинамічною трубою.

Враховуючи економічну недоцільність використання аеродинамічної труби для дослідження геометричної форми спойлера, сучасне спеціалізоване програмне забезпечення, таке як SolidWorks, дозволяє уникнути помилок ще на етапі проектування. Завдяки цьому програмному пакету можна здійснювати як геометричне моделювання, так і аеродинамічні дослідження. Ефективним методом моделювання геометричної форми спойлера є об'єктно-орієнтоване моделювання, яке передбачає, що форма спойлера повторює траєкторії руху повітря, що обтікає кузов автомобіля.

Сучасні технології значно покращують процес виготовлення деталей від ідеї до готового виробу. Використання SolidWorks Flow Simulation робить аеродинамічні дослідження майже безкоштовними в порівнянні з дорогими дослідженнями в аеродинамічній трубі. Комп'ютерне моделювання є ефективним і економічно вигідним методом для проведення аеродинамічних досліджень, що має численні переваги перед традиційними методами.

Переваги комп'ютерного моделювання

Програмне забезпечення для комп'ютерного моделювання, таке як SolidWorks Flow Simulation, яке надається університетом безкоштовно, дозволяє значно зменшити витрати на дослідження. Основні переваги комп'ютерного моделювання включають:

- Економічність: Комп'ютерне моделювання не потребує дорогих фізичних прототипів або оренди аеродинамічної труби, що суттєво знижує витрати.
- Швидкість: Можливість швидкого проведення численних тестів і модифікацій конструкції дозволяє значно скоротити час розробки.
- Гнучкість: Комп'ютерне моделювання дозволяє легко змінювати параметри і умови тестування, моделюючи різні сценарії експлуатації.

- Точність: Висока точність і деталізація результатів дозволяє проводити глибокий аналіз і оптимізацію конструкції.

Аеродинамічні та економічні розрахунки

Аеродинамічні характеристики автомобіля оцінюються за формулою (5.1):

$$F_d = 1/2 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot C_d \cdot A \quad (5.1)$$

де F_d — сила аеродинамічного опору, ρ — густина повітря, v — швидкість потоку повітря, C_d — коефіцієнт аеродинамічного опору, A — площа лобової проекції автомобіля.

Вартість спойлерів та оренди аеродинамічної труби.

При аналізі економічної доцільності необхідно враховувати вартість спойлерів та оренду аеродинамічної труби. Вартість спойлерів для автомобіля Mazda Miata становить від 7000 до 10000 грн за одиницю. Оренда аеродинамічної труби може варіюватися від 2000 до 5000 грн за годину, залежно від лабораторії.

Використання комп'ютерного моделювання дозволяє зменшити витрати на дослідження та покращити ефективність транспортних засобів, що робить його економічно вигідним варіантом у порівнянні з традиційними методами тестування.

ВИСНОВКИ

Проведено дослідження аеродинамічних властивостей легкового автомобіля Mazda Miata з використанням комп'ютерного моделювання у програмному середовищі SOLIDWORKS Flow Simulation. Основною метою роботи було оптимізувати аеродинамічні характеристики автомобіля шляхом додавання і регулювання антикрила.

Проаналізовано основні фактори, що впливають на аеродинамічний опір автомобіля. Зокрема, досліджено, як різні форми кузова та розташування аеродинамічних елементів можуть зменшити опір та покращити стабільність автомобіля на високих швидкостях. Моделювання показало, що розташування антикрила на задньому багажнику на максимально можливій висоті забезпечує максимальну притискну силу, що сприяє підвищенню стабільності та керованості автомобіля при високих швидкостях.

Розроблені конструкційні рішення для спойлерів сприяють збільшенню зчеплення з дорогою та покращенню керованості автомобіля. Використання комп'ютерного моделювання значно знизило витрати на проведення аеродинамічних випробувань у порівнянні з експериментами у вітрових тунелях.

Проведені дослідження підтвердили ефективність використання спойлерів та антикрил для покращення аеродинамічних характеристик автомобіля Mazda Miata.

На основі отриманих результатів можна рекомендувати використання комп'ютерного моделювання як ефективного інструменту для дослідження та оптимізації аеродинамічних характеристик автомобілів. Подальші дослідження можуть зосередитись на експериментальному підтвердженні результатів моделювання та розробці нових конструкцій аеродинамічних елементів для різних типів автомобілів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ю. І. Ковальов, О. І. Петренко – Аеродинаміка автомобілів: Теорія і практика. Київський університет, 2016. – 176 с.
2. Практикум з охорони праці. Бутко Д . А., Луценков В. Л., Лехман К.: Урожай, 1995. – 144 с.
3. Ванін В. В., Бліок А. В., Гнітецька Г. О. Оформлення конструкторської документації: Навч. посібн. 4-те вид., випр. і доп. – К.: Каравела, 2012. – 200с
4. Гряник Г. М., Лехман С. Д. Охорона праці. – К.: Урожай, 1994. – 272 с.
5. Депутат О. П. Коваленко І. В., Мужик І. С. Цивільна оборона. Львів.: Афіша, 2001. – 236 с.
6. І. М. Сердюк, В. А. Скорульський – Автомобільна аеродинаміка: Основи теорії і практики. Український науковий центр, 2015. – 240 с.
7. В. І. Козачок, С. І. Козачок – Автомобільна аеродинаміка і опір повітряному потоку. Літера ЛТД, 2018. – 192 с.
8. М. В. Гончаренко, О. П. Шевченко – Вплив розташування спойлера на аеродинамічні характеристики автомобіля. Журнал: Автомобільна наука, № 4, 2018. – 14 с.
9. Г. О. Петров, І. В. Ковальчук – Вплив аеродинамічних характеристик автомобіля на його динаміку та енергоефективність. Журнал: Автомобільна індустрія, № 1, 2019. – 12 с.
10. С. В. Гаврилюк, В. П. Заболотний – Методи дослідження та оптимізації аеродинаміки автомобіля. Український науковий центр, 2019. – 208 с.
11. Стукалець І., Коробка С., Цонинець Р. – Використання SolidWorks Flow Simulation під час моделювання геометричних форм деталей кузовів автомобілів. Вісник Львівського НАУ. Агроінженерні дослідження. – 2021. № 25. 127– 142 с.
12. Стукалець І. Г. Правила оформлення графічної частини дипломного проекту: Методичні рекомендації для виконання дипломного проекту Львів : ЛНАУ, 2017 – 60с.
13. Джерело в інтернеті <https://mercedes-benz-kiev.com/novyuy-mercedes-benz-cls-kupe-2019-vyprobuvannya-v-aerodynamichniy-trubi-720>

14. Джерело в інтернеті https://drossel.ua/ua/article/07_2023/763.html.
15. Джерело в інтернеті <https://auto.ria.com/uk/terms/spojler-v-avtomobile/>.
16. Євграфов О.М. Аеродинаміка автомобіля. / Євграфов О.М. // М: Видавництво МДІУ, 2012. – 355 с.
17. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Мельников О. В. Основи охорони праці. - Львів.: Афіша, 2000. – 350 с.
18. О. В. Даниленко, В. І. Кравчук – Сучасні технології спойлерів в автомобільній аеродинаміці. Видавничий дім "Вектор", 2017. – 184 с.
19. Павлице В. Т. Основи конструювання та розрахунків деталей машин Львів: Афіша, 2003. - 560с.
20. Пилипенко О. М., Батраченко О. В., Литовченко І. М. Зменшення аеродинамічного опору кабіни вантажного автомобіля. Вісник Хмельницького національного університету, №3, 2018 (261). С. 69-73.
21. П. В. Грищенко, С. М. Тимченко – Експериментальне дослідження антикрил на модельному автомобілі. Журнал: Механіка та енергетика, № 1, 2018.
23. Стукалець І. Г. Основи інженерного аналізу технічних об'єктів. Курс лекцій для студентів інженерних спеціальностей. Львів: ЛНУП, 2022. - 109 с.
24. Стукалець І. Г., Швець О. П. Методичні рекомендації до оформлення графічної частини кваліфікаційної роботи освітнього рівня «Бакалавр» для студентів факультету механіки та енергетики за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування» Львів ТНАУ 2021-62 с.
25. П. М. Скорик, В. С. Кравченко – Аеродинамічна оптимізація автомобільних спойлерів та антикрил. Автомобільний світ, 2017. – 240 с.
26. Цонинець Р. М. Аеродинамічне дослідження моделі автомобіля, створеної методом гібридного геометричного моделювання В середовищі SolidWorks. Матеріали Міжнародного студентського наукового форуму «Студентська молодь і науковий прогрес в АПК», 04-06 жовтня 2022 р. Львів, 2022.
27. Білявський Г. О., Падун М. М., Фурдуй Р. С – Основи загальної екології. К.: Либідь, 1995. – 368 с.