

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему «Геометричне моделювання спойлера-обтічника кабіни вантажного автомобіля з використанням *SolidWorks Flow Simulation*»

Виконав: студент IV курсу групи Маш-41

Спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
(шифр і назва)

Роман ЦОНИНЕЦЬ
(Ім'я та прізвище)

Керівник:

Ігор СТУКАЛЕЦЬ
(Ім'я та прізвище)

Дубляни 2023

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

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____

(підпис)

д.т.н., професор Віталій ВЛАСОВЕЦЬ

“ _____ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту
Цонинцю Роману Миколайовичу

1. Тема роботи: **«Геометричне моделювання спойлера-обтічника кабіни вантажного автомобіля з використанням *SolidWorks Flow Simulation*»**

Керівник роботи: Стукалець Ігор Геннадійович, к.т.н., в.о. доцента

Затверджена наказом по університету від 30.12.2022 року № 453/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 23.06.2023 року

3. Вихідні дані: довідкова література, ЄСКД, ДСТУ, ISO, геометричні параметри кузовів вантажних автомобілів, результати аналізу геометричних форм спойлерів-обтічників кабін автомобілів.

4. Перелік питань, які необхідно розробити:

1. Аналіз стану питання в теорії та практиці.

2. Загальна методика дослідження.

3. Результати досліджень.

4. Охорона праці.

5. Економічна частина

Висновки і пропозиції.

Бібліографічний список.

5. Перелік ілюстраційного матеріалу

1. Аналіз обтікання автомобіля повітряним потоком. Аналіз геометричних форм спойлерів – 1-ий аркуш.

2. Представлення загальної методики досліджень – 2-ий аркуш.

3. Результати аеродинамічного аналізу автомобіля зі спойлерами різних геометричних форм – 3-ій аркуш.

4. Габаритний кресленник спойлера складної геометричної форми – 4-ий арк.
 5. Результати аеродинамічного аналізу автомобіля зі спойлером складної геометричної форми. – 5-ий арк.
 6. Результати порівняльного аналізу ефективності використання спойлера запропонованої геометричної форми з іншими спойлерами – 6-ий арк.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2,3,5	Ігор СТУКАЛЕЦЬ, к. т. н., в. о. доц. кафедри машинобудування			
4	Іван ГОРОДЕЦЬКИЙ, к. т. н., доцент кафедри УПБВ			

7. Дата видачі завдання: 30.12.2022 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про вико- нання
1.	<i>Виконання розділу: «Аналіз стану питання в теорії та практиці»</i>	<i>23.01.23-17.02.23</i>	
2.	<i>Виконання другого розділу: «Загальна методика дослідження»</i>	<i>20.02.23-17.03.23</i>	
3.	<i>Виконання третього розділу: «Результати досліджень»</i>	<i>20.03.23-05.05.23</i>	
4.	<i>Виконання розділу: «Охорона праці»</i>	<i>08.05.23-02.06.23</i>	
5.	<i>Виконання розділу: «Розрахунок техніко-економічного ефекту»</i>	<i>05.06.23-16.06.23</i>	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Завершення роботи в цілому</i>	<i>19.06.23-23.06.23</i>	

Студент _____ Роман ЦОНИНЕЦЬ
(підпис)

Керівник роботи _____ Ігор СТУКАЛЕЦЬ
(підпис)

УДК 62-422.15

Геометричне моделювання спойлера-обтічника кабіни вантажного автомобіля з використанням *SolidWorks Flow Simulation*.

Цонинець Роман Миколайович – Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2023.

Кваліфікаційна робота: 54 с. текст. част., 44 рис., 5 табл., 22 джерела, 6 арк. формату А1.

Проаналізовано аеродинаміку вантажного автомобіля з кузовом-фургоном та вплив встановлення додаткових накладних елементів кузова на зменшення лобового опору повітря під час руху вантажного автомобіля. У середовищі *SOLIDWORKS Flow Simulation* виконано імітаційне моделювання руху автомобіля без спойлера кабіни, та зі спойлерами різних типових геометричних форм, визначено траєкторії руху повітря, обчислено коефіцієнт лобового опору для кожного з варіантів використання спойлерів. Виконано моделювання геометричної форми спойлера за результатами аеродинамічного дослідження руху автомобіля. Здійснено комп'ютерне моделювання руху вантажного автомобіля зі спойлером розробленої геометричної форми, обчислено коефіцієнт лобового опору автомобіля з використанням запропонованої моделі спойлера.

Робота пов'язана з вивченням питань прикладної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки, технічної естетики, аеродинаміки та систем автоматизованого проектування. Є практично цінною з огляду на обґрунтованість визначення геометричної форми елементів обтікання (спойлерів) транспортних засобів з метою зменшення коефіцієнта лобового опору.

Розглянуто питання охорони праці під час використання спойлера-обтічника запропонованої геометричної форми. Розраховано сподіваний економічний ефект від впровадження розробки у виробництво.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ В ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИЦІ.....	7
1.1 Коефіцієнт лобового опору.....	7
2 ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	17
2.1 Дослідження аеродинаміки.....	17
2.2 Визначення лобової площі автомобіля.....	18
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	20
3.1 Результати моделювання руху автомобіля без спойлера	20
3.2 Результати моделювання руху вантажівки з обтічником увігнутої форми.....	21
3.3 Результати моделювання руху вантажного автомобіля з плоским спойлером.....	23
3.4 Результати моделювання руху автомобіля з випуклим спойлером	25
3.5 Результати моделювання руху автомобіля зі спойлером складної геометричної форми.....	27
3.6 Аналіз результатів досліджень	31
3.7 Технологія виготовлення і монтаж спойлерів	34
3.8 Проектування матеріалу та розроблення технології виготовлення спойлера-обтічника для вантажного автомобіля методом контактного формування	36
4 ОХОРОНА ПРАЦІ	41
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	48
5.1. Результати розрахунків паливної економічності спойлера-обтічника.....	49
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК.....	53

ВСТУП

Сьогодні велика частина вантажообігу між містами і країнами виконується автопоїздами та важкими автомобілями. Для них актуальною проблемою є зниження витрати палива, яка обумовлена високим коефіцієнтом лобового опору. Чим більший коефіцієнт лобового опору, тим більше потужності двигун витрачає на подолання сили лобового опору. Це зумовлює зростання витрати палива і зменшення пробігу автомобіля [15].

Якщо вантажівки в містах рухаються відносно повільно, то на замських дорогах їх швидкість наближена до швидкості легковиків. Тому зменшення аеродинамічного опору є серйозною задачею. У порівнянні з легковиками вантажівки мають набагато більший мидель – поперечний переріз і менш плавні обриси. Це обумовлено особливостями їх призначення, а також використання.

При конструюванні універсальної вантажівки намагаються отримати великий об'єм для розташування вантажу при мінімальній площі, яку займає автомобіль на дорозі. Частина цієї площі припадає на кабінку і двигун, то відповідно кузов виходить високим. Тоді, якщо один із способів є зниження аеродинамічного опору легковика за рахунок зменшення його поперечного перерізу, передовсім висоти, то для вантажівки це неможливо.

Можливості покращення аеродинаміки вантажівки, призначеної для руху зі значною швидкістю, обмежені оптимізацією деталей кузова і застосуванням різних накладних елементів.

Одним з таких зовнішніх елементів є верхній спойлер-обтічник кабіни. Обґрунтування його геометричної форми має велику роль в ефективності використання його для зменшення коефіцієнта опору повітря та паливної економічності автомобіля [15].

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ В ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИЦІ

Під час руху вантажівки важливою складовою сил, які на неї діють, є сила опору повітря P_w . Її складовими є сила тиску потоку повітря, сила, створена розрідженням повітря позаду автомобіля, і сили тертя повітря об стінки автомобіля. Сила опору повітря, яка залежить від значення лобової площі автомобіля, форми автомобіля, швидкості руху і густини повітря, визначають за формулою:

$$P_w = F_w \cdot K_w \cdot V^2 \quad (1.1)$$

де F_w – лобова площа автомобіля, м²;

K_w – коефіцієнт опору повітря, який залежить від форми автомобіля та інших умов, кг/м³;

V – швидкість руху автомобіля.

1.1 Коефіцієнт лобового опору

Коефіцієнт опору повітря визначають експериментально продуванням автівки або її макету в аеродинамічній трубі. Визначення точного значення лобової площі автівки є складною задачею, оскільки для цього потрібно виконати вимірювання контурів автівки і викреслити її зовнішній контур, або мати електронну модель автівки. Тому для визначення площі найчастіше користуються наближеними формулами:

$$- \text{для вантажівок } F_w = B \cdot H_a, \text{ м}^2; \quad (1.2)$$

$$- \text{для легковиків } F_w = 0,78 B_a \cdot H_a, \text{ м}^2, \quad (1.3)$$

де B – колія автомобіля, м;

B_a – ширина автомобіля, м;

H_a – висота автомобіля, м.

Одним із шляхів підвищення паливної економічності автівок є зменшення їх аеродинамічного опору. Лобовий опір кузова-фургона та кабінки становить близько 20% частки загального аеродинамічного опору автівки [21].

На сьогоднішній день для зменшення лобового опору вантажівки використовують різні аеродинамічні конструкції, які не є новинкою в сучасному автомобілебудуванні. Так, з 30-х по 50-і роки ХХ століття в Канаді був організований парк вантажних автомобілів обтічної конструкції «Art Deco» для перевезення пива. На рис. 1.1. показано автопоїзд «Labatts Streamliner» 1948 р випуску, відновлений в 1984 р, який був спроектований на базі шасі «White» з кабіною над двигуном. У 1935 р концерн *Chrysler* створив автомобіль «Airflow». Тягач цього автопоїзда був виготовлений на базі автомобіля фірми *Mack* і мав похилу передню частину, зігнуте вітрове скло і обтічну кабіну й крила.



Рисунок 1.1 - Автопоїзд «Labatts Streamliner», 1948 рік.

1.2 Компонування розташування кабіни і двигуна

Пізніше для зменшення лобового опору стали використовувати різні компонування розташування кабіни й двигуна, різноманітні накладні елементи, які покращували обтічність автомобілів.

Кабіни вантажівок часто мають безкапотне компонування. Передня стінка кабіни у нижній її частині розміщена майже вертикально, а у верхній її частині – з деяким нахилом назад. Передня стінка кузова-фургона

вертикальна, значно виступає вверху над дахом кабіни. Стінка є ширшою за кабіну. У випадку безкапотного компоновання при русі потік повітря піднімається по лобовій частині кабіни, утворює завихрення та область зниженого тиску над дахом кабіни. Пізніше повітря наштовхується на стінку кузова, на якій утворюється область підвищеного тиску, далі піднімається над дахом кузова, де також, як над дахом кабіни, утворюються вихори та область розрідження. На формування процесу обтікання повітрям вантажного автомобіля значно впливає величина зазорів між кузовом-фургоном та кабіною. Схема обтікання повітрям вантажівки з кузовом-фургоном показано на рис. 1.2.

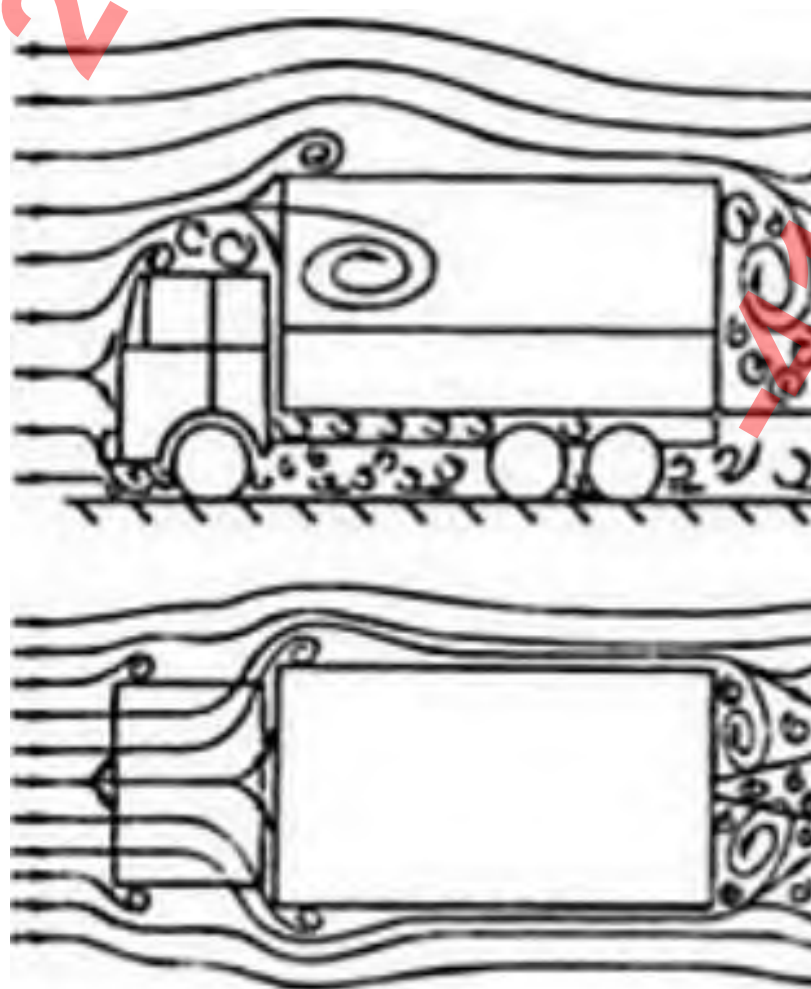


Рисунок 1.2 - Схема обтікання потоком повітря вантажівки з кузовом-фургоном.

На рис. 1.3 показано розподіл тиску по кузову вантажівки при умові симетричного обтікання повітряним потоком. Видно з рисунка, що стінка кузова вантажівки в значній мірі формує опір форми, а також індуктивний опір транспортного засобу [21].

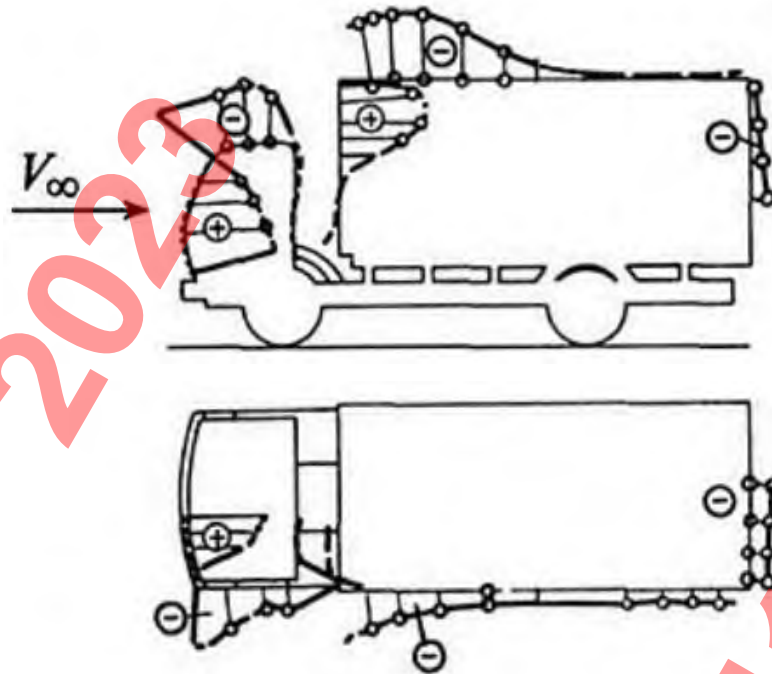


Рисунок 1.3 - Розподіл тиску по поверхні вантажівки.

Дані недоліки можна виправити, якщо встановити над дахом кабіни похилий дашок, який підіймає повітряний потік і направляє його поверх кузова. Це знижує надлишковий тиск в зоні передньої стінки кузова і розрідження над дахом. Закономірно, що це зменшує і загальний аеродинамічний опір автомобіля. А застосування схожого найпростішого аеродинамічного пристрою може зменшити силу опору.

Спойлер-обтічник кабіни автомобіля – це кузовна деталь кабіни вантажівок; декоративна деталь з обтічною формою, яка дозволяє зменшити коефіцієнт аеродинамічного опору кабіни автомобіля.

Серед лобових спойлерів-обтічників з верхнім розташуванням масове використання мають обтічники щитового типу. Кривизна лобової поверхні обтічника може бути різною, як і їх форма (рис. 1.4).

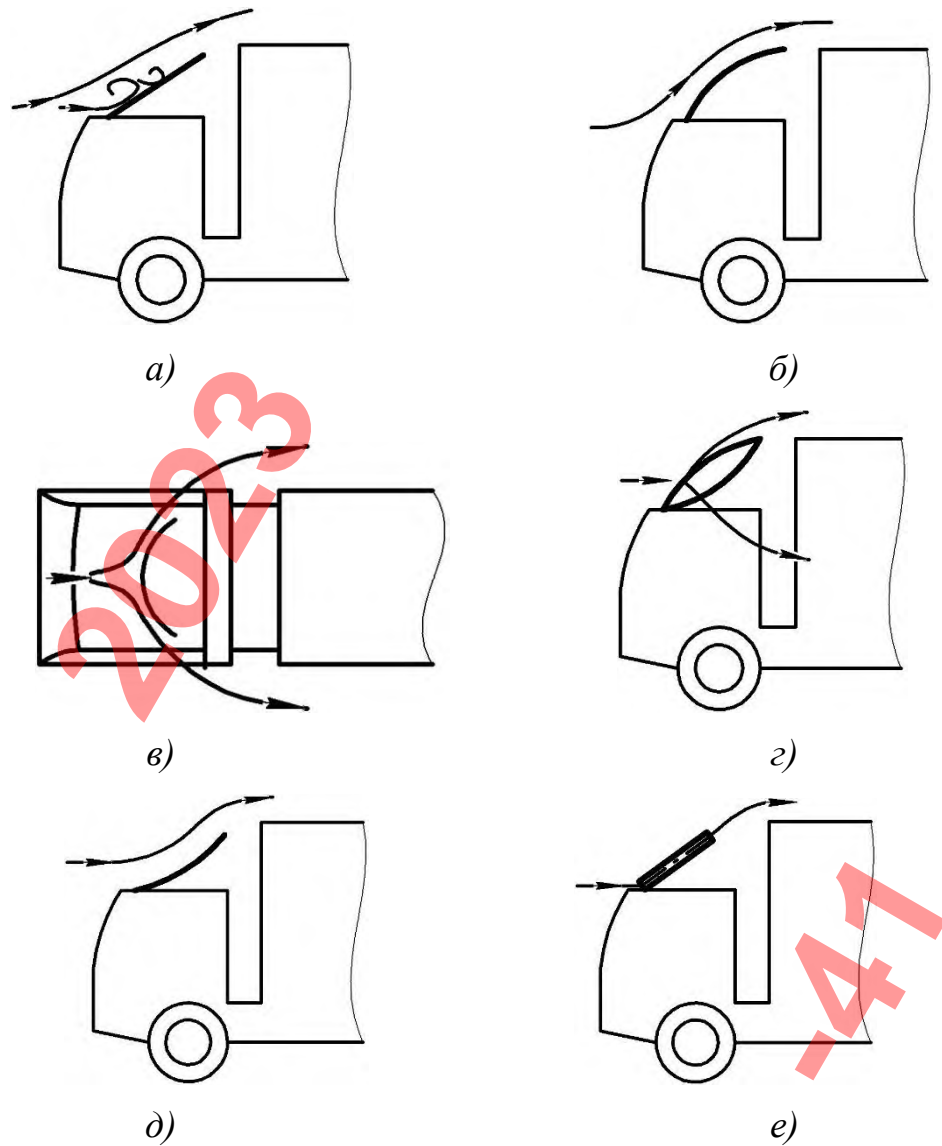


Рисунок 1.4 - Форми лобових поверхонь спойлерів-обтічників щитового типу:

a – плоска форма; *б, в* – циліндрична опукла форма; *г* – двоопукла форма;
д, е – циліндричні увігнута форма.

Щоб отримати максимальну ефективність застосування спойлера, його ширину найчастіше вибирають такою ж, як ширина кабіни. При використанні екрана плоскої форми майже увесь потік, який іде над кабіною, направляється на дах кузова-фургона, що забезпечує так зване верхнє обтікання. При умові руху потоку повітря по поверхні плоского щита, а особливо в нижній частині щита, виникають зони відриву приграничного шару повітря, що призводить до утворення турбулентності в повітряному потоці та зниження ефективності

застосування обтічника. Ефективніші, хоча й складніші у виготовленні є спойлери опуклі щитової форми. Лобові поверхні таких обтічників можуть бути циліндричної форми, еліптичної форми, параболічної форми або сферичними. Є також і ще складніші спойлери, розраховані на безвідривне обтікання потоком повітря. Але на практиці частіше використовуються спойлери циліндричні щитові двох типів: обтічники, в яких твірна циліндричної поверхні є перпендикулярною до повздовжньої площини автомобіля (рис. 1.4, б), та обтічники, в яких твірна є паралельною до цієї площини (рис. 1.4, в). Спойлери опуклі циліндричної форми першого типу встановлюють зазвичай під кутом до даху кабіни. Вони мають таку ж ширину, що й кабіна. По поверхні такого спойлера повітряний потік прямує здебільшого на дах кузова. Спойлери щитового типу з увігнутих екраном бувають двох типів: обтічники, у яких твірна увігнутої поверхні є перпендикулярною до повздовжньої площини автівки, або є паралельною до неї. Спойлери першого типу є конструктивно простими, але мають порівняно низьку ефективність (рис. 1.4., д), бо, рухаючись по увігнутій поверхні, потік повітря завихрюється і піднімається вгору, над крайкою обтічника. Обтічники другого типу є набагато ефективнішими, ніж перші при великих віддальх між кабіною автомобіля та стінкою напівпричепа чи кузова-фургона (рис. 1.4, е). У цьому випадку є можливим сконцентрувати потік повітря, який рухається над кабіною, в одинарний струмінь, який є спрямованим. Цей струмінь не розтікається лобовою поверхнею спойлера щитової форми. При такій умові значно зростає кінетична енергія потоку повітря, який рухається на дах кузова при значних віддальх між кузовом і кабіною (приблизно 1,5-2,0 м), через що ефективність простих спойлерів-обтічників є надзвичайно низькою. Варто також відмітити, що кут нахилу спойлера увігнутої форми може бути меншим, ніж в інших щитових обтічниках, що також зменшує лобовий опір безпосередньо самого обтічника [21].

Обтічники другого типу монтують майже вертикально по відношенню до даху кабіни. Тому основна частина потоку повітря, який рухається над

кабіною автівки, спрямовується на бокові стінки кузова. Це називають бічним обтіканням (рис. 1.4, б). До ще ефективніших спойлерів відносяться спойлери, які мають кривизну поверхонь у двох площинах (рис. 1.4, з). Такі спойлери спрямовують потік повітря, який рухається над кабіною, і на дах, і на бокові стінки кузова.

Крім вищеописаних форм спойлерів-обтічників кабін верхнього розташування широкого використання набули обтічники об'ємної форми. В той час, коли спойлер-обтічник щитового типу є універсальним, то спойлер об'ємного типу зазвичай конструюється для конкретної марки та моделі транспортного засобу. Спойлер об'ємного типу спрямовує повітряний потік на лобову частину автівки, потім вгору на дах кузова-фургона, іншу частину потоку спрямовує на бокові стінки фургона. Такі обтічники є доволі ефективними, але значно складнішими у виготовленні. Вони надають ефектності автомобілю, динамічності та естетичної привабливості (рис. 1.5), [16].



Рисунок 1.5 - Вантажівка зі спойлером-обтічником об'ємної форми.

Спойлер-обтічник кабіни виконує декілька функцій:

- зменшення сили лобового опору (зменшення коефіцієнта аеродинамічного опору автівки) – це сприяє покращенню динамічних якостей автомобіля та

його керованості, зменшенню шуму та вібрацій поверхонь кабіни, збільшення ресурсу шин та зменшення навантажень на окремі вузли (зокрема зменшення інтенсивності спряцювання тента чи даху фургона);

- паливна економічність – до 5-15% залежно від конструкції і типу автівки зі зменшенням шкідливих викидів (зменшення шкідливого впливу на довкілля);
- підвищення естетичних якостей автівки (дизайн екстер'єру автомобіля).

Спойлери кабіни виготовляють з використанням різних технологій та різних матеріалів, зокрема:

- сталь – з неї виготовляють штатні штамповані спойлери;
- алюміній – з нього виготовляють полегшені спойлери та козирки;
- склопластик – з нього виготовляють усі види спойлерів, але найчастіше зі склопластику товщиною до 5 мм виготовляють верхні спойлери кабіни;
- пластик АБС – з цього матеріалу виготовляють верхні спойлери, дашки та інші кузовні деталі.

Монтаж обтічників кабіни можуть виконувати різними способами:

- різьбовими елементами кріплення (гвинтами та болтами) у штатні отвори в елементах кабіни;
- заклепками з пластику або пістонами в отвори, передбачені конструкцією автомобіля;
- різьбовими кріпильними виробами або заклепками/пістонами за умови виконання нових отворів;
- з використанням затискачів, ще не потребують додаткового свердління.

Часто на практиці встановленням обтічників зазвичай покращують аеродинамічні характеристики транспортних засобів, однак ефективність їх використання не є високою. Це зумовлено тим, що спойлери виготовляють без урахування особливостей конструкції та геометричної форми певної марки та моделі автомобіля, а також без врахування геометричних характеристик кузова-фургона. При цьому враховують тільки габаритні та монтажні розміри

транспортного засобу, вони не перекривають областей кузова, які сприймають значну частину зустрічного повітряного потоку (рис. 1.6), [16].



Рисунок 1.6 - Приклад неефективного використання обтічника кабіни

Компанії-виробники обтічників об'ємного типу керуються перш за все естетичними міркуваннями в процесі виготовлення спойлерів. Для визначення ефективності використання обтічників потрібно проводити аеродинамічні дослідження, а вони вимагають великих фінансових вкладень або залучення спеціалістів та застосування спеціалізованого програмного забезпечення.

Великою проблемою під час визначення ефективності застосування обтічників різних геометричних форм є складність, а інколи й неможливість здійснення ґрунтовного аналізу. Адже такий аналіз може здійснюватися в аеродинамічній трубі. Це надзвичайно дороговартісний процес. Також дослідження можна здійснити імітаційним моделюванням руху автівки у повітряному середовищі. Це вимагає висококваліфікованої інженерної підготовки спеціаліста та відповідного програмного забезпечення (рис. 1.7, 1.8) [15].



Рисунок 1.7 – Дослідження руху транспортного засобу в аеродинамічній трубі.

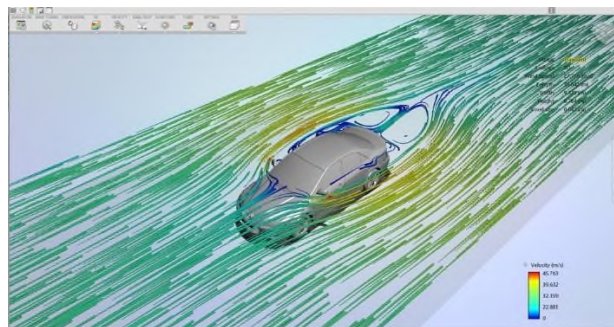


Рисунок 1.8 – Аеродинамічні дослідження методом імітаційного моделювання.

2023

41

2 ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктом аналізу виступає типове та широко розповсюджене на практиці безкапотне компонування вантажівки. На шасі вантажного автомобіля встановлено кузов-фургон. Його ширина та висота перевищують ширину та висоту кабіни вантажівки. Для одержання адекватних результатів аналізу, потрібно мати електронну модель автомобіля, яка є точною копією зовнішньої геометрії автомобіля. З цією метою створено твердотілу модель вантажівки в натуральну величину з використанням модулів *SolidWorks* для поверхневого та твердотілого моделювання (рис. 2.1), [16].

2.1 Дослідження аеродинаміки

Компонування вантажного автомобіля у кваліфікаційній роботі приймемо типове та найбільш розповсюджене на практиці безкапотне компонування вантажівки, на шасі якої встановлено кузов-фургон. При цьому ширина та висота є більшими за ширину й висоту кабіни автомобіля.

Геометричну модель вантажівки відтворено в електронній геометричній моделі на підставі геометрії моделей вантажних автомобілів вантажопідйомністю до 5 т з безкапотним компонуванням, які є поширеними в Україні і є близькими своїми габаритними розмірами та геометричними пропорціями, а саме: MAN TGL, MAN L2000, Mercedes-Benz Atego 815, MAZ 4371, Volvo FL 609, Iveco Eurocargo 80 E 17, Mitsubishi Fuso, Hyundai HD78.

Аеродинамічний аналіз вантажівки виконано в середовищі *Flow Simulation*, що входить в програмний пакет *SOLIDWORKS*.

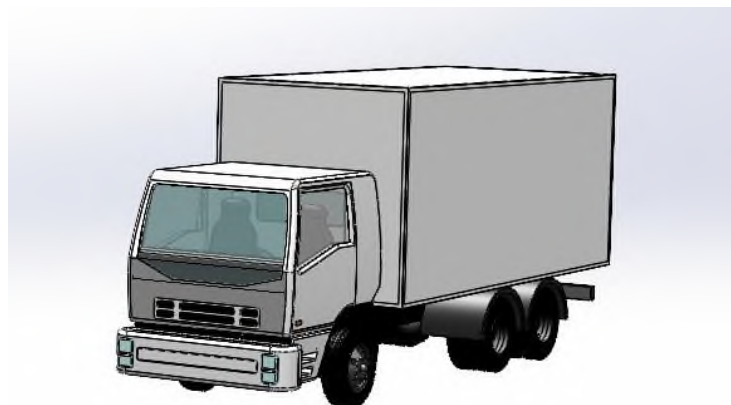


Рисунок 2.1 - Тривимірна твердотіла транспортного засобу.

Симуляція руху автомобіля відбувалася за таких параметрів середовища:

- атмосферний тиск – 101325 Па;
- температура повітря – 293,2 К;
- густина повітря – 1,21 кг/м³;
- швидкість руху – 25 м/с.

Головним кількісним результатом аналізу є сила лобового опору. Вона є присутньою у всіх тягово-швидкісних розрахунках та визначає швидкість і паливну економічність автомобіля. Для порівняння аеродинамічних властивостей автомобілів використовують коефіцієнт аеродинамічного опору C_x – це безрозмірний коефіцієнт, який характеризує відношення сили лобового опору до швидкості та площі поперечного перерізу транспортного засобу. Його розраховують за формулою:

$$C_x = \frac{2F_{\text{л}}}{\rho_{\text{в}} \cdot A \cdot V^2}, \quad (2.1)$$

де $F_{\text{л}}$ – сила лобового опору, Н;

$\rho_{\text{в}}$ – густина повітря, 1,21 кг/м³;

A – мидель або лобова площа автомобіля, 9,07 м²;

V – швидкість руху транспортного засобу, 25 м/с.

2.2 Визначення лобової площі автомобіля

За класичним методом визначення лобової площі (миделі) транспортного засобу полягає в розрахунку за наближеними формулами. В кваліфікаційній роботі мидель вантажівки знайдено шляхом проєціювання автівки на фронтальну площину в CAD-модулі САПР *SOLIDWORKS* (рис. 2.2). Лобова площа вантажівки становить $A=9,07$ м².

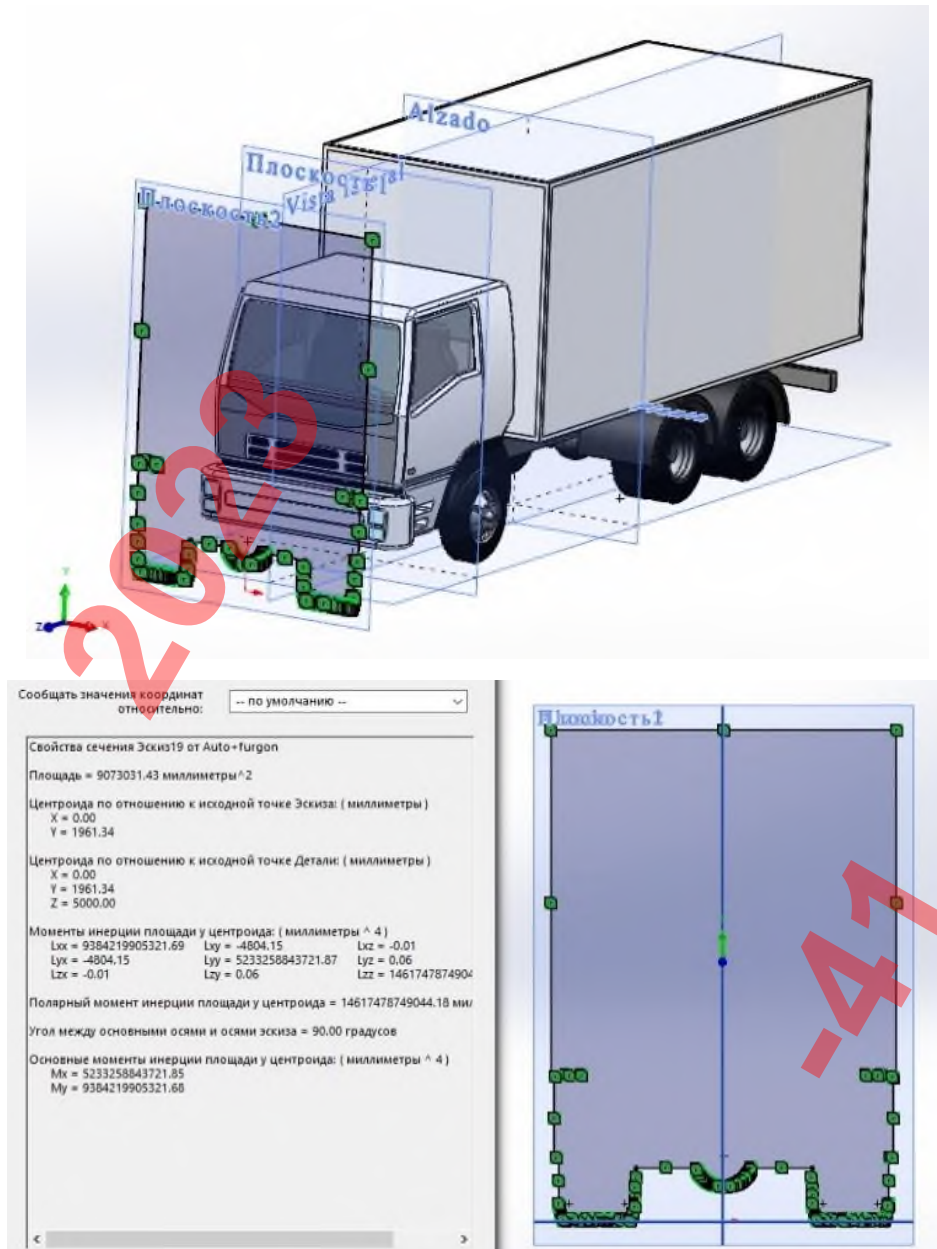


Рисунок 2.2 - Визначення лобової площі автомобіля.

В якості «цілі» в модулі *SOLIDWORKS Flow Simulation* задано силу лобового опору F_L . На підставі визначених значень сили в подальшому обчислено коефіцієнт лобового опору C_x вантажного автомобіля для варіантів використання різних обтічників.

За результатами аеродинамічного дослідження вантажівки з використанням різних спойлерів встановлено значення коефіцієнта лобового опору C_x . Крім того, є можливість визначити значення тиску на поверхнях кузова вантажівки, акустичний шум, області турбулентності, діаграму швидкостей повітряного потоку та низку інших важливих показників [15].

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Результати моделювання руху автомобіля без спойлера

Промодельовано рух вантажівки без спойлера і встановлено, що на верхню частину передньої поверхні кузова-фургона припадає максимальне значення тиску повітря, що набігає на транспортний засіб, і розподіляється у вигляді полоси на всю ширину поверхні (рис. 3.1). Частина повітря, яка пройшла над кабіною, направляється вниз – у простір між фургоном та кабіною. Це що негативно впливає на аеродинамічні характеристики транспортного засобу.



Рисунок 3.1 - Розподіл опору тиску.



Рисунок 3.2 - Картина швидкостей набігаючого повітря.

При кращій деталізації діаграми швидкостей повітря бачимо, що над кабіною мають місце області завихрення, а відтак – турбулентність (рис. 3.2). Це призводить до виникнення додаткового джерела шуму в зоні над кабіною автомобіля (44,9 дБ). Це у свою чергу має негативний вплив на ергономіку автомобіля та фізіологічний стан людини під час керування автомобілем (рис. 3.3).

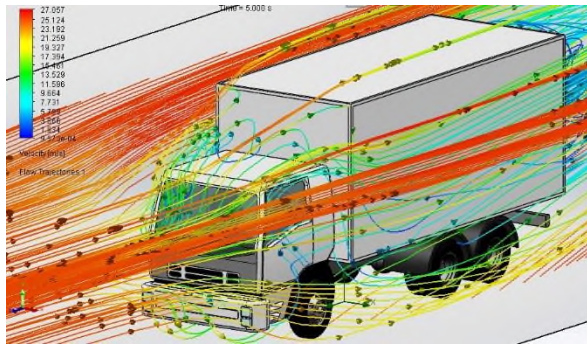


Рисунок 3.3 - Зона турбулентності над кабіною автомобіля.

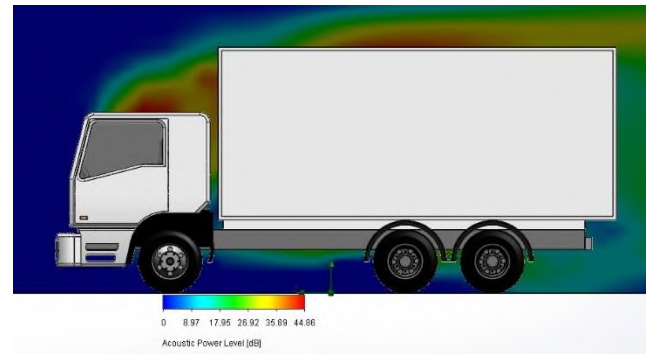


Рисунок 3.4 - Області акустичного шуму.

За результатами моделювання визначено значення сили лобового опору $F_{\text{л}}=2540$ Н.

Коефіцієнт лобового опору C_x , під час руху автомобіля без використання обтічника визначаємо за формулою:

$$C_x = \frac{2 \cdot 2540}{1,21 \cdot 9,07 \cdot 25^2} = 0,74 \quad (3.1)$$

За наведеними вище результатами можна зробити висновок, що вони підтверджують загальні теоретичні й експериментальні дослідження, стосовно аеродинаміки вантажівок [15].

3.2 Результати моделювання руху вантажівки з обтічником увігнутої форми

Обтічник увігнутого типу має форму прямого кругового циліндра. Вісь циліндра перпендикулярна до площини симетрії вантажівки (рис. 3.5). Ширина обтічника така ж, як ширина кабіни, а бокові поверхні – плоскі. Обчислено значення сили лобового опору, яка становить $F_{\text{л}}=2392$ Н.

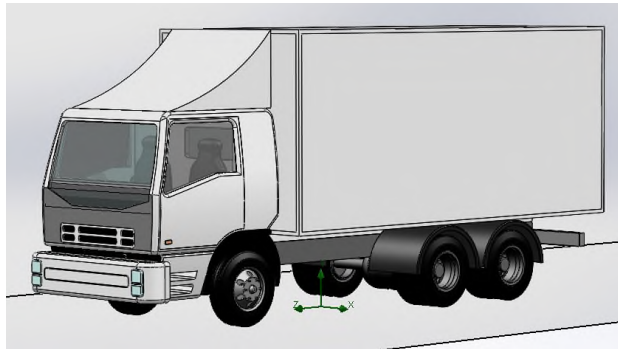


Рисунок 3.5 - Вантажівка з увігнутим спойлером.

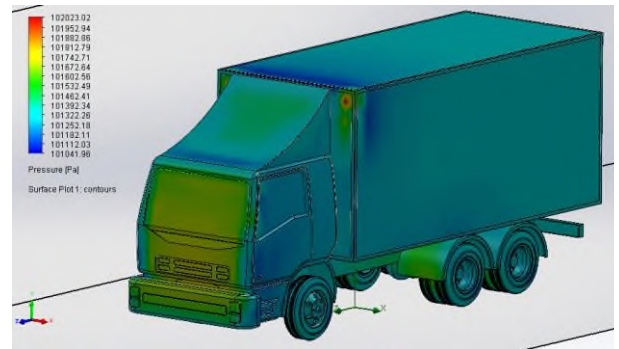


Рисунок 3.6 - Зони опору тиску.

Як бачимо з рис. 3.6, опір тиску повітря вже зосереджується на верхній частині кутів стінки фургона. Його максимальне значення є меншим. Частина повітряного потоку потрапляє в простір між кабіною та фургоном, оскільки має місце область фургона, яка не перекривається обтічником, (рис. 3.7). Внаслідок цього виникають завихрення та акустичний шум за кабіною автомобіля (рис. 3.8).

Коефіцієнт лобового опору C_x , при русі руху автомобіля з увігнутим спойлером становить:

$$C_x = \frac{2 \cdot 2392}{1,21 \cdot 9,07 \cdot 25^2} = 0,7 \quad (3.2)$$

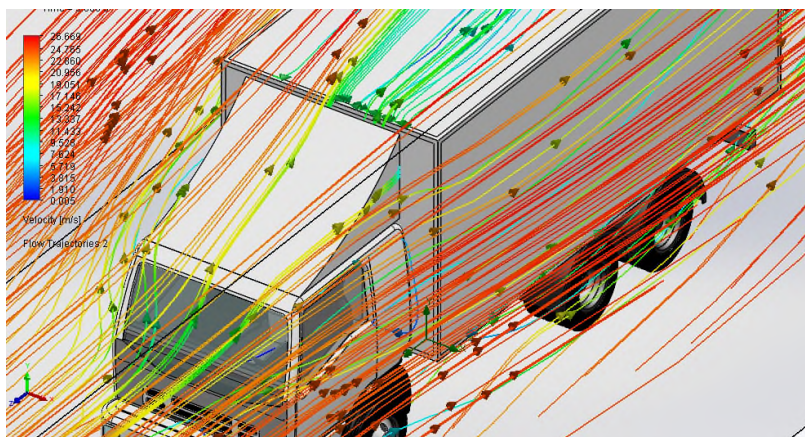


Рисунок 3.7 – Діаграма розподілу швидкостей повітряного потоку.



Рисунок 3.8 – Діаграма розподілу акустичного шуму.

3.3 Результати моделювання руху вантажного автомобіля з плоским спойлером

Обтічник плоский змодельовано у вигляді щита прямокутної форми. Його ширина дорівнює ширині кабіни вантажівки. Визначено силу лобового опору $F_{л}=2317$ Н (рис. 3.9).

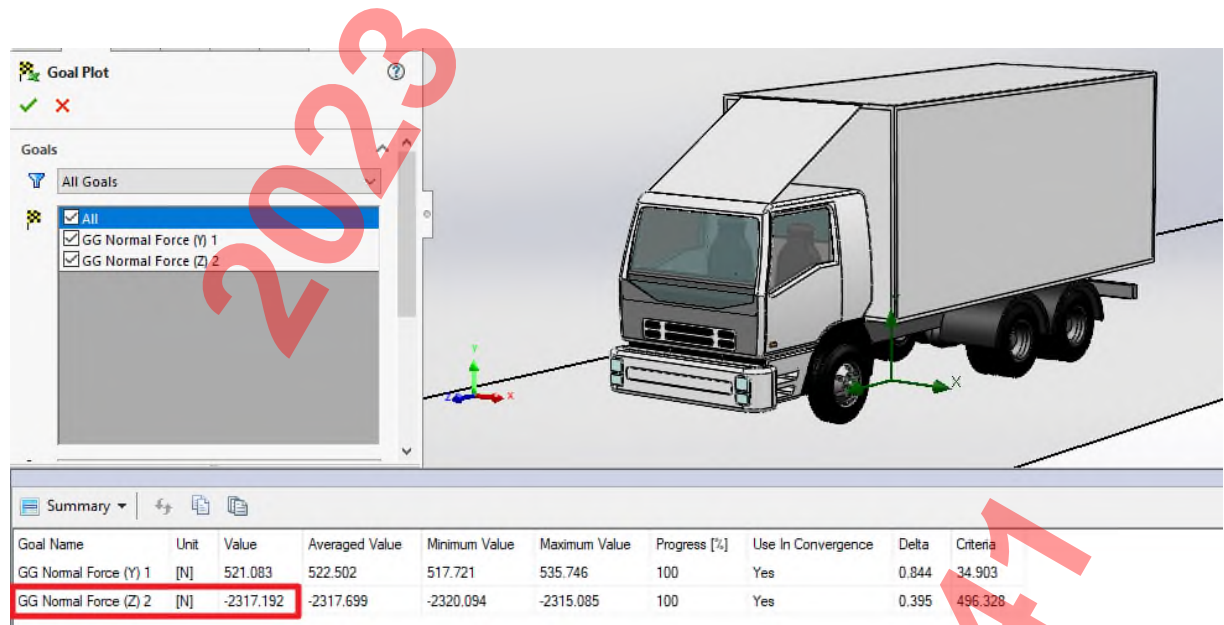


Рисунок 3.9 - Визначення сили лобового опору під час руху вантажівки з плоским обтічником прямокутної форми.

Використання плоского обтічника, як бачимо, покращує аеродинамічні характеристики транспортного засобу, але також має суттєві недоліки, зокрема: наявність на передній поверхні кузова-фургона області високого опору тиску (рис. 3.10), утворення області акустичного шуму позаду кабіни автомобіля (рис. 3.11), наявність області значних завихрень над кабіною (рис. 3.12), що зумовлено конструкцією обтічника, у якого відсутні бокові стінки.

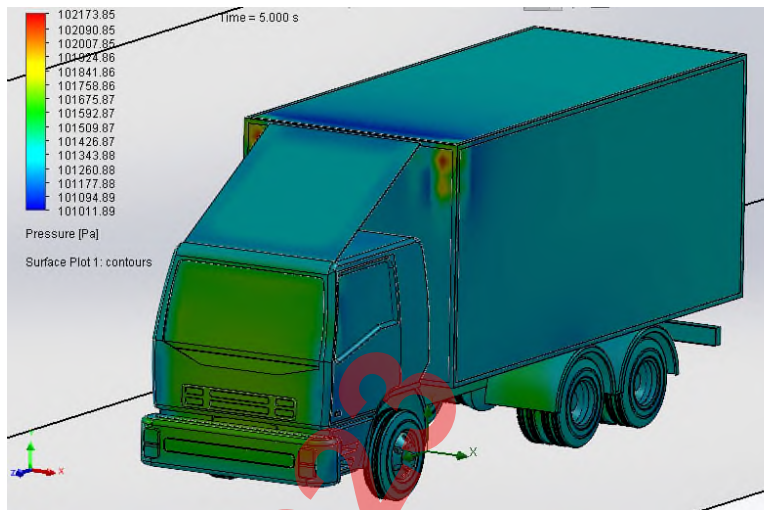


Рисунок 3.10 - Діаграма розподілу опору тиску.

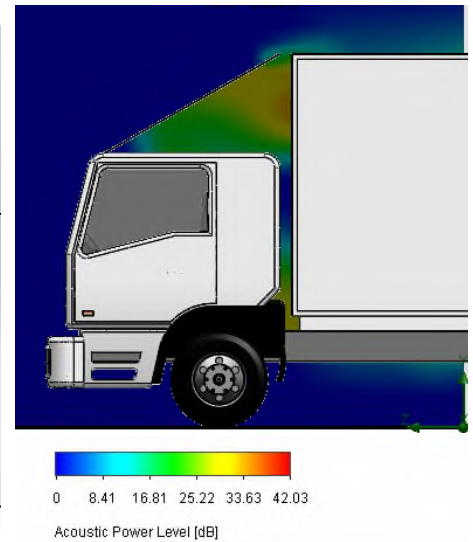


Рисунок 3.11 – Діаграма розподілу акустичного шуму.



Рисунок 3.12 - Діаграма швидкостей.

Крім вказаних вище експлуатаційних недоліків обтічника у формі прямокутного плоского щита, його застосування зовсім не додає автомобілю навіть естетичної привабливості.

Коефіцієнт лобового опору C_x , за таких умов становить:

$$C_x = \frac{2 \cdot 2317}{1,21 \cdot 9,07 \cdot 25^2} = 0,68 \quad (3.3)$$

3.4 Результати моделювання руху автомобіля з випуклим спойлером

Випуклий обтічник має параболічну форму (рис. 3.13). Ширина такого спойлера рівна ширині кабіни. Бокові поверхні є прямими та зменшують імовірність потрапляння повітряних потоків у простір між кузовом-фургоном та кабіною автомобіля.

Сила лобового опору в такому випадку рівна $F_L=2271$ Н (рис. 3.13).

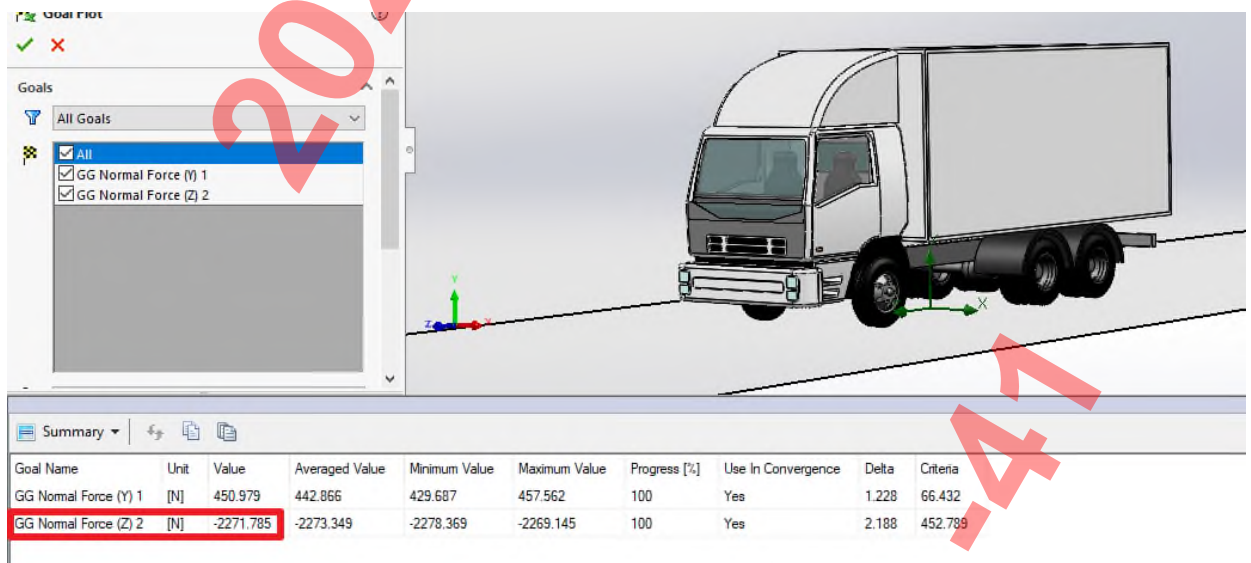


Рисунок 3.13 - Значення сили лобового опору транспортного засобу з випуклим обтічником.

У порівнянні з вищеописаними варіантами використання обтічників різних форм, випуклий обтічник дає кращі результати аеродинаміки транспортного засобу: траєкторії руху повітряного потоку відповідають більше ламінарному режиму. Однак, як бачимо з рис. 3.13.-3.16, випуклий обтічник не повністю усуває область підвищеного опору тиску на поверхні кузова-фургона, а також не усуває область акустичних шумів між фургоном та кабіною автомобіля.

Така форма обтічника дає змогу зменшити коефіцієнт лобового опору C_x , а саме:

$$C_x = \frac{2 \cdot 2271}{1,21 \cdot 9,07 \cdot 25^2} = 0,66 \quad (3.4)$$

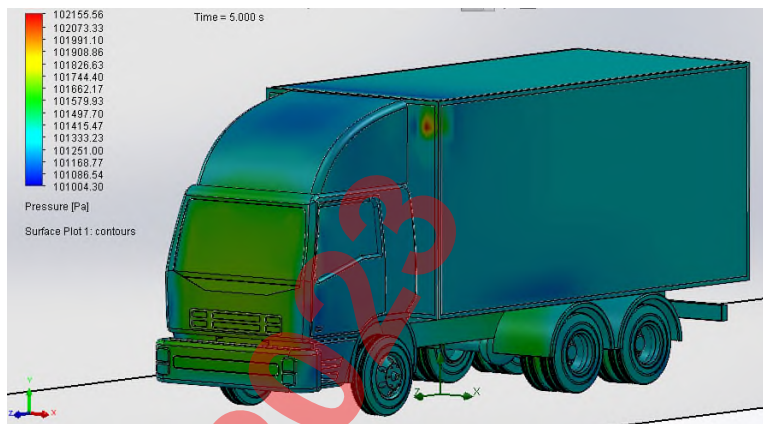


Рисунок 3.14 - Розподіл опору тиску.

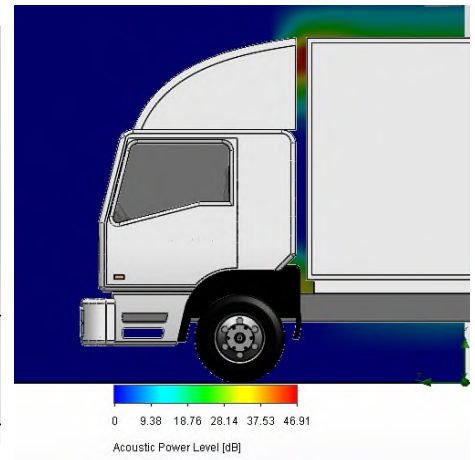


Рисунок 3.15 - Розподіл акустичного шуму.



Рисунок 3.16 - Розподіл швидкостей руху.

Аналіз аеродинамічних показників транспортного засобу при використанні типових обтічників різних геометричних форм говорить про необхідність удосконалення форм геометрії обтічників.

3.5 Результати моделювання руху автомобіля зі спойлером складної геометричної форми

Під час проектування геометричної форми обтічника необхідно змодельовати таку його геометричну форму, щоб поверхні обтічника спрямовували повітряний потік, який набігає на автомобіль, над кабіною транспортного засобу та над фургоном, а також на бічні поверхні фургона. Таким чином буде реалізовано спрямування траєкторій руху повітря з мінімізацією завихрень і значним зменшенням сили опору поверхонь.

Для реалізації необхідної форми використано спосіб геометричного моделювання, який не є можливим за допомогою моделювання конструктивами, тобто застосуванням стандартних геометричних тіл (конус, сфера, паралелепіпед, тор та ін.), над якими виконуються елементарні геометричні операції тривимірного моделювання – видавлювання, об'єднання, вирізання, видалення, перетину.

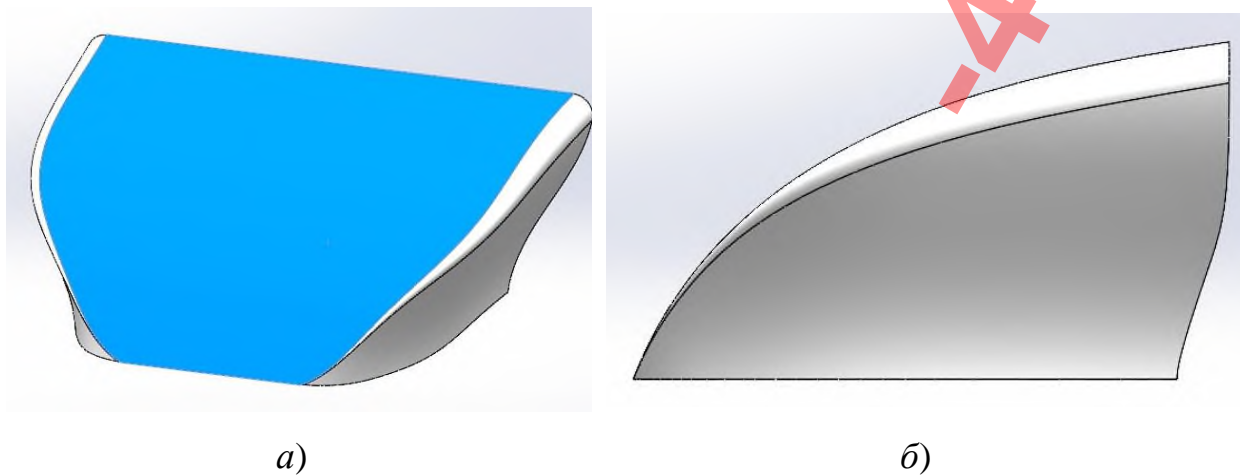


Рисунок 3.17 - Спойлер об'ємний:
а – аксонометрична проєкція; б – вид збоку.

Виходячи з геометричних характеристик транспортного засобу, геометрична форма обтічника, одержана таким методом є об'єктно-орієнтованим геометричним моделюванням, оскільки на основі визначених в середовищі *SolidWorks Flow Simulation* траєкторій руху повітря та повторення

формою поверхонь обтічника у різних перерізах траєкторій руху набігаючого повітря. Поперечний переріз обтічника має параболічну форму, ширина його нижньої частини рівна ширині кабіни вантажівки, а ширина верхньої – дорівнює ширині кузова-фургона [21].

Завдяки такій формі обтічника на передній поверхні фургона усунуто область підвищеного тиску опору, оскільки проекція обтічника на фронтальну повністю перекриває область утворення підвищеного тиску опору на верхній частині передньої поверхні фургона. Фігурними хвилеподібними бічними поверхнями виконано перехід від нижньої частини обтічника до верхньої (рис. 3.18). Вони плавно відводять частину повітряного потоку на бокові поверхні кузова-фургона. Спряження між параболічною верхньою поверхнею частини спойлера і його бічними поверхнями виконано у формі заокруглення зі змінним радіусом (рис. 3.19).

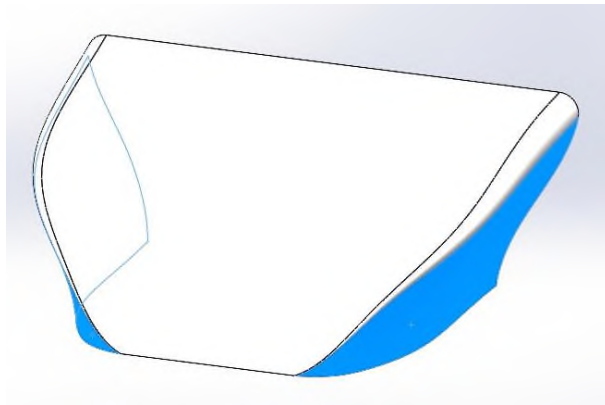


Рисунок 3.18 - Бокові поверхні спойлера.

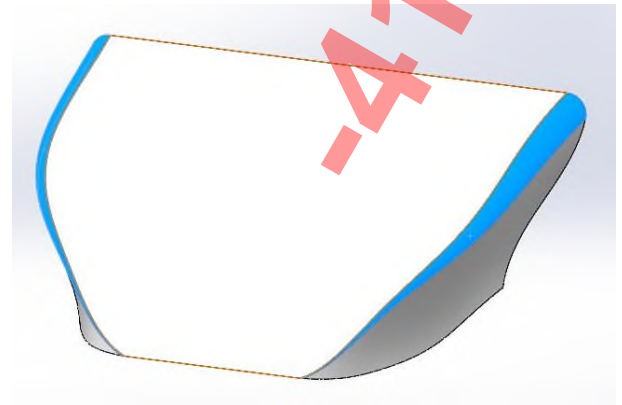


Рисунок 3.19 - Спряження поверхонь спойлера.

За результатами аеродинамічного аналізу при застосуванні обтічника запропонованої геометричної форми значення сили лобового опору становить $F_{\text{л}}=2110 \text{ Н}$ (рис. 3.20).



Рисунок 3.20 - Визначення сили лобового опору вантажівки з об'ємним обтічником складної геометричної форми.

У результаті використання об'єктно-орієнтованого методу геометричного моделювання вдалося створити геометричну форму обтічника, яка дає можливість повністю усунути області підвищеного тиску опору на передній стінці фургона транспортного засобу (рис. 3.21). Завдяки хвилеподібній формі бокових поверхонь обтічника повітряні потоки без завихрень спрямовуються на бічні поверхні фургона. Крім того, усунуто область акустичних шумів над кабіною автомобіля та за кабіною, оскільки повітряний потік не спрямовується у простір між фургоном і кабіною, або під обтічник, а плавно обтікає поверхні кузова автомобіля (рис.рис. 3.22, 3.23).



Рисунок 3.21 - Діаграма опору тиску.

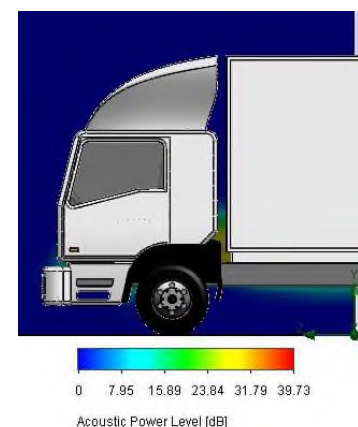


Рисунок 3.22 - Діаграма акустичного шуму.

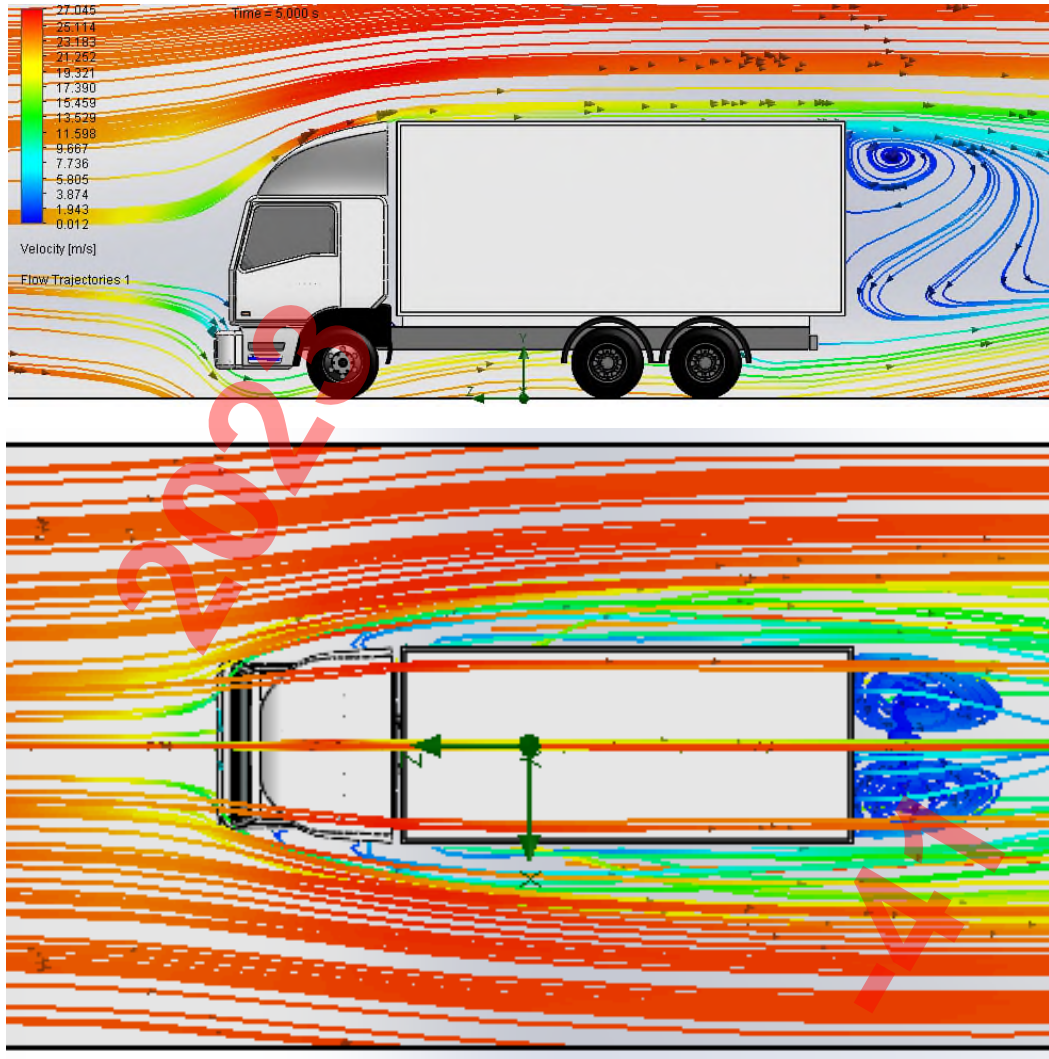


Рисунок 3.23 - Діаграма швидкостей руху повітря.

Коефіцієнт лобового опору C_x при застосуванні запропонованого обтічника становить:

$$C_x = \frac{2 \cdot 2110}{1,21 \cdot 9,07 \cdot 25^2} = 0,62 \quad (3.5)$$

З результатів бачимо, що обтічник запропонованої геометричної форми забезпечує мінімальний коефіцієнт лобового опору C_x , у порівнянні зі спойлерами геометричних форм, описаних у попередніх підрозділах кваліфікаційної роботи.

3.6 Аналіз результатів досліджень

Порівняльну характеристику за результатами застосування обтічників різних геометричних форм і запропонованої геометричної форми наведено на рис. 3.24-3.26.



Рисунок 3.24 - Діаграма опору тиску на поверхнях ТЗ з використанням спойлерів-обтічників різних геометричних форм:

a – автомобіль без спойлера; *б* – з увігнутим спойлером циліндричної форми; *в* – з плоским спойлером прямокутної форми; *г* – зі спойлером параболічної форми; *д* – з запропонованим спойлером складної геометричної форми.

Під час виконання поставленого завдання було створено діаграму опору та тиску на поверхні автомобіля, найбільший опір тиску 102247 Па відбувався під час дослідження автомобіля без спойлера, спойлер плоский і спойлер випуклий показали себе краще зі значеннями опору 102173 Па і 102156 Па. Спойлер увігнутий показав результат 102023 Па, але цього недостатньо для забезпечення поліпшеної аеродинаміки. Запропонована модель спойлера

обтічника вантажного автомобіля надає найнижчий опір тиску 101699 Па, що дозволяє значно покращити аеродинамічні властивості вантажного автомобіля.

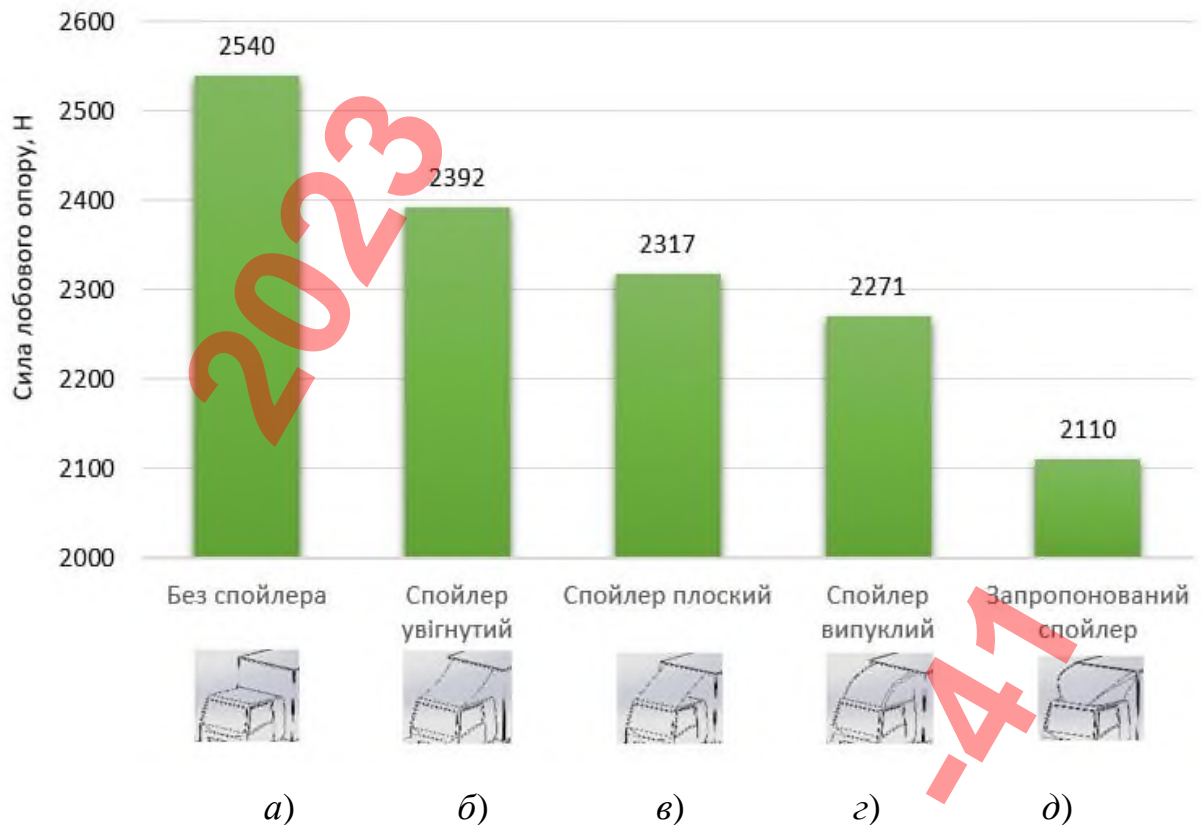


Рисунок 3.25 - Діаграма сили лобового опору автомобіля з використанням спойлерів різних геометричних форм: *а* – автомобіль без спойлера; *б* – з увігнутим спойлером циліндричної форми; *в* – з плоским спойлером прямокутної форми; *г* – зі спойлером параболічної форми; *д* – з запропонованим спойлером складної геометричної форми.

Сила лобового опору вантажного автомобіля є не менш важливим показником як і опір тиску, найгірший результат 2540 н показало дослідження без спойлера, спойлер увігнутий і спойлер плоский покращили результат але не набагато 2392 Н і 2317 Н. Спойлер випуклий показав 2271 Н, але

запропонована модель спойлера обтічника по результатам дослідження показала найкращий результат 2110 Н, що покращує аеродинаміку.



Рисунок 3.26 - Діаграма сили лобового опору автомобіля з використанням спойлерів різних геометричних форм: *а* – автомобіль без спойлера; *б* – з увігнутим спойлером циліндричної форми; *в* – з плоским спойлером прямокутної форми; *г* – зі спойлером параболічної форми; *д* – з запропонованим спойлером складної геометричної форми.

Як бачимо з вищенаведених рисунків, використання запропонованого варіанту спойлера складної геометричної форми, змодельованої методом об'єктно-орієнтованого моделювання за результатами аеродинамічних досліджень забезпечує найкращі результати, зокрема дозволяє зменшити коефіцієнт лобового опору руху автомобіля на 17%.

Нашою метою було створення спойлера обтічника вантажного автомобіля з найнижчим коефіцієнтом лобового опору, що має значний вплив на витрату палива автомобіля за рахунок покращення аеродинамічних

властивостей. Під час зміни геометричних форм спойлера обтічника ми можемо спостерігати зміну коефіцієнту лобового опору в позитивному напрямку, а саме запропонована модель спойлера дозволяє найбільше зменшити коефіцієнт лобового опору, що покращує аеродинамічні властивості, зменшує витрату палива, а також значно зменшує шум над кабіною вантажного автомобіля, що дозволяє водієві керувати транспортним засобом з більшим комфортом.

3.7 Технологія виготовлення і монтаж спойлерів

Процес виготовлення спойлера обтічника вантажного автомобіля потребує точності і виконання всіх вимог щодо виготовлення виробу, за для збереження всіх властивостей і виконання всіх поставлених задач. Створення спойлера обтічника вантажного автомобіля відбувається в таких етапах:

- підготовка документації щодо виробу;
- виготовлення необхідного креслення спойлера обтічника з нанесенням всіх геометричних розмірів;
- за необхідності можна провести аеродинамічне дослідження в середовищі *SolidWorks Flow Simulation*;
- вибір матеріалів для спойлера: алюміній, склопластик, вуглепластик;
- вибір методу виготовлення: пресування, вигинання, виготовлення по матриці деталі;

В залежності від розмірів спойлера та кабіни автомобіля на яку буде встановлено спойлер-обтічник використовуються різні методи кріплення; це може бути фіксація каркасу спойлера до підготовленої поверхні кабіни, на яку встановлюють додаткові кронштейни для жорсткої фіксації додаткових кузовних елементів. Також використовують метод кріплення за допомогою герметика, суттєвим плюсом цього методу є демонтаж спойлера, після якого майже не залишається слідів від конструкції яка була встановлена, в порівнянні з методом кріплення за допомогою каркасу, де використовуються болтові з'єднання, що вкручуються для забезпечення фіксації.



Рисунок 3.27 - Встановлений спойлер на кабіні вантажного автомобіля.



Рисунок 3.28 - Встановлений спойлер на кабіні вантажного автомобіля
за допомогою болтових з'єднань.



Рисунок 3.29 - Спойлер обтічник для з'єднання методом герметика.

3.8 Проектування матеріалу та розроблення технології виготовлення спойлера-обтічника для вантажного автомобіля методом контактного формування

Спойлери виготовляють, як правило, з високоякісного склопластику. Спеціальний склад дозволяє виробу не деформуватися після потрапляння на нього хімічних реагентів: кислот, лугів та жирів. Склопластик зберігає свою форму в діапазоні температур від $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Поверхня виробу є стійкою до царапин і тривалий час зберігає привабливий зовнішній вигляд.

Крім склопластику для виготовлення спойлерів використовують алюміній та вуглепластик. Механічні властивості цих матеріалів подано у таблиці 1.1.

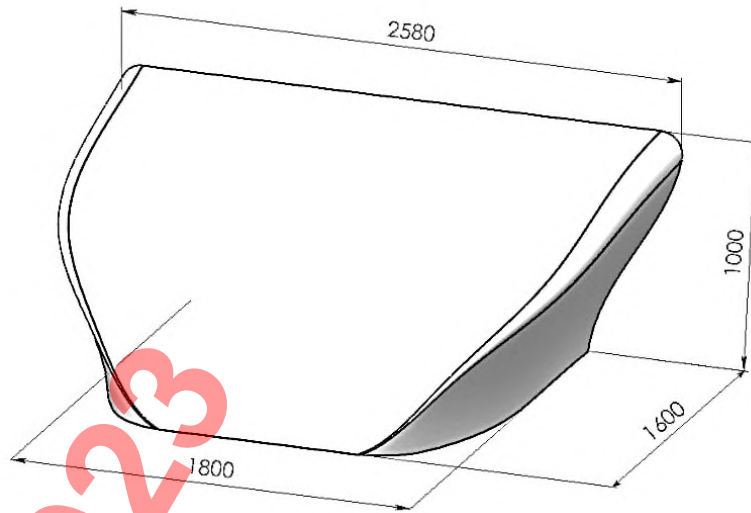


Рисунок 3.30 - Спойлер обтічник складної геометричної форми.

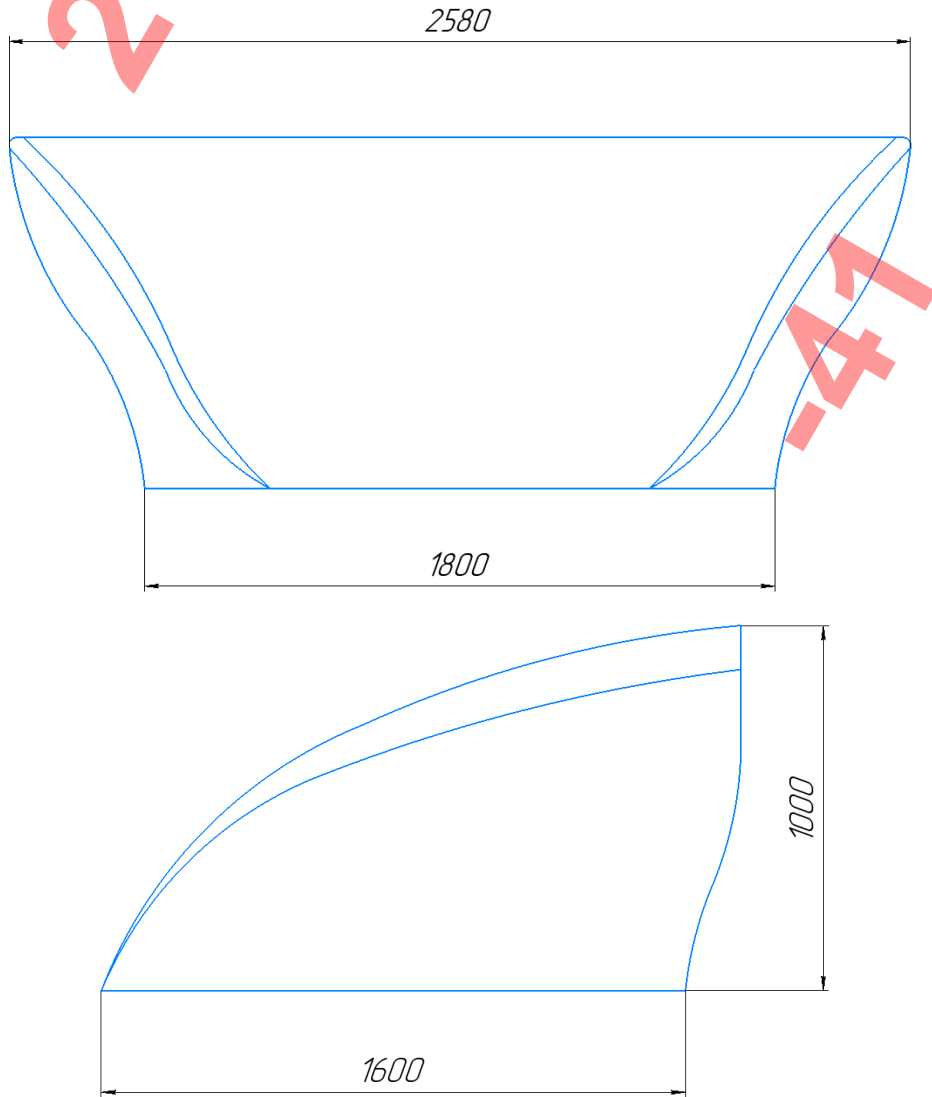


Рисунок 3.31 - Схема обтічника-спойлера: вид спереду, вид збоку.

Таблиця 3.1 - Матеріали для виготовлення обтічника-спойлера на автомобіль

Матеріал	Алюміній	Склопластик	Вуглепластик
Ударна в'язкість по Шарпі, кДж/м ²	190	172	90
Руйнівне напруження при згинанні, МПа	275	690	800
Питома міцність, м ² /с ²	0,05	0,09	0,20
Робоча температура, °С	-60 ÷ +90	-60 ÷ +80	-45 ÷ +115
Модуль пружності, ГПа	70	55	100
Строк служби, год	Більше 80	Більше 30	80-100
Вартість, грн/кг	4000	До 5000	Від 5000

Таблиця 3.2 - Склотканина Т-10 на основі високомодульного високоміцного алюмомагнійсилікатного скла (типу ВМП)

Межа міцності при розтягуванні σ_+ , ГПа	Розривне навантаження, Н		Тип плетіння	Товщина, мм
	по основі:	по качку:		
4,61	3136	1764	Полотняне	0,23

Таблиця 3.3 - Епоксидна смола ЕД-22 із затверджувачем поліетиленполіамін

Межа міцності при згинанні, σ , МПа	Ударна в'язкість, Дж/м ²	Гігроскопічність, %	Температура затвердіння, °С
115	11	0,5	23

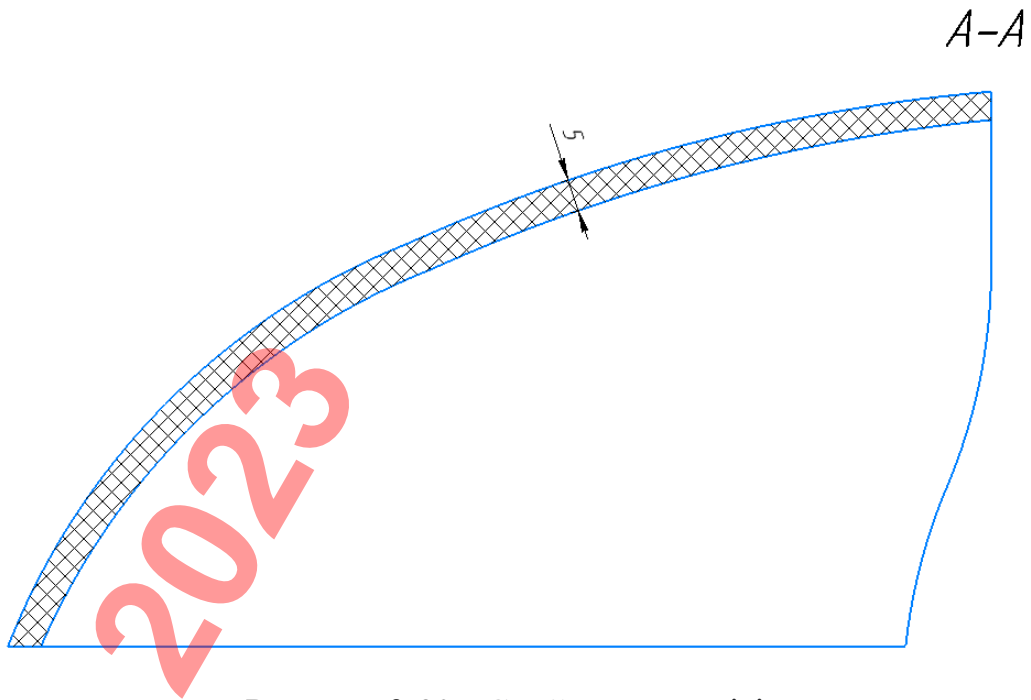


Рисунок 3.32 - Спойлер в розрізі.

Проектування матеріалу:

- склоуваль щільністю 30 г/м² із штапельного волокна діаметром 14 мкм: 60г;
- склотканина Т-10 ВМП полотняного плетіння: 1м²;
- смола ЕД-22: 600 г;
- затверджувач ПЕПА: 60 г;
- дифузанти ДФ-151: 66 г;
- заставний елемент із сталі 20Х13 товщиною 1,5 мм.

Технологія виготовлення спойлера-обтічника

1. Вхідний контроль вихідних матеріалів, наявність супровідної документації;
2. Виготовлення майстер-моделі. Плита з деревоволокнистого матеріалу середньої щільності (МДФ), фрезерний верстат з числовим програмним керуванням (ЧПУ) марки ФС-3Ш;
3. Створення заставного елемента. Сталь 20Х13, холоднопрокатний стан ВВ 300, листозгинальний прес І1424-01, штампувальний верстат холодної висадки НР15, різьбонакатний верстат А9521;

4. Виготовлення матриці. Стапель, майстер-модель, гелькоут GT 75400 H(S) зелений, віск розділювач, скловуаль, склотканина T-10, поліефірна смола G 300 TRV, затверджувач МЕК-пероксид, заставний елемент, повітряний трубчастий вентиль-знімач;
5. Приформування склопластику з металевим елементом. Матриця, склотканина T-10, сталевий заставний елемент, епоксидна смола ЕД-22, затверджувач ПЕПА;
6. Підготовка матеріалу. Склотканина T-10, трубчастий нагрівач ТЕН-100А;
7. Підготовка форми. Гелькоут GT 75400 H(S) зелений, антиадгезійне покриття воском Ні Low;
8. Приготування сполучного. Епоксидна смола ЕД-22, затверджувач поліуретанполіамін ПЕПА, дифузанти ДФ-151;
9. Виклейка форми та накочення. Укладання склотканини під кутом 45 градусів до попереднього шару;
10. Ваккумізація. Тонкий поліетилен, прошитий ватин, скотч, вакуумний насос VG 140 value;
11. Затвердіння. Температура 23 ° С, час затвердіння - 24 год;
12. Вилучення виробу з форми-матриці. Спеціальні дерев'яні клини, потік стисненого повітря компресором SPINN 5.5-8 ST;
13. Механічна обробка. Шліфувальні пристрої;
14. Контроль якості виробу. Візуальний огляд товщини стінок, однорідності структури, ступеня затвердженості;
15. Складування. Зберігання у закритому приміщенні при температурі не вище 25 °С та вологості повітря не більше 80 %.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Враховуючи те, що під час моделювання геометричної форми спойлера дослідження в аеродинамічній трубі є економічно недоцільним, то використання сучасного спеціалізованого програмного середовища, яке б поєднувало можливість геометричного моделювання та аеродинамічних досліджень запроєктованої моделі, дозволяє уникнути помилок ще на етапі проєктування. Таку можливість, зокрема, дає пакет програмних продуктів *SOLIDWORKS*. Для створення необхідної геометричної форми спойлера за допомогою моделювання конструктивами, над якими виконуються геометричні операції моделювання, не забезпечує хороших результатів. Ефективнішим методом моделювання геометричної форми спойлера є метод об'єктно-орієнтованого моделювання, який полягає в тому, що форма спойлера повторює траєкторії руху повітря, яке обтікає кузов автомобіля в різних перерізах [2].

Таким чином ми значно покращуємо технологію виготовлення деталі від ідеї до готового виробу, за допомогою сучасних технологій, які є невід'ємною частиною виробництва. З комп'ютерним забезпеченням *SOLIDWORKS Flow Simulation* аеродинамічні дослідження майже не несуть за собою фінансових витрат з точки зору охорони праці працівників, у порівнянні з дослідженнями в аеродинамічній трубі, що є дорогавартісними.

Також важливо відмітити вплив шуму на водія під час руху вантажного автомобіля, адже він відіграє важливу роль в комфорті водія в кабіні вантажного автомобіля. Шкідливий та небезпечний вплив шуму на організм людини встановлено тепер з повною достовірністю. Ступінь такого впливу, переважно, залежить від рівня та характеру шуму, форми та тривалості впливу, а також індивідуальних особливостей людини. Шум належить до загальнофізіологічних подразників, які за певних обставин можуть впливати на більшість органів та систем організму людини. Так, 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, шум 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, послаблення пам'яті, погану розумову діяльність і т. ін.

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 зайвий витрата палива, при цьому шум двигуна в 2 рази перевищує шум, створюваний ним на другій швидкості. Значний шум викликає різке гальмування автомобіля при русі на великій швидкості. Шум помітно знижується, якщо швидкість руху гаситься за рахунок гальмування двигуном до моменту включення ногого гальма [4].

Наближено дію шуму різних рівнів можна схарактеризувати наступним чином. Шум до 50 дБА зазвичай не чинить шкідливого впливу на людину в процесі її трудової діяльності. Шум у 50-60 дБА може мати психологічний вплив, що виявляється у погіршенні розумової діяльності, послабленні уваги, швидкості реакції, утрудненні роботи з масивами інформації тощо. При рівні шуму 65-90 дБА можливий його фізіологічний вплив: пульс пришвидшується, тиск крові зростає, судини звужуються, що погіршує постачання органів

кров'ю. Дія шуму з рівнем 90 дБА 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 дБА 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, проникаючи крізь шкіру, спричинюють механічні коливання тканин організму, внаслідок чого відбувається руйнування нервових клітин, розриви дрібних судин тощо [13].

Дослідження вантажного автомобіля показали, що без додаткових кузовних елементів над кабіною водія рівень акустичного шуму, спричинений завихреннями набігаючого повітря, становить 44,9 дБ, що створює для водія додатковий дискомфорт. З діаграми (рис. 4.1) видно, що максимальне значення акустичного шуму має місце над кабіною водія, а також над багажним відділенням всього вантажного автомобіля.



Рисунок 4.1 - Діаграма акустичного шуму без спойлера обтічника

Після створення багатьох різних форм спойлера вантажного автомобіля було проведено низку аеродинамічних досліджень в програмному середовищі *SOLIDWORKS*. Запропонована модель спойлера вантажного автомобіля відрізняється своїми аеродинамічними властивостями, а саме зменшенням акустичного шуму не тільки над кабіною водія, а і над всією поверхнею вантажного автомобіля. Було усунуто зону акустичних шумів над кабіною та за нею, а також був зменшений рівень шуму до 39,7 дБ.

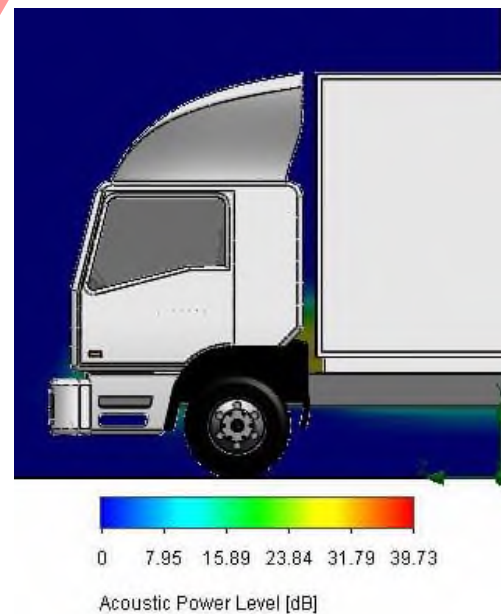


Рисунок 4.2 - Діаграма акустичного шуму з запропонованою формою спойлера обтічника

Під час руху вантажні автомобілі викидають у повітря багато шкідливих газів, що несе за собою велику шкоду для навколишнього середовища і довкілля в цілому. Зменшення витрати палива допоможе нам покращити екологічність автомобіля, а також зменшення фінансових затрат на заправку транспортного засобу [1].

Автомобільний транспорт відноситься до основних джерел забруднення довкілля. У великих містах на нього припадає більше половини обсягу шкідливих викидів. Рівень забруднень повітря шкідливими речовинами на автомагістралях перевищує в 5 – 10 разів гранично допустимі концентрації.

Джерелами шкідливих викидів двигунів внутрішнього згорання є відпрацьовані гази, картерні гази та випари з системи живлення. Серед цих джерел забруднення основним 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 поверхні Землі, і навіть сильні дощі не можуть їх змити. Джерелами шкідливих викидів двигунів внутрішнього згорання є відпрацьовані гази, картерні гази та випари з системи живлення. Серед цих джерел забруднення основним 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 поверхні Землі, і навіть сильні дощі не можуть їх змити [1].

Дані про приблизний вміст основних шкідливих компонентів відпрацьованих газів наведені в таблиці 1.2. З цієї таблиці видно, що спосіб сумішоутворення суттєво впливає на склад і кількість шкідливих викидів.

Спойлер обтічник вантажного автомобіля це кузовний елемент який тісно пов'язаний з витратою палива вантажного автомобіля, адже він виступає аеродинамічним елементом, що дозволяє зменшити коефіцієнт лобового опору. За рахунок зменшення коефіцієнту лобового опору вантажний автомобіль витрачає менше палива під час руху. Дані показники значно покращують екологію навколишнього середовища в великому проміжку часу.

З 1000 т. забруднюючих речовин, щодня потрапляють у повітря з вихлопів автомобілів, 200 т. чадного газу, 800 т. вуглеводнів та інших сполук. Пріоритетною шкідливою домішкою у відпрацьованих газах автомобілів, що працюють на бензині є оксид вуглецю (CO), частка якого становить у середньому 69% загальної кількості викидів шкідливих речовин. Частки інших

домішок розподілені так: 17% посідає оксиди азоту (NO_x) і 14% - на сумарні вуглеводні (СН).

Внаслідок вмісту у вихлопних газах автомобілів шкідливих і навіть отруйних речовин, а також за постійного дії таких елементів на органи людини, вони здатні викликати розвиток гострих та хронічних хвороб. Сьогодні саме транспортні викиди є основною причиною забруднення повітря у місті та постійно впливають на здоров'я людини. Склад вихлопних газів досить різноманітний, і більшість компонентів токсична. Вихлопні гази автомобіля можуть завдати шкоди здоров'ю, і досить серйозну. Насамперед, оксид вуглецю або чадний газ не має смаку та запаху, але при високій концентрації викликає запаморочення, головний біль, нудоту. Вихлопні викиди діють відразу безпосередньо на внутрішні органи дихання, причому у дітей молодшого віку набагато значніший, ніж у дорослих. Це пояснюється тим, що найбільша концентрація викидів знаходиться на рівні обличчя маленьких дітей. Хімічні сполуки, що є у складі вихлопних газів, особливо важкі метали, характеризуються властивістю накопичуватися в організмі. Внаслідок чого починається зашлаковування організму з наступним розвитком серйозних захворювань [1].

Таблиця 4.1 - Вміст шкідливих речовин в двигунах

Назва газу	Бензинові двигуни	Дизелі
Азот N ₂ , об. %	74 — 77	76 — 78
Кисень O ₂ , об. %	0,3 — 8,0	2,0 — 18,0
Вода H ₂ O (пара), об. %	3,0 — 5,5	0,5 — 4,0
Вуглекислий газ CO ₂ , об. %	0,0 — 16,0	1,0 — 10,0
Монооксид вуглецю CO, об. %	0,1 — 5,0	0,01 — 0,5
Оксиди азоту NO _x	0,0 — 0,8	0,0002 — 0,5
Вуглеводні C _n H _m , об. %	0,2 — 3,0	0,09 — 0,5
Альдегіди об. %	0,0 — 0,2	0,001 — 0,009
Сажа С, г/м ³	0,0 — 0,04	0,01 — 1,10
Бензапірен-3,4, г/м ³	(10 — 20)×10 ⁻⁶	10×10 ⁻⁶

Таким чином, можна зробити висновок, що ефективне використання спойлера-обтічника кабіни не лише знизить витрату пального автомобілем, а й суттєво зменшить викиди в атмосферу шкідливих речовин, які утворюються в результаті згорання пального в циліндрах двигуна [1].

2023

47

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Для того, щоб встигнути за швидкісним життєвим ритмом, людям доводиться активно користуватися видом транспорту з двигунами внутрішнього згорання. Це зручно, швидко і практично. Але у такого способу переміщення є і свої мінуси. Вартість палива - один з них. Цей пункт витрат можна істотно знизити.

Витрати пального - це не що інше, як кількість палива, яке вказують у технічній документації автомобіля. Як правило, це три параметри - при їзді по трасі, по місту і в змішаному циклі. В рекламних цілях продавці озвучують найменше число, що зовсім не відповідає істині. Цифри виробників не брешуть, просто таких результатів вони домагаються на випробуваннях у майже ідеальних умовах.

Витрати залежать від багатьох факторів: конструкції двигуна, виду використовуваного палива, конструкції ходової, номінальній потужності автомобіля, комплектації і аеродинамічних властивостей автомобіля.

Середня витрата палива вантажного автомобіля, якого стосується кваліфікаційна робота, становить 20 літрів на 100 кілометрів. Зменшення коефіцієнту лобового опору дозволить не тільки покращити аеродинамічні властивості та збільшити швидкість автомобіля, а й зменшити витрату палива за рахунок встановлення додаткового спойлера обтічника на кабінку вантажного автомобіля.

Таблиця 5.1 - Витрата палива вантажних автомобілів

Марка та модель автомобіля:	Витрата палива л/100 км:
Mercedes-Benz Atego 815	15-20
MAN TGL	26-28
MAN L2000	21
MAZ 4371	18
Hyundai HD78	14-18
Mitsubishi Fuso	21
Volvo FL 609	25
Iveco Eurocargo 80 E 17	17

5.1. Результати розрахунків паливної економічності спойлера-обтічника

Дослідженнями встановлено, що зменшення аеродинамічного опору на 4% призводить до зменшення витрати палива транспортним засобом приблизно на 1%. Оскільки згідно з результатами аеродинамічних досліджень в середовищі *SolidWorks Flow Simulation* вдалося зменшити коефіцієнт лобового опору на 17%, то економія палива становитиме 4,25%.

З поданої інформації можемо виконати розрахунки економії палива за умови експлуатації вантажного автомобіля зі спойлером обтічником:

Середня витрата палива $q=20$ л/100км;

Середньодобовий пробіг $S=400$ км;

Кількість робочих днів у році $n=252$ дні;

Вартість дизпалива $C=47$ грн/л;

Річна витрата палива:

$$Q_p = \frac{q \cdot S \cdot n}{100} \quad (4.1)$$

$$Q_p = 20 \cdot 400 \cdot 252 / 100 = 20\ 160 \text{ л.};$$

Витрата на закупівлю дизпалива протягом року:

$$C_p = C \cdot Q_p \quad (4.2)$$

$$C_p = 20\ 160 \cdot 47 = 947\ 520 \text{ грн.};$$

Економія палива становитиме:

$$E = \frac{C_p \cdot e}{100}, \quad (4.3)$$

де e – економія палива в результаті зменшення аеродинамічного опору, $e=4,25\%$

$$E = \frac{947520 \cdot 4,25}{100} = 40269 \text{ грн.}$$

В результаті обчислень за актуальних даними отримано 40 269 грн. річної економії пального на один автомобіль, що дозволить значно зменшити

витрати на експлуатацію вантажного автомобіля, а також зменшити шкідливі викиди у навколишнє середовище. Також варто звернути увагу на фірми в яких є великий автопарк вантажного транспорту. За рахунок простої конструкції додаткового аеродинамічного елемента – спойлера-обтічника, яку можна встановити на всі вантажні автомобілі які беруть участь у транспортуванні вантажу щоденно, можна отримати значну економію коштів на затрати автотранспорту, що призведе зменшення шкідливих викидів у навколишнє середовище.

Зауважимо, що ринкова вартість спойлера кабіни становить 7000-10000 грн.

Витрати на паливо та річна економія коштів для автотранспортних підприємств з різною кількістю автомобілів наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Витрати на автопарк вантажівок

Кількість вантажівок	Витрата літрів палива в рік	Затрати грн. на паливо без спойлера	Затрати грн. на паливо з спойлером	Щорічна економія коштів в грн.
1	20 160	947 520	907 251	40 269
2	40 320	1 895 040	1 814 502	80 538
3	60 480	2 842 560	2 721 753	120 807
4	80 640	3 790 080	3 629 004	161 076
5	100 800	4 737 600	4 536 255	201 345
6	120 960	5 685 120	5 443 506	241 614
7	141 120	6 632 640	6 350 757	281 883
8	161 280	7 580 160	7 258 008	322 152
9	181 440	8 527 680	8 165 259	362 421
10	201 600	9 475 200	9 072 510	402 690

Таким чином, для підприємств парк яких становить від 1 до 10 автомобілів річна економія становитиме близько 40-400 тис. грн.

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

1. У кваліфікаційній роботі виконано аналіз геометричних форм спойлерів-обтічників кабін вантажних автомобілів. Встановлено, що важливу роль в ефективності використання спойлерів вантажівок має не лише сам спойлер-обтічник кабіни, але і геометрична форма спойлера. Під час виготовлення обтічників на практиці не приділяють великої уваги обґрунтуванню їхньої геометричної форми. Геометричну форму формують, враховуючи габаритні розміри транспортного засобу, для якого виготовляється обтічник, та, виходячи з естетичних міркувань. Ефективність використання спойлерів універсальних є надто низькою.
2. Враховуючи те, що у процесі формування геометрії обтічника дослідження в аеродинамічній трубі є дуже дорогими, то використання сучасних систем автоматизованого проектування, які поєднують у собі модулі CAD-призначення та модулі для аеродинамічних досліджень, дозволяє уникнути неточностей та хибних рішень ще на етапі проектування. Таку можливість забезпечує САПР *SOLIDWORKS*.
3. Для створення потрібної геометричної форми спойлера з використанням моделювання конструктивами, не забезпечує прийнятних результатів. Ефективніше є моделювання геометричної форми обтічника, яке ґрунтується на методі об'єктно-орієнтованого моделювання. Такий метод передбачає, що форма обтічника відтворює траєкторії руху повітря, яке обтікає кузов транспортного засобу у різних перерізах.
4. За критерій ефективності під час створення оптимальної геометричної форми спойлера-обтічника кабіни автомобіля доцільно взяти коефіцієнт лобового опору автомобіля C_x . Цей коефіцієнт потрібно визначати за результатами аеродинамічного аналізу, наприклад, у середовищі САПР *SOLIDWORKS* у модулі *Flow Simulation*.
5. Найкращі результати серед розглянутих варіантів спойлерів різних геометричних форм забезпечує використання спойлера складної геометричної форми. Геометричне моделювання такого спойлера

виконано методом об'єктно-орієнтованого моделювання, базуючись на результатах аеродинамічного аналізу. Результатами аналізу встановлено, що обтічник циліндричної форми увігнутого типу дає змогу зменшити коефіцієнт лобового опору автомобіля на 6% ($C_x=0,7$) у порівнянні з ТЗ без спойлера ($C_x=0,74$). Плоский спойлер прямокутної форми зменшує коефіцієнт лобового опору на 9% ($C_x=0,68$); спойлер випуклий параболічної форми – на 11% ($C_x=0,66$); спойлер запропонованої складної геометричної форми – на 17% ($C_x=0,62$). Крім того, такий обтічник дозволяє усунути зовнішні акустичні шуми (44,9 дБ), що виникають в області кабіни автомобіля у результаті турбулентності повітряних потоків та завихрень.

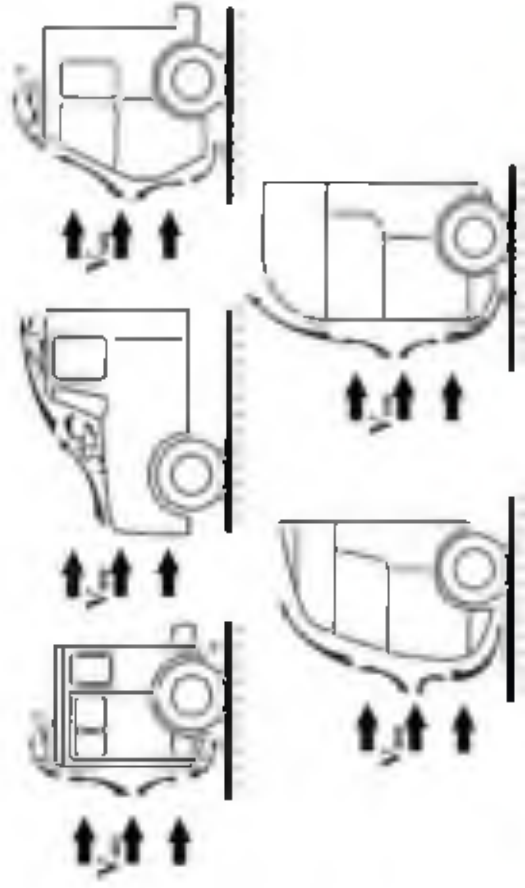
6. Запропонований метод моделювання геометричної форми спойлера кабіни вантажного автомобіля дає змогу використовувати даний метод для проектування форм спойлерів автомобілів різних компонок та різних габаритних розмірів транспортних засобів, а використання електронної моделі виробу дозволить виготовити спойлер з використанням сучасних адитивних технологій без використання конструкторської та технологічної документації в друкованому вигляді.
7. Ефективність використання спойлера кабіни складної геометричної форми зумовлена насамперед зменшенням витрати палива на 4,25%, що в перерахунку на річну економію палива становить 40 269 грн.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

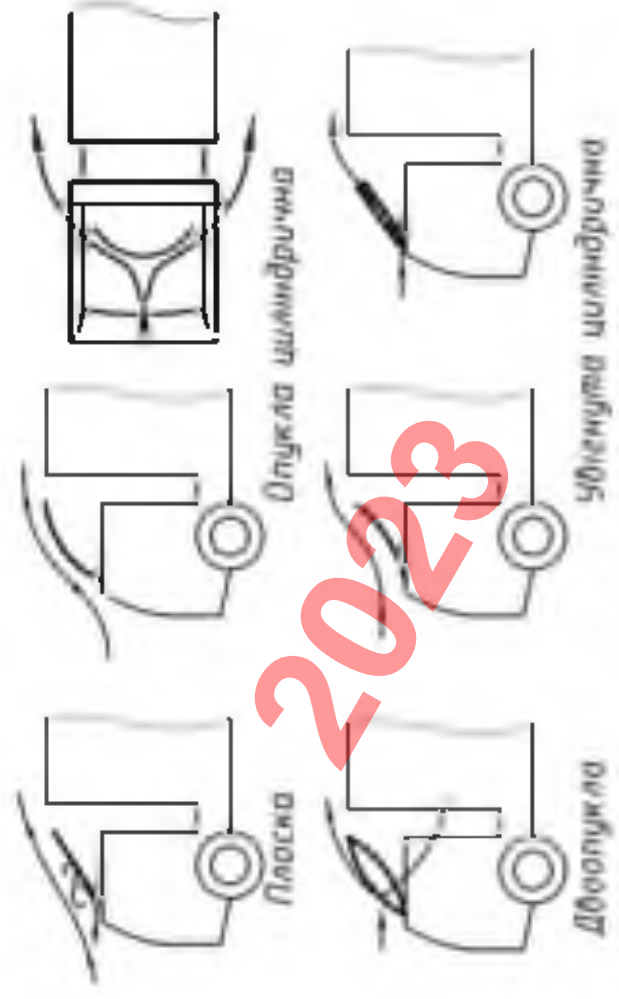
1. Білявський Г. О., Падун М. М., Фурдуй Р. С. Основи загальної екології. – К.: Либідь, 1995. – 368 с.
2. Бутко Д. А., Луценков В. Л., Лехман С. Д. Практикум з охорони праці. – К.: Урожай, 1995. – 144 с.
3. Ванін В. В., Блюк А. В., Гнітецька Г. О. Оформлення конструкторської документації : Навч. посібн. 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. ДСТУ 3321:2003. Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять.
7. ДСТУ ISO 128-1:2005. Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 1. Передмова та покажчик понять стандартів ISO серії 128.
8. ДСТУ ГОСТ 2.001:2006 Єдина система конструкторської документації. Загальні положення (ГОСТ 2.001-93, IDT).
9. ДСТУ ГОСТ 2.001:2006. Єдина система конструкторської документації. Загальні положення (ГОСТ 2.001-93, IDT).
10. ДСТУ ГОСТ 2.051:2006. Єдина система конструкторської документації. Електронні документи. Загальні положення (ГОСТ 2.051-2006, IDT).
11. ДСТУ ГОСТ 2.052:2006. Єдина система конструкторської документації. Електронна модель виробу. Загальні положення (ГОСТ 2.052-2006, IDT).
12. ДСТУ ГОСТ 2.053:2006. Єдина система конструкторської документації. Електронна структура виробу. Загальні положення (ГОСТ 2.053-2006, IDT).
13. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Мельников О. В. Основи охорони праці. – Львів. : Афіша, 2000. – 350 с.

- 14.Павлище В. Т. Основи конструювання та розрахунків деталей машин – Львів: Афіша, 2003. – 560с.
- 15.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.
- 16.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. – С. 127-142.
- 17.Стукалець І. Г. Правила оформлення графічної частини дипломного проекту: Методичні рекомендації для виконання дипломного проекту Львів : ЛНАУ, 2017 – 60с.
- 18.Стукалець І. Г. Основи інженерного аналізу технічних об'єктів. Курс лекцій для студентів інженерних спеціальностей. Львів : ЛНУП, 2022. – 109 с.
- 19.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 : ЛНАУ, 2021. – 62 с.
- 20.Устюгов І. І. Деталі машин. – К.: Вища школа, 1984. – 400 с.
- 21.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.
- 22.Belzile Marc. Review of Aerodynamic Drag Reduction Devices for Heavy Trucks and Buses. Technical Report [Електронний ресурс] / Marc Belzile. – Канада, 2012. – Режим доступу : www.tc.gc.ca.

Схема обтікання кабін повітряним потоком



Форми лобових поверхонь щитових спойлерів-обтічників



Застосування об'ємних спойлерів кабін



Марки автомобілів, прийнятих за геометричну модель в дослідженні



Загальна методика досліджень

Визначення коефіцієнта лобового опору

$$C_x = \frac{2F_x}{\rho v^2 A}$$

- F_x - сила лобового опору, Н
- ρ - густина повітря, 1,21 кг/м³
- v - швидкість автомобіля, м/с
- A - площа поверхні лобового опору, м²

Задання параметрів середовища



Створення приблизної моделі в САД-середовищі SolidWorks

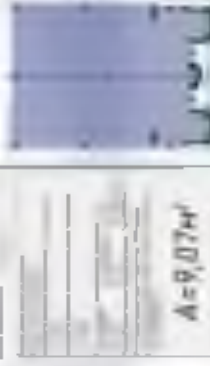


Визначення лобової площі автомобіля

Класична методика

$A = 9,07 \text{ м}^2$

A_x - площа автомобіля, м²
 A_y - площина площі автомобіля, м²



Задання області дослідження



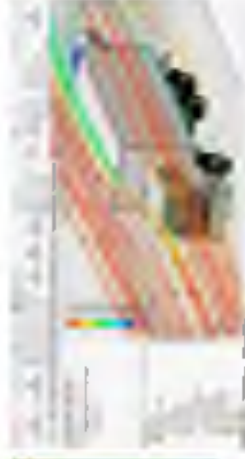
Створення сіткової моделі автомобіля



Аеродинамічний аналіз в SolidWorks Flow Simulation



Аналіз отриманих результатів та визначення сили лобового опору



2023

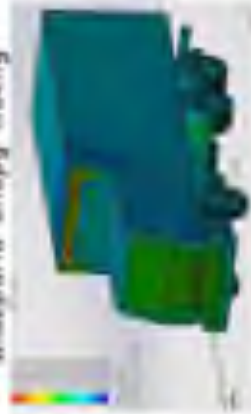
Результати аеродинамічного аналізу

Автомобіль без спойлера

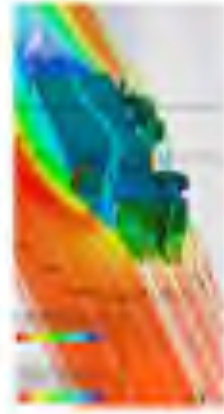
Тридимірна модель



Діаграма опору тиску



Діаграма швидкостей



Діаграма акустичного шуму

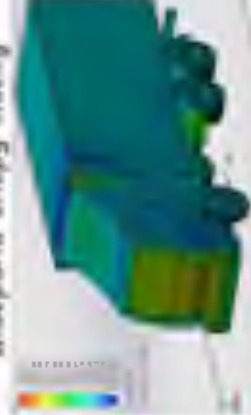


Автомобіль з увігнутим спойлером

Тридимірна модель



Діаграма опору тиску



Діаграма швидкостей



Діаграма акустичного шуму



Діаграма акустичного шуму



Автомобіль з плоским спойлером

Тридимірна модель



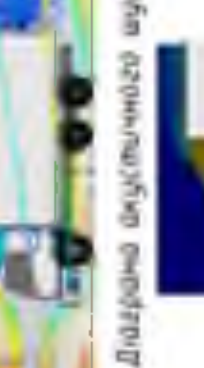
Діаграма опору тиску



Діаграма швидкостей



Діаграма акустичного шуму



Діаграма акустичного шуму

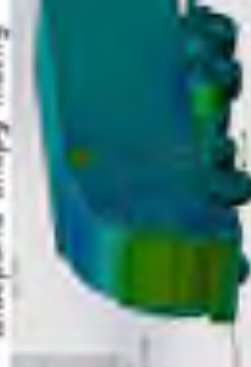


Автомобіль з випуклим спойлером

Тридимірна модель



Діаграма опору тиску



Діаграма швидкостей



Діаграма акустичного шуму

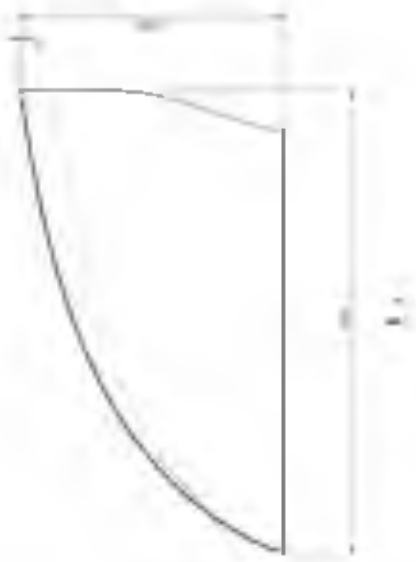


Діаграма акустичного шуму

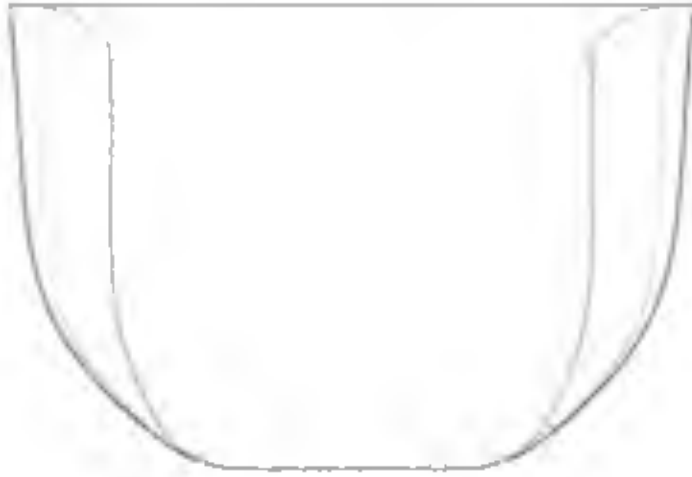
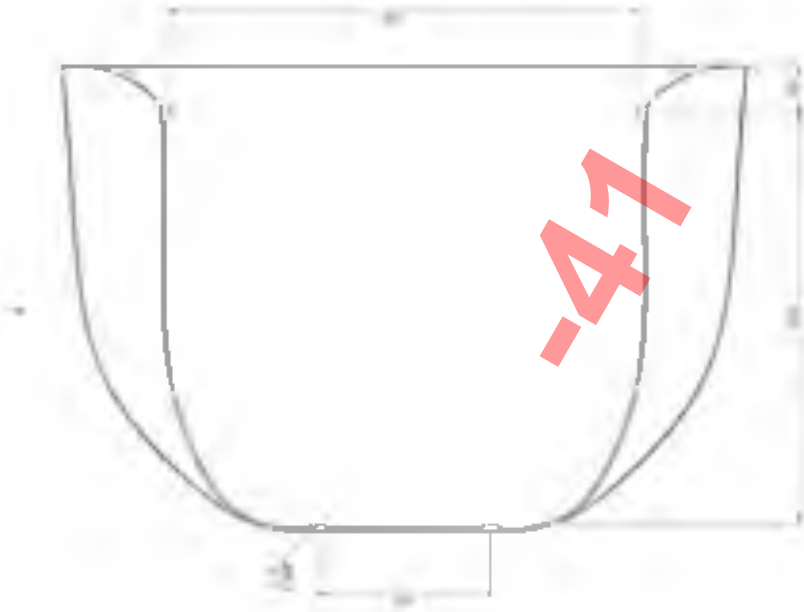


2023

-47



2023



0117A.SMA/c01/000001		DATE		DATE of Rev-1/	
Project/Order No.	Rev	By	Date	By	Date
	1				

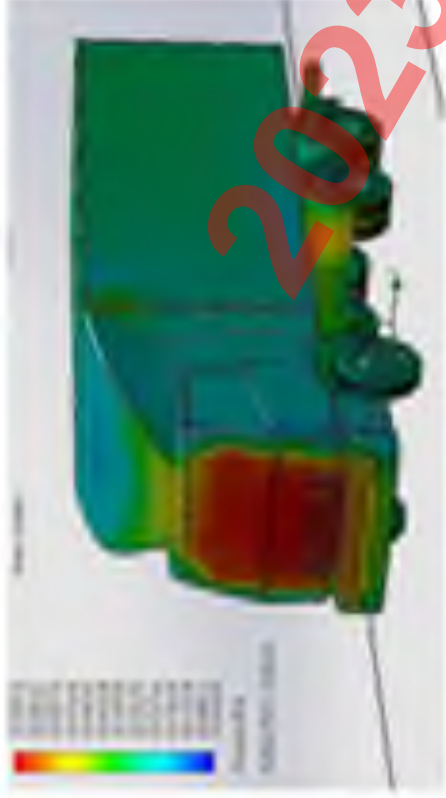
-47

Результати аеродинамічного аналізу автомобіля зі спойлером складної геометричної форми

Трибунна модель



Діаграма опору повітря



Діаграма акустичного шуму



Візуалізація обтікання



Візуалізація обтікання автомобіля

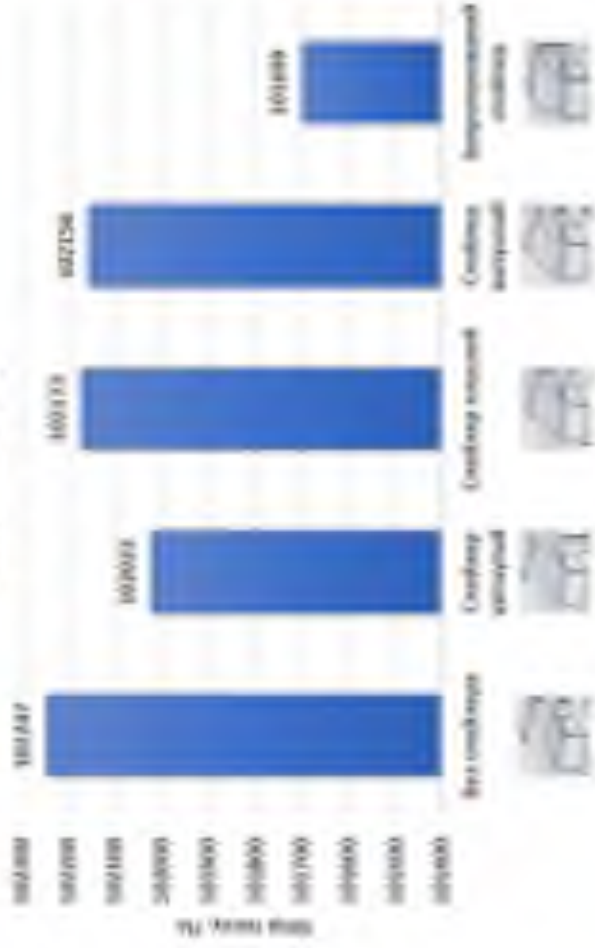


-47

2023

Аналіз результатів досліджень

Опір тиску



Сила лобового опору



Коефіцієнт лобового опору



2023

47