

потрібно очищення від сполук сірки та інших домішок, які в разі застосування паливних елементів значно скорочують термін їх служби. Деякі вважають, що природний газ буде набагато перспективніший і екологічний. Третій варіант – виробництво біоводню з відходів (сільськогосподарські, стічні води) є найстійкішим. Більше того, виробництво біоводню за технологією біоенергетики з уловлення та зберіганням вуглецю (BECCS)^[15] може забезпечити виробництво біоводню з негативною емісією вуглецю, тобто з уловленням та поглинанням найактивнішого парникового газу – вуглекислого газу (CO₂), що ще більше сприятиме декарбонізації та покращенню емісійного бюджету CO₂, зменшенню забруднення атмосфери, парникового ефекту та глобального потепління, та сприятиме сталому розвитку.

Література

1. Водневі автомобілі: основна інформація-[Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ukr-prokat.com/blog/vodnevi-avtomobili-osnovna-informatsiya.html>
2. Транспорт на водні: чи реалістичні перспективи для світу й України?-[Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://rubryka.com/blog/transport-na-vodni/>
3. Водень для транспорту, опалення та енергетики-[Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/publications/2019/06/14/648620/>

Науковий керівник: Алюкса М.М., професор кафедри автомобілів ім. А.Б.Гредескула, канд. техн. наук

Якушко Данило, ст. гр. АА-41-22

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ВПЛИВ АЕРОДИНАМІКИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ АВТОМОБІЛЯ

Аеродинаміка автомобіля – це розділ аеродинаміки, що вивчає аеродинаміку автомобілів та інших дорожніх транспортних засобів. Найбільшої уваги заслуговує автомобіль конструкції інженера Яра, який вважав, що для тіла, що рухається в безпосередній близькості до поверхні дороги, як теоретично найвигіднішої форми може служити розділений навпіл корпус дирижабля зі злегка випуклою нижньою стороною і ретельно закругленими краями [3-6].

Аеродинамічний опір автомобіля обумовлено його рухом з деякою відносною швидкістю в навколишньому повітряному середовищі. Сила опору повітря є основною складовою силового балансу автомобіля, вона являє собою найбільший інтерес через тенденції останнього часу, а саме зростання швидкостей пересування транспортних засобів. При швидкості руху транспортного засобу в 55-65 км/год сила опору повітря більша за будь-яку

іншу силу опору руху автомобіля, а при швидкості 110-130 км/год вона перевищує сили інерції та силу супротиву дороги разом взятих.

Можна відзначити те, що на сьогоднішній час немає змоги розрахувати аеродинамічний опір теоретично, тому для отримання даних, цю величину визначають експериментально в спеціально підготовлених приміщеннях з аеродинамічною трубою.

Аеродинаміка має дуже важливе значення при проектуванні автомобілів, особливо якщо це стосується сталого рівномірного руху в міжміських циклах руху. Кузов автомобіля повинен мати якомога менший коефіцієнт обтічності – C_x , який залежить від багатьох факторів, починаючи з лобової площі автомобіля та закінчуючи виступаючим написом на протекторі шин, чим менший цей коефіцієнт – тим кращі економічні та динамічні характеристики буде показувати транспортний засіб. Коефіцієнт C_x визначається експериментально, і він головна величина, яка описує аеродинамічну досконалість кузова. Його умовно прирівняли до 1,0 для круглої пластини, проте, як з'ясувалося на практиці, з-за турбулентності за пластиною насправді її C_x дорівнює приблизно 1,2. Приклади обтічності різних форм та кузовів авто представлені на рисунку 1.

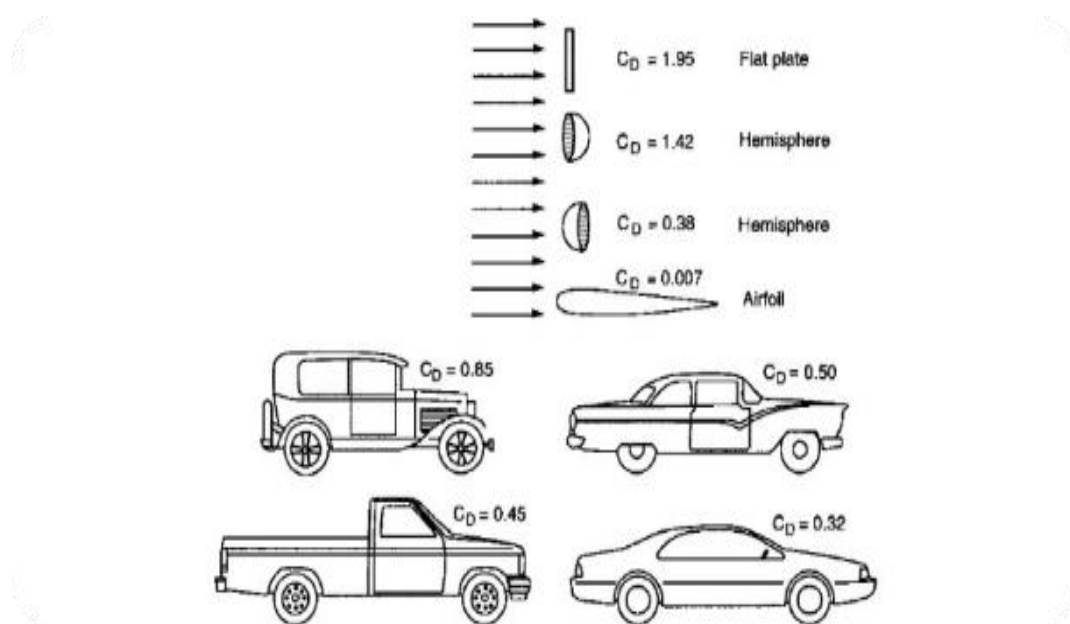


Рисунок 1 – Приведені значення коефіцієнту обтічності

Зробивши аналіз роботи було виявлено те, що аеродинамічною формою в природі вважається капля – яка спереду є обтічною сферою, а позаду має звуження яке утворює в кінці точку з такими характеристиками, які дозволяють звести завихрення позаду цієї фігури до мінімуму, коефіцієнт аеродинамічного опору краплі вважається $C_x = 0.04$ в порівнянні з циліндром того ж діаметру в якого $C_x = 1$ капля являється на 96% ефективнішою. В середньому для сучасних автомобілів коефіцієнт $C_x < 0.4$ [3-6].

Опір повітря, що діє на автомобіль, є сумою сил, які умовно можна поділити на чотири основні групи представлені на рисунку 2.

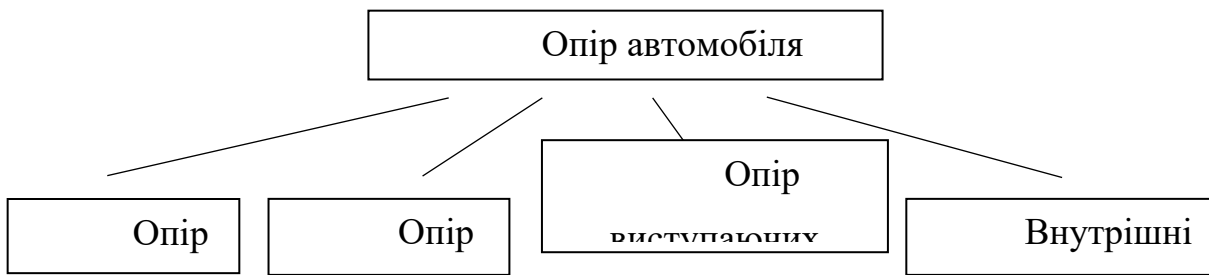


Рисунок 2 – Сили аеродинамічного опору

Опір форми (опір тиску та лобовий опір) складає більшу частину всього опору повітря. Його значення може досягати 60% від загального. Цей вид опору може виникнути по наступному механізму: рухаючись проти зустрічного потоку повітря передня частина ТЗ стискає його та створює перед собою зону підвищеного тиску; тим часом потік повітря обтікає форму кузова автомобіля де він повністю відривається від кузова та утворює позаду нього зону низького тиску з наступними завихреннями повітря, яке підводиться з навколишнього середовища.

Внаслідок нерівномірності поверхневого покриття автомобіля утворюється так званий опір тертя. В цьому випадку шар повітря контактує з мікроцілинами поверхні кузова і знижує свою швидкість. Даний вид опору бере на себе 10-20% всіх аеродинамічних витрат.

10-15% загального опору становлять частини які виступають з-за форми кузова ТЗ. На цей фактор мають вплив частини автомобіля, що виступають, а саме: підняті вночі фари збільшують силу опору повітря на 10%, відкриті вікна - на 5%, встановлені брудозахисні фартухи на всіх колесах – на 3%, багажник на даху – на 10-12%, зовнішні дзеркала заднього виду – 5-7%, широкопрофільні шини – на 2-4%, антена – на 2%, відкритий люк в даху – на 2-5% [1-5].

Опір обумовлений рухом повітряного потоку через системи вентиляції та охолодження називають – внутрішнім. Його характеризує різка зміна руху потоку, яка має складну конфігурацію, наприклад проходження повітря через радіатори та фільтри салону автомобіля.

Зменшити опір форми можна застосувавши правильні обтічні види задньої та передньої частини автомобіля наприклад: конструювати фургон вагонного типу так, щоб задня його частина генерувала якомога меншу кількість завихрень та мінімізувала за собою зону низького тиску. Цих результатів можна досягнути використанням спойлера, який встановлюється загнутим до верху в задній частині і піднімає потік повітря, що набігає вгору, і не дає можливості виникнення вихрових потоків за кузовом автомобіля. Також для зменшення лобового супротиву можна встановити передній спліттер який допомагає розподіляти зустрічний повітряний потік між верхньою частиною автомобіля і днищем. Спліттер дозволяє збільшити притискну силу на передню вісь і покращити керуваність автомобіля.

Антикрило діє по типу спойлера, тільки забезпечує ще більшу притискну силу завдяки великій площі поверхні горизонтального крила. Антикрило за

рахунок збільшення притискної сили на задню вісь автомобіля, покращує керуваність ТЗ.

Прийняття конструктивних рішень до виступаючих частин автомобіля дозволить зменшити аеродинамічний опір. Так, установка на колеса гладких ковпаків знижує цей опір на 3%, заміна виступаючих дверних ручок на оптимізовані в аеродинамічному сенсі – втоплені, також знижує силу опору повітря. Щоб виключити додатковий опір, що викликається щітками склоочисників, коли останні перебувають в неробочому положенні, конструктори деяких фірм ховають їх у спеціальний відсік, розташований між кромкою капота і лобовим склом. Також істотну роль грає якість збірки кузова автомобіля: малі зазори в місцях стиків кузовних деталей можуть зменшити опір на 2-5%. Приблизні значення витрати палива на подолання опору для авто 1300-1500см³ представлені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Залежність витрат палива до швидкості авто при різних факторах впливаючих на супротив повітря

Рішення	Економія літрів на 100км/ч.	
	Швидкість 90 км/год.	Швидкість 120 км/год.
Прибрати верхній багажник	0,98	1,61
Прибрати кріплення для багажнику	0,61	1,01
Зачинити вікно	0,27	0,44
Уст передній обтікач	0,24	0,40
Закрити люк на криші	0,05	0,08
Устиновити ковпаки на штампован диски	0,05	0,08

Таким чином, останні тенденції зростання швидкостей ТЗ стануть неможливими без урахування впливу на них аеродинаміки. Високі аеродинамічні показники можливо отримати різними способами, вирішуючи окремі задачі, що пов'язані з нею. Аеродинаміка автомобіля має відношення практично до всього спектру питань існування сучасного ТЗ. У багатьох випадках аеродинаміка автомобіля має велике значення для забезпечення керуваності та безпеки дорожнього руху.

Як відомо, шляхова витрата палива прямо пропорційно залежить від сили опору повітря і визначається за формулою

$$Q_s = \frac{ge(P_f \pm P_h \pm P_j + P_w)}{36000 \rho \cdot \eta_t}, \quad (1)$$

де ge – питома годинна витрата палива;

P_f – сила опору коченню;

P_h – сила опору при русі на підйом;

P_j – сила опору інерції;

P_w – сила опору повітря;

ρ_p – густина палива;

η_t – коефіцієнт механічних втрат у трансмісії автомобіля.

Сила опору повітря визначається за формулою, що була запозичена з галузі аеродинаміки

$$P_w = c_x \cdot \rho \cdot F \cdot \frac{v_a^2}{2} = k_w \cdot F \cdot v_a^2, \text{ Н} \quad (2)$$

де c_x – коефіцієнт лобового опору (коефіцієнт обтічності);

ρ – густина повітря;

F – площа проекції автомобіля на площину, перпендикулярну його поздовжній осі (площа лобового опору);

v_a – швидкість відносного руху повітря і автомобіля;

k_w – емпіричний коефіцієнт опору повітря, $\text{Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$.

З аналізу наведеної формули видно, що складова ρ не залежить від розробників автомобіля, складові F та v_a не можуть бути суттєво зменшені оскільки впливають на розміри вантажу, що перевозиться, і на транспортну продуктивність автомобіля. Тому при розробці конструкцій автомобілів з точки зору зменшення аеродинамічних втрат велика увага приділяється впровадженню заходів із зниження коефіцієнта лобового опору, величина якого, в свою чергу, залежить від таких факторів [3-6]:

- величини і конфігурації фронтальної, задньої і бічної поверхонь;
- виступів і западин на зовнішній поверхні автомобіля;
- щілин та каналів внутрішньогабаритних потоків;
- шорсткості зовнішньої поверхні;
- конфігурації верхньої та нижньої частин автомобіля.

В Україні Харківський національний автомобільно-дорожній університет у складі кафедри «Автомобілі» має Лабораторію швидкісних автомобілів. Вона була заснована в 1953 році тогочасним ректором Б.В. Решетніковим. На кафедрі займаються створенням автомобіля для встановлення рекордів швидкості в заїздах на кільцевих перегонах.

Так А.Г. Авершин в своїй роботі займався дослідженням швидкості потоку в окремих точках днища гоночного автомобіля ХАДІ-31. Виконаний ним експеримент дозволив визначити відповідність даних, отриманих розрахунковим способом, даним, що отримані внаслідок натурального дослідження [3].

Питання обтічності підднищевої зони легкового автомобіля розглядається в іншій роботі. Окрім проблеми з ростом сили опору повітря при невідповідній конструкції, виникає збільшення підйомної сили на автомобіль. Це призводить до погіршення керованості, стійкості і підвищеної витрати палива. Автор займається як математичним моделюванням обтікання в підднищевій зоні автомобіля, так і експериментальним. Експериментальне дослідження в свою чергу було 2 видів:

Метод визначення опору руху автомобіля. Його використання дозволяє розділити аеродинамічний опір та опір коченню за результатами дорожніх випробувань. Основа методу – інтеграція рівняння вибігу автомобіля, в якому функція сумарного опору руху описується повним поліномом другого ступеня швидкості у змінних «шлях-час», за винятком швидкості руху за рахунок введення параметра «повний час вибігу». В результаті була отримана формула шляху-вибігу в функції повного часу, в яку не входить швидкість. При цьому відпала необхідність вимірювання швидкості або уповільнення вибігу, а отже виключена велика група істотних джерел помилок вимірів.

Система Нав'є-Стокса має таку залежність від числа Рейнольдса (Re):

- при перевищенні значення числа Рейнольдса вище деякого критичного числа, аналітично точне рішення для просторового або плоского потоку матиме хаотичний вигляд (потік набуває турбулентних характеристик). В окремому випадку воно пов'язане з теорією Фейгенбаума або іншими сценаріями переходу до хаосу. При поверненні числа Рейнольдса до значень нижчих критичного рішення знову прийматиме нехаотичний вигляд;

- виняткова чутливість до зміни коефіцієнтів рівняння при турбулентному режимі: при зміні числа Рейнольдса на 0,05 % рішення повністю різнитимуться.

З наведеного аналізу відомих досліджень видно, що в основному дослідниками приділена увага покращенню аеродинамічних властивостей автомобіля за рахунок зміни величини і конфігурації фронтальної, задньої і бічної поверхонь, оптимізації виступів і западин на зовнішній поверхні автомобіля, зменшення шорсткості зовнішньої поверхні, зміни конфігурації верхньої та нижньої частин автомобіля та визначення впливу щілин та каналів внутрішньогабаритних (в основному у підкапотному просторі) потоків, але питанню впливу зазорів між елементами автопоїзда (напівпричепи і причепа, тягача і причепа), що впливають на величину сили опору повітря уваги не приділено.

Аналітичні дослідження аеродинаміки автомобіля пов'язане зі складними розрахунками, а натурні експериментальні – зі значними матеріальними витратами. Тому при проведенні досліджень доцільно використати метод фізичного моделювання, який полягає в експериментальному дослідженні фізичних явищ, що відтворюються в лабораторних умовах. Для цього модель явища зазвичай копіюється у зменшеному масштабі, а якщо необхідно – у збільшеному. До переваг фізичного моделювання можна зарахувати [1-5]:

- вивчення явища, не складаючи його математичний опис;
- наочність явища, що моделюється;
- зменшення фінансових затрат на досліди порівняно з натурним зразком об'єкта, що досліджується;
- зміна параметрів, що досліджуються, в широких межах.

Розглянемо відомі дослідження з використанням методу фізичного моделювання та їх інструментальне забезпечення.

Обтікання автомобіля зовнішнім потоком повітря – складний процес, який важко описати математичними формулами. Дорожні випробування використовуються конструкторами та дизайнерами автомобілів на останньому

етапі конструювання – доведенні. В дорожніх умовах на транспортний засіб, що рухається, діють два поля потоків:

- одне виникає в результаті руху автомобіля вперед;
- друге виникає через природний вітер.

Постійна взаємодія двох потоків призводить до складних процесів обтікання, які важко проаналізувати. Тому при створенні аеродинамічних форм автомобілів для спрощення робіт доцільно замінити дійсний рух по дорозі імітацією руху в аеродинамічній трубі. Аеродинамічні труби за способом подачі повітря розділяють на два типи конструкцій.

Закритий тип конструкції в загальному випадку потребує меншу потужність приводу вентилятора порівняно з конструкцією відкритого типу. З цієї причини аеродинамічна труба використовує менше електроенергії при своїй роботі. Повітря циркулює по закритій системі. Це надає можливість використовувати аеродинамічну трубу як кліматичний канал, тобто дозволяє задавати певні значення температури і вологості повітря. До недоліків системи належать вартість покупки та встановлення обладнання, яке потрібне для побудови аеродинамічної труби [3-6].

Аеродинамічний аналіз є невід'ємною частиною проектування автомобіля, оскільки аеродинамічні характеристики безпосередньо впливають на його максимальну швидкість, прискорення, стійкість, керованість та енергоефективність. Для автомобілів оптимізація аеродинаміки набуває особливого значення.

Література

1. Авершин, А. Г. Співставлення результатів експерименту в аеродинамічній трубі і чисельного моделювання масштабної моделі автомобіля / А. Г. Авершин // Сучасні технології на автомобільному транспорті та машинобудуванні : наук. пр. Міжнар. наук.-практ. конф., 15–18 жовт. 2019 р. / Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. – Харків, 2019. – С. 206–209.
2. Авершин, А.Г. Комп'ютерне моделювання аеродинамічних характеристик гоночного автомобіля ХАДІ 31 [Текст] / А.Г. Авершин, В.Г. Солодов // Автомобільний транспорт. Сб. науч. тр. – Х., ХНАДУ. – 2005. – вип.16. – С.228-231.
3. Filipkovskij, S., Avershyn, A. (2024). Aerodynamic Interaction of Minivan Vehicles During an Overtaking Maneuver. In: Nechyporuk, M., Pavlikov, V., Krytskyi, D. (eds) Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering - 2023. ICTM 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 1008. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-61415-6_12
4. Numerical Study on Aerodynamic Drag Reduction of Racing Cars / R.Hassan, T.Islam, M.Ali, Q.Islam // Procedia Engineering. – 2014. – Vol. 90. – P. 308–313.
5. Pikula B. Determination of air drag coefficient of vehicle models / B.Pikula, E.Mešić, M.Hodžić // International Congress Motor Vehicles & Motors. – 2008 [Дата звернення 24.05.25]. – Access mode: www.researchgate.net/publication/235988524.

6. Walker T. Some Aspects of the Aerodynamic and Thermodynamic Development of the new Volvo XC90 / T.Walker // International Stuttgart Symposium, Automotive and Engine Technology.

7. Історія інженерної діяльності. Розвиток автомобілебудування : навч. посіб. / В. О. Богомолів, В. І. Клименко, Д. М. Леонтєєв, А. В. Ужва. – 3-тє вид., доповн. – Харків : ФОП Бровін О. В., 2025. – 194 с.

Науковий керівник: Холодов М.П., доцент кафедри автомобілів ім. А.Б.Гредескула, канд. техн. наук

Алейніков Максим , ст.гр. А-51-25, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, aleynikov@gmail.com

ОЦІНКА ВИТРАТ ЕНЕРГОНОСІВ ГІБРИДНИМИ АВТОМОБІЛЯМИ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Підвищення екологічної чистоти та паливної економічності можливо за рахунок використання гібридних та електромобілів. Гібридна технологія на транспортних засобах це ефективна система взаємодії двигуна внутрішнього згоряння та електродвигуна, який отримує живлення від тягової акумуляторної батареї. Завдяки синергетичному підходу гібридні автомобілі мають підвищений енергетичний та динамічний потенціал та відповідають екологічним нормам.

Ключовими завданнями гібридних технологій транспортних засобів є підвищення економії палива та енергоефективності силової установки, рекуперація кінетичної енергії при гальмуванні, економічне використання енергії в режимі міського руху.

Самим екологічним автомобілем, за даними інтернет-ресурсу Kelley Blue Book, названий електромобіль Nissan Leaf, що витрачає 765 кДж/км або 212,5 Вт·год/км, що згідно з еквівалентним перерахунком у витрату палива за цінами США складає близько 99 MPG або 2,38 л на 100 км. Друге місце посів гібридний автомобіль Chevrolet Volt з витратою палива 2,53 л/100 км.

Найбільш розповсюджений гібридний автомобіль Toyota Prius на третій сходинці з результатом 3,9 л/100 км.

Спеціалісти довідкового видання Kelly Blue Book прогнозують, що електромобілі за залишковою вартістю будуть істотно поступатися автомобілям із двигуном внутрішнього згоряння після п'яти років експлуатації.

Так, передбачається, що, наприклад, Nissan Leaf через п'ять років експлуатації у США буде мати ринкову ціну 20 % від своєї первинної вартості. Для порівняння, ціна бензинового однокласника тієї ж марки – Nissan Sentra – через п'ять років складе близько 30 % від ціни нового автомобіля.

Витрата енергії електромобілів перераховується в об'єм палива в міському та заміському циклах руху за прийнятою формулою, в якій 33,7 кВт·год дорівнює 1 галону бензину.