

УДК 514.18; 629.3.07

АЕРОДИНАМІКА ТА ЕСТЕТИКА ЯК ОСНОВНІ ЧИННИКИ ФОРМОУТВОРЕННЯ КУЗОВНИХ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛЯ

Назарько О.О., канд. техн. наук,
olganazamail@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3496-8533

Рагулін В.М., канд. техн. наук,
ragulinrvn@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2083-4937

Ярижко О.В., канд. техн. наук,
yaryzko@gmail.com, ORCID: 0000-0001-6398-8472

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет
(м. Харків, Україна)*

Одним з визначальних показників аеродинаміки тіла є його габарити та форма. Взаємодія елементів кузова автомобіля в процесі руху з повітряним потоком, а саме здатність до зменшення опору повітря характеризується обтічністю його форми. Окрім того, особливості форми кузова є ключовим фактором естетичного сприйняття автомобіля як готового виробу.

Можливості сучасних САПР, а також здатність їх інтеграції дає змогу здійснити попередній аналіз функціональності майбутнього виробу за допомогою віртуальних випробувань.

Важливим аспектом при проєктуванні кузовних деталей є дотримання дизайн-концепції майбутнього автомобіля. Оцінка зовнішнього вигляду готового виробу також забезпечується засобами візуалізації САПР. Комп'ютерне прототипування дозволяє на основі вже наявного об'єкту здійснювати модифікації геометрії цифрової моделі задля покращення його кінцевих характеристик. Наразі розробка об'єктів будь-якого типу неможлива без створення їх 3D-моделі. Використання методу реверс-інжинірингу дає змогу швидко отримувати тривимірні комп'ютерні прототипи з метою їх подальшої оптимізації. Так фотограметрія, як один із інструментів реверс-інжинірингу дозволяє відтворювати цифрові моделі кузовних деталей транспортних засобів за оригіналом або його фрагментом.

В даній роботі було проведено аналіз історико-технічних чинників, що мали вплив на розвиток форми кузова автомобіля. Запропоновано використання методу реверс-інжинірингу для оцінки обтічності автомобіля на основі порівняльного аналізу значень коефіцієнту аеродинамічного опору поверхневої спрощеної 3D моделі кузова та отриманої за допомогою фотограметрії з реального об'єкту.

Ключові слова: коефіцієнт аеродинамічного опору, форма кузова, формоутворення, дизайн, тривимірне моделювання, фотограметрія, реверс-інжиніринг, Autodesk Inventor Professional, Autodesk ReCap Photo.

Постановка проблеми. Кузов автомобіля – це елемент транспортного засобу, призначений для розміщення і транспортування пасажирів і вантажів. Основною функцією кузова є захист вузлів та агрегатів автомобіля від впливів оточуючого середовища. При розробці форми сучасного автомобіля велика увага приділяється естетичному сприйняттю готового виробу, як одного з важливих факторів, що має прямий вплив на затребуваність на ринку. Питання привабливості інтер'єру автомобіля тісно пов'язані з ергономікою, а розробки екстер'єру - з аеродинамікою.

Аеродинаміка вивчає рух об'єктів при дії навколишнього повітряного потоку. Опір повітря залежить від форми автомобіля та швидкості його руху. Розвиток форми кузовів легкового автомобіля охоплений впливом багатьох чинників. З часів виникнення перших серійних моделей автомобілів до сьогодення форма кузова невинно продовжує свій розвиток. Застосування сучасних систем тривимірного параметричного моделювання надають широкі можливості для оптимізації форми кузовних деталей і реалізації різноманітних дизайнерських рішень.

Актуальність роботи полягає у використанні комп'ютерного моделювання як засобу удосконалення та модернізації форми кузовних деталей.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Людина в сучасному світі оточена і взаємодіє з безліччю технічних виробів у повсякденному житті. Всі ці вироби мають своє функціональне призначення та певну естетичну складову, тобто дизайн. Форма промислового виробу в машинобудуванні (приладів, верстатів, транспортних засобів) визначається низкою чинників: технологією виготовлення, конструкцією, вимогами ергономіки. Спільна задача яка вирішується уже на початкових етапах проектування як конструкторами, так і дизайнерами - це відтворення функціональної сутності виробу забезпечуючи його візуальну привабливість.

В історії формоутворення автомобілів зазвичай виділяють три основні етапи. Перший, до початку Першої світової війни, отримав назву винахідницького періоду, коли основною метою було втілення ідеї створення працюючих машин і накопичення практичного досвіду в конструюванні. Другий етап (до 40-х років) відзначався інженерним підходом, коли були закладені основи теорії і розрахунків автомобіля, що дозволило запустити їх масове виробництво. Третій етап (приблизно 70-ті рр. – сьогодення) називають дизайнерським, коли на перший план вийшли питання задоволення естетичних потреб споживачів, покращення зручності, безпеки експлуатації, технічних та екологічних характеристик транспортних засобів.

Так форма кузова перших автомобілів була подібна до візків кінного екіпажу (рис. 1) [1], на цьому етапі питання форми кузова як суцільного елемента ще не розглядалось. Про візуальну привабливість і комфорт не йшлося, робота була зосереджена на вдосконаленні конструкції.

Тектонічну суть форма кузова автомобіля почала набувати тільки в 20-х роках ХХ сторіччя, що пояснюється поширенням популярності

автомобільного транспорту. Форма кузовів зазначеного періоду зазнає переходу від різко -виступаючих кутових елементів до згладжених форм окремих деталей (рис. 2) [2].



Рис. 1. Benz Patent-Motorwagen (1886 р.)



Рис. 2. Характерна форма кузова автомобілів 20-х рр (Lancia Lambda 1922 – 1931 рр.)

Стрімкого розвитку форма автомобіля набуває після 1930-1931 років. Зростає популярність закритого кузова. Технічний сплеск після Другої світової війни цілком логічно знайшов своє відображення у формі автомобіля, тому з 50-х років у лініях автомобілів вгадувалися елементи дизайну літальних апаратів. Перший спортивний автомобіль післявоєнного періоду з яскраво вираженою в формі тектонікою Mercedes-Benz 300 SL (рис. 3) [3]. З 1970 рр. аеродинамічні плавні форми автомобільних кузовів змінюються на різкі, клиновидні.



Рис. 3. Mercedes-Benz 300 SL (1954 р.)

Кінець XX століття – початок XXI відзначається розвитком комп'ютерних технологій та екологічною кризою, що знаходить своє відображення у конструкції та, як наслідок, у формі автомобіля.

Провідні автовиробники представляють концептуальні моделі автомобілів найближчого майбутнього, в формі яких чітко відстежується естетика екологічності (рис. 4) [4].



Рис. 4. BMW i VISION CIRCULAR (концептуальна модель)

Формулювання цілей статті. Форма кузова має важливе значення як для дизайну автомобіля, так і критичне значення для аеродинаміки автомобіля. Інженери прагнуть створювати такі контури, які мінімізують опір повітря, зменшують витрати пального та підвищують стійкість руху автомобіля на високих швидкостях. Правильне поєднання форми кузова з аеродинамічними елементами здатне значно покращити загальні характеристики автомобіля. Для досягнення даної мети в роботі запропоновано використання фотограметрії як складової методу реверс-інжинірингу, що дає змогу на основі вже існуючої форми провадити її оптимізацію у віртуальному середовищі в порівнянні з методом поверхневого моделювання вільних форм.

Основна частина. Аналіз розвитку форми кузова автомобіля з точки зору аеродинаміки охоплює декілька етапів, від перших примітивних конструкцій до сучасних інноваційних підходів. З кожним десятиліттям вдосконалення в аеродинаміці дозволяли створювати більш економічні, стабільні та швидкі автомобілі шляхом оптимізації форми кузова для зменшення коефіцієнту аеродинамічного опору C_x (рис. 5).

Застосування комп'ютерного моделювання при аеродинамічній розробці деталей кузова автомобілів є невід'ємним методом проектування як на початковій стадії розробки, так і на стадії тестування готового виробу. Для дослідження саме аеродинамічних властивостей використовують програмне забезпечення Autodesk CFD (Computational Fluid Dynamics), яке створює обчислювальні симуляції динаміки потоків повітря та рідин, які інженери та аналітики використовують для інтелектуального прогнозування. Ефективним інструментом для аеродинамічного аналізу також є Autodesk Flow Design - це 3D-віртуальна аеродинамічна труба для імітації потоку повітря навколо об'єктів. Дає

змогу імпорту широкого спектру геометрії та форматів зображень, а також візуалізації повітряного потоку [5].

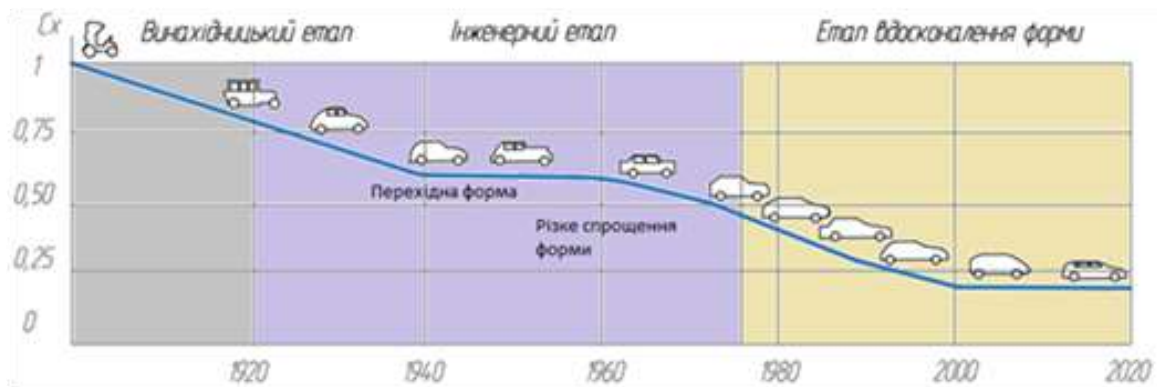


Рис. 5. Еволюція аеродинамічного розвитку форми кузова автомобіля

Враховуючи, що однооб'ємне та двооб'ємне компонування кузовів мають дещо гірші аеродинамічні якості через значну вертикальність задньої частини в порівнянні з трьохоб'ємними кузовами, де набігаючий повітряний потік характеризується плавним сходом з поверхні кузова, в якості об'єкту моделювання був обраний автомобіль з типом кузова хетчбек. Для відтворення базової форми кузова було використано габаритний кресленник автомобіля Opel Corsa D, на основі якого компонувались видові ескізи в середовищі Autodesk Inventor в масштабі 1:25.

Для розробки нових форм або відтворенні вже існуючих в Autodesk Inventor доречно застосовувати модуль Freeform, який дозволяє створювати складні поверхні та виконувати їх редагування з подальшим аналізом кривини, що є важливим моментом в дизайні промислових виробів. Створення форми кузова базувалось на використанні проєкційних зображень, розташованих у трьох взаємноперпендикулярних площинах.

Визначення ділянок поверхонь з максимальною або мінімальною кривиною дає змогу коригувати ці ділянки для досягнення більш стабільної і рівномірної поверхні шляхом редагування положення вузлів – контрольних точок, що сполучають ребра або належать граням поверхневої моделі (рис. 6).

Для порівняльного аналізу обтічності базової форми кузова без додаткових елементів та більш деталізованої моделі було запропоновано створити тривимірну модель з реального об'єкту. З цією метою використовувалось спеціальне програмне забезпечення Autodesk ReCap Photo, яке дозволяє перетворювати знімки або скановані дані в точні 3D-моделі, що можуть надалі бути використані для подальшого проектування, аналізу або друку.

Так як автомобіль є крупним об'єктом виконання знімків виконувалось послідовно в одному напрямку: спочатку нижньої частини автомобіля, рухаючись навколо об'єкту з дотриманням постійної дистанції біля 1 метру, далі камеру було піднято на відстань половини висоти

автомобіля і знову продовжено зйомку по колу в незмінному напрямку. Надалі виконувались знімки верхньої частини (рис. 7).

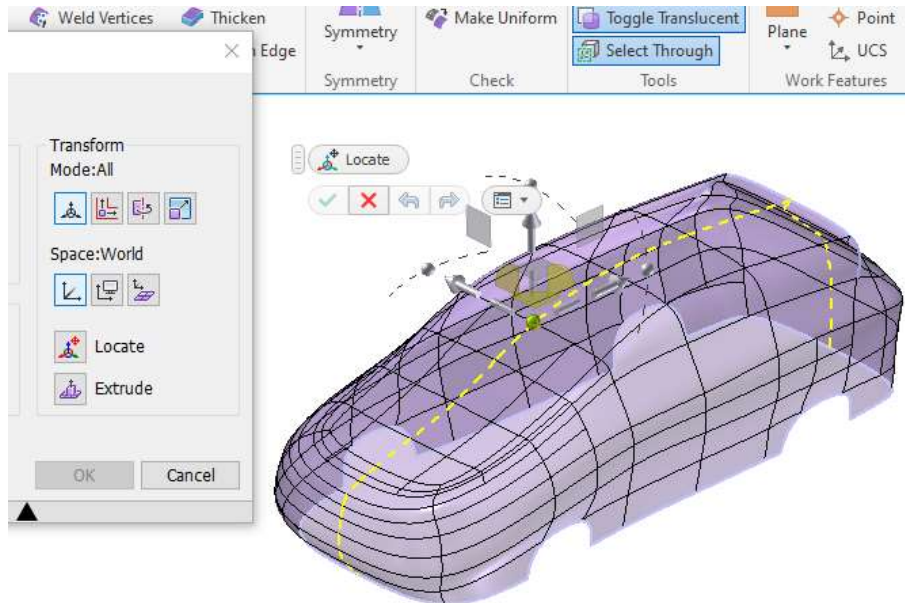


Рис. 6. Редагування поверхневої моделі автомобіля у Freeform



Рис. 7. Схема послідовності зйомки при фотограмметрії

Редагування в ReCap ділянок поверхонь і вирівнювання положення моделі показано на рисунку 8.



Рис. 8. Редагування тривимірної сітчастої моделі в ReCap

Для проведення аеродинамічного аналізу, створені двома різними методами тривимірні моделі почергово було експортовано у середовище Autodesk Flow Design. Швидкість повітряного потоку при симуляції була задана $V = 37,4$ м/с, режим відображення тиску на поверхні, дає змогу оцінити розподіл навантажень на ділянках кузова (рис. 9). Основною оцінною характеристикою обтічності моделей було отримання значень коефіцієнтів аеродинамічного опору C_x досліджуваних прототипів.

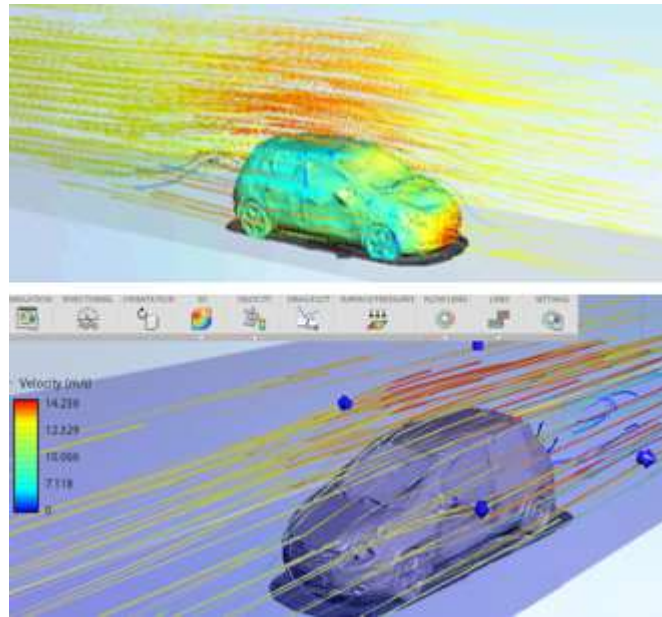


Рис. 9. Дослідження обтікання повітряним потоком моделі в Autodesk Flow Design

Так для моделі автомобіля, отриманої за допомогою фотограметрії значення коефіцієнту аеродинамічного опору $C_x = 0,36$; а для моделі отриманої засобом поверхневого моделювання $C_x = 0,32$. Отриманий результат пояснюється відсутністю на поверхневій моделі деталей, що спричиняють додатковий опір (рис. 10).

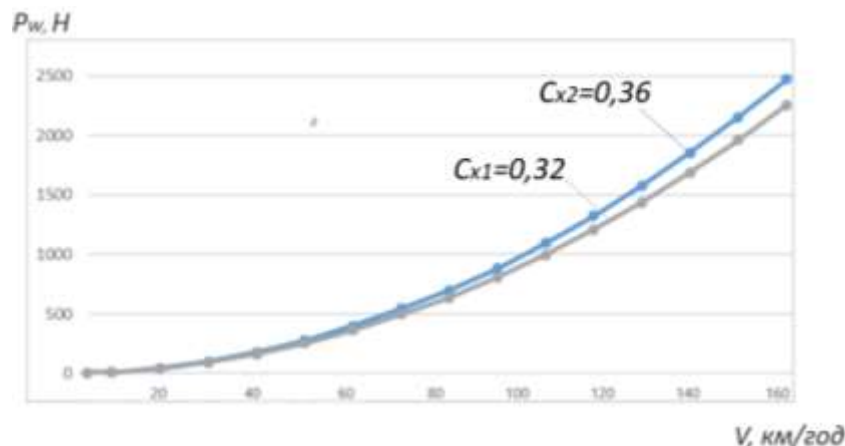


Рис. 10. Графік залежності сили опору повітря від швидкості руху при отриманих значеннях C_x моделей:
 C_{x1} – поверхнева модель; C_{x2} – модель отримана методом фотограмметрії

Аналіз отриманих даних дозволяє виявити вплив виступаючих частин деталей кузова (дзеркала, дверні ручки, антена, прилади освітлення). Сучасні технології намагаються мінімізувати цей вплив, використовуючи інтегровані або заховані елементи аеродинамічний опір.

Висновки. В роботі запропонований один із шляхів використання та інтеграції сучасних програмних продуктів як засіб оптимізації та аналізу форм об'єктів у машинобудуванні. Був проведений аналіз впливу форми на аеродинамічні властивості на прикладі автомобіля з трьохоб'ємним видом кузова. При порівнянні отриманих методом реверс-інжинірингу тривимірних прототипів було визначено, що додатковий опір від виступаючих елементів становить 9,48%.

Література

1. Інформаційно-аналітична група «Auto Consulting». Режим доступу: <https://autoconsulting.ua>.
2. Авто-центр. Режим доступу: <https://www.autocentre.ua>.
3. Група компаній ARGO-HYTOS. Режим доступу: <https://www.argo-hytos.com>.
4. BMW AG. Режим доступу: <https://www.bmw.ua>.
5. Назарько О.О., Рагулін В.М., Зайцев І.С. Використання методу комп'ютерного моделювання при дослідженні обтічності легкового автомобіля обладнаного аеродинамічними елементами. *Сучасні проблеми моделювання*, 2021. Вип. 22. С.104-108.
6. Corsa D, E en F Drivers. Retrieved from: <https://www.corsa-drivers.nl/viewtopic.php?t=12120>.

AERODYNAMICS AND AESTHETICS AS THE MAIN FACTORS IN THE SHAPE OF CAR BODY PARTS

Olga Nazarko, Vitaliy Ragulin, Aleksandr Yaryzhko

One of the defining indicators of body aerodynamics is its dimensions and shape. The interaction of car body elements during movement with the air flow, namely the ability to reduce air resistance, is characterized by the streamlining of its shape. In addition, the features of the body shape are a key factor in the aesthetic perception of the car as a finished product.

The capabilities of modern CAD, as well as the ability to integrate them, make it possible to carry out a preliminary analysis of the functionality of the future product using virtual tests.

An important aspect when designing body parts is compliance with the design concept of the future car. Assessment of the appearance of the finished product is also provided by CAD visualization tools. Computer prototyping allows, based on an existing object, to make modifications to the geometry of the digital model in order to improve its final characteristics. Currently, the development of objects of any type is impossible without creating their 3D model. Using the reverse engineering method allows you to quickly obtain three-dimensional computer prototypes for their further optimization. Thus, photogrammetry, as one of the reverse engineering tools, allows you to reproduce digital models of vehicle body parts according to the original or its fragment.

This work analyzes historical and technical factors that influenced the development of the shape of the car body. It is proposed to use the reverse engineering method to assess the streamline of the car based on a comparative analysis of the values of the aerodynamic drag coefficient of a surface simplified 3D model of the body and obtained using photogrammetry from a real object.

Key words: aerodynamic drag coefficient, body shape, shaping, design, three-dimensional modeling, photogrammetry, reverse engineering, Autodesk Inventor Professional, Autodesk ReCap Photo.

References

1. Information and analytical group «Auto Consulting». Retrieved from: <https://autoconsulting.ua>. [in Ukrainian]
2. Auto center. Retrieved from: <https://www.autocentre.ua> . [in Ukrainian]
3. Hrupa kompanii ARGO-HYTOS. Retrieved from: <https://www.argo-hytos.com>. [In English].
4. BMW AG. Retrieved from: <https://www.bmw.ua>. [In English].
5. Nazarko O.O., Ragulin V.M., Zaitsev I.S. (2021). Using the computer modeling method in studying the streamline of a passenger car equipped with aerodynamic elements. *Suchasni problemy modeliuвання*, Vyp. 22. pp.104-108. [in Ukrainian]
6. Corsa D, E en F Drivers. Retrieved from: <https://www.corsa-drivers.nl/viewtopic.php?t=12120>. [In English].