

В. П. Кужель¹
А. Г. Буда¹
В. М. Павленко²
О. В. Корнев³

РЕЙТИНГИ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ ЗА АЕРОДИНАМІЧНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ ТА СУЧАСНІ ПІДХОДИ 3D-МОДЕЛЮВАННЯ ЗОВНІШНІХ ФОРМ КУЗОВІВ

¹Вінницький національний технічний університет

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет

³Національна академія Національної гвардії України

Робота присвячена розвитку аеродинаміки легкових автомобілів, що почався на початку ХХ століття. Радикальних змін щодо форми кузова недостатньо, основна увага зосереджена на елементах поверхні, ведеться їх оптимізація за збереження загальної форми, що визначається дизайнерською концепцією. Покращенню показників аеродинаміки автомобілів завжди приділяли велику увагу, особливо дослідженню лобового опору – найважливішого із факторів, що впливають на тягові та експлуатаційні якості автомобіля. За цей час вдалося значно знизити коефіцієнт аеродинамічного опору C_x . Під час розробки зовнішньої форми кузова конструктори прагнуть надати йому такі обриси, щоб повітря обтікало якомога більш плавно, без завихрень і зривів потоку, тобто щоб поверхня була візуально привабливою, правильних форм та з максимально обтічним силуетом.

Актуальність проблеми зводиться до удосконалення зовнішніх форм авто, тому при розробках враховують п'ять складових загального аеродинамічного опору автомобіля: опір форми; індуктивний; поверхневий; інтерференційний опору та опір внутрішніх потоків. Частка кожної із цих складових залежно від типу автомобіля різна, але зазвичай на опір форми припадає 60–70 % загального аеродинамічного опору, на індуктивний – 7–12 % (великі значення характерні для легкових автомобілів), на поверхневий – приблизно 5–8 %, на опір внутрішніх потоків – 8–11 %.

Метою роботи є аналіз впливу складових загального аеродинамічного опору C_x на експлуатаційні властивості легкових автомобілів (швидкості, витрати палива, безпеки, зручності та комфорту під час керування) із формуванням загальної рейтингової оцінки.

Загалом показано, що для автомобілів останнього періоду характерні переважно клиноподібні форми, до яких перейшли майже всі автомобільні фірми світу. З погляду вдосконалених аеродинамічних властивостей це автомобілі малого та середнього класів (класи В, С та Е). На підставі значних досліджень у цій галузі, вдосконаленню технологій автомобілебудування, спрямованих насамперед на поліпшення паливної економічності та динамічних властивостей, виробникам вдалося досягти відносно низького лобового опору. На сьогодні найкращі представники цього класу впритул наблизилися до значення $C_x = 0,29–0,30$, що є межею для сучасного рівня технологій. Подальші зусилля дослідників спрямовані на зниження опору, що створюється під капотом, зменшення забруднення та вдосконалення акустичних характеристик.

Ключові слова: легкові автомобілі сучасності, модифікації, аеродинамічні властивості автомобіля, коефіцієнт лобового опору, бензиновий та електричний двигуни, швидкість.

Вступ

Немає у світі автовиробника, який би не перебував у безперервному пошуку нових аеродинамічних рішень. Від обтічності машини залежать і такі показники: швидкісні, витрата палива (або заряду батареї), стійкість до зовнішніх впливів на дорозі (а отже, і безпека). Невеликі прориви у цій галузі спостерігаються буквально щороку. Головним показником аеродинамічних властивостей автомобіля вважається коефіцієнт лобового опору – C_x . Цифри, які демонструють новинки, ще 10 років тому здавалися недосяжними для звичайних, масових машин.

Метою статті є аналіз аеродинамічних особливостей та елементів сучасних легкових автомобілів, поділ автомобілів на групи з низьким та високим коефіцієнтом лобового опору C_x .

Аналіз досліджень

Як відомо, коефіцієнт лобового опору C_x визначається експериментально і є головною величиною, яка описує аеродинамічну досконалість кузова. При нормальній експлуатації авто слід враховувати, що саме ця величина має істотний вплив на витрату палива. Опір можна знизити шляхом поліпшення зовнішніх форм кузова [1–4] або зменшення його поперечного перерізу.

Потужність двигуна, необхідна для подолання аеродинамічного опору, пропорційна, відповідно, кубу швидкості:

$$N_v = P_v \cdot v / 3600 (\text{кВт}), \quad (1)$$

де v – відносна швидкість руху автомобіля, км/год.

Вплив потоку повітря на автомобіль здебільшого зводять до аеродинамічних сил. Значний вплив на величину коефіцієнта аеродинамічного опору (C_x) чинить власне повітря, що проходить ззовні кузова і, зрозуміло, потрапляє всередину для охолодження та вентиляції. Попередньо розроблена точна 3D-модель автомобіля дає змогу провести оцінку і визначити аеродинамічний опір, за умови, якщо 3D-модель повністю повторює характеристики кузова реального автомобіля. Підходи 3D-моделювання у комп'ютерній графіці дозволяють створити і подати будь-яку тривимірну поверхню об'єкта за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення у сфері дизайну та архітектурної візуалізації [5–7]. У цьому разі поверхня подається у вигляді програмного коду або відображається за допомогою двовимірного зображення Дані, отримані після випробувань (віртуальних) на 3D-моделі, можуть, звісно, мати відмінності від отриманих на практиці, але зазвичай ці похибки незначні.

У більшості сучасних легкових автомобілів коефіцієнт C_x дорівнює 0,3–0,35, проте найбільш досконалі моделі досягають кращих значень 0,2–0,27. Варто відзначити, що вже в умовах експлуатації коефіцієнт може бути різним залежно від швидкості, напрямку руху відносно вітру, стану поверхні кузова тощо. Отже, максимальна швидкість обмежена не тільки потужністю двигуна, а й аеродинамічними особливостями автомобіля.

Водночас негативним моментом в аеродинаміці автомобілів є саме підйомна сила (крім лобового опору повітря). Річ у тому, що абсолютно будь-який автомобіль за своїми зовнішніми формами деякою мірою схожий на профіль крила літака, тобто знизу плоский, а зверху опуклої форми. Тому, як і у випадку з літаком, повітря, яке проходить над автомобілем, здійснює довший шлях, ніж повітря під днищем автомобіля. І швидкість потоку знизу вища, ніж зверху. З цієї причини над автомобілем з'являється зона розрідженого повітря, а під автомобілем, навпаки, – зона підвищеного тиску. Отже, чим вища швидкість, тим сильніше повітря знизу піднімає автомобіль.

Різного роду аеродинамічні елементи, на кшталт антикрил, спойлерів, спліттерів, дифузорів та накладок на днище, покликані створити притискну силу. У випадку з гоночними болідами вдається цього досягти повною мірою: чим вища швидкість, тим сильніше притискається машина до землі. Це збільшує зчеплення коліс із дорогою та робить автомобіль більш стабільним на високих швидкостях (рис. 1). Важливе значення мають як момент крену, так і перевертаючий момент (вимірюються при повороті автомобіля під кутом до повітряного потоку).

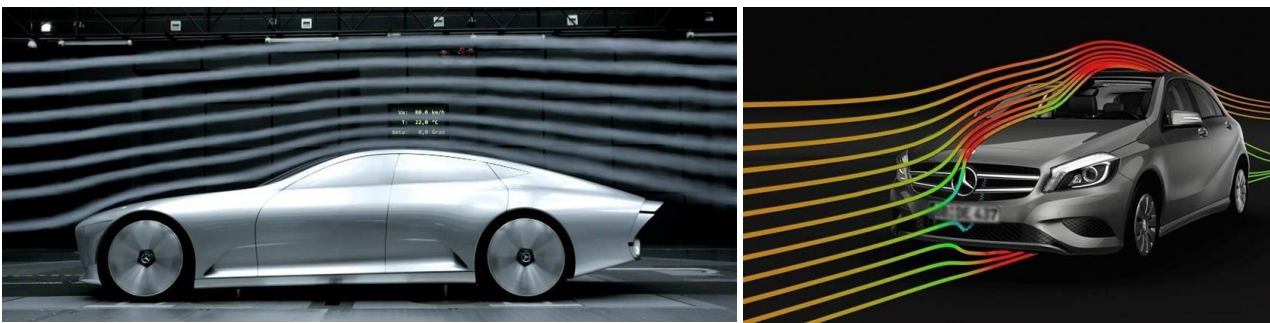


Рис. 1. Аеродинамічні елементи та притискні сили

Отже, у статті розглянуті рейтинги легкових автомобілів за аеродинамічними властивостями та сучасні підходи 3D-моделювання зовнішніх форм кузовів. До добірки автомобілів увійшли лише серійні легкові автомобілі сучасності.

Рейтинг найгірших автомобілів за аеродинамічними властивостями

Здебільшого низький коефіцієнт лобового опору C_x мають позашляховики:

1. Автомобіль Mercedes-Benz G-класу (рис. 2). Коефіцієнт $C_x = 0,54$. Це повнорозмірний позашляховик з великою історією, який виробляється в Австрії компанією Magna Steyr, продається під торговою маркою Mercedes-Benz. Роки випуску – з 1979 року дотепер. Був розроблений саме як військовий транспортний засіб за пропозицією іранського шаха.

2. Автомобіль Lada Niva (рис. 2). Коефіцієнт $C_x = 0,53$. Максимальна швидкість цього автомобіля – лише 137 км/год.



Рис. 2. Модель Mercedes-Benz G-класу та Lada Niva

3. Автомобіль Hummer H2 (рис. 3). Коефіцієнт $C_x = 0,57$. Зрозуміло, що Hummer понад удвічі важчий. Позашляховик, що випускався з 2002 по 2009 роки, має під капотом потужний двигун V8 робочим об'ємом 6,2 л (393 к. с.), але при $C_x = 0,57$ він зовсім нездатний нормально проходити крізь товщу повітря.

4. Автомобіль Jeep Wrangler (покоління TJ) (рис. 3). Коефіцієнт $C_x = 0,58$. Wrangler має більш обтічні форми. Найгірші показники саме у дводверній модифікації з відкритим верхом ($C_x = 0,58$). Jeep Wrangler – модель позашляховика, автомобіль підвищеної прохідності, випускається американською компанією Chrysler (відділ Jeep).



Рис. 3. Модель Hummer H2 та Jeep Wrangler

5. Автомобіль Land Rover Defender (рис. 4). Коефіцієнт $C_x = 0,59$. Витривалий Land Rover Defender 2020 впевнено долає екстремальні дороги. Вбудовані інтелектуальні технології гарантують зручність під час керування та дають можливість залишатися на зв'язку із зовнішнім світом.

6. Автомобіль Suzuki Jimny (рис. 4). Коефіцієнт $C_x = 0,34$. Четверте покоління Suzuki Jimny з'явилося на ринку в Японії влітку 2018 року. Всі чотири покоління Suzuki Jimny мають загальні технічні рішення, сукупність яких ставить цей унікальний автомобіль окремо від інших представників сегменту ультракомпактних позашляховиків. Коефіцієнт аеродинамічного опору $C_x = 0,34$ один із найкращих показників серед позашляховиків. Авто підходить для бездоріжжя та гірської місцевості.



Рис. 4. Модель Land Rover Defender та Suzuki Jimny

Рейтинг найкращих автомобілів за аеродинамічними властивостями

На деяких позиціях наявного далі рейтингу будуть показані не одна і не дві, а одразу кілька моделей (в деяких випадках це неповний список). За кожною з моделей наведені дані тієї модифікації, яка є найкращою за значенням C_x .

1. Автомобілі BMW 3-ї серії (E90), BMWi8, Jaguar XE, Lexus LS, Mazda 3 (рис. 5а), Nissan GT-R (рис. 5б), Mercedes В-класу (рис. 5в), Mercedes С-класу Coupe, Mercedes Е-класу (рис. 5г), Infiniti Q50. Коефіцієнт $C_x = 0,26$.

Головні особливості Mazda (рис. 5а) – активні жалюзі радіаторів, які автоматично закриваються, коли двигун не потребує охолодження, і перенаправляють повітряні потоки вздовж кузова. Модель Nissan GT-R (рис. 5б) оснащена «аеролізами» по краях крил автомобіля, які забезпечують оптимальний повітряний потік як навколо шин, так і уздовж кузова автомобіля.

Автомобілі Mercedes-Benz Е-класу (ориг. «E-Klasse») – серія легкових автомобілів бізнес-класу німецької торгової марки Mercedes-Benz, офіційно випускається з 1993 року і на сьогодні має п'ять поколінь (рис.5б, в). Моделі Mercedes-Benz (рис. 6) мають чудові вивірені форми кузовів, автоматичне опускання підвіски на швидкостях понад 120 км/год.



а)



б)



в)



г)

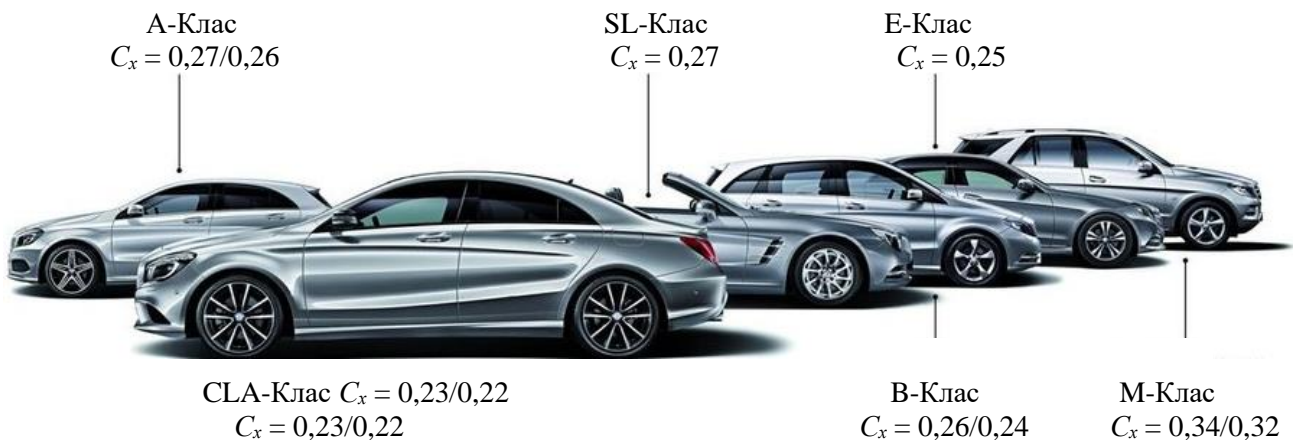
Рис. 5. Моделі з коефіцієнтом $C_x = 0,26$ 

Рис. 6. Моделі Mercedes-Benz з аеродинамічними характеристиками за класами

2. Автомобілі Alfa Romeo Giulia, Honda Insight, Audi A2, Peugeot 508 (рис. 7). Коефіцієнт $C_x = 0,25$. Peugeot 508 – середньорозмірний автомобіль французької компанії Peugeot, що входить в концерн PSA Peugeot Citroën, був офіційно представлений у 2010 році на Женевському автосалоні. Peugeot демонструє цілком обтічний силует, з правильними формами кузова, і, як наслідок, низький C_x .



а)



б)

Рис. 7. Моделі з коефіцієнтом $C_x = 0,25$

3. Автомобілі Tesla Model S, Tesla Model X, Hyundai Sonata Hybrid (рис. 8а), Mercedes С-класу, Toyota Prius (рис. 8б). Коефіцієнт $C_x = 0,24$. Toyota Prius – перший у світі масовий гібридний легковий автомобіль, що розвиває швидкість завдяки як бензиновим, так і електричним двигунам, які випускає японська корпорація Toyota з 1997 року. Латинське слово prius (яп. «プリウス») у назві моделі трактується як перший. У сучасному Prius кузов увінчує тоненький спойлер, який разом з іншими елементами задньої частини зменшує турбулентні завихрення до мінімуму. Гібридна версія сімейного седана Hyundai досить сильно відрізняється від своїх стандартних моделей. Передні та задні бампери мають глибокі напрямні для повітря, на боковинах додані аеродинамічні спідниці та навіть спеціально спроектовані 17-дюймові диски, що допомагають зменшити лобовий опір.



а)



б)

Рис. 8. Моделі з коефіцієнтом $C_x = 0,24$

4. Автомобілі Audi A4, Mercedes CLA, Mercedes S300 h (рис. 9а, б). Коефіцієнт $C_x = 0,23$. Audi A4 – автомобіль вирізняється найбільшим обсягом виробництва. У 2007 році ця модель перебувала на четвертому місці за кількістю нових автомобілів, що знаходяться на обліку в Німеччині, після Volkswagen Golf, Volkswagen Passat та BMW 3-ї серії.



а)



б)

Рис. 9. Моделі з коефіцієнтом $C_x = 0,23$

Відразу зауважимо, що в Audi найкращі показники аеродинаміки демонструє лише одна модифікація – Audi A4 2.0 TDI ultra (190 к/с.), яка має спеціальні щитки, що екранують днище, а також активні жалюзі в радіаторній решітці. А ось в інших модифікацій Audi A4 аеродинаміка менш видатна: $C_x = 0,26–0,27$. В автомобілів Mercedes теж не всі модифікації CLA демонструють значення C_x , що

дорівнює 0,23, а тільки версії Blue Efficiency. Наприклад, CLA 2504 Matic має $C_x = 0,29$, а версія AMG45 – лише 0,30.

На CLA встановлені спеціально спрофільовані повітряним потоком передні стійки і бічні дзеркала, покращена аеродинаміка дисків коліс, особливі штампувальні форми на кузові спеціально виправляють повітряні потоки. Глушник було розроблено з урахуванням повітряних потоків, і так у кожній деталі. У прикладі з S-класом лише «наймолодша» версія S300 h демонструє відмінні показники, проте у Mercedes S60 $C_x = 0,28$.

5. Автомобіль Tesla Model 3 (рис. 10). Коефіцієнт $C_x = 0,21$. У цій моделі вдалося зробити кузов гольф-класу – цілком практичний і водночас надзвичайно обтічний, що розраховано на масове провадження. Навіть коли у даху відкрито панорамний люк, перед ним виставляється маленький екран, щоб не лише мінімізувати звуковий тиск у салоні, а й оптимізувати потік повітря.



Рис. 10. Моделі з коефіцієнтом $C_x = 0,21$

6. Автомобіль General Motors EV1 (рис. 10). Коефіцієнт $C_x = 0,195$. Почав випускатися з 1997 року, а друге покоління – з 1999 року. Продавався у Каліфорнії та Аризоні, і тільки на умовах лізингу. Довгий час (до 2013 року) цей автомобіль утримував титул найкращого з аеродинамічної погляду у світі.

7. Автомобіль Volkswagen XL1 (рис. 11). Коефіцієнт $C_x = 0,189$. У рух XL1 приводить гібридна силова установка з дизельним двигуном, яка, за задумом творців, повинна витратити всього 1 л палива на 100 км шляху. Досягти таких показників вдалося завдяки унікальній аеродинаміці.



Рис. 11. Модель Volkswagen XL1

Сучасні підходи 3D-моделювання зовнішніх форм кузовів автомобілів

Зазначимо, що сучасні 3D-моделі створюються у спеціалізованих CAD-системах (або, як часто вказують, в CAD / CAM-системах) засобами і прийомами геометричного моделювання. Потім модель зберігається в CAD системі як певний математичний опис і після закінчення всіх операцій побудови відтворюється на екрані у вигляді просторового об'єкта [7–10].

Також на ефективність розрахунків і моделювання може суттєво впливати і впливає навіть сітка точок інтерполяції. Важливо сформувати рівномірну сітку, щоб відстань між точками була кратною відстані між вузлами сплайну при побудові моделі (рис. 12). Зазначимо, що сплайном називається функція, сфера визначення якої розбита на елементи, а кожен з елементів являє собою функцію (поліном (многочлен)).

Сформована сітка складається відповідно з вершин та ребер. Ребра так само утворюють грані між собою, а потім із граней складаються полігони. Далі послідовність така: з полігонів складаються поверхні, а з поверхонь власне 3D-модель, наприклад, кузова легкового автомобіля (рис. 12, 13).

Полігональна сітка також може бути як низькополігональною, так і середньополігональною та навіть високополігональною (рис. 14).

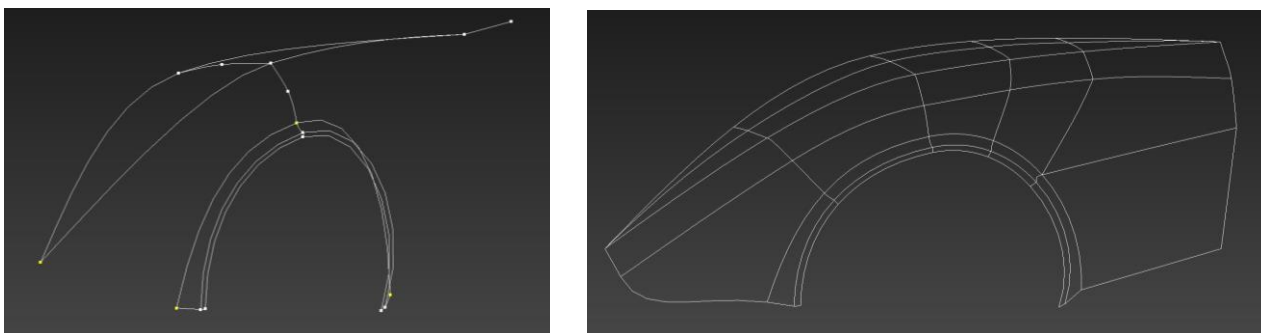
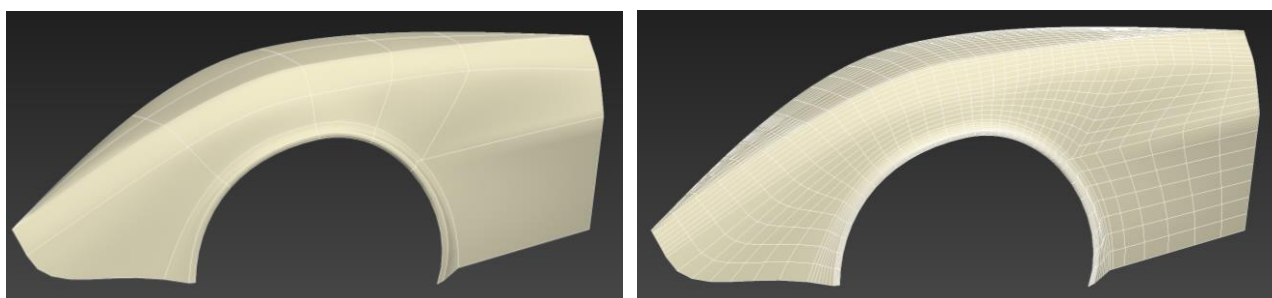


Рис. 12. Об'єднання сплайнів крила та арки та готовий сплайн-об'єкт



а) сплайни, об'єднані в поверхню б) полігональний об'єкт

Рис. 13. Етапи перетворення сплайн-об'єкта в готову 3D-модель

Зазначимо, що сформовані саме середньополігональні моделі (рис. 3) є «золотою серединою» у моделюванні зовнішніх поверхонь форм кузова, адже ці моделі мають такі переваги: менший час створення через середній рівень деталізації, правильну геометрію форм, саме середню кількість полігональних об'єктів (полігонів); до того ж придатні як для рендерингу, так і для ігрової індустрії та автомобільної інженерії.

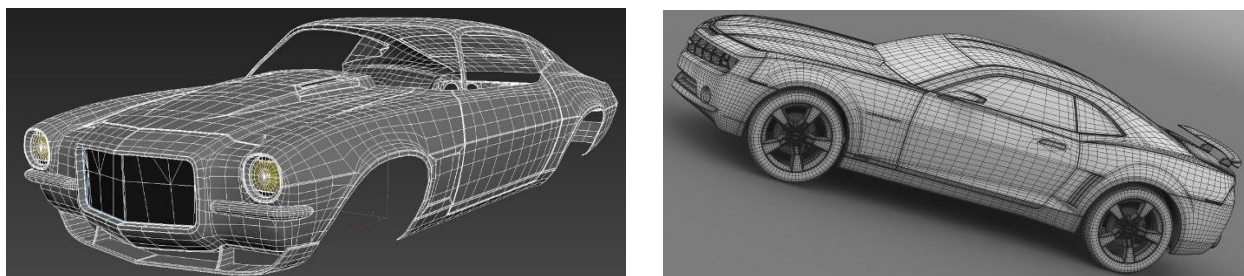


Рис. 14. Приклад середньополігональної та високополігональної моделі

Високополігональні моделі (рис. 14) зі свого боку характеризуються високою деталізацією, а отже, і найвищою якістю, дуже великою кількістю полігонів, що дозволяє відтворювати всі деталі моделі до дрібниць. Ці моделі використовуються часто під час проектування і розрахунків, оскільки є дуже точними. З недоліків відзначимо складність побудови, яка пояснюється необхідністю значних витрат часу.

Стосовно можливостей комп'ютерної графіки, то насамперед варто зазначити, що для створення геометричної проєкції тривимірної моделі сцени на площину використовують спеціалізовані програми, які дають змогу розробити графічне зображення тривимірних об'єктів.

Отже, для роботи з комп'ютерною графікою застосовують спеціалізовані додатки, які можна розділити на чотири групи: перша містить програми для так званого «цифрового скульптингу» – «Pixologic ZBrush», «Autodesk Mudbox»; друга група представлена «ігровими движками» – «Unreal Engine 4», «Unity 5», «CryEngine 3»; третя група забезпечується вузькоспеціалізованим програмним забезпеченням вже під конкретні задачі – для анімації рідин, наприклад, «RealFlow», для створення текстур – «Mari» та інші. Четверта група містить універсальні 3D-редактори широкого застосування – «3Ds Max», «Cinema 4D», «Maya» та інші [7–9].

Розглянемо результати побудови форми кузова в універсальному ігровому редакторі Unity, який являє собою редактор чи середовище розробки саме комп'ютерної гри (рис. 15). Unity, як

універсальний редактор, дає можливість моделювати додатки, які працюють у різних операційних системах.

Переваги ігрового редактора Unity – це насамперед зрозуміле візуальне середовище розробки, а також модульна системи робочих компонентів. До недоліків слід віднести наявність проблем при роботі саме з багатокомпонентними складними схемами і при під'єднанні до редактора зовнішніх бібліотек.

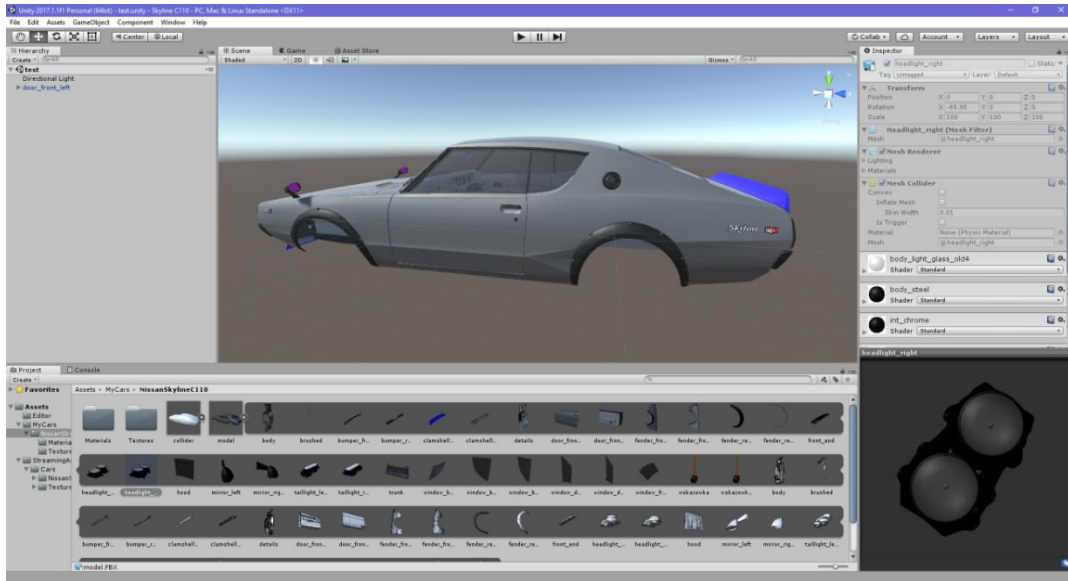


Рис. 15. Робота з 3D-моделлю кузова автомобіля в ігровому 3D-редакторі Unity

Висновки

Отже, в статті розглянуті моделі та сформовані рейтинги сучасних легкових автомобілів із головним показником аеродинамічних властивостей автомобіля, а саме коефіцієнтом лобового опору C_x ; виділені найкращі та найгірші моделі за цим коефіцієнтом. Досягнення низьких аеродинамічних характеристик суттєво змінює діапазон технічних характеристик легкового автомобіля, особливо з погляду швидкості, надійності та низьких експлуатаційних витрат. Розглянуті також підходи, методи 3D-моделювання зовнішніх поверхонь кузовів легкових автомобілів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Буда А. Г., Кужель В. П., Юров А. В. Моделювання зовнішніх поверхонь легкового автомобіля в тривимірному просторі за допомогою сплайнів. *Вісник Машинобудування та транспорту*. 2018. № 1(7). С. 26–34.
- [2] Кужель В. П., Буда А. Г., Юров А. В. Сучасні підходи до моделювання зовнішніх форм легкового автомобіля в 3D-середовищі. *Вісник Житомирського ДТУ*. 2019. Вип. 2(82). С. 74–82.
- [3] Кужель В. П., Буда А. Г., Юров А. В. Варіанти моделювання зовнішніх форм автомобіля застосуванням сучасних технологій 3D-графіки. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал*. Луцьк: Луцький НТУ, 2018. Вип. 1(10). С. 38–43.
- [4] Кужель В. П., Буда А. Г., Юров А. В. Моделювання зовнішніх поверхонь кузова автомобіля Toyota Land Cruiser 200 за допомогою сплайнів. *Матеріали VI міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту»*, 12–13 квітня 2018 р.: збірник наукових праць. Вінниця: ВНТУ, 2018. С. 110–113. URL: <http://atmconf.vntu.edu.ua/material2018.pdf>
- [5] Буда А. Г., Кужель В. П., Юров А. В. Графічні моделі конструювання форм кузова автомобіля. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. Луцьк: Луцький НТУ, 2016. Вип. 1(5). С. 32–37.
- [6] Кужель В. П., Буда А. Г., Юров А. В. До питання варіантів моделювання зовнішніх поверхонь кузова легкового автомобіля. *Матеріали X міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту»*, 23–25 жовтня, 2017 р.: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України; Вінницький національний технічний університет та інш. Вінниця: ВНТУ, 2017. С. 114–116.
- [7] Юров А. В. Використання нових додатків САД-системи для графічного моделювання кузова автомобіля. *Тези XLV регіональної наук.-техн. конф. проф.-викл. складу, співробітників та студентів університету з участю працівників наук.-досл. організацій та інж.-техн. працівників підприємств м. Вінниці та області*. Вінниця, 2016. URL: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2016/pdf5>
- [8] 3d spline model of the body F2003 GAю URL:: <http://www.sharecg.com/v/16409/3d-model/3d-spline-odel-of-the-body-F2003-GA#>
- [9] Making of 'Mercedes S Class Millau' By Ali Ismail. URL: <https://www.3dtotal.com/tutorial/1111-making-of-mercedes-s-class-millau-3ds-max-photoshop-by-ali-ismail-vehicle-car-mercedes-s-class>

Кужель Володимир Петрович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: kuzhel2017@gmail.com, kuzhel_v@vntu.edu.ua

Буда Антоніна Героніївна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри опору матеріалів, теоретичної механіки та інженерної графіки, e-mail: antbu@ukr.net

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця

Павленко В'ячеслав Миколайович – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри технічної експлуатації та сервісу автомобілів, e-mail: vp.khadi@gmail.com

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

Корнев Олександр Васильович – викладач кафедри автомобільної бронетанкової техніки, e-mail: naumenko197@ukr.net

Національна академія Національної гвардії України, м. Харків

V. Kuzhel¹
A. Buda¹
V. Pavlenko²
O. Korniev³

Ratings of cars by aerodynamic properties and modern approaches of 3D modeling of external body shapes

¹Vinnitsia National Technical University

²Kharkiv National Automobile and Highway University

³National Academy of the National Guard of Ukraine

The work is devoted to the development of passenger car aerodynamics, which began at the beginning of the 20th century. Radical changes to the shape of the body are not enough, the main attention is focused on the surface elements, their optimization is being carried out while preserving the overall shape determined by the design concept. Much attention has always been paid to the improvement of car aerodynamics, especially to the study of frontal drag - the most important factor affecting the traction and operational qualities of a car. During this time, it was possible to significantly reduce the coefficient of aerodynamic resistance C_x . When developing the external shape of the body, the designers strive to give it such contours that the air flows around it as smoothly as possible, without swirls and disruptions of the flow, i.e., that the surface is visually attractive with the correct shapes and with the most streamlined silhouette.

The relevance of the problem is reduced to the improvement of the external forms of the car, therefore, during development, five components of the overall aerodynamic resistance of the car are taken into account: the resistance of the form; inductive; superficial; interference resistance and resistance of internal flows. The share of each of these components varies depending on the type of car, but, usually, shape resistance accounts for 60...70% of the total aerodynamic resistance, inductive - 7...12% (large values are typical for passenger cars), surface - about 5...8%, internal flow resistance - 8...11%.

The purpose of the work is to analyze the influence of the components of the overall aerodynamic resistance C_x on the operational properties of passenger cars (speed, fuel consumption, safety, convenience and comfort during driving) with the formation of a general rating assessment.

In general, it is shown that cars of the last period are characterized mainly by wedge-shaped shapes, to which almost all automobile companies in the world have switched. From the point of view of improved aerodynamic properties, these are cars of small and medium classes (classes B, C and E). On the basis of significant research in this field, the improvement of automotive technologies, aimed primarily at improving fuel economy and dynamic properties, manufacturers managed to achieve relatively low drag. At present, the best representatives of this class have closely approached the value of $C_x = 0,29 \dots 0,30$, which is the limit for the current level of technology. Further efforts of researchers are aimed at reducing the resistance created under the hood, reducing pollution and improving acoustic characteristics.

Key words: modern passenger cars, modifications, aerodynamic properties of the car, drag coefficient, gasoline and electric engines, speed.

Kuzhel Volodymyr – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of Automobiles and transport management department, e-mail: kuzhel2017@gmail.com, kuzhel_v@vntu.edu.ua

Buda Antonina – Ph. D. (Eng.), Assoc. Professor of the Department of Resistance of Materials, Theoretical Mechanics and Engineering Graphics, e-mail: antbu@ukr.net

Pavlenko Viacheslav – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of Technical operation and service of cars department, e-mail: vp.khadi@gmail.com

Korniev Oleksandr – Lecturer, Department of Automotive Armored Equipment e-mail: naumenko197@ukr.net