

**В.П. Кужель, к.т.н., доц.  
А.Г. Буда, к.т.н., доц.  
А.Р. Юров, магістрант**

*Вінницький національний технічний університет*

## **Сучасні підходи до моделювання зовнішніх форм легкового автомобіля в 3D середовищі**

*На сьогоднішній день початковим етапом створення нових чи модернізації існуючих зовнішніх поверхонь кузова автомобіля є процес формування, моделювання та випробування розроблених моделей. Тому надзвичайно важливим є саме реалістичне моделювання з врахуванням максимальної кількості факторів впливу, яке дозволить мінімізувати час та вартість експериментальних досліджень. В роботі для створення моделі кузова автомобіля запропоновано метод отримання 3D зображення за допомогою ортогональних двовимірних проєкцій.*

*Визначено що запропонований підхід забезпечує достатній рівень візуалізації об'єму кузова автомобіля та дозволяє: створювати в тривимірному просторі складові елементи кузова, в тому числі для особливо складних поверхонь; розробляти нові модифікації моделі; отримувати якісну текстуру; поліпшити якість створюваної поверхні; заощаджувати час на моделювання складних поверхонь, якщо моделюванням займається достатньо кваліфікований оператор.*

*В роботі розглянуті наступні універсальні 3D редактори: 3Ds Max, Maya, Cinema 4D, Blender, Unity, проаналізовані переваги та недоліки їх застосування.*

***Ключові слова:** 3D модель; 3D редактор; поверхня; сплайн; проєкція; зображення; графічне моделювання.*

**Постановка проблеми.** Актуальною проблемою сьогодення є відновлення чи покращення зовнішніх форм автомобіля без значних витрат на його модифікацію, як фінансових, так і затрат часу. В зв'язку з тотальним збільшенням парку легкових автомобілів процес якісного відновлення зовнішніх форм автомобіля набуває актуальності, що підтверджується зверненнями до спеціалізованих підприємств, СТО, майстерень. Знання сучасних підходів до візуалізації (моделювання) забезпечить інформативну подачу моделі форм кузова автомобіля клієнтам для вирішення практичних задач відновлення, моделювання, тюнінгу і т.д.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Автовиробники спочатку проєктують модель у 3D зображенні, одразу у спеціальних програмах, визначають вплив форм кузова на аеродинамічні характеристики, навантаження, притисні сили, тощо. Тому на сьогоднішній завдання зміни технічного оснащення автомобіля без попереднього моделювання – це складний, довготривалий процес [1], який часто вимагає звернень до спеціалізованих підприємств, фахівців. В таких випадках застосовують 3D моделювання. Відомі два способи створення 3D зображення: сканування [2-4] та моделювання [3, 6-10].

**Мета дослідження.** Оцінка можливостей застосування сучасних 3D редакторів для моделювання зовнішніх поверхонь кузова автомобіля в тривимірному просторі.

**3D-моделювання.** Модель повністю відповідає об'єкту реального автомобіля. У комп'ютерній графіці 3D-моделювання – це процес розробки математичного подання будь-якої тривимірної поверхні об'єкта за допомогою програмного забезпечення. Продуктом моделювання є 3D-модель. Вона може бути представлена у вигляді програмного коду або відображена за допомогою двовимірного зображення, яке створюється за допомогою процесу рендерингу. Рендеринг (візуалізація) – побудова проєкції відповідно до обраної фізичної моделі. До найбільш поширених систем рендерингу відносять: V-Ray, FinalRender, Brazil R/S, BusyRay, Keyshot та інші.

Переваги та недоліки тривимірної графіки. Переваги: реалістичність візуалізації засобу, можливість використання тривимірних об'єктів для створення додатків, легкість трансформацій об'єктів.

Недоліки: значний обсяг файлів, програмна залежність, висока вартість різних 3D-редакторів.

3D-моделі використовують набір точок в 3D-просторі, поєднаних між собою різноманітними геометричними об'єктами (трикутниками, лініями тощо).

**Методи 3D моделювання.** 3D моделі створюються в CAD-системах (або в CAD / CAM-системах) наявними в них засобами геометричного моделювання. Модель зберігається в системі як деякий математичний опис і відображається на екрані у вигляді просторового об'єкта.

Сплайн (англ. Spline – планка, рейка) – функція, область визначення якої розбита на частки, а кожна із часток являє собою функцію, деякий поліном (многочлен).

Сітка точок інтерполяції може суттєво впливати на ефективність розрахунків. Важливими є випадки рівномірної сітки, при цьому відстань між точками повинна бути кратною відстані між вузлами сплайну.

Деякі різновиди 3D сітки показані на рисунку 1. Вона буває трикутна або квадратна. Трикутників найчастіше намагаються уникати, через те, що при модифікації можуть виникати певні спотворення, внаслідок чого створюється уява неправильної геометрії 3D-моделі, також не виключається і пошкодження якості самої моделі.

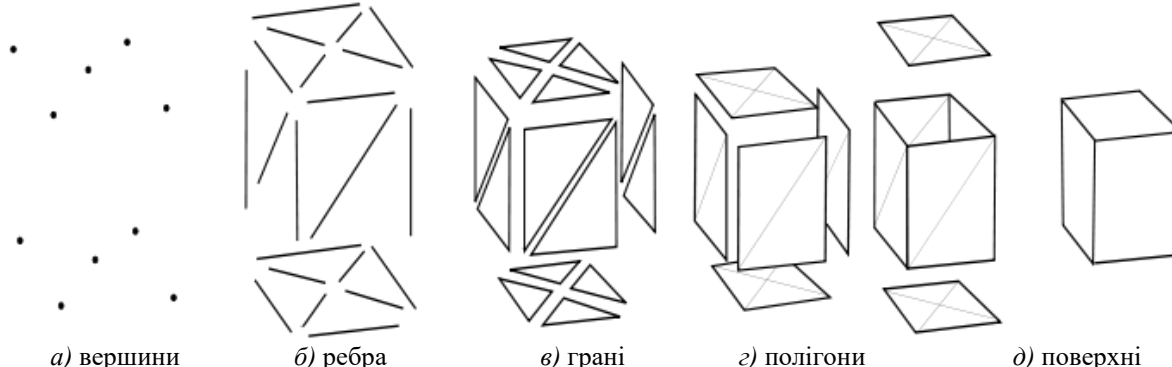


Рис. 1. Різновиди сітки при моделюванні сплайнами

Сама сітка складається з вершин та ребер. Ребра між собою утворюють грані, з граней складаються полігони. З полігонів складаються поверхні, а з поверхонь – 3D модель.

Полігональна сітка буває низько полігональною, середньо полігональною та високо полігональною.

Низько полігональні моделі (рис. 2) характерні низькою якістю деталізації, дуже малою кількістю полігонів, нехтуванням багатьох деталей тощо. Такі моделі використовуються як фонові, наприклад, натовп на трибунах або припаркований автомобіль.

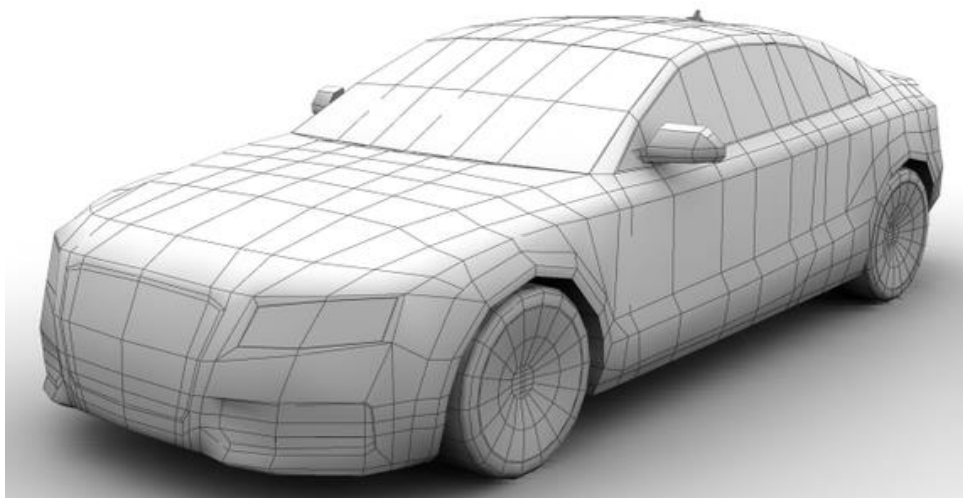


Рис. 2. Приклад низько полігональної моделі

Середньо полігональні моделі (рис. 3), як правило, – золота середина. В такому сегменті намагається працювати більшість спеціалістів. Такі моделі мають середній рівень деталізації, правильну геометрію, середню кількість полігонів; до того ж придатні для рендерингу, ігрової індустрії та інженерії.

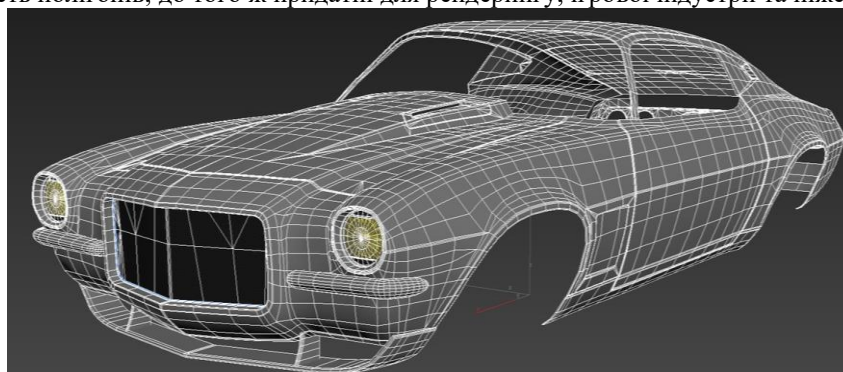


Рис. 3. Приклад середньо полігональної моделі

Деколи середньо полігональну модель важко відрізнити від високо полігональної, через використання якісних текстур та рельєфних (bump) текстур. Такі текстури надають об'єм площині (рис. 4).



Рис. 4. Приклад використання рельєфних текстур

Високо полігональні моделі (рис. 5) характеризуються найвищою якістю та деталізацією, дуже значною кількістю полігонів, відтворенням всіх деталей моделі до подробиць. Такі моделі використовуються під час проектування, оскільки також можуть бути дуже точними. Але працювати з такими моделями дуже важко, оскільки робота з ними потребує значних часових ресурсів.

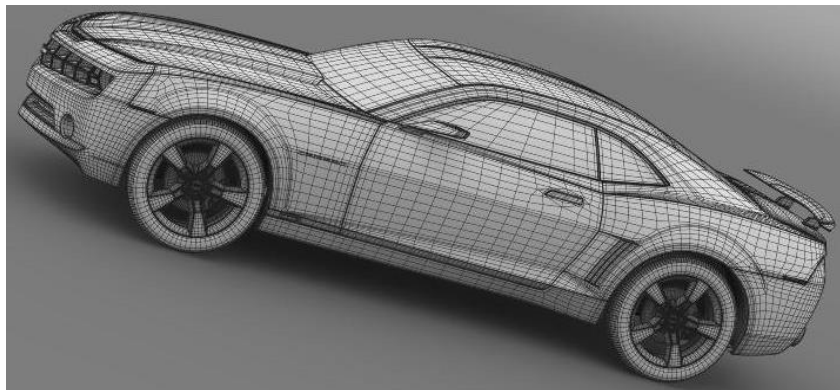


Рис. 5. Приклад високо полігональної моделі

**Комп'ютерна графіка та її додатки.** Графічне зображення три-вимірних об'єктів відрізняється тим, що включає побудову геометричної проекції тривимірної моделі сцени на площину за допомогою спеціалізованих програм. Однак зі створенням і впровадженням 3D-дисплеїв і 3D-принтерів тривимірна графіка не обов'язково включає в себе проектування на площину.

Для створення комп'ютерної графіки використовують безліч різних додатків. Умовно їх можна розділити на наступні групи:

1. Програми для цифрового скульптинга (Pixologic ZBrush, Autodesk Mudbox).
2. Ігрові движки (Unreal Engine 4, Unity 5, CryEngine 3).
3. Вузкоспеціалізовані програми, що налаштовані під конкретні завдання (анімація рідин – RealFlow, створення текстур – Mari та інше).
4. Універсальні 3D редактори (3Ds Max, Cinema 4D, Maya, тощо).

Більш повно розглянемо універсальні 3D редактори, оскільки вони містять необхідні інструменти для моделювання форм кузова, анімації та візуалізації.

**3Ds Max** – «піонер» серед 3D редакторів, дуже популярний інструмент №1 у виборі багатьох початківців та фахівців. Займає провідні позиції в сфері дизайну та архітектурної візуалізації. Часто використовується в ігровій індустрії.

Цей редактор (рис. 6) забезпечує наступні можливості: моделювання на підставі полігонів, сплайнів і NURBS (математична форма, що застосовується в комп'ютерній графіці для генерації та подання кривих і поверхонь); розширені шейдери Shader FX (редактор у режимі реального часу, який дозволяє легко створювати розширення перегляду за допомогою під'єднання різних вузлів затінення); підтримку нових і вдосконалених механізмів (фірмових засобів рендерингу) Iray і Mental ray; підтримку роботи з анімацією; імпорт з програмними комплексами Revit і SketchUp; інтеграцію композитинга (створення повноцінного зображення, методом зшивання декількох шарів фото- або відеоматеріалів).

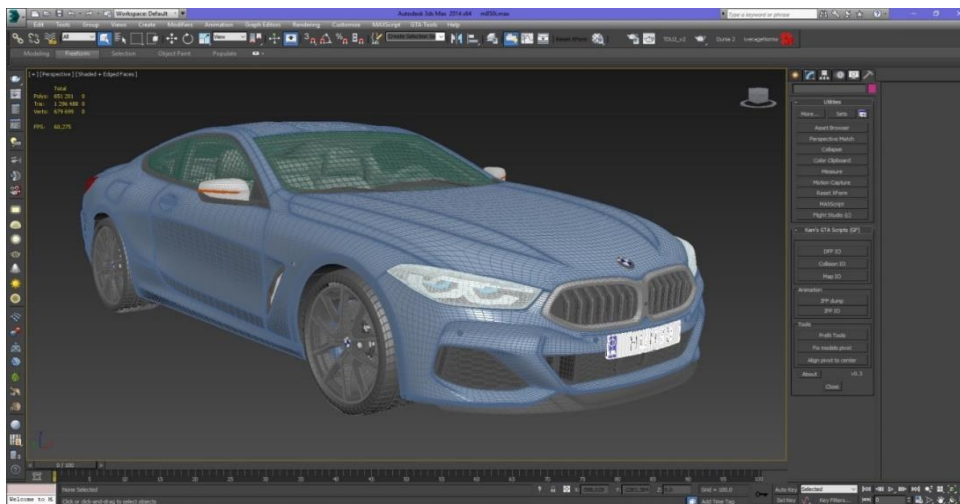


Рис. 6. 3D-модель автомобіля BMW M850i

Переваги: величезний функціонал, безліч плагінів (безкоштовних або платних доповнень будь-якого характеру) і навчальної інформації, наявність безкоштовної версії для студентів. Недоліки: складний для оволодіння та використання; величезний спектр можливостей не завжди забезпечує стабільність роботи, висока ціна за комерційну версію програми.

**Maya** – промисловий стандарт 3D графіки в кіно і телебаченні. Редактор Maya (рис. 7) популярний серед великих студій і масштабних проєктів в рекламі, кіно, ігрової індустрії. Пакет ідеальний для створення анімації.

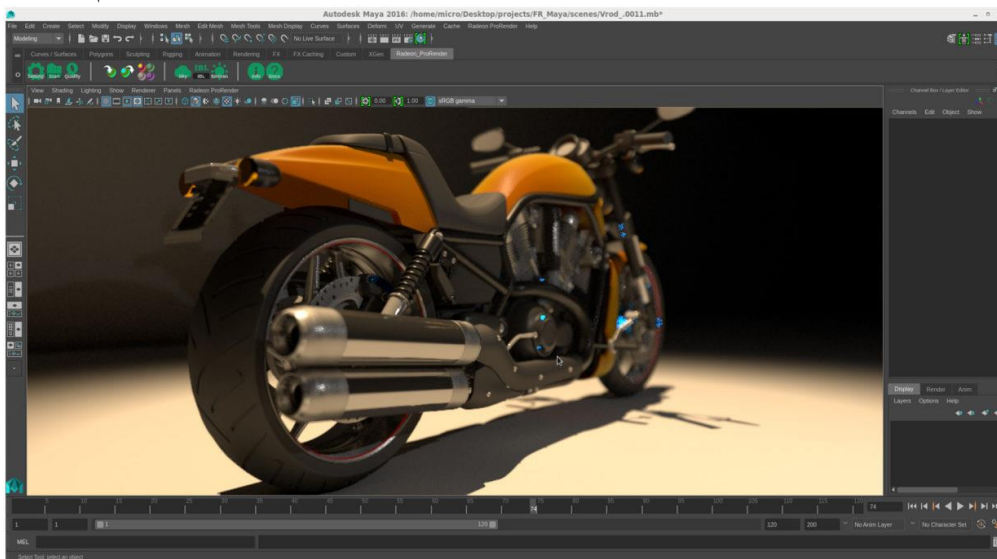


Рис. 7. Рендеринг 3D-моделі мотоциклу в програмі Maya

Забезпечує такі можливості: повний набір інструментів для NURBS- і полігонального моделювання; надпотужні засоби анімації; технологія Maya Fur; технологія Maya Fluid Effects; динаміка твердих і м'яких тіл (надання реалістичності твердим та рідким тілам, наприклад, желатин); широкий набір засобів створення динамічних спеціальних ефектів; UV-текстури (2D-зображення, що накладаються на тривимірні об'єкти), нормалі та колірне кодування; багатопроцесорний гнучкий рендеринг. Переваги: величезний функціонал і можливості. Недоліки: тривале, складне навчання, вибагливий до системи, ціна.

**Cinema 4D** – один з найкращих і найбільш зручних 3D пакетів на сьогоднішній день (рис. 8). В порівнянні з попередньо означеними редакторами Величезний функціонал найбільш зрозумілий і зручний інтерфейс ніж у 3Ds Max і Maya. Широко використовується в моушен-дизайні, кіноіндустрії та рекламі.

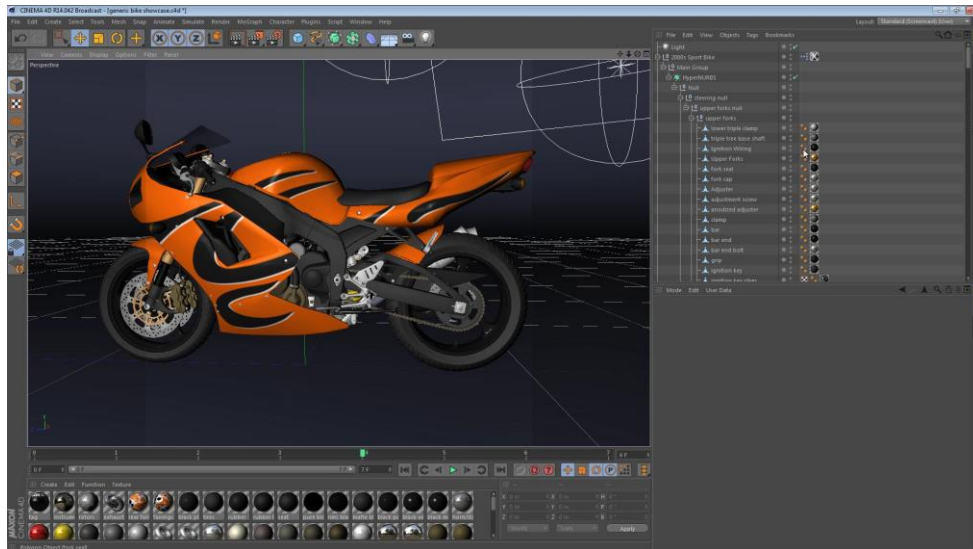


Рис. 8. Сцена для рендерингу в програмі Сінета 4D

Можливості редактора наступні: полігональне і NURBS-моделювання; BodyPaint 3D (модуль для створення розгорток UV і карт текстур); генерація і анімація об'єктів; динаміка м'яких і твердих тіл; модуль для створення реалістичних волосся; система частинок Thinking Particles тіл (одне з найпотужніших рішень для створення різних ефектів, заснованих на масивах об'єктів: починаючи від дощу, диму, вогню та закінчуючи масштабними руйнуваннями); має зручний у використанні вбудований візуалізатор. Переваги: легкість в освоєнні, зручний та зрозумілий інтерфейс, відмінний функціонал, має безліч навчальних матеріалів, забезпечує тісний зв'язок з Adobe After Effects тощо. Недоліки: система переходу між версіями продукту недостатньо налаштована.

**Blender** – єдиний, серед перелічених, безкоштовний 3D пакет (рис. 9), який практично не поступається за функціоналом платним програмам.



Рис. 9. Робота з 3D-моделлю автомобіля в програмі Blender

Редактор Blender включає в себе засоби для 3D моделювання, анімації, а також набір опцій для створення ігор, візуальних ефектів і скульптинга. Завдяки підтримці Blender Foundation, програма набула швидкого і стабільного розвитку.

Можливості редактору: полігональне моделювання, сплайни, NURBS-криві і поверхні; режим ліплення; динаміка твердих і м'яких тіл; скелетна анімація; вбудовані механізми рендеринга та інтеграція зі сторонніми візуалізатором; редактор відео; функції створення ігор і додатків (Game Blender).

Переваги: доступність, відкритий код, невеликий розмір (близько 50 МБ), широкий функціонал, можливість створення ігор. Недоліки: відсутність документації для базової поставки.

**Unity** – середовище розробки комп'ютерних ігор (рис. 10). Unity дозволяє створювати додатки, що працюють під більш ніж 20 різними операційними системами, що включають персональні комп'ютери, ігрові консолі, мобільні пристрої, інтернет-додатки та інші.

Основними перевагами Unity є наявність візуального середовища розробки, міжплатформеної підтримки і модульної системи компонентів. До недоліків відносять появу складнощів при роботі з багатокомпонентними схемами і труднощі при підключенні зовнішніх бібліотек.

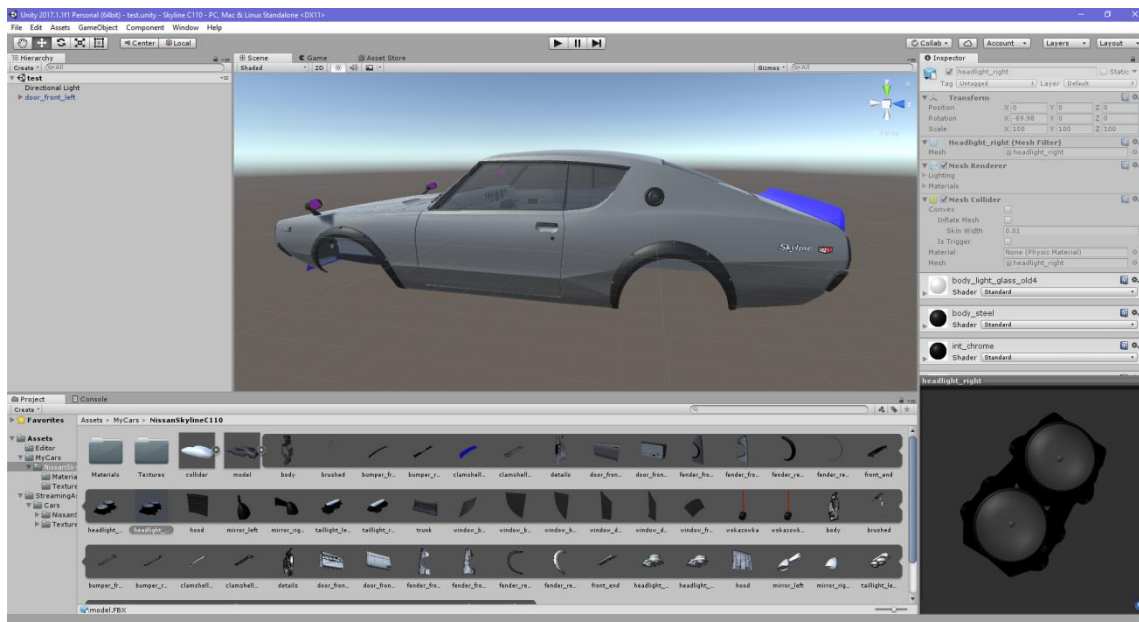


Рис. 10. Робота з 3D-моделлю автомобіля в програмі Unity

### Шляхи практичного використання моделювання поверхонь кузова.

**Врахування аеродинамічних характеристик.** Аеродинамічний опір не залежить від маси автомобіля. Площа фронтальної проекції автомобіля визначається формою кузова і вимогам щодо забезпечення комфортного розташування водія і пасажирів на сидіннях. Потужність двигуна, необхідна для подолання аеродинамічного опору:

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

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

Розглянемо рівняння Бернуллі, виражене через тиск. Тиск буває повним, статичним і динамічним. Повний тиск складається з статичного і динамічного тисків:

$$P_{\text{повн.}} = P_{\text{стат.}} + \frac{\rho V^2}{2}, \quad (2)$$

де  $\rho$  – густина газу,  $V$  – швидкість.

Статичний тиск не залежить від швидкості. Тобто в рухомому з деякою швидкістю потоці для того, щоб заміряти статичний тиск, необхідно рухатися зі швидкістю потоку. У цьому випадку швидкість потоку щодо вимірювального пристрою (манометра) дорівнюватиме нулю.

Динамічний тиск, навпаки, залежить від швидкості. Причому, що дуже важливо, не просто від швидкості, а від квадрата швидкості.

В свою чергу вплив потоку повітря на автомобіль зводять до аеродинамічних сил (рис. 11). Сила лобового опору, спрямована в бік, протилежна руху автомобіля, а підйомна сила, перпендикулярна площині, в якій рухається автомобіль, негативна підйомна сила називається притисковою і спрямована зверху вниз.

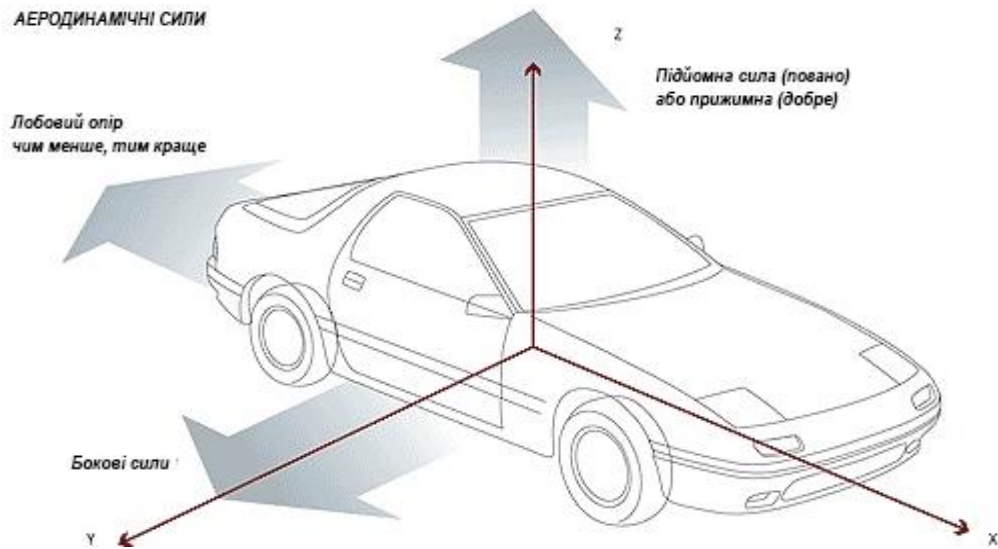


Рис. 11. Вплив потоку повітря на автомобіль

На витрату палива та динамічні характеристики, особливо при великих швидкостях руху, значний вплив чинить опір повітря (аеродинамічний опір). Сила аеродинамічного опору  $F_x$  пропорційна квадрату швидкості та розраховується за формулами:

$$F_x = C_x \frac{\rho V^2}{2} S; \quad (3)$$

$$F_y = C_y \frac{\rho V^2}{2} S;$$

де  $S$  – площа фронтальної проекції автомобіля,  $m^2$ ;  $V$  – швидкість руху автомобіля відносно повітря,  $m/s$ ;  $\rho$  – щільність повітря,  $kg/m^3$ ;  $C_x$ ,  $C_y$  – коефіцієнт аеродинамічного опору.

Коефіцієнти аеродинамічного опору (показані нижче в табл. 1), вони залежно від форми кузова автомобіля змінюються в широкому діапазоні.

Таблиця 1

## Аеродинамічний опір різних автомобілів

Кузов автомобіля	Коефіцієнт опору повітря $C_x$	Потужність автомобіля, що необхідна для подолання аеродинамічного опору (кВт), при площі фронтальної проекції $2 m^2$ та швидкості		
		40 км/ч	80 км/ч	120 км/ч
Відкритий чотиримісний	0,7–0,9	1,18–1,47	9,6–11,8	31,0–40,5
Закритий, що налічує кути та грані	0,6–0,7	0,96–1,18	8,0–9,6	26,4–30,8
Закритий, з закругленням кутів та граней	0,5–0,6	0,80–0,96	6,6–8,0	22,0–26,4
Закритий понтоподібний	0,4–0,5	0,66–0,80	5,2–6,6	17,6–22,0
Закритий, добре обтічний	0,3–0,4	0,52–0,66	3,7–5,2	13,2–17,6
Закритий, аеродинамічно досконалий	0,20–0,25	0,33–0,44	2,6–3,3	9,8–11,0
Вантажний автомобіль	0,8–1,5	–	–	–
Автобус	0,6–0,7	–	–	–
Автобус з добре обтічним кузовом	0,3–0,4	–	–	–
Мотоцикл	0,6–0,7	–	–	–

Коефіцієнт аеродинамічного опору встановлюється продувкою автомобіля або його макета в аеродинамічній трубі або наближено в ході експлуатаційних випробувань. При випробуваннях в аеродинамічній трубі на макетах виходять менш точні значення, ніж при тих же випробуваннях на реальних автомобілях. Це викликано тим, що на зміну опору повітря впливають неточності виготовлення деяких вузлів і деталей автомобіля: ручок дверей, днища кузова, бамперів, дзеркал заднього виду, тощо. Крім того, значний вплив на величину  $C_x$  надає повітря, що проходить в кузов для охолодження та вентиляції. Також випробування можна провести за допомогою точної 3D-моделі автомобіля. Дані, отримані після віртуальних випробувань можуть відрізнятись від отриманих на практиці, але наближені до реальних.

Отже на практиці розроблені 3D-моделі кузова автомобіля дозволяють проводити дослідження аеродинамічного опору автомобіля в програмному середовищі без вартісних експериментальних досліджень.

Моделювання дозволяє покращити навіть аеродинамічний опір днища автомобіля (рис. 12), адже всі елементи своїми виступаючими частинами гальмують потік, роблять протяг під днищем вихровим (турбулентним), що призводить до зниження швидкості потоку і зростання статичного тиску. Тому, якщо заглянути під сучасний автомобіль, то можна побачити лише рівне дно з пластиковими накладками, що приховують отвори і виступаючі елементи (рис. 12).

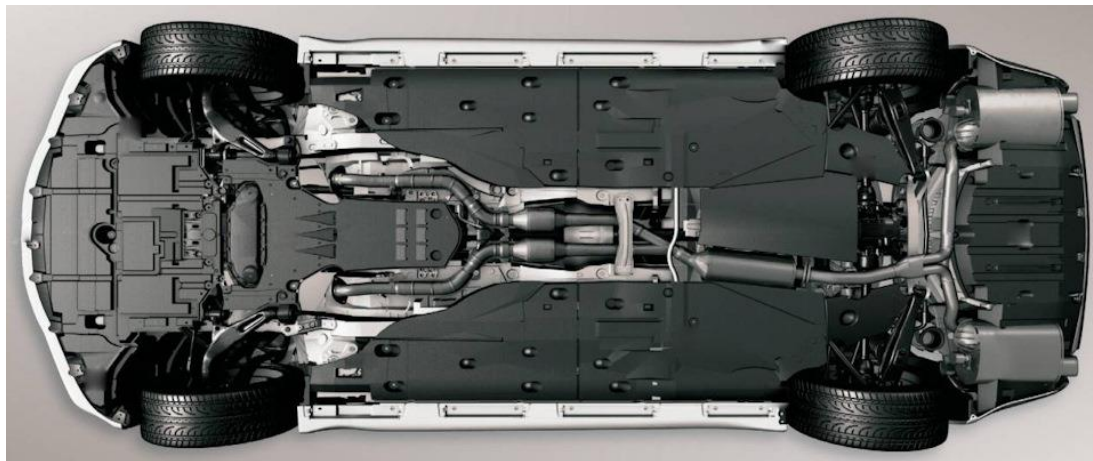


Рис. 12. Аеродинамічне днище автомобіля Lexus IS350

**Висновки.** В роботі розглянуті основні принципи і методи 3D моделювання зовнішніх форм автомобіля та наступні універсальні 3D редактори: 3Ds Max, Maya, Cinema 4D, Blender, Unity, проаналізовані переваги та недоліки їх застосування. Були визначені такі групи існуючих додатків для 3D моделювання: програми для цифрового скульптингу (Pixologic ZBrush, Autodesk Mudbox); ігрові движки (Unreal Engine 4, Unity 5, CryEngine 3); вузькоспеціалізовані програми, що налаштовані під конкретні завдання (анімація рідин – RealFlow, створення текстур – Mari та інше); універсальні 3D редактори (3Ds Max, Cinema 4D, Maya, тощо). Запропонований підхід забезпечує достатній рівень візуалізації об'єму кузова легкового автомобіля та дозволяє: створювати в тривимірному просторі складові кузова, в тому числі для особливо складних поверхонь; розробляти нові модифікації моделі; отримувати якісну текстуру; поліпшити якість створеної поверхні; заощаджувати час на моделювання складних поверхонь.

#### Список використаної літератури:

1. Буда А.Г. Моделювання зовнішніх поверхонь легкового автомобіля в тривимірному просторі за допомогою сплайнів // А.Г. Буда, В.П. Кужель, А.Р. Юров // Вісник Машинобудування та транспорту. – 2018. – № 1 (7). – С. 26–34.
2. Кужель В.П. Моделювання зовнішніх поверхонь кузова автомобіля Toyota Land Cruiser 200 за допомогою сплайнів / В.П. Кужель, А.Г. Буда, А.Р. Юров // Матеріали VI міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 12–13 квітня 2018 р. : збірник наукових праць. – Вінницький національний технічний університет. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – С. 110–113 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://atmconf.vntu.edu.ua/material2018.pdf>.
3. Буда А.Г. Графічні моделі конструювання форм кузова автомобіля / А.Г. Буда, В.П. Кужель, А.Р. Юров // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. – Луцьк : Луцький НТУ, 2016. – Вип. 1 (5). – С. 32–37.
4. Кужель В.П. Варіанти моделювання зовнішніх форм автомобіля застосуванням сучасних технологій 3D графіки / В.П. Кужель, А.Г. Буда, А.Р. Юров // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал. – Луцьк : Луцький НТУ, 2018. – Вип. № 1 (10). – С. 38–43.
5. Кужель В.П. До питання варіантів моделювання зовнішніх поверхонь кузова легкового автомобіля / В.П. Кужель, А.Г. Буда, А.Р. Юров : матеріали X міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 23–25 жовтня, 2017 : збірник наукових праць. – Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – С. 114–116.
6. Юров А.Р. Візуалізація об'ємного рішення кузова легкового автомобіля / А.Р. Юров : тези XLIV 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. – 2015 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2015/pdf>.
7. Юров А.Р. Використання нових додатків САД-системи для графічного моделювання кузова автомобіля / А.Р. Юров : 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 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2016/pdf5>.
8. 3d spline model of the body F2003 GA [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу : <http://www.sharecg.com/v/16409/3d-model/3d-spline-model-of-the-body-F2003-GA#>
  9. Дж. Лу Трёхмерная графика и анимация / Дж.Лу, Б.Уэр. – М. : Вильямс, 2002. – 2-е изд. – 640 с.
  10. Making of 'Mercedes S Class Millau' By Ali Ismail. – Access mode : <https://www.3dtotal.com/tutorial/1111-making-of-mercedes-s-class-millau-3ds-max-photoshop-by-ali-ismail-vehicle-car-mercedes-s-class>.

#### References:

1. Buda, A.H., Kuzhel, V.P. and Yurov, A.R. (2018), «Modeliuvannia zovnishnikh poverkhon lehkovo avtomobilia v tryvymirnomu prostori za dopomohoiu splainiv», *Visnyk Mashynobuduvannia ta transportu – Journal of Mechanical Engineering and Transport*, No. 1 (7), Pp. 26–34.
2. Kuzhel, V.P., Buda, A.H. and Yurov, A.R. (2018), «Modeliuvannia zovnishnikh poverkhon kuzova avtomobilia Toyota Land Cruiser 200 za dopomohoiu splainiv», *Materialy VI mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi internet konferenciyi «Suchasni tehnologiyi ta perspektvy rozvytku avtomobilnogo transportu»*, 12–13 kvitnya, *zbirnyk naukovykh prac'*, *Vinnyc'kyj nacional'nyj tehnicnyj universytet*, VNTU, Vinnycya, available at: <http://atmconf.vntu.edu.ua/material2018.pdf>
3. Buda, A.H., Kuzhel, V.P. and Yurov, A.R. (2016), «Hrafichni modeli konstruiuvannia form kuzova avtomobilia», *Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni ta transporti – scientific journal of technology in engineering and transport*, No. 1 (5), Pp. 32–37.
4. Kuzhel, V.P., Buda, A.H. and Yurov, A.R. (2018), «Varianty modelyuvannia zovnishnix form avtomobilya zastosuvanniam suchasnykh tehnologij 3D grafiky», *Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni ta transporti – Naukovyj zhurnal*, No. 1 (10), Pp. 38–43.
5. Kuzhel, V.P., Buda, A.H. and Yurov, A.R. (2017), «Do pytannya variantiv modelyuvannia zovnishnix poverxon kuzova legkovogo avtomobilya», *Materialy X mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferenciyi «Suchasni tehnologiyi ta perspektvy rozvytku avtomobilnogo transportu»*, 23–25 zhovtnya, *Zbirnyk naukovykh prac'*, *Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy*, *Vinnyc'kyj nacionalnyj tehnicnyj universytet*, VNTU, Vinnycya, Pp. 114–116.
6. Yurov, A.R. (2015), «Vizualizaciya ob'yemnogo rishennya kuzova legkovogo avtomobilya», *Tezy XLIV regional'noi nauk.-texn. konf. prof.-vykl. skladu, spivrobotnykiv ta studentiv universytetu z uchastyu pracivnykiv nauk.-dosl. organizacij ta inzh.-texn. pracivnykiv pidpryemstv m. Vinnyci ta oblasti*, available at: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2015/pdf>
7. Yurov, A.R. (2016), «Vykorystannia novykh dodatkov CAD-systemy dlya grafichnogo modelyuvannia kuzova avtomobilya», *Tezy XLV regionalnoyi nauk.-texn. konf. prof.-vykl. skladu, spivrobotnykiv ta studentiv universytetu z uchastyu pracivnykiv nauk.-dosl. organizacij ta inzh.-texn. pracivnykiv pidpryemstv m. Vinnyci ta oblasti*, available at: <http://conf.vntu.edu.ua/allvntu/2016/pdf5>
8. Sharecg «3d spline model of the body F2003 GA», available at: <http://www.sharecg.com/v/16409/3d-model/3d-spline-model-of-the-body-F2003-GA#>
9. Ly, Dzh. and Ujer, B. (2002), *Trjohmernaja grafika i animacija*, Vyliams, 640 p.
10. 3dtotal «Making of 'Mercedes S Class Millau' By Ali Ismail», available at: <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 – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Автомобілі та транспортний менеджмент», Вінницький національний технічний університет.

Наукові інтереси:

- математичне моделювання;
- дослідження безпечних режимів руху автомобілів за умов недостатньої видимості;
- поліпшення автотехнічної експертизи ДТП в умовах неточності та невизначеності вихідних даних.

E-mail: [kuzhel2017@gmail.com](mailto:kuzhel2017@gmail.com).

**Буда** Антоніна Героніївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Комп'ютерного еколого-економічного моніторингу та інженерної графіки», Вінницький національний технічний університет.

Наукові інтереси:

– аналіз та обробка геометричних зображень.

E-mail: [antbu@ukrnet.ua](mailto:antbu@ukrnet.ua).

**Юров** Андрій Русланович – магістрант кафедри «Автомобілі та транспортний менеджмент», Вінницький національний технічний університет.

Наукові інтереси:

- 3D моделювання.

E-mail: [streetking12@yandex.ua](mailto:streetking12@yandex.ua).

Стаття надійшла до редакції 14.09.2018.