

**В. М. Павленко<sup>1</sup>**  
**В. П. Кужель<sup>2</sup>**  
**В. М. Мануйлов<sup>3</sup>**  
**О. В. Корнєв<sup>3</sup>**

## ОСОБЛИВОСТІ АЕРОДИНАМІКИ АВТОМОБІЛЯ ПРИ БІЧНОМУ КОВЗАННІ

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет,

<sup>2</sup>Вінницький національний технічний університет,

<sup>3</sup>Національна академія Національної гвардії України

*Ця робота спрямована на пошук методу визначення критичних кутів прискорень для NISSAN 350Z (на різних швидкостях), при яких починається розворот автомобіля та знаходження способів коригування кутів прискорень при ковзанні за допомогою динамічної зміни кута атаки заднього антикрила.*

*У дрифтингу існує проблема, яка впливає не тільки на технічний стан автомобіля, але і на безпеку гонщика і глядачів. Проблема полягає у надмірному кутівому прискоренні під час занесення при температурі шин вище критичної точки (100–120 градусів), що призводить до втрати контролю над автомобілем на швидкості до 160 км/год.*

*Метою дослідження є визначення методу коригування кутівому прискорення при ковзанні автомобіля, які можливо використовувати у створенні електронної системи, що автоматично змінює кутове прискорення при ковзанні автомобіля.*

*Авторами, для визначення аеродинамічних коригувань кутівому прискорення при ковзанні автомобіля було визначено два основні дослідницькі підходи, це визначення кутів прискорень при ковзанні та спосіб коригування кутів прискорень.*

*В результаті виконаної роботи досліджено особливості аеродинаміки автомобілів, які використовують для дрифтингу; проведено розрахунок аеродинамічних лобових та бічних опорів повітря під час руху автомобіля; визначено спосіб знаходження кутів прискорень при ковзанні автомобіля; визначено підхід до аеродинамічного коригування кутів прискорень автомобіля при ковзанні, яку можна використовувати для подальшого проектування системи, що автоматично регулює кутів прискорення, та побудови моделі автомобіля.*

*Для остаточного підтвердження результатів статті необхідно провести випробування, які полягають у продуванні автомобіля в аеродинамічній трубі (під кожним колесом будуть встановлені ваги), таким чином можна визначити чисельні значення притисної сили заднього антикрила при різних кутах атаки. Також у випробуваннях необхідно провести дослідження аеродинаміки при бічному ковзанні та можливості впливу на кутів прискорення (через збільшення навантаження на задню вісь).*

**Ключові слова:** автомобіль, аеродинаміка, дріфт, занос, ковзання, керування, антикрило, колесо, шина, кут атаки.

### Постановка проблеми

Дріфтинг (англ. Drift) – вид автоспорту, що характеризується проходженням поворотів з навмисним зривом задньої осі і прохід в керованому заносі на максимально можливій для утримання на трасі кутів швидкості. Передні колеса весь час повернені в протилежну до повороту сторону. Автомобіль йде під кутом до траєкторії руху, і сила, що рухає автомобіль в звичайних умовах вперед, на дузі повороту при керованому заносі розкладається на дві складові: радіальна – утримує автомобіль на кривій і спрямована перпендикулярно їй; тангенціальна – спрямована по дотичній до траєкторії і здійснює рух

Чим більший кут заносу, тим менша частка потужності йде на рух вперед, а велика – на протидію відцентровій силі. І навпаки: чим менший кут, тим динамічніше прискорення і менша сила, що утримує автомобіль на кривій [1].

Дріфтингом в класичному розумінні є ковзання саме по сухому асфальту на задньопривідному автомобілі. Керування автомобілем в заносі здійснюється за допомогою трьох компонентів [2]: ручне гальмо; кермо; педаль акселератора.

На початку гонки, коли температура шин в плямі контакту з дорожнім покриттям знаходиться нижче критичної точки (враховуючи використання гоночних шин, критична точка коливається від 100 до 120 градусів) (рис. 1а), для початку заносу необхідно заблокувати задню вісь за допомогою ручного

гальма. Блокування задньої осі продовжується до тих пір, поки автомобіль не досягне необхідного кута заносу.

Після чого йде розблокування задньої осі і одночасне вижимання педалі акселератора до упору. Вижимання педалі акселератора призводить до пробуксовки задньої осі. Пробуксовка розігріває шини, доводячи температуру шин до критичної позначки (від 100 до 120 градусів, залежно від використовуваних шин). Ознакою досягнення критичної позначки є виділення диму в плямі контакту шини з дорогою [3].

В процесі гонки, коли температура шин на задній осі знаходиться вище критичної точки, основним завданням гонщика стає управління балансом автомобіля, що ковзає. Необхідно забезпечити ідеальний баланс між силою опору кочення коліс передньої осі і силою опору ковзанню задньої осі.

Сила зчеплення передніх коліс збільшується зі збільшенням кута відведення передніх шин (рис. 1б). Сила зчеплення задніх коліс збільшується в мірі зменшення частоти обертання коліс задньої осі (за рахунок охолодження шин) [4].

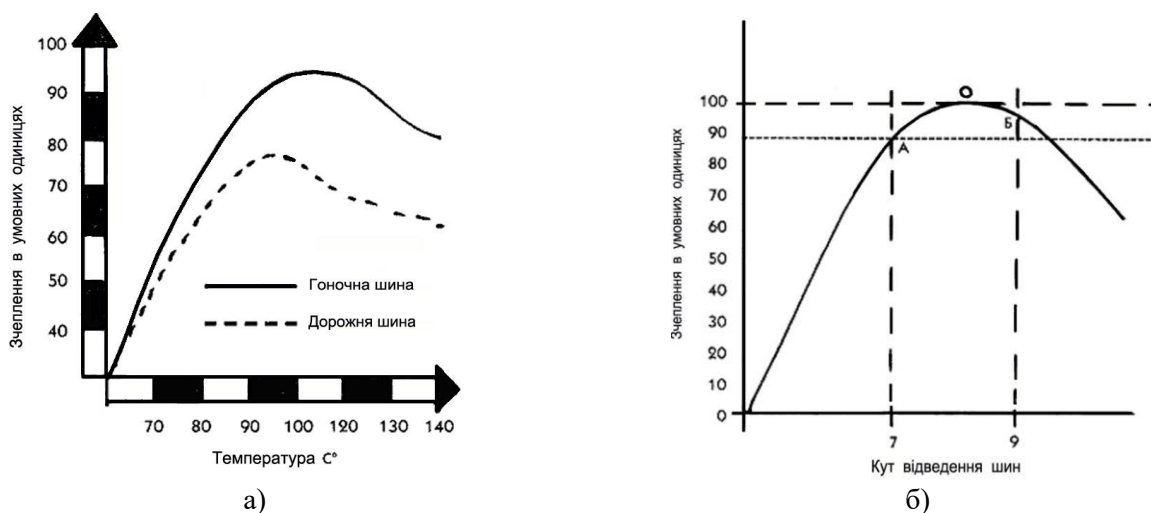


Рис. 1. Графік залежності зчеплення від: а) температури шини та б) відведення шини

### Основна частина

Автомобіль для дрифтингу – це задньопривідна машина з великою потужністю. Класичні автомобілі для дрифтингу це: Nissan Silvia, Nissan 180SX, Nissan Skyline, Nissan Laurel, Mazda RX-7, MazdaRX-8, Toyota Trueno AE86, Nissan 350Z, Nissan 370Z.

Аеродинаміка автомобіля – це розділ аеродинаміки, що вивчає аеродинаміку автомобілів і іншого дорожнього транспорту [5].

Головні цілі автомобільної аеродинаміки це: зменшення опору повітря і, як наслідок, збільшення максимальної швидкості і зниження витрати палива; зниження рівня шуму; запобігання появі сил, що піднімають, (забезпечення притискної сили) та інших проявів аеродинамічної нестійкості.

Є відмінності в аеродинаміці автомобілів і аеродинаміці повітряного транспорту. По-перше, характерна форма дорожнього транспорту набагато менш обтічна в порівнянні з повітряним транспортом. По-друге, для автомобілів необхідно враховувати вплив дорожнього покриття на потоки повітря. По-третє, швидкості наземного транспорту набагато менші. По-четверте, в наземного транспорту менше ступенів свободи ніж у повітряного, і його рух менше залежить від аеродинамічних сил. По-п'яте, наземний транспорт має особливі обмеження у зовнішньому вигляді, пов'язані з високими вимогами безпеки. І, нарешті, більшість водіїв наземного транспорту менш навчені, ніж пілоти і зазвичай водять, не прагнучи досягти максимальної економічності [5].

Сила горизонтального опору повітря обчислюється за формулою

$$P_o = (\rho \cdot c_x \cdot S \cdot V^2) / 26, \quad (1)$$

де  $\rho$  – щільність повітря;  $c_x$  – коефіцієнт аеродинамічного опору повітря;  $S$  – площа поперечної проекції автомобіля на площину, перпендикулярну напрямку руху, м<sup>2</sup>;  $V$  – швидкість автомобіля, км/год.

З формули видно, що сила опору повітря пропорційна квадрату швидкості. На великих швидкостях сила опору повітря перевершує інші сили опору. З формули також видно, що зменшити силу опору

можна шляхом зменшення коефіцієнта  $c_x$  і зменшення площі поперечної проекції. Наявність сили опору повітря пояснюється тим, що при русі автомобіль стискає повітря, що знаходиться перед ним, і там утворюється зона підвищеного тиску, і розріджує повітря позаду себе, де утворюється область зниженого тиску.

Існує також сила поверхневого тертя, що виникає через тертя між нерівностями поверхні автомобіля і повітрям. Внутрішні об'єми автомобіля також впливають на коефіцієнт опору, і, отже, на силу опору повітря. Вертикальні сили, що створюються опором повітря, обчислюються за формулою [6]

$$Y = (\rho \cdot c_y \cdot S \cdot V^2) / 26, \quad (2)$$

де  $c_y$  – коефіцієнт підйомної сили (для сили притискання він має негативне значення);  $S$  – для автомобіля в цілому зазвичай його лобова площа, але при розгляді крил окремо  $S$  – площа крила в плані і, отже, потрібно знати, до якої площі віднесений коефіцієнт  $c_y$ ;  $\rho$  – щільність повітря;  $V$  – швидкість автомобіля, км/год.

Щільність сухого повітря може бути обчислена з використанням рівняння Клапейрона для ідеального газу при заданих температурі і тиску

$$\rho = (p \cdot M) / R \cdot T, \quad (3)$$

де  $M$  – молярна маса, г/моль;  $p$  – абсолютний тиск, Па;  $R$  – питома газова постійна для сухого повітря (287,058 Дж/(кг·К));  $T$  – абсолютна температура, К.

Таким чином, підстановкою отримуємо:

– при стандартній атмосфері Міжнародного союзу теоретичної і прикладної хімії (температурі 0°C, тиску 100 кПа, нульовій вологості) щільність повітря 1,2754 кг/м<sup>3</sup>;

– при 20°C, 101,325 кПа і сухому повітрі щільність атмосфери складає 1,2041 кг/м<sup>3</sup>.

Під вологістю розуміється наявність в повітрі газоподібної водяної пари, парціальний тиск якої не перевершує тиску насиченої пари для даних атмосферних умов. Додавання водяної пари в повітря призводить до зменшення його щільності, що пояснюється більш низькою молярною масою води (18 г/моль) порівняно з молярною масою сухого повітря (29 г/моль). Вологе повітря може розглядатися як суміш ідеальних газів, комбінація щільності кожного з яких дозволяє отримати необхідне значення для їхньої суміші. Подібна інтерпретація дозволяє визначити значення щільності з рівнем помилки менше 0,2% в діапазоні температур від 10°C до 50°C і може бути виражена таким чином

$$\rho_{humid\ air} = p_d / (R_d \cdot T), \quad (3)$$

де  $p_d$  – парціальний тиск сухого повітря, Па;  $R_d$  – універсальна газова постійна для сухого повітря (287,058 Дж/(кг·К));  $T$  – температура, К.

Тиск водяної пари може бути визначений виходячи з відносної вологості

$$p_v = \varphi \cdot p_{sat}, \quad (4)$$

де  $\varphi$  – відносна вологість;  $p_{sat}$  – парціальний тиск насиченої пари.

Останнє може бути представлено у вигляді такого спрощеного виразу:

$$p(mb)_{sat} = 6.1078 \cdot 10^{\frac{7.5 \cdot T - 2048.62}{T - 35.85}}, \quad (5)$$

яке дає результат в мілібарах. Тиск сухого повітря  $p_d$  визначається простою різницею

$$p_d = p - p_v, \quad (6)$$

де  $p$  – позначає абсолютний тиск даної системи.

Вплив висоти над рівнем моря в тропосфері. Залежність тиску, температури і щільності повітря від висоти в порівнянні із стандартною атмосферою  $p_o = 101325$  Па,  $T_o = 288,15$  К,  $\rho_o = 1,225$  кг/м<sup>3</sup>.

Для обчислення щільності повітря на певній висоті в тропосфері можуть використовуватися такі параметри (у параметрах атмосфери вказано значення для стандартної атмосфери):

- стандартний атмосферний тиск на рівні моря –  $p_o = 101325$  Па ;
- стандартна температура на рівні моря –  $T_o = 288,15$  К ;
- прискорення вільного падіння над поверхнею Землі –  $g = 9,80665$  м/с<sup>2</sup> (для даних обчислень вважається незалежною від висоти величиною);
- швидкість падіння температури з висотою, в межах тропосфери –  $L = 0,0065$  К/м ;
- універсальна газова стала –  $R = 8,31447$  Дж/(моль · К) ;
- молярна маса сухого повітря –  $M = 0,028944$  кг/моль .

Аеродинамічна конструкція гарантує коефіцієнт опору в 0,29 одиниць, а підйомна сила між передньою і задньою осями дорівнює нулю. На високих швидкостях і різких поворотах стійкість зберігається завдяки передньому спойлеру і рівному днищу (рис. 2) [6, 7].



Рис. 2. Аеродинаміка Nissan 350Z

Для детального вивчення характеристик досліджуваного автомобіля треба визначити його лобову площу (рис. 3а) та площу бічної поверхні (рис. 3б).

$$P_{ол} = (\rho \cdot c_x \cdot S_l \cdot V^2) / 26, \quad (7)$$

де  $\rho = 1,1644$  – щільність повітря при  $+ 30^\circ C$  ;  $V = 120$  км/год – швидкість автомобіля;  $S_l = 1,99$  м<sup>2</sup> – площа лобова;  $c_x = 0,29$  – коефіцієнт лобового опору повітря;  $P_{ол} = 372$  Н – сила лобового опору (рис. 4).

$$P_{об} = P_{обн} + P_{обб} \quad (8)$$

Верхня площа

$$S_1 = (0,274\text{м} \cdot 0,445\text{м}) / 2 = 0,0609\text{м}^2;$$

$$S_2 = 0,274\text{м} \cdot 2,613\text{м} = 0,7159\text{м}^2;$$

$$S_3 = (0,237\text{м} \cdot 0,178\text{м}) / 2 = 0,0421\text{м}^2;$$

$$S_4 = (0,410\text{м} \cdot 0,505\text{м}) / 2 = 0,14\text{м}^2;$$

$$S_5 = 0,410\text{м} \cdot 0,505\text{м} = 0,2070\text{м}^2;$$

$$S_6 = (0,410\text{м} \cdot 1,277\text{м}) / 2 = 0,2617\text{м}^2;$$

$$S_{об} = 1,42\text{м}^2.$$

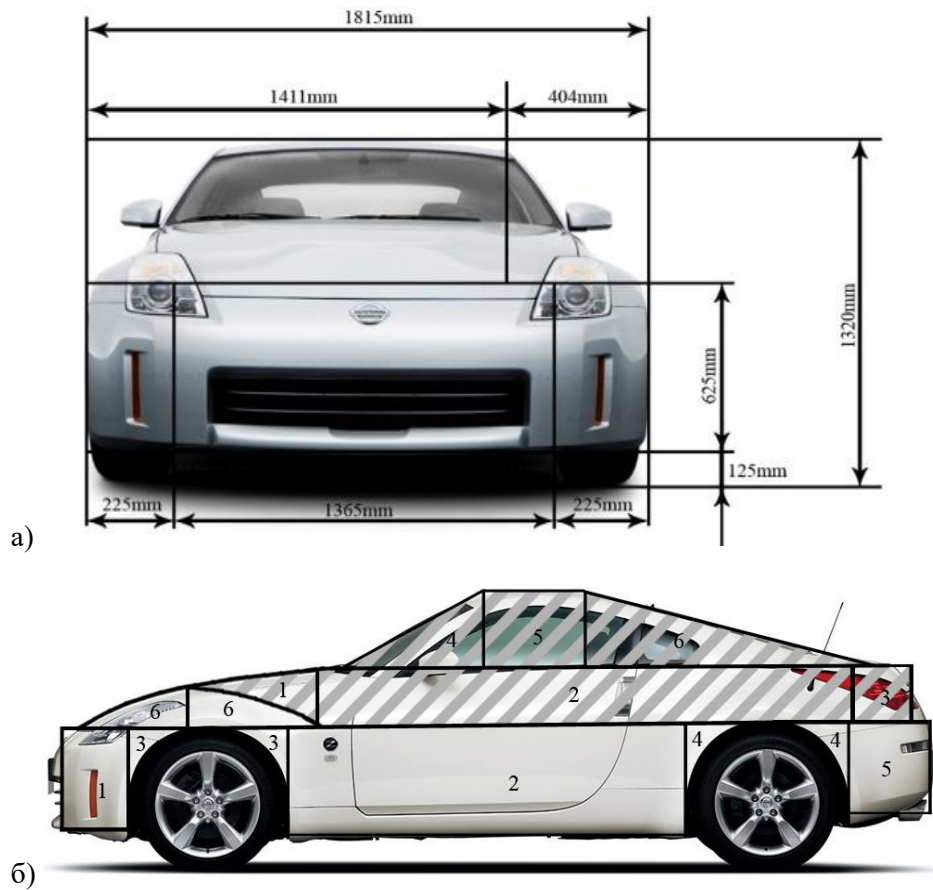


Рис. 3. Площа лобової (а) та бічної (б) проекції Nissan 350Z

Нижня площа:

$$\begin{aligned}
 S_1 &= 0,297\text{ м} \cdot 0,416\text{ м} = 0,1235\text{ м}^2; & S_2 &= 0,505\text{ м} \cdot 1,930\text{ м} = 0,9746\text{ м}^2; \\
 S_3 &= 0,237\text{ м} \cdot 0,297\text{ м} = 0,0703\text{ м}^2; & S_4 &= 0,237\text{ м} \cdot 0,297\text{ м} = 0,0703\text{ м}^2; \\
 S_5 &= 0,475\text{ м} \cdot 0,416\text{ м} = 0,197\text{ м}^2; & S_6 &= 0,564\text{ м} \cdot 0,208\text{ м} = 0,1173\text{ м}^2; \\
 S_7 &= 2 \cdot (\pi \cdot R^2) = 0,8\text{ м}^2; & S_{\text{он}} &= 2,35\text{ м}^2.
 \end{aligned}$$

$$P_{\text{обн}} = (\rho \cdot c_x \cdot S_{\text{он}} \cdot V^2) / 26 = 1818,6\text{ Н};$$

$$P_{\text{обв}} = ((\rho \cdot c_x \cdot S_{\text{обв}} \cdot V^2) / 26) \cdot 0,866 = 951,6\text{ Н}.$$

Графічне зображення сил представлено на рис. 4.

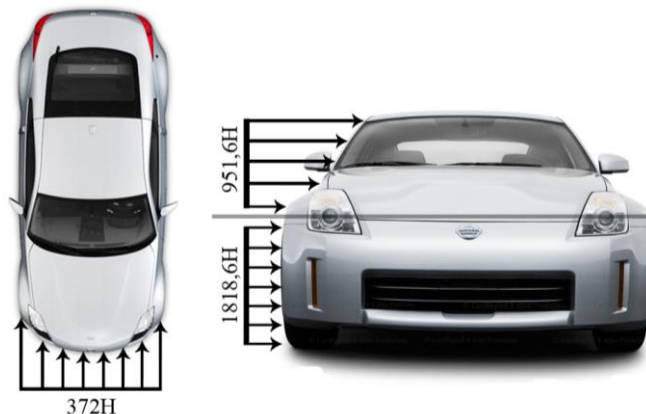


Рис. 4. Дія повітряних потоків на Nissan 350Z

Результати розрахунку повітряного опору руху автомобіля в заносі представлено в табл. 1.

Таблиця 1

**Сили опору повітря при заносі ( $V=120$  км/год)**

Кут/сила	Бічне навантаження, Н	Лобове навантаження, Н	Сума
0 градусів	0	372	372
10 градусів	480,9	366,3	847,2
20 градусів	947,4	349,5	1296,9
30 градусів	1385,1	322,1	1707,2
40 градусів	1780,6	284,9	2065,5
50 градусів	2121,9	239,1	2361
60 градусів	2398,9	186	2584,9
70 градусів	2603,1	127,2	2730,3
80 градусів	2728	64,5	2792,5
90 градусів	2770,2	0	2770,2

Використовуючи формулу розрахунку бічного опору, визначимо розподіл опору повітря в 25 точках і побудуємо графік опору (рис. 5).

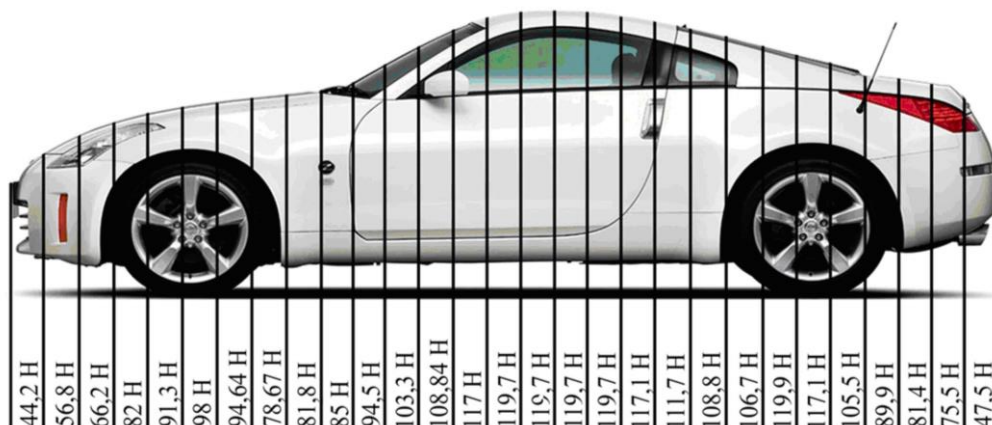


Рис. 5. Розподіл бічного опору повітря

Зміна аеродинаміки NISSAN 350Z можлива за рахунок зміни форми кузова шляхом заміни [8]: бамперів; порогів; капота; спойлера; антикрила.

Дослідження полягає в експериментальному визначенні критичних кутових прискорень для NISSAN 350Z (на різних швидкостях), при яких починається розворот автомобіля, і знаходженні способів коригування кутових прискорень при ковзанні за допомогою динамічної зміни кута атаки заднього антикрила.

Мета дослідження: знайти аеродинамічні методи коригування кутового прискорення при ковзанні автомобіля, які можливо використовувати в створенні електронної системи, що автоматично змінює кутове прискорення при ковзанні автомобіля.

Дослідження складається з двох частин:

- визначення кутових прискорень при ковзанні;
- спосіб коригування кутових прискорень.

При стабільному проходженні повороту (без ковзання задньої осі) передні колеса описують два радіуси: внутрішній і зовнішній. Внутрішній радіус описує праве колесо (жовтий колір), а зовнішній радіус ліве (зелений колір) (рис. 6). Різниця повороту коліс називається кутом Аккермана. При ковзанні автомобіля колеса спрямовані в бік протилежній стороні повороту (відносно поздовжньої осі автомобіля), таким чином виходить, що колесо, яке при стабільному русі описує внутрішній радіус, при ковзанні описуватиме зовнішній радіус повороту [6].

Саме цей параметр грає важливу роль у вивченні кутових прискорень автомобіля в заносі.

Із спостережень за ковзанням автомобіля відомо, що розворот відбувається тоді, коли колесо, що описує внутрішній радіус повороту, починає сповільнюватися, при цьому колесо, що описує зовнішній

радіус, зберігає свою кутову швидкість або прискорюється. Пропонований нами спосіб визначення кутових прискорень автомобіля полягає у вимірюванні частоти обертання коліс передньої осі при ковзанні. Для подовження передньої осі автомобілів в змаганнях по дріфтингу, між гальмівним і колісним дисками встановлюють металеві прокладки. Замість металевих прокладок необхідно встановлювати металеві диски (ДИСК X), на кромках яких знаходяться зуби. На гальмівних супортах кріпляться датчики Холла безпосередньо над металевими дисками із зубами (рис. 7).

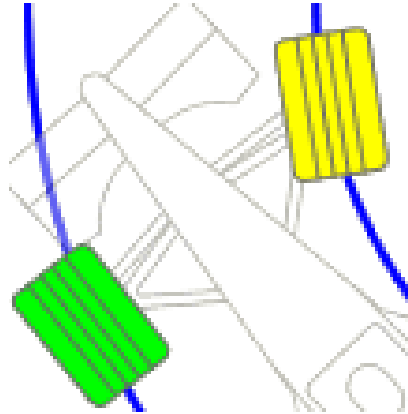


Рис. 6. Рух передньої осі автомобіля в повороті

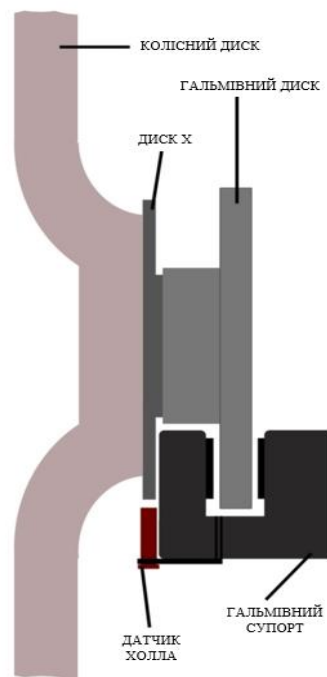


Рис. 7. Система виміру частоти обертання і прискорень колеса

При русі автомобіля, з використанням датчиків Холла, можливо за допомогою осцилографа визначити кутові прискорення передніх коліс і знайти різницю прискорень при якій відбувається розворот автомобіля. Для отримання сигналів з датчиків Холла і порівняння прискорень необхідно два осцилографи (по одному на кожне колесо передньої осі). Для визначення кута повороту коліс необхідний вольтметр (підключається до датчика положення керма, після чого калібрується для визначення поточного положення керма).

Першим запропонував використовувати коло для графічного зображення роботи шини в повороті професор Вунібальд Камм, що працював в технічному університеті в місті Штутгарт, в Германії. Сили, що діють на шину в повороті, можна зобразити векторами. Ця сила може бути великою, середньою або нульовою.

Графік показує, що в даному повороті при бічних прискореннях «В», ми можемо гальмувати настільки інтенсивно «А», щоб результуючий вектор «Б» був не більший, ніж коло, що визначає межу зчеплення шин (рис. 8а). На межі кола шина втрачає зчеплення і автомобіль стає некерованим [4].



Поверхня півсфери професора Камма показує вертикальне прискорення. Вершина повороту може перебувати на пагорбі або на зламі. У цей момент машина стане легшою, а вектор спрямується в напрямку поверхні півсфери, знижуючи зчеплення шини з покриттям дороги. У цей момент здатність шини повертати, розганятися або гальмувати сильно обмежена. За розвантаженням підвіски піде її стискування і неминуче виникне притискна сила – вага машини збільшиться, зчеплення шин покращиться (рис. 8б). Графічно це показується збільшенням кола, що відсоває зону початку ковзання. Це найбільш підходящий момент, щоб гальмувати або повертати [1].

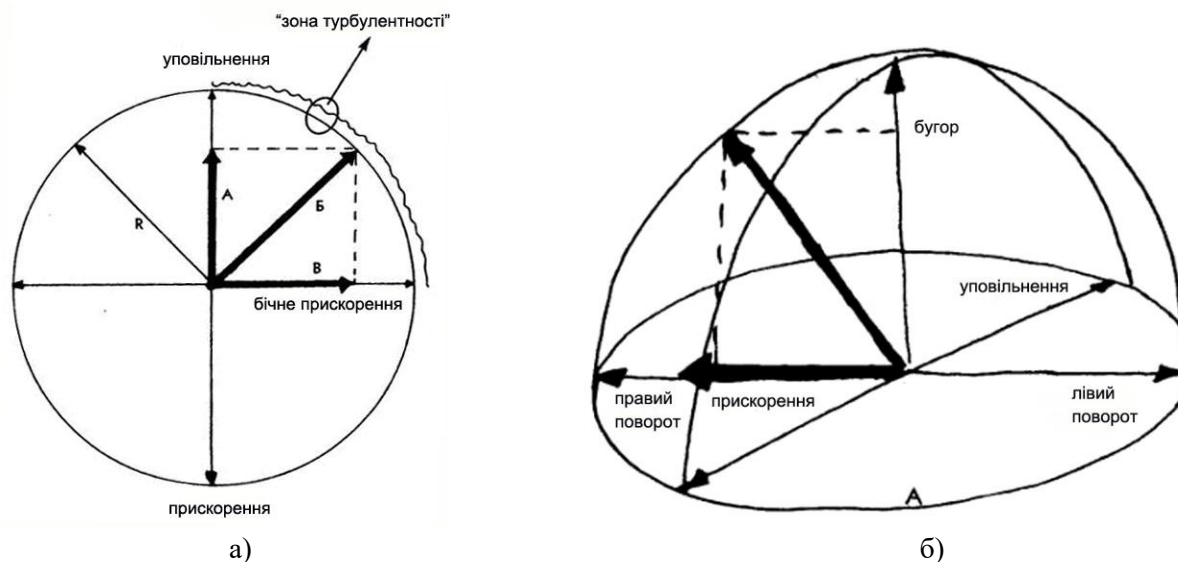


Рис. 8. Коло (а) та півсфера (б) Вунібальда Камма

Аеродинаміка крила. Підйомна сила створюється рухом часток повітря над і під крилом. Її можна отримати або в разі, коли крило літака рухається відносно повітря з деякою швидкістю, або якщо струмінь повітря пустити повз нерухоме крило. Загальна форма крила показана на рисунках: верхня сторона більш опукла, ніж нижня. Однак, у різних типів літаків крила робляться різної форми, відповідно до того, для якої мети будується літак [7].

Підйомна сила залежить від швидкості часток повітря, що обтікають крило. Найменше збільшення їхньої швидкості викликає більш швидке збільшення як підйомної сили, так і лобового опору.

Якщо ми подвоїмо швидкість рухомого крила, підйомна сила збільшиться вчетверо.

Така ж зміна станеться і з лобовим опором. При будь-якій швидкості крила відносно повітря підйомна сила змінюється також і із зміною кута, під яким крило зустрічається з потоком повітря. Не можна забувати, що будь-яка зміна підйомної сили тягне за собою відповідну зміну величини лобового опору, незалежно від того, чи було це викликано зміною швидкості, чи зміною кута. Точка прикладання рівнодійної підйомних сил всіх окремих ділянок крила називається центром тиску (ЦТ).

Кут, під яким крило зустрічається з повітрям, називається кутом атаки. Підйомна сила створюється тільки в тому випадку, якщо цей кут не виходить з певних меж. Для кожного типу крила, залежно від профілю, є певні кути атаки, при яких створюється підйомна сила. Якщо ж вийти з цієї межі, то лобовий опір сильно збільшиться, а підйомна сила стане незначною [9].

Частинки повітря повинні рухатися по верхній площині з більшою швидкістю, ніж по нижній, оскільки їм треба пройти довший шлях, оскільки верхня площина крила більш опукла, ніж нижня. Ця різниця швидкостей, з якою рухаються частинки повітря навколо крила, викликає своєрідне явище «підсосу», величину якого можна виразити в кілограмах, як підйомну силу. То не порожнеча (вакуум), а різниця атмосферного тиску, що створюється над і під крилом. На сучасних літаках ця різниця навряд чи перевершує 1 %. Навіть при цій малій різниці кожен квадратний метр крил багатьох сучасних літаків може нормально підняти вагу в 200 кг і більше.

Покажемо силу атмосферного тиску: якби різниця тиску між нижньою і верхньою поверхнями крила дорівнювала 50 % атмосферного тиску, тоді кожен квадратний метр поверхні крила міг би підняти вагу в 5 т на рівні моря.

Зауважимо, що центр тиску змінює своє положення, а лобовий опір і підйомна сила – свою величину відповідно куту атаки, під яким крило рухається проти повітря.

Центр тиску знаходиться на лінії, яка ділить хорду крила на дві рівні частини. Коли кут атаки змінюється від  $0^\circ$  до позитивного кута, наприклад  $+5^\circ$ , центр тиску переміщується вперед, підйомна



сила, а також і сила лобового опору значно збільшуються. Але якщо крило зустрінеться з повітрям під негативним кутом  $-5^\circ$ , центр тиску пересунеться до задньої кромки крила, внаслідок чого підйомна сила зменшується разом із силою лобового опору.

Якщо ми поставимо рухоме крило під кутом атаки  $+10^\circ$ , то центр тиску негайно переміститься в передню частину крила, і підйомна сила, а також сила лобового опору досягнуть великої величини. Подальше збільшення кута атаки, наприклад, до  $+15^\circ$ , відбувається зрив повітряного потоку із збільшенням лобового опору [10].

Антикрило – це пристосування, призначене для збільшення сили зчеплення автомобіля з дорожнім покриттям (рис. 9а). Тиск над крилом, розташованим під негативним кутом атаки, вищий за тиск під крилом.

Створена антикрилом додаткова притискна сила збільшує граничну силу тертя між провідними колесами і покриттям і, як наслідок, дозволяє автомобілю переносити великі прискорення без зриву в занос. За відсутності антикрила й інших аеродинамічних пристосувань граничне прискорення визначається характеристиками шин і покриття і, як правило, не перевищує  $1,0\text{--}1,1\text{ g}$  ( $10\text{--}11\text{ м/с}^2$ ) із спортивними шинами в масовій продукції. Для порівняння, боліди Formula 1 можуть проходити повороти і гальмувати з прискоренням до  $5\text{ g}$ , в основному за рахунок притискної сили від антикрил і інших елементів дизайну, яка у декілька разів перевищує вагу боліда. На масових спортивних автомобілях антикрила можуть грати і скромнішу роль, компенсуючи підйомну силу, у випадку, якщо вона присутня через асиметрію корпусу автомобіля.

Існує і негативний ефект використання антикрил і дифузорів, що полягає у збільшенні опору потоку повітря, що набігає, внаслідок чого падає швидкість, зростає витрата палива.

Вперше антикрило застосував швейцарський студент інженерного факультету Майкл Мей на своєму Porsche 550 в 1956 році.

Останні покоління серійних спортивних автомобілів мають антикрила з регульованим кутом атаки (рис. 9б) [11]. Кут положення антикрила змінюється в залежності від швидкості або прискорення:

- при помірних швидкостях (приблизно до  $100\text{--}140\text{ км/год}$ ) антикрило «ховається»;
- при високих – виконує свою функцію, навантажуючи задню вісь;
- при високому негативному прискоренні (гальмування або зміна траєкторії) антикрило стає в агресивний кут атаки (приблизно  $45\text{ градусів}$ ) і пригальмовує автомобіль (аналогічно спойлерам літака).



Рис. 9. Антикрило (а) та антикрило із змінним кутом атаки (б)

### Висновки

В роботі проведено розрахунок аеродинамічних лобових і бічних опорів повітря при русі автомобіля. Знайдено сили опору повітря при заносі автомобіля на швидкості  $120\text{ км/год}$ . Визначено особливості аеродинаміки автомобілів, які використовують для дрифтингу. В результаті проведеної роботи було визначено спосіб знаходження кутових прискорень при ковзанні автомобіля. Визначено методику перевірки аеродинамічного коригування кутових прискорень автомобіля при ковзанні, яку можливо використовувати для подальшого проектування системи, що автоматично регулює кутові прискорення, і побудови моделі автомобіля.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] А. Громаковский и Г. Бранихин, *Контраварийное вождение*. СПб, Россия: Питер, 2010.
- [2] Е. А. Чудаков, *Теория автомобиля. Устойчивость автомобиля против заноса*. Москва-Ленинград, Россия: Академия наук СССР, 1944.
- [3] В. И. Кнороз, *Работа автомобильной шины*. Москва, Россия: Транспорт, 1976.
- [4] М. Г. Горбачев, *Экстремальное вождение. Гонимые секреты*. Москва, Россия: Рипол Классик, 2007.
- [5] В. Г. Гухо, *Аэродинамика автомобиля*. Москва, Россия: Машиностроение, 1987.
- [6] В. В. Бекман, *Гонимые автомобили*. СПб, Россия: Машиностроение, 1980.
- [7] Н. Ф. Краснов, *Аэродинамика. Часть 2. Методы аэродинамического расчета: учебник*. Москва, Россия: Высшая школа, 1980, 416 с.
- [8] А. Г. Буда, В. П. Кужель та В. А. Гладій, «Аналіз аеродинамічних властивостей кузовів сучасних автомобілів» *Матеріали ІХ-ї міжнародної науково-технічної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту», 14–15 квітня 2021 року: збірник наукових праць* [Електронний ресурс]. Вінниця, ВНТУ, 2021, с. 27-29.
- [9] Н. С. Аржанников и Г. С. Садекова, *Аэродинамика летательных аппаратов: учебник*. Москва, Россия: Высшая школа, 1983.
- [10] Д. С. Горшенин и А.К. Мартынов, *Методы и задачи практической аэродинамики*. Москва, Россия: Машиностроение, 1977.
- [11] А. Г. Буда, В. П. Кужель та А. Р. Юров, «Моделювання зовнішніх поверхонь легкового автомобіля в тривимірному просторі за допомогою сплайнів», *Вісник Машинобудування та транспорту*, №1(7), с. 26-34, 2018.

V. Pavlenko<sup>1</sup>  
V. Kuzhel<sup>2</sup>  
V. Manuilov<sup>3</sup>  
O. Korniev<sup>3</sup>

## Peculiarities of aerodynamics of the car in side slip

<sup>1</sup>Kharkiv National Automobile and Highway University

<sup>2</sup>Vinnitsia National Technical University

<sup>3</sup>National Academy of the National Guard of Ukraine

*This work is aimed at finding a method of determining the critical angular accelerations for the NISSAN 350Z (at different speeds), at which the car begins to turn and finding ways to adjust the angular acceleration in sliding by dynamically changing the angle of attack of the rear wing.*

*There is a problem in drifting that affects not only the technical condition of the car, but also the safety of the driver and spectators. The problem is excessive angular acceleration during drifting with tire temperature above the critical point (100-120 degrees), which leads to the loss of control over the car at speeds up to 160 km/h.*

*The purpose of the research is to determine the method of correcting the angular acceleration of the car during skidding which can be used in the creation of an electronic system automatically changing the angular acceleration of the car during skidding.*

*The authors, to determine the aerodynamic corrections of angular acceleration while the car is sliding have determined two main research approaches, this is the determination of angular acceleration while sliding and the method of angular acceleration correction.*

*As a result of the performed work peculiarities of aerodynamics of cars used for drifting were investigated; the calculation of aerodynamic frontal and lateral air resistance while the car is moving was made; the method of finding of angular accelerations while the car is sliding was determined; to determine the approach of aerodynamic correction of angular accelerations of the car at sliding, which can be used for further design of the automatic regulation of angular accelerations and construction of the car model.*

*For the final confirmation of the results of the article it is necessary to conduct tests, which will consist in blowing the car in wind tunnel (under each wheel will be set the scale), so you can determine the numerical values of the downforce of the rear wing at different angles of attack. Also in the tests it is necessary to conduct a study of the aerodynamics in side slip and the possibility of influencing the angular acceleration (through an increase in load on the rear axle).*

**Key words:** car, aerodynamics, drift, skidding, sliding, steering, fender, wheel, tire, angle of attack.

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

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

**Manuylov Volodymyr** – Major, Senior Lecturer, Department of Automotive Armored Equipment, e-mail: [pchelka2501@gmail.com](mailto:pchelka2501@gmail.com)

**Korniev Oleksandr** – Lecturer, Department of Automotive Armored Equipment, e-mail: [naumenko197@ukr.net](mailto:naumenko197@ukr.net)