

2. Нове в теорії експлуатаційних властивостей автомобілів та тракторів [текст П44 Навч. посібн.. / М.А. Подригало, В.В. Шелудченко – Суми: Сумський національний аграрний університет, 2015. - 213 с.
3. Основи теорії руху автомобіля: Підручник. / В.П.Волков, Р.М.Кузнецов, В.В.Стельмашук. – Харків-Луцьк: ХНАДУ - ЛТУ, 2013. –306 с.
4. Karpenko V.O, Kaps'kyu D.V., Rudenko N.V., Neskreba E. Ye. (2021). Determing the starting time of car movement to stabilize the internal pressure and the temperature in the tires. Avtomobil'nyy transport. (48) P. 38-44.

Науковий консультант Волков В.П., проф., д.т.н.

Іващенко Олександр Ігорович, бакалавр, sashaavto74@gmail.com

ОЦІНКА ЗМІНИ КЕРОВАНОСТІ ГІБРИДНИХ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ У ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Актуальність теми. Значна частина дорожньо-транспортних пригод пов'язана із втратою керованості руху транспортних засобів. Актуальним є розгляд питань керованості руху транспортних засобів у режимі гальмування.

Забезпечення керованості є важливим етапом підвищення технічної безпеки та поліпшення якості колісних машин, до групи яких належать автомобілі. Функціональна нестабільність елементів системи "водій - автомобіль - дорожнє середовище" є причиною як параметричних, так і функціональних відмов, які призводять до значних матеріальних збитків і людських жертв [1].

Гальмівні властивості легкових автомобілів є важливим фактором, що забезпечує безпеку дорожнього руху. Досвід експлуатації показує, що під час проектування необхідно не тільки забезпечити відповідність показників ефективності гальмування і курсової керованості автомобілів у момент виходу з конвеєра заводу, а й створити умови для збереження цих показників протягом усього періоду експлуатації.

Стабілізацію гальмівних властивостей легкових автомобілів можна здійснювати як завдяки застосуванню різних автоматичних пристроїв (електронних антиблокувальних гальмівних систем, а також нових систем динамічної стабілізації курсового кута під час заносу в процесі гальмування), так і завдяки створенню вузлів і агрегатів гальмівного керування зі стабільними вихідними характеристиками.

Мета і задачі роботи. Підвищення безпеки руху шляхом підвищення керованості легкових гібридних автомобілів в процесі експлуатації.

Методи дослідження – теоретичний аналіз та математичне моделювання.

Аналіз останніх досягнень і публікацій

Гальмування є критичною складовою керованості гібридних автомобілів, а його ефективність важлива не лише для безпеки водія та пасажирів, а й для забезпечення ефективного управління рухомим складом. Гібридні автомобілі

використовують комбіновану систему гальмування, яка включає як традиційні механічні гальма, так і регенеративні гальма, що дозволяють не тільки зупинити автомобіль, але й відновлювати енергію під час гальмування.

Регенеративне гальмування є унікальною характеристикою гібридних автомобілів, яке використовує електромотор як генератор для збору кінетичної енергії, що випромінюється під час уповільнення. Ця енергія перетворюється в електричну, яка зберігається в акумуляторі. Ключовою перевагою цієї системи є здатність зменшити загальне споживання пального та зниження емісій вуглекислого газу [1].

Оцінка гальмівних властивостей гібридних автомобілів залежить від кількох критеріїв. Одним із них є час реакції гальмівної системи, який визначається як інтервал між моментом, коли водій натискає на педаль гальма, і моментом, коли автомобіль починає значно знижувати швидкість. Іншим важливим критерієм є ефективність регенеративного гальмування, яка оцінюється через кількість енергії, яку вдається відновити та зберегти під час гальмування. Також важливо оцінювати рівномірність гальмування, що впливає на стабільність автомобіля і комфорт пасажирів.

Значна увага в дослідженні гальмівних систем гібридних автомобілів приділяється також аналізу впливу різних дорожніх умов на ефективність гальмування. Різні дорожні покриття, такі як асфальт, бетон або ґрунтові дороги, а також різні погодні умови, такі як дощ, сніг або ожеледиця, можуть істотно змінити характеристики гальмування. Гібридні автомобілі часто оснащені передовими системами контролю тяги та стабілізації, які автоматично адаптуються до змін у дорожніх умовах, забезпечуючи більш стабільне та контрольоване гальмування. Важливим є також вивчення впливу гальмівних систем на ергономіку водіння. Комфорт водія значно залежить від способу взаємодії з гальмівною системою. Гібридні автомобілі, з їхньою здатністю до регенеративного гальмування, часто забезпечують більш плавне та менш відчутне гальмування, що може сприяти зменшенню втоми водія та підвищенню загальної уваги під час водіння.

Інноваційні дослідження в області матеріалознавства сприяють розвитку нових типів гальмівних колодок та дисків, які мають покращені термостійкі та абразивно-стійкі властивості, здатні витримувати високі температури і механічні навантаження без втрати ефективності. Це дозволяє підвищити загальну надійність гальмівних систем і зменшити потребу в їх частому обслуговуванні та заміні.

Завдяки унікальним властивостям гібридних транспортних засобів, які комбінують електричний двигун та традиційний двигун внутрішнього згорання, вони можуть пропонувати покращене прискорення та більш високий рівень реактивності порівняно зі звичайними автомобілями. Це може суттєво вплинути на загальну керованість, особливо в умовах, що вимагають швидкого маневрування, як наприклад, при обгоні або уникненні раптових перешкод [2].

Інший аспект, що варто зазначити, це використання передових систем допомоги водію (ADAS), які можуть значно покращити керованість та загальну безпеку гібридних автомобілів. Системи, такі як автоматичне гальмування у

випадку небезпеки, асистенти утримання смуги руху та адаптивний круїз-контроль, використовують різноманітні датчики та камери для моніторингу умов дорожнього руху та допомоги водіям у прийнятті більш безпечних та ефективних рішень на дорозі.

Аналізується вплив маси та розподілу маси гібридних автомобілів на їх керованість. Гібридні системи, зазвичай, збільшують загальну масу автомобіля через додавання електричних компонентів і акумуляторів. Однак, розумне розміщення цих компонентів може збалансувати автомобіль і навіть покращити його динамічні характеристики. Інженери та дизайнери працюють над тим, аби максимально оптимізувати розподіл маси, що дозволяє знизити центр маси і підвищити стійкість автомобіля на дорозі.

Одним із важливих аспектів у дослідженні керованості гібридних легкових автомобілів є аналіз впливу конфігурації тягових батарей на динамічні характеристики автомобіля. Через значну вагу та об'єм акумуляторних батарей, їх розташування в автомобілі має прямий вплив на розподіл ваги та, відповідно, на поведінку автомобіля в дорожніх умовах.

Наприклад, розміщення батарей у нижній частині автомобіля може знизити його центр тяжіння, що сприяє кращій стабілізації та зменшенню нахилів кузова при поворотах. Іншим важливим технічним елементом є використання адаптивних підвісок, які можуть автоматично регулювати жорсткість залежно від умов руху [3-6].

Такі системи не тільки покращують комфорт під час їзди, але й забезпечують кращий контроль над автомобілем, адаптуючи підвіску до різних швидкостей та типів дорожнього покриття.

Не можна ігнорувати роль електронних систем стабілізації, які допомагають управляти автомобілем під час критичних маневрів, реагуючи на непередбачувані зміни в динаміці руху. Ці системи аналізують дані з датчиків на колесах та інших частин автомобіля, втручаючись для підтримки тяги та запобігання заносу чи перекидання.

Важливу роль відіграє розвиток інформаційних систем у гібридних автомобілях, які забезпечують водієві актуальні дані про стан транспортного засобу та дорожніх умов.

Системи, які інтегрують GPS навігацію, прогнозування трафіку, та інформацію про стан заряду батарей, сприяють не тільки зручності, але й безпеці, дозволяючи водіям приймати обґрунтовані рішення під час руху.

Цілісний підхід до вивчення керованості гібридних автомобілів включає розгляд як механічних так і електронних компонентів, що взаємодіють між собою для забезпечення оптимальних характеристик руху, підвищення безпеки та забезпечення вищого рівня комфорту для водіїв та пасажирів.

Ці аспекти дозволяють глибше зрозуміти, як гібридні технології впливають на керованість автомобілів, відкриваючи нові можливості для подальших інновацій та покращень у сфері автомобільної індустрії.

Регулювання гальмівних сил гібридних автомобілів

Регулювання гальмівних сил у гібридних автомобілях є ключовим аспектом, що забезпечує не тільки ефективність гальмування, але й впливає на

загальну безпеку, стабільність та економічність транспортного засобу. Гібридні автомобілі використовують складні системи гальмування, які інтегрують традиційні механічні гальма з регенеративними гальмівними системами, що використовують енергію гальмування для заряджання батареї. Цей процес не тільки зменшує витрату енергії, але й підвищує загальну ефективність автомобіля.

Регулювання гальмівних сил у гібридних моделях вимагає досконалого балансу між механічними та регенеративними гальмами. Основна складність полягає в тому, що регенеративне гальмування має тенденцію бути більш ефективним на високих швидкостях і під час легкого гальмування, в той час як механічні гальма ефективніші при низьких швидкостях та при інтенсивному гальмуванні [7]. Інтеграція цих систем вимагає високотехнологічного управління, яке може швидко перемикатись між режимами для оптимального гальмування залежно від умов руху.

Сучасні гібридні автомобілі використовують розширені алгоритми та датчики, що дозволяють точно вимірювати кінетичну енергію транспортного засобу та відповідно регулювати гальмівні сили. Ці системи контролюють швидкість обертання коліс, зусилля на педалі гальма та інші динамічні параметри, щоб вирішувати, скільки гальмівної сили слід віддати регенеративній системі, а скільки - механічним гальмам.

Ефективне регулювання гальмівних сил також залежить від системи управління транспортним засобом, яка повинна миттєво аналізувати та відповідати на зміни в дорожніх умовах, таких як зміна погоди, стан дорожнього покриття, а також власне поведінку водія. Все це вимагає складної взаємодії між механічними компонентами та програмним забезпеченням, що управляє електронікою автомобіля. У гібридних автомобілях процес регулювання гальмівних сил вимагає високого рівня інтеграції між різними системами автомобіля для досягнення оптимальної ефективності. Особлива увага приділяється адаптації гальмівної системи до різних режимів водіння та експлуатаційних умов, зокрема важливою є спроможність системи швидко переключатися між регенеративним та механічним гальмуванням.

Під час процесу регенеративного гальмування, енергія, яка зазвичай втрачається у вигляді тепла при терті гальмівних колодок, трансформується в електричну енергію, що зберігається у батареї автомобіля. Це дозволяє не тільки зменшити витрату енергії, але й підвищує загальну енергоефективність автомобіля [8]. Однак, ефективність регенеративного гальмування сильно залежить від стану батареї (її заряду та здатності приймати заряд) та від поточних динамічних умов руху автомобіля.

Механічні гальма активуються переважно в умовах, коли потрібно більш інтенсивне гальмування, або коли стан батареї не дозволяє ефективно використовувати регенеративне гальмування. Регулювання між цими двома системами забезпечується за допомогою авангардних алгоритмів, які базуються на штучному інтелекті та аналітиці в реальному часі, що дозволяє максимально оптимізувати використання гальмівної системи.

Сучасні гібридні автомобілі оснащені численними датчиками, які надсилають дані про швидкість, прискорення, нахлон, зовнішні умови та поведінку водія до центрального комп'ютера автомобіля. Ці дані використовуються для точного дозування гальмівних сил між колесами, що значно покращує стабільність, управління та безпеку автомобіля під час гальмування.

Процес регулювання гальмівних сил у гібридних автомобілях не лише сприяє безпеці, але й впливає на збереження навколишнього середовища через зниження витрат енергії [9]. Однією з передових технологій у цьому аспекті є використання диференційованого гальмування, що дозволяє автоматично змінювати гальмівну силу на кожному колесі залежно від умов дороги. Це особливо важливо у випадках, коли одна частина автомобіля знаходиться на слизькій поверхні, а інша - на сухій. Система диференційованого гальмування дозволяє забезпечити стабільність автомобіля, мінімізуючи ризик заносу чи ковзання.

Іншим значущим аспектом є використання інтелектуальних систем гальмування, які взаємодіють з системами автономного водіння. Ці системи можуть аналізувати трафік та інші зовнішні чинники в реальному часі, розраховувати необхідну силу гальмування та автоматично застосовувати її, що значно підвищує безпеку, особливо у складних дорожніх ситуаціях. Використання цих технологій не тільки сприяє зниженню аварійності, але й забезпечує більш плавне та передбачуване гальмування, що підвищує комфорт пасажирів.

На сучасному етапі велика увага приділяється інтеграції гальмівних систем з електронними контрольними модулями, що дозволяють оптимізувати використання регенеративного гальмування в залежності від рівня заряду батареї. Це не тільки сприяє ефективнішому зарядженню, але й підвищує загальну тривалість життя батареї, оскільки уникнення повного розряду або перезаряду є ключовим для збереження її ефективності.

Такі інновації у гальмівних системах гібридних автомобілів не лише підвищують безпеку, але й сприяють більшій ефективності енергоспоживання, розширюючи таким чином можливості екологічно чистого транспорту [10].

Ці розробки відіграють критичну роль у вдосконаленні гібридних автомобілів, роблячи їх більш привабливими для споживачів, які прагнуть до зниження впливу на довкілля без втрати в якості їзди.

Обґрунтування збереження керованості легковим гібридним автомобілем при гальмуванні

На особливу увагу заслуговує питання про запобігання втраті керованості легковим автомобілем в початковий момент гальмування.

Раціональний розподіл гальмівних сил між осями автомобіля, тобто створення такого положення, коли всі колеса досягають межі блокування одночасно [8] або передні блокуються раніше задніх, є важливою умовою збереження керованого руху.

В роботі [5, 6] показано, що в загальному випадку екстреного гальмування одиночного автомобіля має місце різночасне блокування коліс обох осей. У зв'язку з цим, при аналізі зміни загальної і осьових гальмівних сил у функції часу, необхідно виділяти три фази [3], серед яких рух автомобіля з не заблокованими колесами мають місце завжди.

Процес гальмування легкового автомобіля при не заблокованих колесах обох осей (рис.1) розглядається з припущеннями:

- до загальмування автомобіль здійснює прямолінійний рух по горизонтальній поверхні дороги;
- центр мас (точка С) знаходиться в подовжній площині симетрії автомобіля і свого положення не змінює;
- в початковий момент гальмування подовжня вісь автомобіля робить нескінченно мале кутове відхилення.

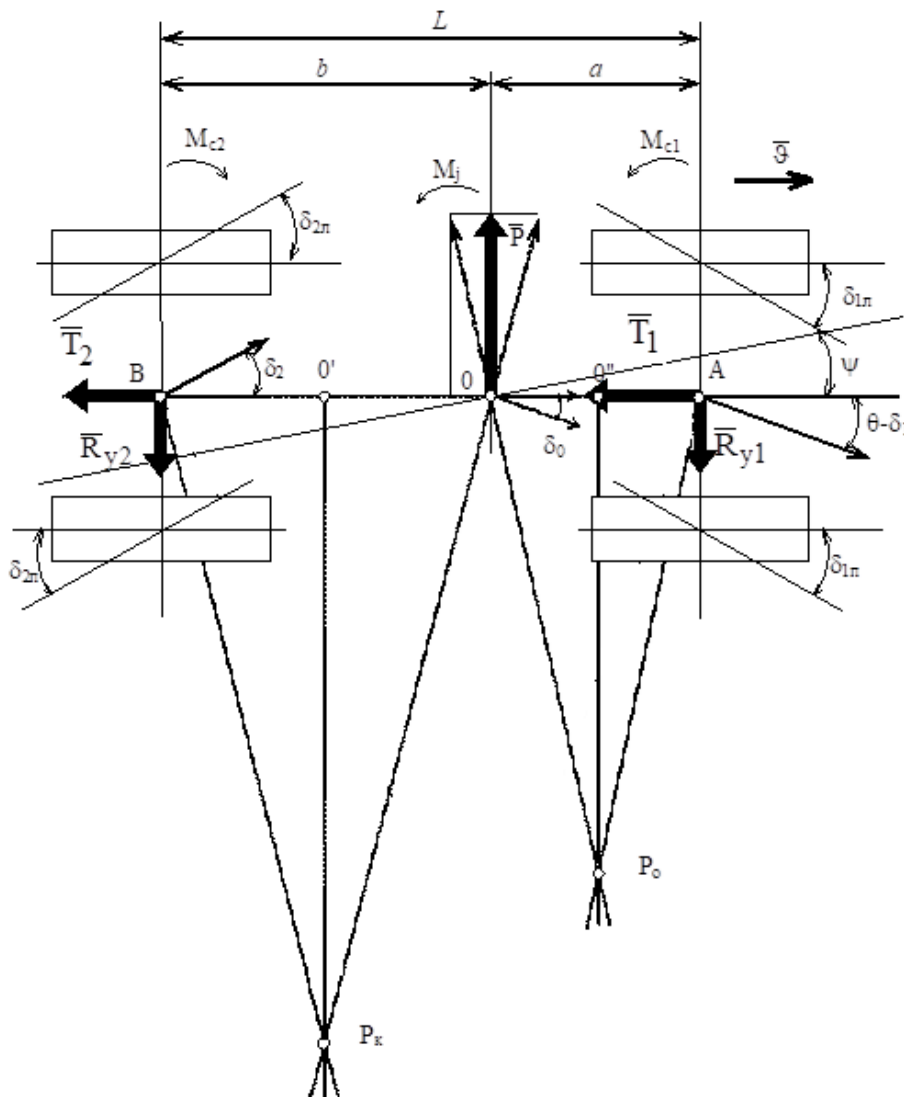


Рисунок 1 – Схема дослідження керованості автомобіля

У початковий момент гальмування, коли тільки починається відхилення подовжньої осі автомобіля навколо миттєвого центру повороту, бічна сила на передній осі R_{y1} , що діє з боку дороги, утворює момент, що протистоїть заносу (див. рис.1).

Якщо кутове відхилення подовжньої осі автомобіля відбувається з деяким прискоренням, то момент інерції M_j кузова в горизонтальній площині відносно центру мас перешкоджає розвитку заносу.

При уповільненому відхиленні інерційний момент M_j посилює його. Останній випадок є небезпечним.

Однак, коли почався занос, то його розвитку можна запобігти за рахунок сумарного стабілізуючого моменту автомобіля M_c від дії осьових бічних сил R_{y1} і R_{y2} і стабілізуючих моментів коліс M_{c1} і M_{c2} .

Рівняння рівноваги легкового автомобіля в горизонтальній площині відносно центру мас при гальмуванні з незаблокованими колесами обох осей має вигляд

$$M_c - \left(J_z \cdot \frac{d^2\psi}{d\tau^2} \right) = R_{y2} \cdot b - R_{y1} \cdot a + M_{c1} + M_{c2} - \left(J_z \cdot \frac{d^2\psi}{d\tau^2} \right) = 0, \quad (1)$$

де M_c - стабілізуючий момент автомобіля;

R_{y1}, R_{y2} - бічна сила на передній і задній осі відповідно;

M_{c1}, M_{c2} - стабілізуючі моменти на передніх і задніх колесах;

J_z - момент інерції автомобіля відносно вертикальної осі, що проходить через центр мас;

ψ - кутове відхилення автомобіля в горизонтальній площині.

Дослідження [1-11] показали, що, якщо на колесо діє гальмівна сила, то стабілізуючий момент зменшується в міру збільшення останньої. При деякому значенні гальмівної сили він знижується до нуля, і в подальшому змінює знак. "Негативні" стабілізуючі моменти при постійно зростаючій гальмівній силі досягають максимуму і при подальшому її збільшенні зменшуються. При величині гальмівної сили, максимально можливій по зчепленню, вони стають рівними нулю.

Тоді гранична бічна реакція визначається геометричній різницею максимальної сили зчеплення і переданої колесом гальмівної сили. До тих пір, поки діє на колесо бічна сила не перевищує граничну реакцію, траєкторія руху колеса буде змінюватися лише за рахунок уводу коліс.

Якщо ж бічна сила перевищує граничне значення, колесо відхиляється від початкової траєкторії за рахунок пружного уводу і бічного ковзання.

У свою чергу, поява бічного ковзання знижує можливість реалізації раніше діючої гальмівної сили. Тому надлишок гальмівного моменту викликає додаткове кутове уповільнення колеса, що призводить до його повного блокування.

Дія бічної сили викликає зміну кутового уводу коліс i -ої осі автомобіля [8-11]

$$\delta_i = \frac{R_{yi}}{K_{yi}}, \quad (2)$$

де R_{yi} - бічна сила на i -ій осі;

K_{yi} - сумарний коефіцієнт опору уводу коліс i -ої осі.

Повне кутове зміщення Ω_1 подовжньої осі загальмовуваного автомобіля при відсутності блокування коліс буде складатися з двох складових: кута δ_0 деформаційного уводу шин і кута відхилення подовжньої осі θ за рахунок бічного ковзання коліс (див. рис.1).

Кут уводу подовжньої осі автомобіля δ_0 визначається за залежністю [5]

$$\delta_0 = \frac{b}{L} \cdot (\operatorname{tg} \theta - \delta_1) - \frac{a}{L} \cdot \delta_2, \quad (3)$$

де δ_1 , δ_2 - кути уводу передньої та задньої осі автомобіля відповідно;

θ - середній кут повороту керованих коліс.

Оскільки кути уводу шин навіть в крайніх випадках приймають невеликі значення, можна без великої погрішності вважати їх тангенси рівними самим кутам.

Позначивши середні кути уводу передніх і задніх коліс через

$$\delta_1 = \frac{\delta_{1л} + \delta_{1п}}{2}, \quad (4)$$

$$\delta_2 = \frac{\delta_{2л} + \delta_{2п}}{2}, \quad (5)$$

Відповідно вираз (2) прийме вигляд

$$\delta_1 = \frac{1}{K_{y1}} \cdot \sqrt{(\varphi \cdot N_1)^2 - T_1^2}, \quad (6)$$

$$\delta_2 = \frac{1}{K_{y2}} \cdot \sqrt{(\varphi \cdot N_2)^2 - T_2^2}. \quad (7)$$

У межах зміни вертикального навантаження на колесах i -ої осі автомобіля добре наближення дає апроксимація рівняння щодо сумарного коефіцієнта опору уводу шин

$$\frac{K_{yi}}{K_{y\max}} = 2,4 \cdot \frac{N_i}{N_{i\text{опт}}} - 1,8 \cdot \left(\frac{N_i}{N_{i\text{опт}}} \right)^2 + 0,4 \cdot \left(\frac{N_i}{N_{i\text{опт}}} \right)^3, \quad (8)$$

де $K_{y\max}$ - максимальне значення сумарного коефіцієнта опору відведенню шин коліс i -ої осі;

$N_{i\text{опт}}$ - нормальне навантаження на i -ій осі при номінальному внутрішньому тиску повітря в шинах.

Отримане рівняння визначає взаємозв'язок між сумарним коефіцієнтом опору уводу шин i -ої осі автомобіля від величини її нормального навантаження

$$K_{yi} = K_{y\max} \cdot \left[2,4 \cdot \frac{N_i}{N_{\text{юпт}}} - 1,8 \cdot \left(\frac{N_i}{N_{\text{юпт}}} \right)^2 + 0,4 \cdot \left(\frac{N_i}{N_{\text{юпт}}} \right)^3 \right]. \quad (9)$$

Розглянемо три можливі випадки відхилення поздовжньої осі автомобіля при гальмуванні без блокування коліс.

При прискореному обертанні подовжньої осі автомобіля в горизонтальній площині відносно центру мас ($\varepsilon > 0$) кутове прискорення ε (див. рис.1) збігається з напрямком уводу ψ_ε , а момент інерції M_ε - із стабілізуючим моментом M_c .

Нехтуючи дією стабілізуючих моментів на колесах, рівняння (1) після перетворень має вигляд

$$\varepsilon = \frac{d^2\psi_\varepsilon}{d\tau^2} = \frac{\varphi \cdot g}{i_z^2} \cdot \left[a \cdot \sqrt{\left(\frac{b}{L} + z \cdot \frac{h}{L} \right)^2 - \beta^2 \cdot m_{T1}^2} - b \cdot \sqrt{\left(\frac{a}{L} - z \cdot \frac{h}{L} \right)^2 - (1 - \beta^2) \cdot m_{T2}^2} \right], \quad (10)$$

де i_z - радіус інерції кузова автомобіля в горизонтальній площині;

m_{T1} , m_{T2} - коефіцієнт використання зчіпної ваги на передній і задній осях відповідно.

Інтегруючи рівняння (10) в початкових умовах ($\tau = 0$, $\psi = \psi_0$, $\omega = \omega_0$), отримаємо

$$\omega_\varepsilon = \frac{\varphi \cdot g \cdot \tau}{i_z^2} \cdot \left[a \cdot \sqrt{\left(\frac{b}{L} + z \cdot \frac{h}{L} \right)^2 - \beta^2 \cdot m_{T1}^2} - b \cdot \sqrt{\left(\frac{a}{L} - z \cdot \frac{h}{L} \right)^2 - (1 - \beta^2) \cdot m_{T2}^2} \right] + \omega_0, \quad (11)$$

$$\psi_\varepsilon = \frac{\varphi \cdot g \cdot \tau^2}{2 \cdot i_z^2} \cdot \left[a \cdot \sqrt{\left(\frac{b}{L} + z \cdot \frac{h}{L} \right)^2 - \beta^2 \cdot m_{T1}^2} - b \cdot \sqrt{\left(\frac{a}{L} - z \cdot \frac{h}{L} \right)^2 - (1 - \beta^2) \cdot m_{T2}^2} \right] + \omega_0 \cdot \tau + \psi_0, \quad (12)$$

де τ - поточний час гальмування;

ω_0 - початкова кутова швидкість повороту подовжньої осі автомобіля навколо центру мас;

ψ_0 - значення кута відхилення поздовжньої осі автомобіля в початковий момент гальмування.

При уповільненому обертанні подовжньої осі автомобіля в горизонтальній площині навколо центру мас її кутове уповільнення ε_j не збігається з напрямком кутової швидкості ω_j і кутом уводу ψ_j (див. рис.1).

При цьому, виникає момент інерції кузова автомобіля M_j , спрямований протилежно стабілізуючому моменту M_c .

Рівняння (1) в такому випадку приймає вигляд

$$\varepsilon_j = \frac{d^2\psi_j}{d\tau^2} = \frac{\varphi \cdot g}{i_z^2} \cdot \left[b \cdot \sqrt{\left(\frac{a}{L} - z \cdot \frac{h}{L}\right)^2 - (1 - \beta^2) \cdot m_{T2}^2} - a \cdot \sqrt{\left(\frac{b}{L} + z \cdot \frac{h}{L}\right)^2 - \beta^2 \cdot m_{T1}^2} \right]. \quad (13)$$

Інтегруючи рівняння (13) в початкових умовах, отримаємо

$$\omega_j = \frac{\varphi \cdot g \cdot \tau}{i_z^2} \cdot \left[b \cdot \sqrt{\left(\frac{a}{L} - z \cdot \frac{h}{L}\right)^2 - (1 - \beta^2) \cdot m_{T2}^2} - a \cdot \sqrt{\left(\frac{b}{L} + z \cdot \frac{h}{L}\right)^2 - \beta^2 \cdot m_{T1}^2} \right] + \omega_0, \quad (14)$$

$$\psi_j = \frac{\varphi \cdot g \cdot \tau^2}{2 \cdot i_z^2} \cdot \left[b \cdot \sqrt{\left(\frac{a}{L} - z \cdot \frac{h}{L}\right)^2 - (1 - \beta^2) \cdot m_{T2}^2} - a \cdot \sqrt{\left(\frac{b}{L} + z \cdot \frac{h}{L}\right)^2 - \beta^2 \cdot m_{T1}^2} \right] + \omega_0 \cdot \tau + \psi_0. \quad (15)$$

Таким чином, легкові гібридні автомобілі при гальмуванні з не заблокованими колесами обох осей мають тенденцію до підвищення повернення подовжньої осі в початкове положення, в той час, як інші, - до збереження постійного кута відхилення подовжньої осі.

Висновки

Цілісний підхід до вивчення керованості гібридних автомобілів включає розгляд як механічних так і електронних компонентів, що взаємодіють між собою для забезпечення оптимальних характеристик руху, підвищення безпеки та забезпечення вищого рівня комфорту для водіїв та пасажирів.

Ці аспекти дозволяють глибше зрозуміти, як гібридні технології впливають на керованість автомобілів, відкриваючи нові можливості для подальших інновацій та покращень у сфері автомобільної індустрії.

Отримано вирази, за допомогою яких можна оцінити керованість легкового гібридного автомобіля, здійснюючого гальмування, за величиною кута відхилення подовжньої осі автомобіля в залежності від коефіцієнта розподілу гальмівних сил між осями, координат центру мас, коефіцієнта використання зчпної ваги на осях, коефіцієнта гальмування та коефіцієнтів опору бічному уводу осей.

Література

1. Peng, X.; Lv, Y.; He, L. Research on braking force distribution strategy of linear control actuation system based on slip rate. *China Mech. Eng.* 2016, 27, 2407–2412.
2. Roberts, M.; Chhaya, T. An Approach to the Safety Design and Development of a Brake-by-Wire Control System; SAE Technical Paper; SAE International: Warrendale, PA, USA, 2011.
3. Zhang, C.; Liu, Q.; Dong, H.; Chen, H.; Xi, J. Research on braking force distribution strategy of linear control actuation system based on slip rate. *Acta Armamentarii* 2022, 22, 2727–2737.

4. Yu, W.; Wang, R. Development and performance evaluation of a comprehensive automotive energy recovery system with a refined energy management strategy. *Energy* 2019, 189, 116365.
5. Optimization of control strategy for regenerative braking of an electrified bus equipped with an anti-lock braking system / Zhang J., Kong D., Chen L., Chen X. *Journal of Automobile Engineering*. 2012. vol. 226, № 4, pp. 494–506
6. Li, D.; Tan, C.; Ge, W.; Cui, J.; Gu, C.; Chi, X. Review of brake-by-wire system and control technology. *Actuators* 2022, 11, 80.
7. Clegg, S. *A Review of Regenerative Braking Systems*; Institute of Transport Studies, University of Leeds: Leeds, UK, 2023.
8. Editorial Department of China Journal of Highway and Transport. Review on China's automotive engineering research progress. *China J. Highw. Transp.* 2017, 30, 1–197.
9. Zhao, X.; Ye, Y.; Ma, J.; Shi, P.; Chen, H. Construction of electric vehicle driving cycle for studying electric vehicle energy consumption and equivalent emissions. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2020, 27, 37395–37409.
10. Li, L.; Jia, G.; Song, J.; Rang, X. Progress on vehicle dynamics stability control system. *J. Mech. Eng.* 2013, 49, 95–107.
11. Huang, S.; Zhou, C.; Yang, L.; Qin, Y.; Huang, X.; Hu, B. Transient fault tolerant control for vehicle brake-by-wire systems. *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 2016, 149, 148–163.

Науковий керівник: Назаров Олександр Іванович, канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та сервісу автомобілів, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: hefer64@ukr.net

Каменев В.Д., гр. А-36-Т1-21, valerijkamenev2001@gmail.com

ДІАГНОСТУВАННЯ ОСНОВНИХ СКЛАДОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ХОДОВОЇ ЧАСТИНИ АВТОМОБІЛІВ

Ходова частина автомобіля є однією з найбільш мало захищених частин авто, особливо в умовах нашого клімату і рівня обслуговування доріг. Після певного пробігу в машині починають проступати стуки, скрипи і скреготіння - це є вірним сигналом того, що необхідно перевірити ходову частину, так як її несправність ставить під загрозу вашу безпеку. Вірним рішенням буде звернутися на станцію техобслуговування для діагностики ходової частини вашого автомобіля.

Для чого потрібна діагностика ходової частини автомобіля? І що саме входить в процедуру огляду ходовки автомобіля. Давайте складемо перелік запчастин які за часту є проблемою підвіски автомобіля:

- Сайлентблоки підвіски.
- Стойки амортизаторів.
- Стойки стабілізатора.
- Втулки стабілізатору.