

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗМІНИ ГАЛЬМІВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛЕГКОВИХ АВТОМОБІЛІВ У ЕКСПЛУАТАЦІЙНИЙ ПЕРІОД

Сироватський Дмитро Сергійович, студент гр. А-51-22, магістр
Syrovatsky@gmail.com

Вступ. Відомо [1], що ефективність гальмування є одним із показників, який характеризує здатність автомобіля зберігати заданий закон руху під час гальмування за різних експлуатаційних умов, що визначається як характером зчіпних властивостей коліс із дорогою, так і можливостями гальмівної системи для реалізації цих властивостей.

Оскільки умови експлуатації легкових автомобілів істотно впливають на гальмівні властивості, то з метою забезпечення необхідної ефективності гальмування необхідно враховувати зміну середнього коефіцієнта питомої гальмівної сили в період експлуатації.

Такого роду завдання можуть бути успішно вирішено математичним моделюванням зміни гальмівних властивостей легкового автомобіля на основі імітаційного моделювання процесу руху під час гальмування.

Мета роботи. Метою роботи є математичне моделювання зміни гальмівних властивостей легкового автомобіля на основі математичної моделі зміни середнього коефіцієнта питомої гальмівної сили автомобіля в експлуатаційний період.

Матеріали та методи. Відомо, що стрімкий ріст парку експлуатованих легкових автомобілів на території України, котрий за станом на 2022 р. налічує близько 6,9 млн. одиниць, а також прогнозоване покращення їх тягово-швидкісних характеристик веде до безупинного зростання інтенсивності й швидкості руху та вимагає посилення вимог до безпеки їх використання [2].

Це може бути досягнуто за рахунок низки заходів, в тому числі забезпечення мінімально допустимої дистанції між окремими транспортними засобами, що рухаються в єдиному потоці [2].

Вирішення питання залежить, перш за все, від підтримання необхідної величини показників гальмівної ефективності на всьому періоді експлуатації, забезпеченої застосовуваними гальмівними системами на експлуатованих легкових автомобілях.

Це можливо за умови реалізації більш стабільної величини уповільнення під час виконання гальмувань сучасних легкових автомобілів, у тому числі електрокарів та гібридів, в певних експлуатаційних умовах за рахунок рекуперативного перетворення енергії гальмування [3].

Відомо, що вимогами діючих як міжнародних, так і національних стандартів, як необхідного критерію оцінки безпеки використання транспортних засобів, є забезпечення ефективності та стабільності функціонування всіх елементів його гальмівної системи при екстрених гальмуваннях.

У відомих літературних джерелах вказується, що фактори, які викликають зміну показників гальмівних властивостей легкових автомобілів, носять випадковий характер і визначаються їх конструктивними та експлуатаційними факторами. Найбільш важливими з них є значення коефіцієнта зчеплення шини з опорною поверхнею дороги, коефіцієнта розподілу гальмівних сил, положення центру мас і метацентру автомобіля, величина нормальних реакцій на колесах при гальмуванні в експлуатаційних умовах і особливості конструкції їх гальмівних систем.

Нижче подано емпіричні залежності, які можуть бути використано для оцінки зміни гальмівних властивостей легкових автомобілів в експлуатаційний період за питомою гальмівною силою за найпоширеніших систем регулювання гальмівних сил, що використовуються в гальмівних системах сучасних легкових автомобілів:

- у разі електронного блоку керування

$$\gamma_{cp} = \frac{1}{z_{max}-z_{min}} \cdot \left(\frac{b}{h} \cdot \ln \left(1 + \frac{h}{b} \cdot (\varphi_0 - z_{min}) \right) + \frac{a}{h} \cdot \ln \left(1 + \frac{h}{a} \cdot (z_{max} - \varphi_0) \right) \right), \quad (1)$$

- за наявності гідромеханічних пристроїв, що обмежують приводний тиск

$$\gamma_{cp} = \frac{1}{z-z_{min}} \cdot \frac{b}{h} \cdot \left(\ln \left(\left[1 + \frac{h}{b} \cdot (\varphi_0 - z_{min}) \right] \cdot \frac{1-\frac{h}{L}\varphi_0}{1-\frac{h}{L}z_{max}} \right) + \varphi_0 \cdot \left(\frac{h}{b} - \frac{h}{L} \cdot \left(1 + \frac{h}{b} \cdot \varphi_0 \right) \right) \cdot \ln \left[\frac{z_{max}}{\varphi_0} \cdot \frac{1-\frac{h}{L}\varphi_0}{1-\frac{h}{L}z_{max}} \right] \right), \quad (2)$$

- за наявності гідромеханічних пристроїв, що збільшують приводний тиск

$$\gamma_{cp} = \frac{1}{z_{max}-z_{min}} \cdot \left(\frac{b}{h} \cdot \ln \left(1 + \frac{h}{b} \cdot \left[(\varphi_0 - z_{min}) \cdot \frac{1+\frac{h}{b}z_{max}}{1+\frac{h}{b}\varphi_0} \right] \right) + \frac{\frac{h}{b}\varphi_0 \cdot z_{max}}{1+\frac{h}{b}(\varphi_0+z_{max})} \cdot \ln \left[\frac{\varphi_{max}}{\varphi_0} \cdot \frac{1+\frac{h}{b}z_{max}}{1+\frac{h}{b}\varphi_0} \right] \right), \quad (3)$$

де $z_{min}=0,1$; $z_{max}=0,8$ – обраний діапазон зміни коефіцієнта гальмування;
 φ_0 - оптимальний коефіцієнт зчеплення (по Гредескулу А.Б.)

$$\varphi_0 = \frac{a \cdot z_{min} + b \cdot z_{max}}{L}, \quad (4)$$

a, b, h – координати центра мас легкового автомобіля.

Розрахункові значення оптимального коефіцієнта зчеплення φ_0 за

класичною теорією, одержані за допомогою формули (4), подано у табл. 1.

Таблиця 1

Розрахунокві значення оптимального коефіцієнта зчеплення

Автомобіль	Daewoo Lanos	Vida	Chevrolet Aveo	Forza
зі спорядженою масою	0,53	0,52	0,53	0,53
з повним навантаженням	0,47	0,48	0,47	0,49

У табл.2 – табл.4 наведено теоретичні значення середнього коефіцієнта питомої гальмівної сили у залежності від коефіцієнта гальмування досліджуваних легкових автомобілів за різних систем регулювання гальмівних сил на осях. При чому, у чисельнику вказано значення для автомобілів зі спорядженою масою, у знаменнику – з повним навантаженням.

Таблиця 2

Розрахунокві значення середнього коефіцієнта питомої гальмівної сили Lanos

Система регулювання гальмівних сил	Розрахункова залежність	Значення середнього коефіцієнта питомої гальмівної сили для коефіцієнта гальмування							
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Електронний блок керування	(1)	0,07	0,25	0,40	0,53	0,64	0,74	0,82	0,89
		0,06	0,23	0,38	0,51	0,63	0,73	0,82	0,91
за наявності пристроїв, що обмежують приводний тиск	(2)	0,80	0,89	0,93	0,95	0,95	0,94	0,92	0,89
		0,71	0,82	0,89	0,92	0,94	0,94	0,93	0,91
за наявності пристроїв, що змінюють приводний тиск	(3)	0,84	0,88	0,90	0,92	0,93	0,93	0,92	0,89
		0,89	0,92	0,94	0,95	0,95	0,94	0,93	0,90

Таблиця 3

Розрахунокві значення середнього коефіцієнта питомої гальмівної сили Vida

Система регулювання гальмівних сил	Розрахунокова залежність	Значення середнього коефіцієнта питомої гальмівної сили для коефіцієнта гальмування							
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Електронний блок керування	(1)	0,07	0,26	0,41	0,54	0,65	0,74	0,82	0,88
		0,06	0,24	0,39	0,52	0,63	0,73	0,82	0,90
за наявності пристроїв, що обмежують приводний тиск	(2)	0,79	0,88	0,92	0,94	0,95	0,93	0,91	0,88
		0,73	0,83	0,89	0,93	0,94	0,94	0,93	0,90
за наявності пристроїв, що змінюють приводний тиск	(3)	0,84	0,88	0,90	0,92	0,93	0,92	0,91	0,88
		0,89	0,91	0,93	0,94	0,94	0,94	0,93	0,90

Таблиця 4

Розрахункові значення середнього коефіцієнта питомої гальмівної сили Forza

Система регулювання гальмівних сил	Розрахунок за залежність	Значення середнього коефіцієнта питомої гальмівної сили для коефіцієнта гальмування							
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Електронний блок керування	(1)	0,075	0,26	0,41	0,54	0,65	0,74	0,81	0,89
		0,066	0,24	0,39	0,52	0,63	0,73	0,82	0,90
за наявності пристроїв, що обмежують приводний тиск	(2)	0,81	0,89	0,93	0,95	0,95	0,94	0,91	0,89
		0,72	0,82	0,89	0,92	0,94	0,94	0,92	0,90
за наявності пристроїв, що змінюють приводний тиск	(3)	0,83	0,87	0,89	0,92	0,92	0,92	0,91	0,89
		0,89	0,92	0,93	0,94	0,93	0,94	0,92	0,90

Аналіз результатів теоретичних досліджень. Аналіз одержаних даних (табл.2 – табл.4) показує, що використання в гальмівних системах експлуатованих легкових автомобілів пристроїв, що обмежують гальмівну силу на задній осі, прогнозований середній коефіцієнт питомої гальмівної сили перебуває в межах 92-96%, досягаючи максимального значення за $z=0,4-0,5$.

Тоді, як за використання в гальмівних системах експлуатованих легкових автомобілів пристроїв, що редукують гальмівну силу на задній осі, прогнозований середній коефіцієнт питомої гальмівної сили дещо більший та коливається в межах 95-97%, досягаючи максимального значення за умови $z=0,4-0,5$.

Висновки. У разі використання в гальмівних системах експлуатованих легкових автомобілів електронних систем найбільше значення середнього коефіцієнта питомої гальмівної сили досягає меж 88-91% та спостерігається при $z=0,8$.

Перелік посилань

1. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження дорожніх транспортних засобів категорій m, n, і о стосовно гальмування (правила ЕЕК ООН № 13-09:2000, idt): ДСТУ UN/ECE 13-09-2002. – [чинний від 01.07.2005]. – офіц. вид. – (Державний стандарт України). 2. Довгострокове прогнозування швидкостей руху на автомобільних дорогах: автореф. дис. на здобуття ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.11 «Автомобільні шляхи та аеродроми» / Н.В. Ярещенко. – Харків, 1999. – 16 с. 3. Cooperative regenerative braking control algorithm for an automatic-transmission-based hybrid electric vehicle during a downshift / [C. Jo, J. Ko, H. Yeo, T. Yeo, S. Hwang, H. Kim] // Journal of automobile engineering. – 2012. – vol. 226. – no. 4. – pp. 457–467.

Науковий керівник: **Назаров Олександр Іванович** – к. т. н., доцент кафедри технічної експлуатації та сервісу автомобілів, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, e-mail: hefer64@ukr.net