

А. І. БОНДАРЕНКО, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПІ»;
КАРІМ АССАФ, студент НТУ «ХПІ»

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГАЛЬМУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ З ГІДРАВЛІЧНИМ ГАЛЬМІВНИМ ПРИВОДОМ

Проведено аналіз основних існуючих способів гальмування легкових автомобілів, складена математична модель процесу гальмування, змодельовано службове та екстрене гальмування, досліджені можливості підвищення гальмівної ефективності, керованості та стійкості легкових автомобілів у разі відсутності замкнутих систем автоматичного керування гальмуванням.

Ключові слова: динаміка, процес гальмування, гальмівна ефективність, керованість, стійкість.

Вступ. Процес гальмування автотранспортних засобів полягає в частковому або повному розсіюванні енергії, яка була накопичена рухомою системою до моменту виникнення необхідності обмеження, зменшення швидкості або повного припинення руху. Гальмівна система – невід’ємна частина будь-якого автотранспортного засобу, від її ефективності та надійності залежать продуктивність та безпека дорожнього руху.

Нажаль, на даний момент не всі легкові автомобілі обладнуються замкнутими системами автоматичного керування гальмуванням – антиблокувальними системами, наприклад. Вибір способу гальмування при цьому залишається актуальним питанням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню процесу гальмування автомобілів з використанням «плоскої» моделі автомобіля присвячені роботи [1 – 10].

Використання «плоскої» моделі дозволяє розкрити фізичну суть процесів і встановити вплив різноманітних факторів (конструктивних параметрів) на динаміку гальмування автомобіля. Така модель дозволяє одержати достатньо точний якісний опис динаміки автомобіля за умови дії порівняно малих бічних сил.

Мета дослідження, постановка задачі. Метою даної роботи є дослідження процесу гальмування транспортних засобів з гідравлічним гальмівним приводом на прикладі легкового автомобіля Lanos.

Для досягнення поставленої мети необхідно провести аналіз основних існуючих способів гальмування легкових автомобілів, скласти математичну модель процесу гальмування, змодельовати службове та екстрене гальмування, дослідити можливості підвищення гальмівної ефективності, керованості та стійкості легкових автомобілів у разі відсутності замкнутих систем автоматичного керування гальмуванням.

Дослідження процесу гальмування транспортних засобів з гідравлічним гальмівним приводом. Розрізняють службове, екстрене та аварійне гальмування.

Службове гальмування – гальмування, яке застосовують для плавного зменшення швидкості автотранспортного засобу або його зупинки в заданому місці. Воно проводиться з невеликою інтенсивністю, що не викликає неприємних відчуттів у водія і пасажирів. Уповільнення при службовому гальмуванні зазвичай не перевершує $1...1,5 \text{ м/с}^2$.

Екстрене гальмування – гальмування, яке проводиться з максимальною для даних умов інтенсивністю. Звичайна їх кількість не перевершує $5...10 \%$ від загального числа гальмувань.

Аварійне гальмування – застосовується при виході з ладу або відмові робочої гальмівної системи і у всіх інших випадках, коли ця система не дозволяє добитися необхідного ефекту.

В більшості випадків застосування екстреного гальмування пов'язане з ефектом повного або часткового короткочасного блокування коліс. Для екстреного гальмування, за відсутності замкнених систем автоматичного управління гальмуванням, доцільно використовувати ступінчастий спосіб (рис. 1, б), який зовні нагадує переривчастий (рис. 1, а) (більш характерний для службового гальмування), проте на відміну від переривчастого не має пасивної фази, пов'язаної з повним припиненням дії гальмівних механізмів [10].

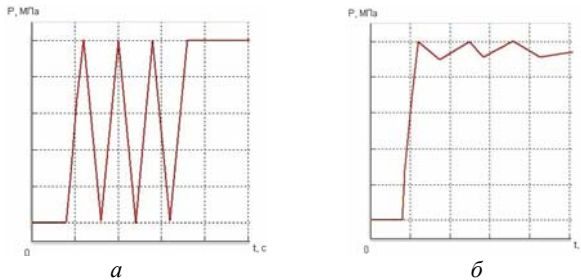


Рис. 1 – Імпульсне гальмування: *а* – переривчастий спосіб; *б* – ступінчастий спосіб; *P* – тиск в гальмівному приводі; *t* – час гальмування.

Переривчасте гальмування – періодичне натиснення на педаль гальма і повний її відпуск. Основною причиною, що вимушує тимчасово припинити дію гальмівних механізмів, є блокування коліс. Такий спосіб застосовується на нерівній дорозі і там, де чергуються ділянки з різними коефіцієнтами зчеплення, наприклад асфальт з льодом, снігом і брудом. Перед наїздом на нерівність або слизьку ділянку слід повністю відпускати гальмо. Ефективність переривчастого способу при екстремому гальмуванні недостатня, оскільки тимчасове припинення дії гальм впливає на збільшення

гальмівного шляху автомобіля, проте при цьому підвищується керуваність та стійкість автомобіля.

Важливою характеристикою гальмівного механізму, що значно впливає на процес гальмування, є залежність створюваного гальмівним механізмом гальмівного моменту M_{Tij} від тиску в гальмівному приводі P_{ij} (зміну P_{ij} доцільно задавати для гідравлічного приводу у вигляді $P_{ij}=P=K \cdot h(t)$, K – коефіцієнт підсилення, $h(t)$ – закон натиснення на педаль гальма):

$$M_{Tij} = k_{ij} \cdot P_{ij} - A_{ij}, \text{ якщо } M_{Tij} < 0, \text{ тоді } M_{Tij} = 0, \quad (1)$$

де k_{ij} , A_{ij} – коефіцієнти, які визначаються за експериментальними даними;

i – номер борта автотранспортного засобу ($i=n$ – правий борт, $i=l$ – лівий борт);

j – номер осі автотранспортного засобу ($j=1$ – передня вісь, $j=2$ – задня вісь).

Вибір коефіцієнтів k_{ij} , A_{ij} вважається вірним, якщо при $P_{ij}=P_b \approx 0,2$ МПа гальмівний момент $M_{Tij}=0$; при P_{\max} гальмівний момент $M_{Tij}=M_{Tij\max}$. Тобто для знаходження коефіцієнтів k_{ij} , A_{ij} необхідно вирішити систему рівнянь:

$$\begin{cases} k_{ij} \cdot P_b - A_{ij} = 0; \\ k_{ij} \cdot P_{\max} - A_{ij} = M_{Tij\max}, \end{cases} \quad (2)$$

де P_b – величина тиску, яка необхідна для вибірки всіх зазорів і подолання сил тертя в гальмівному механізмі, МПа.

Визначити коефіцієнти k_{ij} , A_{ij} можливо лише в тому випадку, коли відомий максимальний гальмівний момент, що реалізується на кожному колесі автотранспортного засобу – $M_{Tij\max}$.

Сумарна нормальна реакція дороги R_{zij} з урахуванням перерозподілу мас при гальмуванні автомобіля для передніх коліс:

$$R_{z1l} = \frac{G \cdot (L - a) + P_{js} \cdot h}{2 \cdot L}, \quad (3)$$

де G – вага автомобіля, Н;

L – відстань від передньої осі до центру заднього моста, м;

a – відстань від передньої осі до центру мас автомобіля, м;

P_{js} – сила інерції автомобіля, Н;

h – висота центру мас автомобіля, м.

Сумарна нормальна реакція дороги R_{zij} з урахуванням перерозподілу мас для коліс заднього моста:

$$R_{zi2} = \frac{G \cdot a - P_{js} \cdot h}{2 \cdot L}. \quad (4)$$

Сила інерції автомобіля визначається з наступного виразу:

$$P_{js} = G \cdot \ddot{X} / g, \quad (5)$$

де \ddot{X} – прискорення автомобіля, м/с²;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

Реакція у поздовжній площині ij колеса при максимальній вазі автомобіля, що визначає гальмівну ефективність:

$$R_{xij} = R_{zij} \cdot \varphi_{ij}, \quad (6)$$

де φ_{ij} – коефіцієнт зчеплення ij колеса в поздовжньому напрямку з опорною поверхнею.

Коефіцієнт зчеплення в поздовжньому напрямку:

$$\varphi_{ij} = f(S_{ij}), \quad (7)$$

де S_{ij} – відносне поздовжнє ковзання ij колеса.

Відносне поздовжнє ковзання колеса:

$$S_{ij} = \frac{V - \omega_{ij} \cdot r}{V}, \quad (8)$$

де V – швидкість руху автомобіля, м/с;

ω_{ij} – кутова швидкість ij колеса, рад/с;

r – радіус колеса, м.

Рух одиночного гальмуючого колеса описується наступним виразом:

$$J_{\Sigma ij} \cdot \dot{\omega}_{ij} = R_{zij} \cdot \varphi_{ij} \cdot r - M_{Tij}, \quad (9)$$

де $J_{\Sigma ij}$ – момент інерції пов'язаних з ij колесом мас, що обертаються, кг·м²;

$\dot{\omega}_{ij}$ – кутове прискорення ij колеса, рад/с².

Кутова швидкість колеса:

$$\omega_{ij} = \omega_{oij} - \int_0^t \dot{\omega}_{ij} dt, \quad (10)$$

де ω_{0ij} – початкова кутова швидкість ij колеса, рад/с;

t – час гальмування, с.

Загальмовування і подальше блокування колеса супроводжуються безперервною зміною вертикальної реакції дороги R_{zij} і коефіцієнта зчеплення φ_{ij} . Це пов'язано з перерозподілом ваги автомобіля між осями і зміною відносного подовжнього ковзання колеса S_{ij} .

Швидкість руху автомобіля:

$$V = V_o - \int_0^t \ddot{X} dt, \quad (11)$$

де V_o – початкова швидкість руху автомобіля, м/с.

Прискорення автомобіля визначається з виразу:

$$\ddot{X} = -g \cdot \sum_{i,j} R_{xij} / G. \quad (12)$$

У разі блокування колеса рівняння (9) замінюється на $\dot{\omega}_{ij} = 0$, а при зниженні M_{Tij} при заблокованому колесі вибирається з умови:

$$J_{\Sigma ij} \cdot \dot{\omega}_{ij} = \max(R_{zij} \cdot \varphi_{ij} \cdot r - M_{Tij}, 0). \quad (13)$$

Якщо $\omega_{ij} < 0$, то $\dot{\omega}_{ij} = 0$, якщо $\omega_{ij} = 0$ та $\dot{\omega}_{ij} < 0$, то $\dot{\omega}_{ij} = 0$.

Для моделювання процесу гальмування автомобіля Lanos створена програмна реалізація, що розроблена в системі Matlab за допомогою підсистеми моделювання динамічних процесів Simulink.

Програмна реалізація, що описує процес гальмування автомобіля Lanos, складається з файлу “Car.m” (M-File), який дозволяє задавати початкові дані для моделювання, та “Car_mdl” (Model) – файл, що дозволяє виконувати моделювання процесу гальмування. Результати моделювання процесу гальмування наведені в табл.

В результаті моделювання було встановлено, що блокування коліс відбувається при екстремому гальмуванні на сухому асфальті та снігу і службовому на снігу. При цьому максимальна гальмівна ефективність спостерігається при екстремому гальмуванні на сухому асфальті та службовому на снігу.

Підвищення керованості та стійкості спостерігається при переривчастому і ступінчастому гальмуванні зі втратою при цьому

гальмівної ефективності. Зміна параметрів при переривчастому гальмуванні на сухому асфальті наведена на рис. 2.

Таблиця – Результати моделювання процесу гальмування

Умови експлуатації	Досліджуваний спосіб гальмування при початковій швидкості гальмування							
	Службове (експоненціальний закон натиснення на педаль гальма, максимальне уповільнення спостерігається через 3 с.)				Екстрене (лінійний закон натиснення на педаль гальма, максимальне уповільнення спостерігається через 1 с.)			
	40 км/год		60 км/год		40 км/год		60 км/год	
	S*, м	t*, с	S*, м	t*, с	S*, м	t*, с	S*, м	t*, с
Асфальт сухий	32,0	4,16	58,7	5,38	21,1	2,85	39,9	3,82
Сніг	58,6	9,82	130,7	14,96	60,7	10,12	137,2	15,50
	Переривчасте				Ступінчасте			
Асфальт сухий	34,9	4,62	62,7	6,65	22,2	3,06	42,5	4,16
Сніг	95,8	14,07	187,9	18,81	62,5	10,26	139,3	16,19

де S* – зупинний шлях, м;

t* – час, за який автотранспортний засіб пройшов зупинний шлях, с.

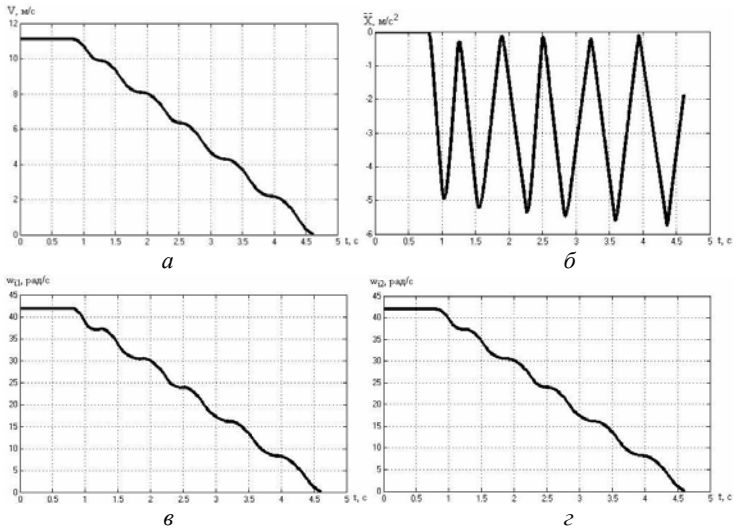


Рис. 2 – Зміна параметрів при переривчастому гальмуванні на сухому асфальті: а – швидкість автомобіля; б – прискорення автомобіля; в – кутова швидкість передніх коліс; г – кутова швидкість задніх коліс.

Висновки. В разі відсутності замкнених систем автоматичного керування гальмуванням на автотранспортному засобі добитися водієві одночасного збереження гальмівної ефективності, керованості і стійкості не представляється можливим. При блокуванні коліс спостерігається не значне

зменшення гальмівної ефективності зі втратою при цьому керованості і стійкості. При ступінчастому та переривчастому гальмуванні спостерігається збереження керованості і стійкості при незначній втраті для ступінчастого та суттєвому зниженні при переривчастому гальмуванні гальмівної ефективності.

Список літератури: 1. *Булгаков Н. А.* Исследование взаимодействия автомобиля с дорогой в процессе торможения: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.05.03 “Автомобили и тракторы” / *Н. А. Булгаков.* – Харьков, 1973. – 29 с. 2. Маневренность и тормозные свойства колесных машин / [Подригало М. А., Волков В. П., Кирчатый В. И., Бобошко А. А.] – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2002. – 403 с. 3. *Пчелин И. К.* Динамика процесса торможения автомобиля: автореф. дис. на соискание уч. степени доктора техн. наук: спец. 05.05.03 “Автомобили и тракторы” / *И. К. Пчелин.* – М., 1984. – 39 с. 4. *Чудаков Д. А.* Основы теории и расчета трактора и автомобиля: учебн. [для студ. высш. учебн. зав.] / *Д. А. Чудаков.* – М.: “Колос”, 1972. – 384 с. 5. *Цитович И. С.* Динамика автомобиля / *И. С. Цитович, В. Б. Альгин.* – Минск: “Наука и техника”, 1981. – 191 с. 6. *Безбородова Г. Б.* Моделирование движения автомобиля / *Г. Б. Безбородова, В. Г. Галушко.* – Киев: “Высшая школа”, 1978. – 168 с. 7. *Подригало М. А.* Устойчивость колесных машин при торможении / *Подригало М. А., Волков В. П., Кирчатый В. И.* – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 1999. – 93 с. 8. Устойчивость колесных машин против заноса в процессе торможения и пути ее повышения / [Подригало М. А., Волков В. П., Павленко В. А. и др.]; под ред. *М. А. Подригало.* – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2006. – 377 с. 9. Динамика автомобиля / [Подригало М. А., Волков В. П., Бобошко А. А. и др.]. – Харьков: ХНАДУ, 2008 – 452 с. 10. *Евстропов А. В.* Основные способы торможения автомобиля / *А. В. Евстропов* // Вісник національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”: зб. наук. праць. Тематичний випуск: Транспортне машинобудування. – 2012. – № 19. – С. 10 – 14.

Надійшла до редколегії 24.04.2013

УДК 629.4-592

Дослідження процесу гальмування транспортних засобів з гідравлічним гальмівним приводом / А. І. Бондаренко, Карім Ассаф // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Транспортне машинобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – № 31 (1004). – С. 28–34. – Бібліогр.: 10 назв.

Проведен анализ основных существующих способов торможения легковых автомобилей, составлена математическая модель процесса торможения, смоделировано служебное и экстренное торможение, исследованы возможности повышения тормозной эффективности, управляемости и устойчивости легковых автомобилей в случае отсутствия замкнутых систем автоматического управления торможением.

Ключевые слова: динамика, процесс торможения, тормозная эффективность, управляемость, устойчивость.

The analysis of basic existent methods of braking of cars is conducted, the mathematical model of braking process is made, the official and emergency braking is modelled, possibilities of rise of brake efficiency, dirigibility and stability of passenger cars in the case of absence of the closed systems of automatic control braking are conducted.

Keywords: dynamics, braking process, brake efficiency, dirigibility, stability.