

А.В. Костенко, к.т.н., доц.  
В.В. Кондратьєв, асист.  
А.М. Єфименко, асист.

Донецька академія автомобільного транспорту

### ВПЛИВ ПОДОВЖНЬОЇ СИЛИ, ЩО ВИНИКАЄ В ПЛЯМІ КОНТАКТУ КОЛЕСА З ДОРОГОЮ, НА КУРСОВУ СТІЙКІСТЬ РУХУ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБІЛЯ

*Розглянуто питання впливу подовжніх сил у контакті колеса з дорогою на курсову стійкість руху легкового автомобіля. Наведено діаграму подовжніх та поперечних сил, залежність коефіцієнта зчеплення від проковзування, графіки залежностей коефіцієнта опору відведенню від тягової та гальмівної сил. Виконано розрахунки критичної швидкості легкового автомобіля малого класу залежно від величини тягової сили для різних компоновальних схем.*

**Вступ.** Розвиток конструкції автомобілів передбачає підвищення їх динамічних характеристик. З іншого боку, збільшується інтенсивність транспортних потоків, що призводить до зростання імовірності виникнення дорожньо-транспортних пригод (ДТП). Тому, безумовно, актуальною є проблема зниження імовірності ДТП. Особливо ця проблема стосується динамічних автомобілів, що рухаються в транспортному потоці. Отже, динамічні автомобілі повинні володіти певним рівнем курсової стійкості руху (КСР).

**Основна частина.** На параметри КСР суттєво впливають еластичні шини, що відповідають за зв'язок між автомобілем та опорною поверхнею. Серед багатьох характеристик шин, що впливають на КСР, особливу увагу слід звернути на бічне відведення. Існує багато робіт, присвячених дослідженню бічного відведення та його впливу на КСР. Але в більшості з них не розглядається вплив на бічне відведення подовжніх сил (тягових та гальмівних), що виникають у контакті колеса з дорогою. Крім того, між результатами досліджень цих робіт існують протиріччя [1].

Під час руху автомобіля окрема дія подовжніх та поперечних сил зустрічається дуже рідко. Найчастіше ці сили утворюють результуючу силу. Цей процес наочно та доволі точно можна візуалізувати за допомогою діаграми подовжніх та поперечних сил – колом Камма (Kamm'scher Kreis) (рис. 1) [2, 3].

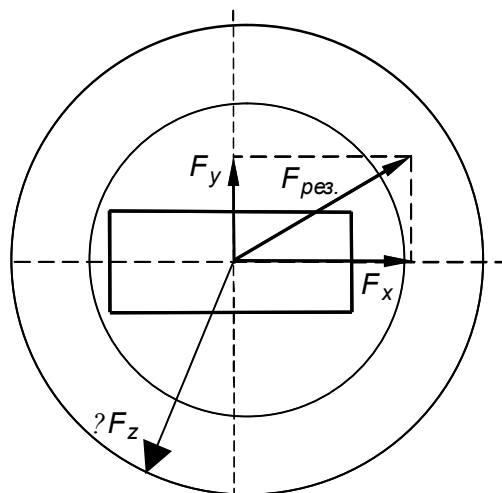


Рис. 1. Діаграма подовжніх та поперечних сил

Радіус кола – це максимальне значення результуючої сили, величина якої буде залежати від коефіцієнта зчеплення та вертикального навантаження. Зовнішнє коло відповідає максимальній силі зчеплення на сухому покритті, внутрішнє – на мокрому. Для забезпечення стійкості результуюча сила не повинна перевищувати максимальну силу зчеплення. Крім того, з рисунка 1 видно, що при збільшенні тангенціальної сили максимально можлива бічна сила, що може бути сприйнята колесом, зменшується. Тобто якщо при повороті автомобіля відбувається гальмування або прискорення, то це буде можливо лише за рахунок бічних сил, що негативно вплине на КСР.

Слід зазначити, що, на відміну від «класичного» тертя, зчеплення автомобільних шин з дорогою буде залежати від проковзування – різниці між швидкістю автомобіля та колеса. Залежність коефіцієнта зчеплення від проковзування показано на рисунку 2 [4].

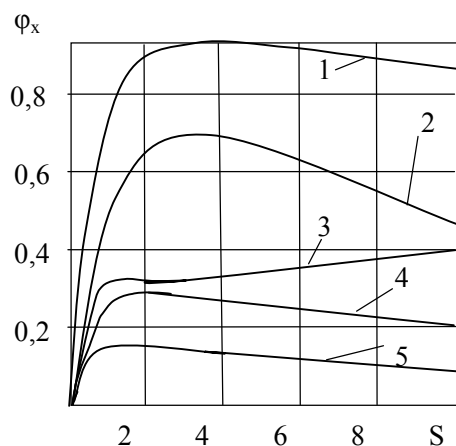


Рис. 2. Залежність коефіцієнта зчеплення від проковзування:  
 1 – сухий асфальт; 2 – мокрий асфальт; 3 – свіжий сніг; 4 – укочений сніг; 5 – лід

При дії на колесо тягової сили коефіцієнт опору відведенню знижується (рис. 3, а). Дещо інша картина спостерігається при дії гальмівної сили. Якщо гальмівна сила невелика, то коефіцієнт опору відведенню збільшується. При малих кутах відведення є підвищення коефіцієнта опору відведення – при куті відведення  $\delta = 2-5^\circ$  збільшення становить 7-11 % [1]. На рисунку 3, б показано залежність відносного коефіцієнта опору відведенню від питомої гальмівної сили.

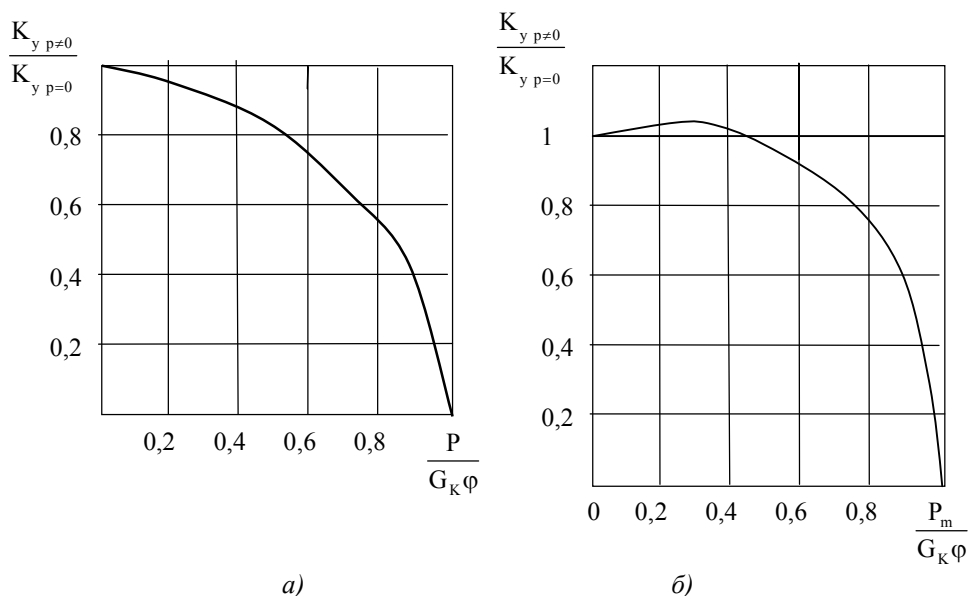


Рис. 3. Залежність відносного коефіцієнта опору відведення від подовжньої сили:  
 а – від питомої тягової сили; б – від питомої гальмівної сили

Таким чином, необхідно наголосити, що наявність подовжніх сил, які при експлуатації автомобіля змінюються за величиною та напрямком, може призвести до зміни КСР безпосередньо під час руху автомобіля. Динамічний перерозподіл величин бічних реакцій шин сприяє динамічній зміні за часом і кутів відведення шин коліс передньої та задньої осей, а отже, змінює їхнє співвідношення, від якого, як відомо, залежить тип поворотності автомобіля. Звідси випливає, що говорити про надлишкову або недостатню поворотність як про постійну властивість автомобіля – некоректно. Більш правильно вести мову про динаміку цієї властивості, пов'язану з тим, що той самий автомобіль у якийсь момент може мати один вид поворотності, а вже в наступний момент – інший [5].

Для оцінки величини критичної швидкості використаємо уточнену математичну модель руху легкового автомобіля [6], розрахункова схема якого представлена на рисунку 4.

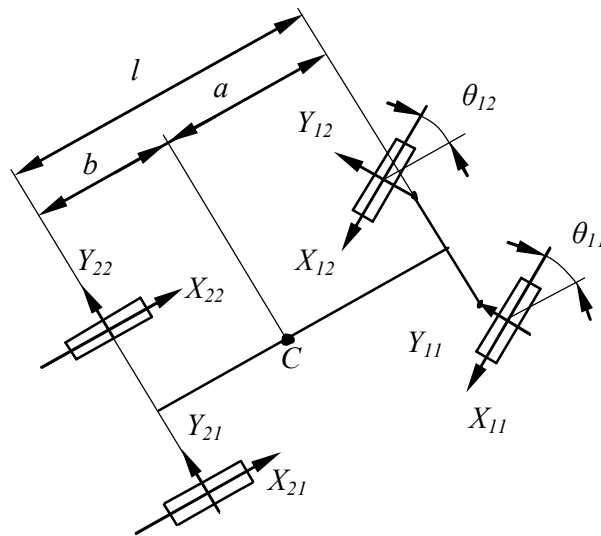


Рис. 4. Розрахункова модель легкового автомобіля

Рівняння руху мають вигляд:

$$\begin{aligned} (\dot{u} - \omega v) &= Y_{11} \cos \theta_{11} + Y_{12} \cos \theta_{12} + Y_{21} \cos \theta_{21} + Y_{22} \cos \theta_{22}; \\ \dot{\omega} &= a \cdot Y_{11} \cdot \cos \theta_{11} + a \cdot Y_{12} \cdot \cos \theta_{12} + b \cdot Y_{21} + b \cdot Y_{22}, \end{aligned} \tag{1}$$

де  $m$  – маса автомобіля;  $v, u$  – повздовжня і поперечна складові швидкості центра мас  $C$  автомобіля;  $\dot{u}$  – поперечне прискорення центра мас автомобіля;  $J$  – момент інерції щодо вертикальної осі, що проходить через точку  $C$ ;  $\omega, \dot{\omega}$  – кутові швидкість та прискорення автомобіля;  $Y_{11}, Y_{12}$  – бічні сили, що діють у контакті з дорогою передніх коліс;  $Y_{21}, Y_{22}$  – бічні сили, що діють у контакті з дорогою задніх коліс;  $\theta_{11}, \theta_{12}$  – кути повороту передніх керованих коліс;  $a, b$  – відстань від центрів мас до передньої та задньої осей відповідно.

Як формулу, що описує залежність зміни коефіцієнта опору відведенню від тягової сили, приймемо емпіричну залежність [1]:

$$\frac{k_{p \neq 0}}{k_{p=0}} = \sqrt{1 - \left( \frac{P}{G_k \varphi} \right)}, \tag{2}$$

де  $k_{p \neq 0}$  – коефіцієнт опору відведенню при дії тягової сили;  $k_{p=0}$  – коефіцієнт опору відведенню без дії тягової сили;  $P$  – тягова сила;  $G_k$  – вертикальне навантаження на колесо;  $\varphi$  – коефіцієнт зчеплення.

Приймемо такі параметри легкового автомобіля:  $m = 13$  кН;  $a = 1,23$  м;  $b = 1,2$  м;  $\varphi = 0,8$ ;  $k_{11} = k_{12} = 50$  кН/рад.;  $k_{21} = k_{22} = 40$  кН/рад. Залежність бічного відведення відповідно до теорії Рокара –  $Y = k\delta$  ( $Y$  – бічна сила;  $k$  – коефіцієнт опору відведенню;  $\delta$  – кут відведення) [7].

На рисунку 5 представлено результати розрахунку критичної швидкості залежно від величини тягової сили для передньо-, задньо- та повнопривідного автомобілів.

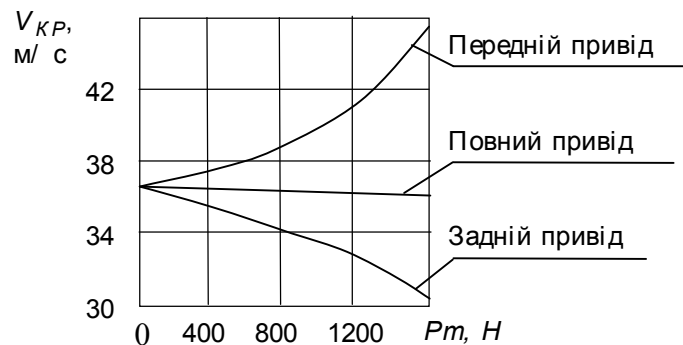


Рис. 5. Залежності критичної швидкості легкового автомобіля

## від величини тягової сили

Рисунок 5 підтверджує, що наявність тягової сили на задніх колесах знижує критичну швидкість, тобто погіршує КСР.

З урахуванням того, що при гальмуванні спочатку відбувається збільшення коефіцієнта  $k$  приблизно на 10 %, за допомогою наведеної вище математичної моделі отримано, що критична швидкість для цього випадку зростає з 36,3 м/с до 38,1 м/с. Далі буде відбуватися зниження критичної швидкості, яку визначити проблематично, оскільки немає більш-менш загальноприйнятої аналітичної залежності, що пов'язує коефіцієнт опору та гальмівну силу [1].

**Висновки.** Наявність подовжніх сил, що виникають у контакті колеса з дорогою, призводить до зміни поворотності автомобіля, що може негативно вплинути на КСР, а саме на безпеку руху. Проблеми дослідження КСР з урахуванням подовжніх сил пов'язані з необхідністю експериментального визначення цих сил та розглядання сумісного впливу подовжніх та поперечних (бічних) сил на КСР.

**ЛІТЕРАТУРА:**

1. *Литвинов Л.С.* Управляемость и устойчивость автомобиля / *А.С. Литвинов.* – М. : Машиностроение, 1971. – 416 с.
2. *Бакфиш К.* Новая книга о шинах / *К.Бакфиш, Д.Хайнц.* – М. : ООО «Изд-во Астрель» : ООО «Изд-во АСТ», 2003. – 303 с.
3. *Isermann Rolf* (Hrsg). *Fahrdynamik-Regelung: Modellbildung, Fahrerassistenzsysteme, Mechatronik / Rolf Isermann.* – Wiesbaden : Friedr. Vieweg & Sohn Verlag : GWV Fachverlage GmbH, 2006. – 461 S.
4. *Осепчугов В.В.* Автомобиль: анализ конструкций, элементы расчета / *В.В. Осепчугов, А.К. Фрумкин.* — М. : Машиностроение, 1989. — 304 с.
5. *Блинов Е.И.* Теория автомобиля: от статики к динамике / *Е.И. Блинов* // Автомобильная промышленность. – 2007. – № 7. – С. 16–19.
6. *Костенко А.В.* Прогнозування показників курсової стійкості легкового автомобіля з урахуванням розкиду жорсткісних характеристик шин : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.02 / *А.В. Костенко.* – К., 2007. – 168 с.
7. *Рокар И.* Неустойчивость в механике / *И.Рокар.* – М. : Изд-во иностр. лит., 1959. – 317 с.

КОСТЕНКО Андрій Вікторович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Автомобілі та двигуни» Донецької академії автомобільного транспорту.

Наукові інтереси:

- курсова стійкість автомобіля;
- керуваність автомобілів.

Тел.: 062-345-20-63.

E-mail: andr13kost@list.ru

КОНДРАТЬЄВ Віктор Васильович – асистент кафедри «Автомобілі та двигуни» Донецької академії автомобільного транспорту.

Наукові інтереси:

- критична швидкість легкового автомобіля;
- поворотність автомобіля.

Тел.: 050-619-97-27.

E-mail: viktorkon25@mail.ru

ЄФИМЕНКО Алла Миколаївна – асистент кафедри «Технічна експлуатація автомобілів» Донецької академії автомобільного транспорту.

Наукові інтереси:

- покращення тягово-швидкісних властивостей легкового автомобіля малого класу.

Тел.: 050-152-47-20.

E-mail: Efimenko\_Alla@i.ua

Подано 19.05.2010

**Костенко А.В., Кондратьев В.В., Єфименко А.М.** Вплив подовжньої сили, що виникає в плямі контакту колеса з дорогою на курсову стійкість руху легкового автомобіля

**Костенко А.В., Кондратьев В.В., Ефименко А.Н.** Влияние продольной силы, которая возникает в пятне контакта колеса с дорогой, на курсовую устойчивость движения легкового автомобиля

**Kostenko A.V., Kondratev V.V., Efimenko A.N.** Influence of longitudinal power, which appears in spot of the wheel contact with road, on road holding motion of the passenger car

УДК 629.113

**Влияние продольной силы, которая возникает в пятне контакта колеса с дорогой, на курсовую устойчивость движения легкового автомобиля / А.В. Костенко, В.В. Кондратьев, А.Н. Ефименко**

В статье рассмотрен вопрос о влиянии продольных сил в контакте колеса с дорогой на курсовую устойчивость движения легкового автомобиля. Приведена диаграмма продольных и поперечных сил, зависимость коэффициента сцепления от проскальзывания, графики зависимостей коэффициента сопротивления уводу от тяговой и тормозной сил. Выполнены расчеты критической скорости легкового автомобиля малого класса в зависимости от величины тяговой силы для различных компоновочных схем.

УДК 629.113

**Influence of longitudinal power, which appears in spot of the wheel contact with road, on road holding motion of the passenger car / A.V. Kostenko, V.V. Kondratev, A.N. Efimenko**

In article the following question is considered about influence of longitudinal power in wheel contact with road on road holding motion of the passenger car. The diagram is given of longitudinal and transverse powers, dependency of the adhesion factor from skidding, the dependence graphs of the resistance factor of skid from propelling and brake powers. The calculations are executed of critical speed of the passenger car of small class depending on values of propelling power for different building schemes.