

СУДОВА ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНА ЕКСПЕРТИЗА: МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ

DOI: <https://doi.org/10.32353/khrife.2018.42>
УДК 629.017

Д. М. Леонт'єв, доцент кафедри автомобілів ім. А. Б. Гредескула Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, кандидат технічних наук,

М. Г. Михалевич, доцент кафедри автомобілів ім. А. Б. Гредескула Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, кандидат технічних наук,

А. А. Фролов, науковий співробітник Харківського НДІСЕ
E-mail: andrey5120@mail.ru

ВПЛИВ ВЕРТИКАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ГАЛЬМІВНУ СИЛУ ТА КОЕФІЦІЄНТ ЗЧЕПЛЕННЯ ШИНИ АВТОМОБІЛЬНОГО КОЛЕСА

Проаналізовано вплив вертикального навантаження на коефіцієнт зчеплення автомобільного колеса в режимі гальмування на основі експериментальних досліджень. Наведено результати досліджень різних авторів щодо ступеня впливу різних чинників на коефіцієнт зчеплення. Урахування непостійності значення коефіцієнта зчеплення в експертній автотехнічній практиці дозволить моделювати динаміку гальмування транспортного засобу із системами автоматичного регулювання на більш високому рівні та з більшою достовірністю.

Ключові слова: транспортний засіб, реалізоване зчеплення, коефіцієнт зчеплення, автомобільне колесо.

Відомо, що фундаментальною основою активної безпеки транспортного засобу (ТЗ) є його гальмівні властивості, а характер гальмування залежить від взаємодії шин автомобільного колеса з дорожнім покриттям. Таку взаємодію в теорії автомобіля прийнято описувати коефіцієнтом зчеплення, який

може реалізовуватися як у поздовжньому, так і в поперечному напрямках відносно площини обертання колеса ТЗ.

Аналіз науково-технічної літератури¹ показав, що під терміном «поздовжній коефіцієнт зчеплення» прийнято розуміти відношення тільки максимальної поздовжньої реакції дороги на колесо R_x^{\max} до її нормальної реакції R_z в конкретних навантажувальних, швидкісних і зчпних умовах руху колеса ТЗ.

Однак, не дивлячись на це, існують публікації², у яких під коефіцієнтом зчеплення розуміються й інші співвідношення цих сил, що, на нашу думку, є неправильним і суперечить фізиці процесів, які виникають у зоні контакту шини з дорожнім покриттям. Очевидно, що на величину коефіцієнта зчеплення при гальмуванні ТЗ впливає велика кількість чинників, аналіз впливу яких вимагає додаткового розгляду. З огляду на ту обставину, що коефіцієнт зчеплення залежить від різних чинників, для визначення характеру його зміни в процесі гальмування необхідно виявити найбільш значущі чинники, від яких істотно залежить ефективність гальмування ТЗ. Відомо, що величина коефіцієнта зчеплення залежить від якості та стану дорожнього покриття (матеріалу покриття, ступеня його шорсткості, твердості, пухкості й вологості), від форми малюнка протектора шини (кількості, розміру й положення виступів і канавок), від тиску повітря в шині, від швидкості обертання колеса та від величини вертикального навантаження, яке припадає на колесо³.

Як ілюстрацію зазначених міркувань розглянемо результати проведеного дослідження щодо впливу різних факторів на величину поздовжнього коефіцієнта зчеплення для шини легкового автомобіля з протектором типу «шашка» на сухому (суцільна лінія) і мокрому (пунктирна лінія) асфальтобетонному дорожньому покритті (рис. 1)⁴.

¹ Ломака С. И., Алекса Н. Н., Гецович Е. М. Автоматизация процесса торможения автомобиля : учеб. пособие. Киев : УМК ВО, 1988. 88 с.; Вонг Д. Теория наземных транспортных средств : пер. с англ. Москва : Машиностроение, 1982. 284 с.; Иларионов В. А., Морин М. М., Шейн А. И. Теория автомобиля : учеб. пособие. Москва : науч.-техн. изд-во, 1960. 191 с.

² Вонг Д. Зазнач. твір; Иларионов В. А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий : учебник для вузов. Москва : Транспорт, 1989. 255 с.; Иларионов В. А., Пчелин И. К. Анализ тормозной динамичности автобуса. Львов : Труды ВКЭИавтобуспрома, 1975. С. 95–110; Раджека Н. В. Tire and vehicle dynamics: 2-nd edition. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2006. 642 p.; Mark D. The dynamics of antilock brake systems. *European Journal of Physics*. 2006. V. 26. № 6. P. 1007–1016.

³ Реализация интеллектуальных функций в электронно-пневматическом тормозном управлении транспортного средства : монография / Д. Н. Леонтьев, А. Н. Туренко, В. А. Богомолов и др. 2-е изд., допол. Харьков : ХНАДУ, 2015. 450 с.; Левин М. А., Фуфаев Н. А. Теория качения деформируемого колеса. Москва : Наука, 1989. 272 с.; Работа автомобильной шины / В. И. Кнороз, Е. В. Кленников, И. П. Петров и др. Москва : Транспорт, 1976. 240 с.; Кнороз В. И., Кленников Е. В. Теория качения деформируемого колеса. Москва : Наука, 1989. 272 с.

⁴ Иларионов В. А., Морин М. М., Шейн А. И. Зазнач. твір.

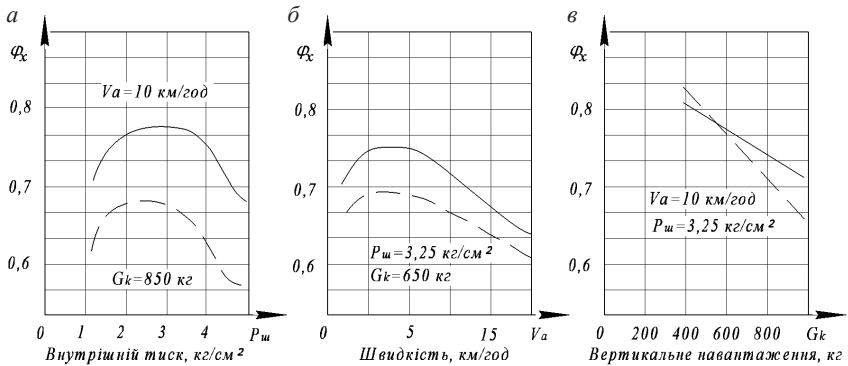


Рис. 1. Залежність коефіцієнта поздовжнього зчеплення від тиску повітря в шині (а), початкової швидкості гальмування ТЗ (б) і вертикального навантаження на колесо (в)

Із рис. 1а можна бачити, що в разі збільшення внутрішнього тиску в шині коефіцієнт зчеплення спочатку збільшується, а потім, досягнувши свого граничного значення, зменшується. При збільшенні початкової швидкості, з якої почалося гальмування ТЗ, коефіцієнт зчеплення знижується, і лише при малих швидкостях він має максимальне значення (рис. 1б). Ці результати також підтверджуються й дослідженнями інших авторів¹. Збільшення ж вертикального навантаження на колесо призводить до зниження коефіцієнта зчеплення (рис. 1в), що, у свою чергу, на перший погляд суперечить положенням теорії автомобіля, яке надається у вигляді залежності (1). Але не будемо поспішати з висновками та розглянемо всебічно це питання.

$$R_x = R_z \cdot \phi_x, \quad (1)$$

Аналіз кривих (рис. 2), отриманих експериментальним шляхом² на дорозі з сухим асфальтовим покриттям, показує, що при збільшенні вертикального навантаження на колесо відповідно до залежності (1) максимальна поздовжня реакція дороги на колесо R_x^{\max} збільшується, але не пропорційно збільшенню нормальної реакції R_z .

З ілюстрацій, зображених на рис. 2, очевидно, що зі збільшенням нормальної реакції R_z значення коефіцієнта зчеплення знижується. Причому слід зазначити, що при збільшенні нормальної реакції в 4,33 рази (тобто на 333 %) коефіцієнт зчеплення знижується на 33 % (тобто в 1,5 рази), при цьому максимальна поздовжня реакція дороги на колесо збільшується всього в 3 рази (тобто на 191 %).

¹ Основы создания и исследования электронно-пневматического тормозного управления транспортных средств : монография / А. Н. Туренко, В. И. Клименко, Л. А. Рыжих и др. Харьков : ХНАДУ, 2012. 288 с.

² Вонг Д. Зазнач. твір.

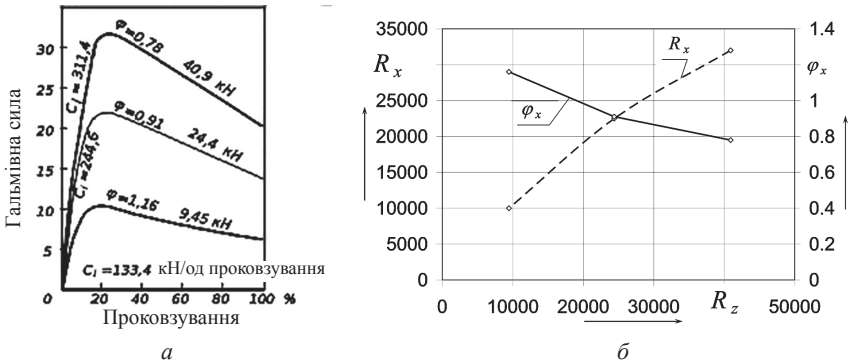


Рис. 2. Вплив нормального навантаження на поздовжню гальмівну силу, що виникає в зоні контакту шини 10.00-20 F вантажного автомобіля з асфальтовим покриттям: результати експериментального дослідження (а); інтерпретація експериментальних досліджень в інших координатах (б)

Для дослідження цього неоднозначного явища нами в співавторстві¹ були проведені стендові дослідження в лабораторії кафедри автомобілів ім. А. Б. Гредескула Харківського національного автомобільно-дорожнього університету на великому інерційному стенді. Для проведення досліджень було використано колесо з шиною типорозміру 11-R20. При виконанні стендових досліджень використовувалася методика визначення межі блокування колеса, яка викладена в міжнародному стандарті Правила №13 ООН (Додаток № 13)². За критерій оцінювання межі блокування колеса при гальмуванні приймалася ефективність гальмування зі збереженням стійкості й керованості, яка оцінювалася пройденим гальмівним шляхом і тривалістю процесу гальмування.

При проведенні експериментальних досліджень було встановлено, що найбільш раціональна ефективність гальмування зі збереженням стійкості та керованості може бути отримана тільки в умовах, коли колеса автомобіля блокуються в кінці процесу гальмування (швидкість менша ніж 15 км/год). Відсутність блокування колеса в кінці процесу гальмування призводить до зниження ефективності гальмування, а значить до збільшення гальмівного шляху та тривалості гальмування (рис. 3–5).

¹ Реализация интеллектуальных функций в электронно-пневматическом тормозном управлении транспортного средства : монография.

² Regulation № 13 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UN/ECE). Uniform provisions concerning the approval of vehicles of categories M, N and O with regard to braking: on condition 30.09.2010. *Official Journal of the European Union*. UN/ECE, 2010. 257 p.

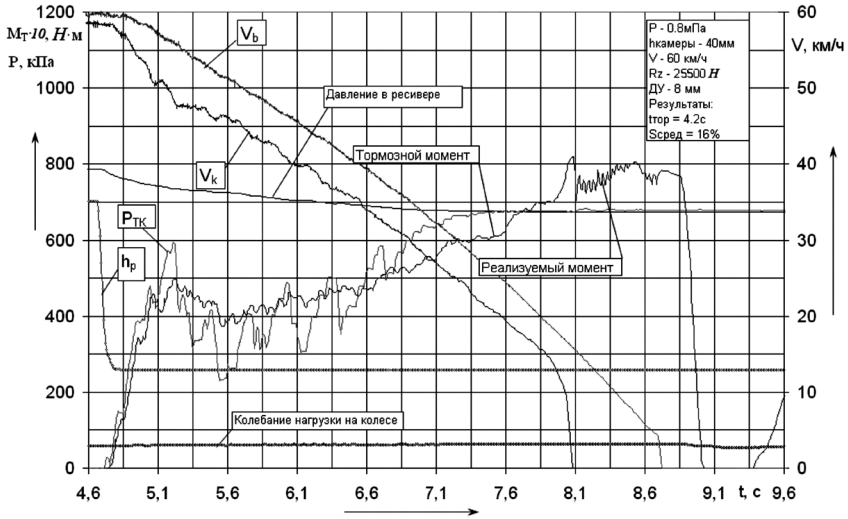


Рис. 3. Осцилограма експериментальних досліджень гальмування автомобільного колеса ЗІЛ-4335 під впливом антиблокувальної системи з блоком керування ХНАДУ та модулятором виробництва Кногг-Времсе (навантаження на колесо 25500 Н)

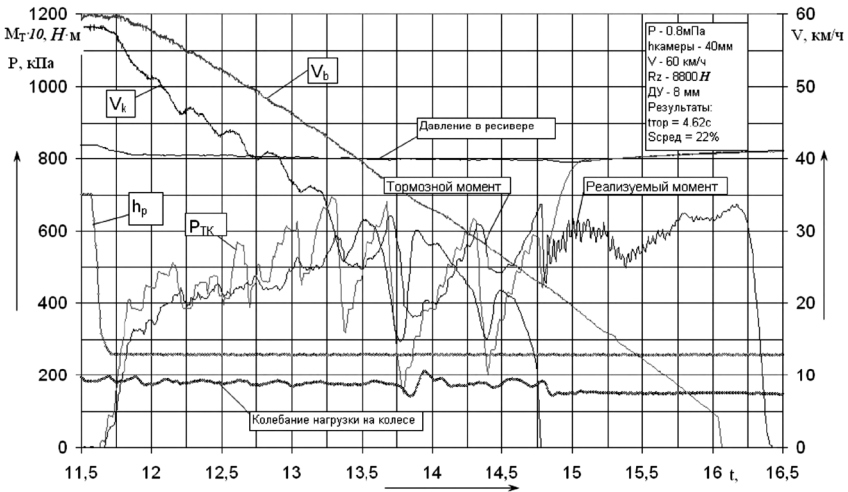


Рис. 4. Осцилограма експериментальних досліджень гальмування автомобільного колеса ЗІЛ-4335 під впливом антиблокувальної системи з блоком керування ХНАДУ та модулятором виробництва Кногг-Времсе (навантаження на колесо 8800 Н)

Проведені дослідження підтвердили результати, зображені на рис. 2, коефіцієнт зчеплення є не постійною величиною та суттєво залежить не тільки від початкової швидкості гальмування ТЗ, але й від навантаження, що припадає на колесо. При зменшенні вертикального навантаження на колесо коефіцієнт зчеплення збільшується (рис. 5).

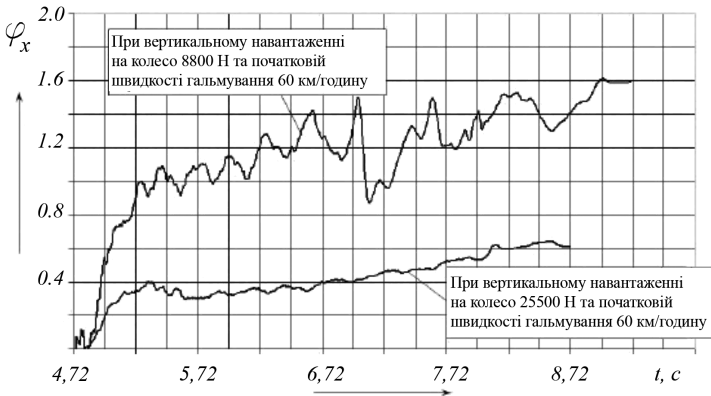


Рис. 5. Осцилограма експериментальних досліджень процесу реалізації зчеплення шини автомобільного колеса ЗІЛ-4335 (типорозміру 11-R20) залежно від часу при коченні колеса на межі блокування під впливом антиблокувальної системи по металевому барабану з коефіцієнтом тертя ковзання ($\varphi_{пр}$) 0,35–0,45 одиниць

Експериментальні дослідження кочення автомобільного колеса на грані блокування показали, що висока зміна темпу наповнення гальмової камери не сприяє підвищенню ефективності гальмування, а значить робота модулятора в режимі інтенсивного наповнення гальмової камери не має сенсу. Навпаки, як показали експериментальні дослідження, зниження темпу наповнення гальмової камери підвищує ефективність гальмування, хоча в початковий момент часу, через низьку величину гальмівного моменту, ефективність дещо занижена. На основі експериментальних досліджень процесу гальмування автомобільного колеса під впливом антиблокувальної системи з блоком керування, який розроблено на кафедрі автомобілів ім. А. Б. Гредескула в ХНАДУ, при використанні алгоритму з перериванням фаз регулювання гальмівного моменту, можна стверджувати, що ефективність гальмування суттєво залежить тільки від закону зміни гальмівного моменту в процесі гальмування й не залежить від інших зовнішніх факторів, які впливають на реалізоване зчеплення між шиною та опорною поверхнею.

Аналіз отриманих експериментальних осцилограм дозволив зробити такі висновки:

— збільшення або зменшення вертикальної сили, що навантажує колесо суттєво не впливає на реалізований гальмівний момент при коченні колеса

на межі блокування під впливом системи автоматичного регулювання гальмового зусилля;

— реалізований гальмівний момент залежить від маси ТЗ, що зупиняється, і коефіцієнта зчеплення, який реалізується між шиною та опорною поверхнею;

— гальмівний момент на колесі має нелінійну залежність від тиску в гальмовій камері під час динамічних процесів, що виникають у гальмовому механізмі;

— при зменшенні навантаження на автомобільне колесо лінійність між гальмівним моментом і тиском у гальмовій камері стає більш вираженою та відповідає статичним характеристикам, за яких спостерігається точне копіювання гальмівним моментом тиску в гальмовій камері;

— реалізоване зчеплення між шиною й поверхнею дорожнього покриття є величина непостійна та змінюється залежно не тільки від швидкості гальмування, але й від величини вертикальної сили, яка навантажує колесо. При зменшенні вертикальної сили, що навантажує колесо, реалізоване зчеплення зростає.

Аналіз експериментальних залежностей, наведених на рис. 3–5, показав, що зміна вертикального навантаження, наприклад у результаті його перерозподілу при гальмуванні, призводить до збільшення або зменшення кутового уповільнення в момент блокування й не справляє в цілому впливу на процес гальмування.

При зменшенні вертикального навантаження система автоматичного регулювання, яка базується на принципі переривання фаз регулювання, спрацьовує з меншою частотою та витрачає меншу кількість робочого тіла (повітря) у пневматичному приводі гальм. Ця обставина пояснюється тим, що для того, аби зупинити ТЗ із тією самою масою зі зниженим навантаженням на колесо, поріг спрацювання системи автоматичного регулювання гальмівного моменту в часі настає пізніше, ніж те саме граничне значення при більшому навантаженні на колесо, оскільки реалізоване зчеплення шини через зниження навантаження зростає (рис. 5).

Слід зазначити, що реалізоване зчеплення збільшується пропорційно зниженню навантаження, при цьому гальмівна сила практично не змінюється або змінюється в дуже вузькому діапазоні. Пояснюється такий ефект жорсткісними та деформаційними властивостями пневматичної шини.

На основі жорсткісних і деформаційних властивостей шини математично зміну коефіцієнта зчеплення можна описати залежністю:

$$\phi_x = \frac{C_x \cdot \xi_x}{r_d \cdot R_z}, \quad (2)$$

де C_x – крутильна жорсткість шини, Н·м/рад; ξ_x – кут закрутки шини, рад; r_d – динамічний радіус колеса, м.

Для двох різних станів руху автомобільного колеса (яке котиться з максимальною ефективністю (ξ_x^{\max}) і заблоковане (ξ_x^I)) значення ξ_x може бути визначене з виразу (3) або (4) відповідно¹.

¹ Реализация интеллектуальных функций в электронно-пневматическом тормозном управлении транспортного средства.

$$\xi_x^{\max} = \phi_{tr} \cdot r_d \cdot (4.625 - 4.29 \cdot \exp(0.0018 \cdot V_k)) , \quad (3)$$

$$\xi_x^{I_i} = \frac{0,219 \cdot \phi_{tr} \cdot r_d}{\exp(0.01861 \cdot V_a)} , \quad (4)$$

де ϕ_{tr} – коефіцієнт тертя ковзання; V_k – швидкість обертання колеса, м/с; V_a – швидкість руху транспортного засобу, м/с.

На основі проведених досліджень¹ значення C_x може бути визначене з виразу (5), який запропоновано у вигляді напівемпіричної залежності².

$$C_x = \left(100 - \frac{B_0}{g \cdot C_x^{P_{\max}} \cdot \exp(10 \cdot B_1 \cdot P^2)} \right) \cdot (635 \cdot \ln(R_z) - 5060) , \quad (5)$$

$$B_0 = \frac{1000 \cdot C_x^{P_{\min}}}{\exp(B_1 \cdot P_{\min})} , \quad (6)$$

$$B_1 = \frac{\ln\left(\frac{C_x^{P_{\max}}}{C_x^{P_{\min}}}\right)}{P_{\max} - P_{\min}} , \quad (7)$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с²; $C_x^{P_{\max}}$ – експериментальне значення крутильної жорсткості шини при максимально допустимому тиску повітря в шині; $C_x^{P_{\min}}$ – експериментальне значення крутильної жорсткості шини при мінімально допустимому тиску повітря в шині; P – тиск у шині, МПа; P_{\max} – максимальний тиск у шині, МПа; P_{\min} – мінімальний тиск у шині, МПа.

Урахування непостійності значення коефіцієнта зчеплення в експертній автотехнічній практиці дозволить моделювати динаміку гальмування ТЗ із системами автоматичного регулювання на більш високому рівні та з більшою достовірністю.

Як показали експериментальні дослідження, виконані на кафедрі автомобілів ім. А. Б. Гредескула в ХНАДУ, суттєвий вплив на коефіцієнт зчеплення дає початкова швидкість гальмування ТЗ (до 20 %) і вертикальне навантаження на колесо (до 56 %). Причому чим менше величина вертикального навантаження, тим сильніше її вплив на зчіпні властивості шини. Зменшення навантаження на колесо в 3–4 рази призводить до зниження

¹ Левин М. А., Фуфаєв Н. А. Знач. твір; Работа автомобильной шины; Кнороз В. И., Кленников Е. В. Знач. твір.

² Рыжих Л. А., Леонтьев Д. Н., Быкадоров А. В. Определение продольной реализуемой силы сцепления автомобильного колеса с опорной поверхностью по крутильной деформации шины и ее жесткости. *Автомобильная промышленность*. 2014. № 10. С. 20–24.

граничного тиску в гальмовій камері на 13 % ($P_{\text{ТК}}$) і зниження граничного ковзання ($S_{\text{сред}}$). У той самий час зниження вертикального навантаження на колесо практично не впливає на усталене уповільнення ТЗ, яке зупиняється, (підвищується на 2 %) при незмінній його масі.

Збільшення маси ТЗ призводить до зниження зчіпних властивостей його шин, а, отже, і до зниження величини уповільнення, зменшення його маси, навпаки, підвищує зчіпні властивості між шиною та опорною поверхнею, що відповідно позитивно впливає на ефективність гальмування ТЗ (його уповільнення підвищується).

ВЛИЯНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ НА ТОРМОЗНУЮ СИЛУ И КОЭФФИЦИЕНТ СЦЕПЛЕНИЯ ШИНЫ АВТОМОБИЛЬНОГО КОЛЕСА

Леонтьев Д. М., Михалевич М. Г., Фролов А. А.

Проанализировано влияние вертикальной нагрузки на коэффициент сцепления автомобильного колеса в режиме торможения на основе экспериментальных исследований. Приведены результаты исследований разных авторов относительно степени влияния различных факторов на коэффициент сцепления. Известно, что фундаментальной основой активной безопасности транспортного средства являются его тормозные свойства, а характер торможения зависит от взаимодействия автомобильных шин с дорожным покрытием. Такое взаимодействие в теории автомобиля по обыкновению описывается коэффициентом сцепления, который может быть реализован как в продольном, так и в поперечном направлениях относительно плоскости обращения колес транспортного средства. Экспериментальные исследования качения автомобильного колеса на грани блокирования показали, что увеличение темпа наполнения тормозной камеры не содействует повышению эффективности торможения, а, следовательно, работа модулятора в режиме интенсивного наполнения тормозной камеры не имеет смысла. Наоборот, как показали экспериментальные исследования, снижение темпа наполнения тормозной камеры повышает эффективность торможения, хотя в начальный момент времени, из-за низкой величины тормозного момента, эффективность несколько снижается. Учет непостоянства значения коэффициента сцепления в автотехнической практике позволит моделировать динамику торможения транспортного средства с системами автоматического регулирования на более высоком уровне и с большей достоверностью. Увеличение массы транспортного средства приводит к снижению сцепляющих свойств его шин, а, следовательно, и к снижению величины замедления, уменьшение его массы, наоборот, повышает сцепляющие свойства между шиной и опорной поверхностью, которая соответственно положительно влияет на эффективность торможения транспортного средства (его замедление повышается).

Ключевые слова: транспортное средство, реализованное сцепление, коэффициент сцепления, автомобильное колесо.

INFLUENCE OF VERTICAL LOAD ON BRAKING FORCE AND TYRE ADHESION COEFFICIENT OF VEHICLE WHEEL

Leontiev D. N., Mikhalevich N. G., Frolov A. A.

Influence of vertical load on the adhesion coefficient of automobile wheel in the braking mode on the basis of experimental researches is analyzed. Research results of different

authors concerning the degree of the influence of various factors on the adhesion coefficient are presented. It is known that the fundamental basis of vehicle active safety is its braking properties, and the nature of braking depends on the interaction of motorcar tires with road surfaces. Such interaction in the theory of a car is usually described by the adhesion coefficient, which can be implemented both in the longitudinal and transverse directions relative to the rotation area of the vehicle wheels. Experimental researches on rolling car wheel of locking border have demonstrated that a high change of filling speed of the brake chamber does not contribute to increasing the braking efficiency and consequently, the work of the modulator in the mode of intensive filling of brake chamber makes no sense. Vice versa, as experimental researches have demonstrated, the reduction of filling rate of the brake chamber increases the efficiency of braking, although at the initial moment of time, due to the low braking torque, the efficiency is slightly underestimated. Considering the inconsistency of the adhesion coefficient in automotive practice will allow modeling dynamics of vehicle inhibition with automatic regulation systems at a higher level and with greater reliability. Increasing the vehicle mass leads to a decrease in the coupling properties of its tires and consequently to reduce the amount of deceleration, reducing its mass, vice versa increases the coupling properties between the tire and support surface, which positively affects the performance of the vehicle braking (its slowing increases).

Keywords: vehicle, realized adhesion, coefficient of adhesion, vehicle wheel.

DOI: <https://doi.org/10.32353/khrife.2018.43>

УДК 343.98

А. В. Лубенцов, завідувач лабораторії
Харківського НДІСЕ

E-mail: lubencov_av@ukr.net,

В. О. Варлахов, старший науковий спів-
робітник Харківського НДІСЕ

ТЕХНІЧНИЙ АНАЛІЗ ДІЙ ВОДІІВ ОПЕРАТИВНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ НА РЕГУЛЬОВАНОМУ ПЕРЕХРЕСТІ (науково-методична стаття)

Розглянуто питання, які виникають у експертів під час проведення судових автотехнічних експертиз (експертних досліджень) при технічному аналізі дій водіїв оперативних транспортних засобах на регульованих перехрестях.

Ключові слова: дорожньо-транспортна пригода, сигнали світлофора, перехрестя, транспортний засіб, оперативний транспортний засіб.

Останнім часом значна кількість дорожньо-транспортних пригод (ДТП) відбувається за участі оперативних транспортних засобів (ОТЗ), до яких належать автомобілі швидкої медичної допомоги, служби безпеки дорожнього руху, аварійно-рятувальної служби, пожежної служби, служби інкасації, патрульної служби поліції та ін. Правила дорожнього руху України¹ (ПДРУ) визначають обов'язки та права водіїв ОТЗ, які, виконуючи невід-

¹ Правила дорожнього руху України : постанова Каб. Міністрів України від 10.10.2001 № 1306 (зі змін. та допов.). URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1306-2001-п>.