

Експериментальна оцінка гальмівної ефективності транспортного засобу з урахуванням впливу застосованих колісних шин

Сарасєв О.В.¹, Сарасєва І.Ю.¹, Данець С.В.², Козлов О.В.¹

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

²Харківський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр
Міністерства внутрішніх справ України

Анотація. На підставі впливу багатьох факторів коефіцієнт зчеплення колеса з поверхнею дороги постійно змінюється для різних конструкцій шин у певних межах. Проблема полягає у тому, як оцінити такий вплив при визначенні ефективності гальмування автомобіля. Метою роботи є експериментальне визначення впливу властивості шини на ефективність гальмування транспортного засобу. Застосовано методіку проведення гальмівних випробувань у дорожніх умовах з використанням необхідного обладнання за вимог відповідного державного та міжнародного стандарту. За результатами експерименту встановлено, що якість гуми колеса автомобіля впливає на його гальмівну ефективність в достатньо широких межах, і усталене сповільнення автомобіля категорії М1 в залежності від марки гуми коліс може перевищувати на 29-67% мінімальні вимоги до гальмівної ефективності, які визначені вітчизняним та міжнародним стандартом. Ці дані мають практичне значення для оцінки ефективності гальмування автомобіля під час проведення експертних досліджень дорожньо-транспортних пригод.

Ключові слова: автомобіль; шина; зчеплення; гальмування; сповільнення.

Вступ

Перевірка гальмової системи транспортного засобу (ТЗ) є найважливішою в експлуатації перевірок систем автомобіля, тому показники працездатності, їх режими, що допускаються, визначаються державними стандартами України. Стандарти однієї групи регламентують вимоги до продукції автомобільної промисловості, тобто до дорожніх ТЗ, що випускаються заводами, другий – до ТЗ, що перебувають в експлуатації.

Розроблювачі закладають у конструкцію ТЗ такі можливості, які повинні відповідати вимогам промислових стандартів. Останні досить високі, щоб створити запас на погіршення технічного стану ТЗ в процесі експлуатації. Межа цього погіршення запропонований експлуатаційними стандартами [1, 2], на

яких базуються вимоги Правил дорожнього руху (ПДР).

Так, верхня межа значення усталеного сповільнення, яка закладена конструкторами, може бути для легкових автомобілів 8-9 м/с², промисловий стандарт буде пропонувати значення 7-8 м/с², а експлуатаційний – 5-6 м/с². Останні вимоги і є нормою для ПДР і підприємств, що виконують обслуговування ТЗ. А якщо виникає дорожньо-транспортна пригода (ДТП) для експертних розрахунків береться усталене сповільнення у діапазоні 6-7,5 м/с² [3].

Тобто при оцінці гальмівної ефективності ТЗ існують певні проблеми, які пов'язані з точністю та об'єктивністю цієї оцінки.

Аналіз публікацій

Для оцінки ефективності гальмування ТЗ використовують як засоби моделювання [4, 5], так і традиційні дорожні випробування. Електричні ТЗ мають таку ж саму гальмівну ефективність [6, 7], як і сучасні дорожні транспортні засоби.

Є сучасні розробки, які пов'язані з комфортним гальмуванням і відрізняються від екстреного гальмування за параметрами своєї ефективності [8, 9].

Безумовно параметри ефективності гальмування ТЗ впливають на довговічність партертя у гальмівному механізмі і це враховується під час проектування та експлуатації [10].

Якщо відбувається ДТП, то правильно визначити і оцінити ефективність гальмування достатньо проблематично у зв'язку з низкою факторів, які впливають на точність цієї оцінки [11, 12, 13].

Основна формула, яку використовують фахівці для оцінки ефективності гальмування ТЗ, прийнята чинними стандартами та рекомендована у науковій літературі [2, 3]:

$$d_m = \frac{V_b^2 - V_e^2}{25,92(S_e - S_b)}, \quad (1)$$

де V_b – швидкість при $0,8V_0$, км/год; V_e – швидкість при $0,1V_0$, км/год; S_b – відстань, що пройдена ТЗ між V_0 та V_b ; S_e – відстань, що пройдена ТЗ між V_0 та V_e .

Тобто, для визначення усталеного сповільнення міжнародні стандарти рекомендують брати вибірку середнього значення усталеного сповільнення d_m у певному діапазоні швидкостей руху ТЗ в процесі гальмування.

Формулу (1) можна використовувати тільки в процесі обробки експериментальних даних. Також, усталене сповільнення ТЗ можна визначити за розрахунковими формулами [3]:

– на укліні:

$$j_{уст} = (\varphi \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) \cdot g \approx (\varphi + i) \cdot g; \quad (2)$$

– на дорозі без уклону:

$$j_{уст} = \frac{\varphi g}{k_e}, \quad (3)$$

де i – нахил дороги у безрозмірній величині; α – нахил дороги у градусах; φ – коефіцієнт зчеплення колеса з поверхнею дороги; g – прискорення вільного падіння; k_e – коефіцієнт ефективності гальмування ТЗ.

Основний фактор, який найбільш впливає на динаміку гальмування ТЗ – це коефіцієнт зчеплення колеса з дорогою.

Сутність процесу зчеплення шини з дорогою у декількох складових. Адгезійне зчеплення – прилипання на молекулярному рівні шини до дороги. Реальна площа плями контакту між гумою й виступом дороги мала, тому тиск у плямі контакту високий, що й приводить до злипання на молекулярному рівні шини й виступу мікронерівностей дороги (холодне зварювання). Адгезійна складова домінує на сухій і чистій дорозі. Особливо сильно виражене адгезійне зчеплення при наявності «гумового накату» на дорозі: схоплювання гуми з гумою дуже швидке й міцне. Накат утворюється на чистій дорозі в результаті зчеплення зносу. Зчеплення зносу, викликане надмірною (вище межі міцності) напругою гуми на мікрорівні при адгезійному схоплюванні гуми з дорогою, що приводить до мікророзривів гуми, на які витрачається енергія. Зчеплення зносу незначне взимку й на мокрій дорозі, тому що немає адгезійного зчеплення. Деформаційне зчеплення – проникнення еластичної гуми у мікронерівності дороги. Деформаційна складова присутня й на сухій дорозі, але домінує на мокрій. Глибина рисунку і розвиненість протектора разом зі швидкістю автомобіля відіграють вирішальну роль у відводі води із плями контакту шини з дорогою. Якщо мікронерівності дорожнього полотна заповнені водою (а вода адже нестислива), то деформація гуми навколо мікронерівностей мінімальна, мінімальне й деформаційне зчеплення, отже висока імовірність аквапланирування, коли коефіцієнт зчеплення падає до нуля. При створенні сучасних шин саме враховують роль деформаційного зчеплення.

Тобто, слід зазначити, що коефіцієнт зчеплення колеса з по верхньою дороги залежить від багатьох факторів - стану дороги, конструкції і властивостей самої шини, її ступеня спрацьованості, а також швидкості руху. На підставі впливу цих факторів, коефіцієнт зчеплення може змінюватися для різних конструкцій шин у певних межах. Від цього виникає питання, - як властивості са-

мої шини врахувати при визначенні ефективності гальмування ТЗ.

Мета та постановка задачі

Метою роботи є експериментальне визначення впливу властивості шини на ефективність гальмування транспортного засобу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- задача 1 – визначити методика проведення експериментальних досліджень;
- задача 2 – провести експериментальні випробування;
- задача 3 – обробити отримані експериментальні дані та зробити висновки.

Методика проведення експериментальних досліджень

В Україні діє стандарт ДСТУ 3649-2010 “Засобу транспортні дорожні. Експлуатаційні вимоги безпеки до технічного стану й методи контролю”. Передбачено два види випробувань робочої гальмової системи (РГС): дорожні й стендові. Дорожні випробування РГС виконуються на горизонтальній ділянці сухої й чистої дороги із твердим покриттям у спорядженому стані дорожнього ТЗ з водієм і засобами вимірів (якщо буде потреба - і з оператором-випробувачем) при холодних гальмових механізмах (РГС не використовувалася протягом 30-40 хв). Для порівняння: за Правилами 13 ЕЖ ООН для нових автомобілів, гальмо вважається холодним, якщо зовнішня поверхня гальмового барабана має температуру не більш 100°C.

Початкова швидкість гальмування повинна бути в межах від 35 до 45 км/ч. Зусилля на гальмовій педалі ≤ 490 Н для ТЗ категорій М₁ і М₁ і 686Н для інших категорій ТЗ. У процесі гальмування не допускається коректування водієм траєкторії руху, якщо це не потрібно для забезпечення безпеки руху, інакше результат випробувань не зараховується.

Згідно ДСТУ 3649-2010 допускається оцінювати працездатність РГС за величиною усталеного сповільнення, яке повинне бути не менш 5,5 м/с² для ТЗ категорії М₁ на сухому рівному асфальтобетонному покритті. При цьому необхідно контролювати час спрацьовування гальмової системи, яке для ТЗ із гідравлічним приводом повинне бути не більш 0,5 с і для ТЗ із іншим приводом - не більш 0,8 с. По ДСТУ 2886-94 час спрацьовування гальмової системи (τ_c) – це проміжок

часу від початку гальмування до моменту часу, у який усталене сповільнення набуває свого значення.

Значення параметрів гальмової ефективності можна визначити в процесі дорожніх випробувань ТЗ з використанням спеціального устаткування. Так, наприклад, для перевірки гальмових систем вантажних і легкових автомобілів, автобусів і автопоїздів при проведенні автотехнічної експертизи в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті використовується прилад «Ефект». Цей прилад включає електронний блок із вбудованим датчиком прискорення, блок живлення, датчик зусилля і сполучний кабель.

Приладом визначається усталене сповільнення j , пікове значення зусилля на педалі гальма P , довжина гальмового шляху S , час спрацьовування гальмової системи t_c , початкова швидкість гальмування V , лінійне відхилення автомобіля при гальмуванні. За допомогою приладу також перераховуються норми гальмового шляху до початкової швидкості гальмування.

Електронний блок встановлюють на бічному склі або кладуть на підлогу автомобіля. Керування роботою приладу проводиться за допомогою чотирьох клавіш електронного блоку. Автомобіль, що перевіряється, розганяє до необхідної швидкості. Водій, через датчик зусилля, установлений на педалі гальма, починає гальмування. По сигналу датчика електронний блок визначає момент початку гальмування. Перетворені в цифровий вид значення сигналів сповільнення і зусилля запам'ятовуються в пам'яті мікропроцесора електронного блоку. Процес виміру сигналів триває від початку руху до повної зупинки автомобіля, потім мікропроцесор на основі прийнятих вимірів обчислює параметри ефективності гальмової системи автомобіля. Результати вимірів відображаються на дисплеї електронного блоку й зберігаються в пам'яті приладу до моменту відключення.

Результати експериментальних досліджень

У процесі випробувань були задіяні два автомобілі категорії М₁ з різною гумою виробників Sava, Tigar, Nokian, MICHELIN (рис. 1), (рис. 2).

Перший випробуваний автомобіль Mazda 323F без антиблокувальної системи

гальм, гума Sava Eskimo S3 розмірністю 175/65 R14.

Випробування проводилися на вологому асфальтобетонному покритті при температурі 7°C (коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою 0,5-0,6). Дані погодні умови були обрані виходячи з характеристик виробника даної гуми, які припускають надійне зчеплення даної зимової гуми саме на вологому покритті.



а



б

Рис. 1. Гума, яка встановлювалася на перший випробуваний автомобіль Mazda 323F: а – Sava; б – Tigar

Результати, отримані в ході випробувань, наведено в таблиці 1. Виходячи з того, що всі гальмові системи автомобіля справні, можна зробити висновок, що на даний результат більшою мірою вплинули характеристики гуми, а також відсутність антиблокувальної системи гальм.

Другі випробування проводилися також на автомобілі Mazda 323 без антиблокувальної системи, але вже на літній гумі Tigar Nitris розмірністю 195/50 R15. Дана гума на 20 мм ширше, що споконвічно припускає кращі гальмові характеристики. Також дана гума проводиться в Сербії, під контролем якості продукції компанія Michelin.

Таблиця 1 – Результати випробувань № 1

№	V, м/с	P, кН	tc, с	Sn, м	Si, м	J, м/с ²
1	48,1	0,20	0,60	21,9	21,0	6,34
2	43,4	0,25	0,22	18,3	18,0	4,48
3	45,6	0,24	0,15	19,9	15,3	5,57
Середні	45,7	0,23	0,32	20,03	18,1	5,46

Випробування проводилися при температурі 12°C на сухому покритті (коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою 0,7-0,8).

Результати, отримані в ході цих випробувань, показують, що гальмові характеристики на даній гумі з більшим запасом проходять по ДСТУ (табл. 2). Так при необхідному мінімальному 5,5 м/с² усталене сповільнення буде мати середнє значення 7,13 м/с². Можна зробити висновок, що навіть при відсутності антиблокувальної системи на ТЗ, який обладнаний якісною колісною гумою можна одержати безпечний автомобіль за вимог стандарту експлуатації.

Таблиця 2 – Результати випробувань №2

№	V, м/с	P, кН	tc, с	Sn, м	Si, м	J, м/с ²
1	37,7	0,22	0,22	14,3	9,6	6,79
2	40,7	0,33	0,22	16,3	10,2	7,43
3	41,5	0,27	0,22	16,9	10,9	7,17
Середні	39,9	0,27	0,22	15,8	10,2	7,13

Третє випробування проводилося на автомобілі Hyundai Elantra, який у свою чергу оснащений антиблокувальною системою, а також системою електронного розподілу гальмових зусиль та дисковими гальмовими механізмами як на передніх так і на задніх колесах. У даних випробуваннях на автомобілі була встановлена зимова гума Nokian W розмірністю 185/65 R15 (рис.2).

Випробування проводилися на сухому рівному асфальтобетонному покритті при тем-

пературі 9°C (коефіцієнт зчеплення на даному покритті 0,7-0,8).



а



б

Рис. 2. Гума, яка встановлювалася на другий випробуваний автомобіль Hyundai Elantra: а – Nokian; б – MICHELIN

Результати випробувань показують, що на даній гумі ТЗ із більшим запасом задовольняє вимогам ДСТУ. Так при необхідному значенні усталеного сповільнення не менш 5,5 м/с² ми маємо середнє значення 8,54 м/с² (табл. 3). можна зробити вивід, що використання антиблокувальної системи із системою електронного розподілу гальмових зусиль дає достатній запас гальмової ефективності.

Таблиця 3 – Результати випробувань №3

№	V, м/с	P, кН	tc, с	Sn, м	Si, м	J, м/с ²
1	43,5	035	0,22	18,4	10,4	8,46
2	43,4	042	0,22	18,2	10,1	8,65
3	43,3	039	0,30	18,2	11,1	8,52
Середні	43,4	038	0,24	18,26	10,5	8,54

Четверте випробування проводилося так само на автомобілі Hyundai Elantra, з працюючою антиблокувальною системою і системою електронного розподілу гальмових зусиль. Під час даного випробування на автомобілі була встановлена літня гума MICHELIN Energy Saver розміром 195/65 R15 (табл. 4).

Таблиця 4 – Результати випробувань №4

№	V, м/с	P, кН	tc, с	Sn, м	Si, м	J, м/с ²
1	43,5	32	0,22	18,3	9,5	9,42
2	47,1	27	0,30	21,1	12,0	9,35
3	50,2	33	0,30	23,7	14,2	8,78
Середні	46,9	0,30	0,27	21,0	11,9	09,18

Заїзди під час випробувань були проведені на швидкостях 40-50 км/ч. Температура навколишнього середовища під час випробувань становила 24 °С. При необхідних за ДСТУ 5,5 м/с², ми маємо середнє значення 9,18 м/с².

Висновки

Для визначення впливу колісних шин на ефективність гальмування ТЗ було застосовано методику проведення гальмівних випробувань у дорожніх умовах з використанням необхідного обладнання за вимог відповідного державного та міжнародного стандарту Правил №13. Проведені експериментальні дослідження на автомобілях Mazda323F, Hyundai Elantra з різною гумою виробників Sava, Tigar, Nokian, MICHELIN.

За результатами експерименту встановлено, що марка колісних шин впливає на гальмівну ефективність ТЗ. При цьому параметри цієї ефективності будуть змінюватися в достатньо широких межах, наприклад, від 7,13 м/с² до 8,54 м/с², або до 9,18 м/с². Це означає, що реальне усталене сповільнення сучасного автомобіля категорії *M1* в залежності від марки колісних шин може перевищувати на 29-67% мінімальні вимоги, що до гальмівної ефективності, які визначені вітчизняним та міжнародним стандартом.

Отримані у роботі дані мають практичне значення для оцінки ефективності гальмування ТЗ під час проведення досліджень дорожньо-транспортних пригод (ДТП), завдяки чому експерт має можливість зробити більш

об'єктивний висновок щодо процесу розвитку ДТП і наявності чи відсутності у водія можливості уникнути цієї пригоди.

Існують певні перспективи подальшого розвитку експериментальних та статистичних досліджень в цьому напрямку, які будуть забезпечувати уточнення параметрів ефективності гальмування ТЗ в залежності від якості застосованих колісних шин.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що немає конфлікту інтересів щодо публікації цієї статті.

Література

1. ДСТУ 3649-10. Засоби транспортні дорожні. Експлуатаційні вимоги безпеки до технічного стану та методи контролю. (2010) Київ. Держстандарт України. DSTU 3649-10. Zasoby transportni dorozhni. Eksploatatsiini vymohy bezpeky do tekhnichnoho stanu ta metody kontroliu. [Road vehicles. Operational safety requirements for technical condition and control methods]. (2010) Kyiv. Derzhstandart Ukrainy. [in Ukrainian].
2. ДСТУ UN/ECE R 13-N 00:2004. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження легкових автомобілів стосовно гальмування. [The only technical prescriptions for the official approval of passenger cars regarding braking]. (2007) Київ. Держспоживстандарт України. DSTU UN/ECE R 13-N 00:2004. Yedyni tekhnichni pryypusy shchodo ofitsiinoho zatverdzhennia lehkovykh avtomobiliv stosovno halmuvannia. (2007) Kyiv. Derzhspozhyvstandart Ukrainy. [in Ukrainian].
3. Туренко, А. М. (2015). Оцінка ефективності гальмування транспортних засобів в структурі дослідження дорожньо-транспортної пригоди. Наукове видання: Монографія.–Харків: вид. ХНАДУ. Turenko, A. M. (2015). Otsinka efektyvnosti halmuvannia transportnykh zasobiv v strukturі doslidzhennia dorozhno-transportnoi pryhody. [Evaluation of vehicle braking efficiency in the structure of traffic accident research]. Naukove vydannia: Monohrafiia. Kharkiv: vyd. KhNADU. [in Ukrainian].
4. Zheng, B., Hong, Z., Tang, J., Han, M., Chen, J., & Huang, X. (2023). A Comprehensive Method to Evaluate Ride Comfort of Autonomous Vehicles under Typical Braking Scenarios: Testing, Simulation and Analysis. *Mathematics*, 11(2), 474. <https://doi.org/10.3390/math11020474>
5. Qin, J., Wu, H., Lin, Q., Shen, J., & Zhang, W. (2023). The Recovering Stability of a Towing Taxi-Out System from a Lateral Instability with Differential Braking Perspective: Modeling and Simulation. *Electronics*, 12(10), 2170. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/electronics12102170>
6. Liu, J., Bu, L., Fu, B., Zheng, J., Wang, G., He, L., & Hu, Y. (2023). Research on Adaptive Distribution Control Strategy of Braking Force for Pure Electric Vehicles. *Processes*, 11(4), 1152. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/pr11041152>
7. Phan, C., Buendia, S. A. M., Nguyen, B. M., Fatzinger, E., & Landerville, J. (2023). Electric Motorcycle Acceleration, Braking, and Regenerative Coast-Down Deceleration Testing and Analysis (No. 2023-01-0631). SAE Technical Paper.
8. Kosaki, S., Ejiri, A., & Oya, M. (2021). Development of driver braking control model based on ride comfort index. *Artificial Life and Robotics*, 26(3), 347-353.
9. Araki, T., Ohta, H., Fukuta, Y., & Oya, M. (2018, September). Driver braking control model for vehicles. In 2018 International Conference on Information and Communication Technology Robotics (ICT-ROBOT) (pp. 1-4). IEEE.
10. Cao, J., Bao, J., Yin, Y., Yao, W., Liu, T., & Cao, T. (2022). Intelligent prediction of wear life of automobile brake pad based on braking conditions. *Industrial Lubrication and Tribology*, (ahead-of-print).
11. Kashkanov, A., Kashkanova, A., Podrigalo, M., Klets, D., Saraiev, O., Mikhalevich, M., & Andrey, K. (2022). Estimation Parameters of Braking of Vehicles Category M1 at Definition of Circumstances Road Accidents (No. 2022-01-1166). SAE Technical Paper.
12. Данець, С. В., Сараєв, О. В. (2018). Математичне моделювання зміни швидкості руху автомобіля при екстремому гальмуванні. *Технологічний аудит та резерви виробництва*, 3(1 (41)), 22-28. Danez, S., & Saraiev, O. (2018). Matematychnе modeliuvannia zminy shvydkosti rukhu. avtomobilia pry ekstretnomu halmuvanni. [Mathematical modeling of speed change of vehicles at emergency braking]. *Tekhnolohichniy audyt ta rezervy vyrobnyctva*, 3(1 (41)), 22-28. [in Ukrainian].
13. Saraiev, O., & Gorb, Y. (2018). A Mathematical Model of the Braking Dynamics of a Car (No. 2018-01-1893). SAE Technical Paper.).

Сараєв Олексій Вікторович¹, докт. техн. наук, професор кафедри автомобілів ім. А.Б. Гредескула, e-mail: sarayev9@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6582-560X>.

Сараєва Ірина Юрївна¹, канд. техн. наук, доцент кафедри технічної експлуатації та сервісу автомобілів, e-mail: sarayeva9@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7720-471X>.

Данець Сергій Віталійович², кандидат технічних наук, перший заступник директора,

Харківський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр Міністерства внутрішніх справ України, e-mail: danez@ukr.net,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4155-1856>.

Козлов Олександр Володимирович¹, магістр, e-mail: alexandrelicars@gmail.com,
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3607-9410>

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

²Харківський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр Міністерства внутрішніх справ України, 61036, Україна, м. Харків, вул. Ковтуна, 34.

Experimental evaluation of vehicle braking efficiency considering the influence of tires

Abstract. Problem. Checking the brake system of a vehicle is crucial in terms of assessing its operational safety, and performance indicators and permissible modes are determined by the state standards of Ukraine. However, there are challenges related to the accuracy and objectivity of evaluating the braking efficiency of a car. The coefficient of adhesion between the wheel and the road surface is the primary factor that significantly affects the braking dynamics of a vehicle. This coefficient constantly changes due to various factors such as road surface conditions, tire design and properties, tire effectiveness, and car speed. Assessing the impact of these factors on a car's braking performance is difficult. **Goal.** The aim of this study is to experimentally determine the influence of tire properties on vehicle braking efficiency by conducting a multifactorial experiment on cars of different brands with different types of tires. **Methodology.** The study employs the method of conducting braking tests under road conditions using the necessary equipment. Statistical data on braking efficiency parameters were collected from cars equipped with different tire brands. Experimental tests were conducted on Mazda 323F and Hyundai Elantra cars, using tires from various manufacturers such as Sava, Tigar, Nokian, and MICHELIN. The tests were performed on asphalt-concrete surfaces

under dry and wet conditions, and the braking efficiency indicators were measured. **Originality.** The experiment revealed that the quality of the rubber used in car tires has a significant impact on their braking efficiency within a wide range. The deceleration of a category M1 vehicle can exceed the minimum requirements for braking efficiency, established by national and international standards, by 29-67%, depending on the tire brand. This research presents prospects for further development of experimental and statistical studies in this field, aiming to provide a better understanding of car braking efficiency parameters based on tire quality. **Practical Value.** The data obtained from this study are of practical importance for evaluating the effectiveness of car braking during expert investigations of traffic accidents. This enables experts to draw more objective conclusions about the accident process and determine the driver's ability to avoid such incidents.

Key words: car; tire; clutch; braking; slowdown.

Saraiev Oleksii¹ – doctor of technical sciences, professor of the department of automobiles named after A.B. Gredescul, e-mail: sarayev9@gmail.com,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6582-560X>.

Saraieva Iryna¹ – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, e-mail: sarayeva9@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7720-471X>.

Danets Serhii² – Ph.D. in Engineering, First deputy director, Kharkiv State Research and Forensic Science Center of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine, e-mail: danez@ukr.net.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4155-1856>.

Kozlov Oleksandr¹ – master, e-mail: alexandrelicars@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3607-9410>

¹Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

²Kharkiv State Research and Forensic Science Center of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine, 61036, Ukraina, m. Kharkiv, vul. Kovtuna, 34.