

## EXPERT STUDY INTO MANEUVERABILITY PARAMETERS OF THE CAR WITH A PUNCTURED WHEEL

*Sabadash V. V., Klets D. M., Varlakhov V. O.*

*The car movement stability depends on the correlations of dynamic radii of left and right wheels. In this case skidding results from the turning momentum of the car. The practice of the expert study into vehicle tires and wheels shows that the damage to tires and wheels may have both operational and accidental character, when the damage is done in traffic accidents, immediately before the traffic accident or in the aftermath. The article provides an experimentally determined turning radius and deviation from the car movement trajectory with its wheel punctured. It shows the dependence of the static wheel radius on the air pressure in the tire. The static wheel radius changes according to the exponential law depending on the excess air pressure. The present research allows specialists to determine with a sufficient degree of accurateness the parameters of the vehicle trajectory while moving with a punctured wheel, which eventually allows the expert to make the relevant technical assessment of the driver's actions and decide whether he was technically capable of preventing the traffic accident.*

*Keywords: acceleration, mobile measurement and registration complex, wheel puncture, car maneuverability.*

УДК 656.08

**О. В. Сараєв**, декан автомобільного факультету Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, кандидат технічних наук, доцент

## АВТОМАТИЗОВАНІ МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ГАЛЬМУВАННЯ АВТОМОБІЛЯ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНОЇ ПРИГОДИ

*Розглянуто експертні методи, які дозволяють в автоматизованому режимі отримати дані про ефективність гальмування транспортного засобу. Розроблено вдосконалений метод оцінювання ефективності гальмування, що базується на автоматизованих засобах дослідження та враховує вплив сучасної антиблокувальної системи гальм на ефективність гальмування транспортного засобу.*

*Ключові слова: дорожньо-транспортна пригода, гальмування транспортного засобу, антиблокувальна система гальм, автоматизовані засоби.*

У 70–90-х роках минулого століття в експертних установах постійно вдосконалювався процес дослідження ефективності гальмування транспортного засобу (ТЗ). Це було спричинено безперервним удосконаленням самих ТЗ. У ХХІ ст. гальмівні системи ТЗ отримали новий інтенсивний розвиток на базі конструкції антиблокувальної системи гальм. Ефективність гальмування ТЗ поліпшилася, але в експертних методиках розрахунку процесу гальмування ці реальні зміни не враховуються. Такий розрив між застарілим методичним забезпеченням та реальними змінами в конструкції ТЗ призво-

дить до погіршення точності розрахунків і може негативно впливати на об'єктивність висновку експерта в цілому. Ця проблема повинна мати наукове та практичне розв'язання.

На сьогодні Міністерством юстиції України й Міністерством внутрішніх справ України затверджено теоретичні основи та методики експертного дослідження, які були втілені в практику проведення автотехнічних експертиз ще наприкінці минулого сторіччя<sup>1</sup>. У той самий час в європейських країнах уже протягом десяти років для дослідження дорожньо-транспортної пригоди (ДТП) широко застосовуються низка прикладних програм і автоматизованих засобів дослідження<sup>2</sup>. Деякі з цих сучасних засобів і методів дослідження ДТП почали використовуватися в Україні, зокрема в Харкові – це програма CARAT<sup>3</sup> і метод лазерного сканування місця ДТП<sup>4</sup>. Що стосується проблемних питань дослідження процесу гальмування ТЗ, то тут і досі застосовуються експертні методики тридцятирічної давнини<sup>5</sup>. Науковці в інших країнах, наприклад у Росії, уже рекомендують експертам використовувати нові дані про гальмівну ефективність ТЗ<sup>6</sup>. В Україні дослідження, пов'язані з гальмівними випробуваннями ТЗ, обладнаних антиблокувальною системою гальм, виконуються та оприлюднюються науковцями Харківського національного автомобільно-дорожнього університету<sup>7</sup>.

<sup>1</sup> Див., напр.: Про затвердження Інструкції про призначення та проведення судових експертиз та експертних досліджень та Науково-методичних рекомендацій з питань підготовки та призначення судових експертиз та експертних досліджень : наказ Міністерства юстиції України від 08.10.98 № 53/5 [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z0705-98>.

<sup>2</sup> Див., напр.: Системи лазерного сканування. Документування обставин дорожньо-транспортних пригод (інформ. лист) / [С. І. Перлін, С. О. Шевцов, О. Б. Кучерявенко, С. А. Буряк]. — Х. : НДЕКЦ при ГУМВС України в Харків. обл., 2011. — 44 с.

<sup>3</sup> Див.: *Косяков В. В.* Використання комп'ютерної програми CARAT-3 при проведенні автотехнічних експертиз: методичні рекомендації / В. В. Косяков, О. Б. Кучерявенко. — К. : ДНДЕКЦ МВС України, 2010. — 40 с.

<sup>4</sup> Див.: Автотехнічна експертиза. Дослідження обставин ДТП : підручник для ВНЗ / [А. М. Туренко, В. І. Клименко, О. В. Сараєв, С. В. Данець]. — Х. : ХНАДУ, 2013. — 320 с.

<sup>5</sup> Див.: Судебная автотехническая экспертиза : в 2 ч. / под науч. рук. В. А. Ила-рионова. — М. : М-во юстиции СССР, 1980. — Ч. 2. — 490 с.; Экспертная практика и новые методы исследования / Результаты систематизации экспериментально-расчетных значений параметров торможения автотранспортных средств / Информ. сб. в 3 ч. — М. : ВНИИСЭ, 1990. — 28 с.

<sup>6</sup> Див.: *Суворов Ю. Б.* Судебная дорожно-транспортная экспертиза. Судебно-экспертная оценка действий водителей и других лиц, ответственных за обеспечение безопасности дорожного движения, на участках ДТП : учеб. пособие для вузов / Ю. Б. Суворов. — М. : Право и закон, 2004. — 208 с.

<sup>7</sup> Див.: Исследование тормозной динамики автомобиля при анализе дорожно-транспортного происшествия / [А. Н. Туренко, В. И. Клименко, А. В. Сараєв, А. О. Малявин] // Автомобильный транспорт : сб. науч. тр. — Х. : ХНАДУ. — 2010. — Вып. 26. — С. 17–22; *Клименко В. І.* Дослідження впливу антиблокувальної системи на ефективність гальмування легкового автомобіля / В. І. Клименко, І. А. Давіденко,

*Мета статті* – удосконалити експертні дослідження процесу гальмування ТЗ з урахуванням особливостей конструкції сучасної антиблокувальної гальмівної системи на базі нових автоматизованих засобів розрахунку.

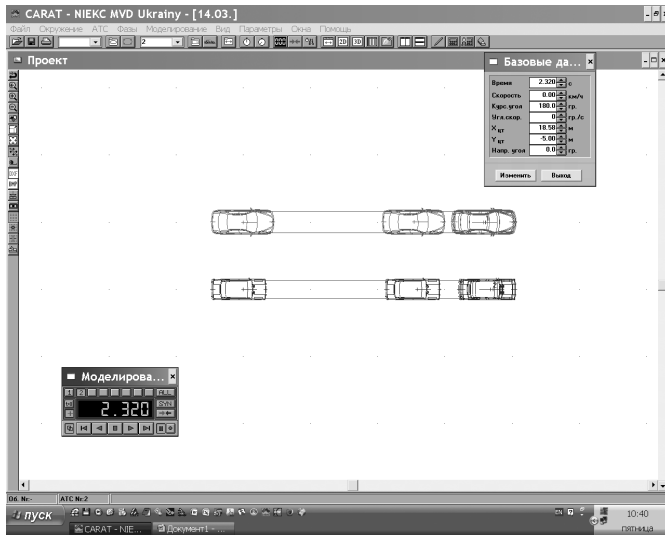
Сучасним програмним продуктом, що дозволяє моделювати ДТП, є європейська програма CARAT, можливість й ефективність застосування якої при виконанні автотехнічних експертиз були апробовані на базі НДЕКЦ при ГУМВС України в Харківській області. За допомогою цієї програми можна моделювати рух ТЗ та інших об'єктів на всіх стадіях ДТП з обчисленнями параметрів руху. Обчислення можуть проводитися як у динамічному (ураховуючи зовнішні сили, що діють на автомобіль), так і в кінематичному (беручи до уваги тільки рух) режимі. Зіткнення будь-яких ТЗ і об'єктів можуть моделюватися необмежену кількість разів. Моделювання виконується у двовимірному або тривимірному зображенні. Є можливість додавати до результатів розрахунків графічні діаграми співвідношення відстані й часу, а також зміни швидкості та прискорення (сповільнення).

У програмі CARAT розподіл гальмівних сил можна визначити окремо для кожного автомобіля. Є можливість ураховувати при моделюванні наявність або відсутність в автомобіля антиблокувальної системи гальм. Поворот кермового колеса, сила натиснення на педаль гальма та положення педалі акселератора можуть бути задані у вигляді функцій часу. У режимі моделювання руху автомобіля програма автоматично намагається здійснити необхідний поворот кермового колеса для забезпечення руху заданою траєкторією. При розгляді руху автомобіля в динамічному режимі враховуються насамперед зовнішні сили, які діють на його колеса, вплив дорожньої поверхні та аеродинамічні сили. Реакції дорожньої поверхні визначаються типом приводу (передній, задній або повний), потужністю двигуна й положенням дросельної заслінки. Ці сили генеруються в процесі руху (розгону, гальмування, при повороті кермового колеса або при дії відцентрової сили при русі на закругленні дороги). Задати всі ці параметри можна за допомогою інструментарію програми.

Щоб перевірити, наскільки програма CARAT є функціональною й ураховує особливості конструкції сучасної гальмівної системи, було виконано порівняльне моделювання процесу гальмування автомобіля BMW-X5 та автомобіля VA3-2101 (рис. 1). Початкові умови моделювання: швидкість руху 60 км/год, коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою 0,8. За результатами моделювання можна зробити такий висновок: шлях гальмування з усталеним сповільненням цих автомобілів практично не відрізняється один від одного (різниця становить близько 3 %) і дорівнює 18,58 м у автомобіля VA3-2101 та 18,03 м у автомобіля BMW-X5. Слід зауважити, що в реальних умовах шлях гальмування з усталеним сповільненням автомобіля BMW-X5 буде в середньому на 15 % менше, ніж в автомобіля VA3-2101. Цей факт уже був пояснений у низці наукових праць, де показано, що така різниця в ефектив-

О. В. Сарасв // Автомобильный транспорт : сб. науч. тр. — Х. : ХНАДУ. — 2011. — Вып. 29. — С. 245–249; Сарасв О. В. Проблемні питання визначення параметрів руху транспортних засобів при дослідженні ДТП / О. В. Сарасв // Вестник ХНАДУ : сб. науч. тр. — Х., 2013. — Вып. 61–62. — С. 174–178.

ності гальмування сучасних і застарілих моделей ТЗ категорії М1 (легкові автомобілі) пов'язана з особливістю конструкції сучасних гальм, обладнаних антиблокувальною системою<sup>1</sup>.



**Рис. 1.** Інтерфейс вікна програми CARAT для динамічного моделювання процесу гальмування транспортних засобів

Крім того, можна вказати на загальні недоліки моделювання процесу гальмування в динамічному режимі програми CARAT, де неможливо прорахувати зупинний і гальмівний шляхи ТЗ, а можна тільки визначити його координати переміщення з усталеним сповільненням.

Для розрахунку процесу гальмування ТЗ в програмі CARAT можна скористатися опцією «Кінематичний розрахунок». При цьому експерт уносить усі вихідні дані до розрахунку в програмне вікно, а саме: інтервали часу гальмування, швидкість руху та поздовжнє сповільнення (рис. 2).

Недолік такого способу розрахунку полягає в тому, що отриманий результат залежатиме від тих даних, які внесе експерт, тобто результат розрахунку процесу гальмування ТЗ у програмному середовищі CARAT не відрізнятиметься від аналогічного розрахунку експерта, який виконувався й 30 років тому без автоматизованих засобів дослідження. Крім того, розрахунок у програмі CARAT не враховує наростання сповільнення ТЗ при гальмуванні. Отже, програмне забезпечення CARAT не додає до вже відомих експертних

<sup>1</sup> Див.: Исследование тормозной динамики автомобиля при анализе дорожно-транспортного происшествия / [А. Н. Туренко, В. И. Клименко, А. В. Сараев, А. О. Малявин]; *Клименко В. І., Давіденко І. А., Сараєв О. В.* Указ. праця; *Сараєв О. В.* Указ. праця.

методик об'єктивності та точності розрахунку процесу гальмування ТЗ і не дозволяє прорахувати зупинний чи гальмівний шлях автомобіля з посиленням на конкретну математичну модель (формулу).

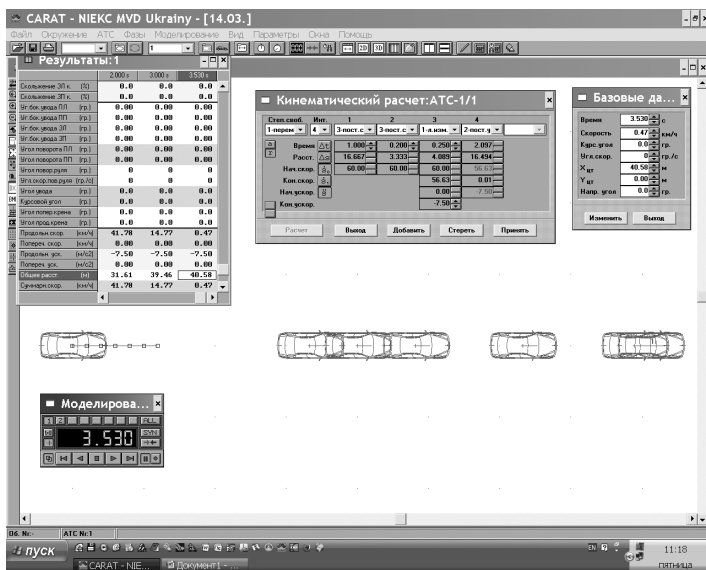


Рис. 2. Інтерфейс вікна програми CARAT для кінематичного розрахунку ефективності гальмування транспортного засобу

При динамічних розрахунках частіше за все розглядається криволінійний рух автомобіля, тому поворот кермового колеса має бути поданий у відповідній залежності кута його повороту від часу. Однак такий метод визначення повороту кермового колеса в деяких випадках може бути досить трудомістким. Тому в програмі передбачена можливість автоматичного генерування повороту кермового колеса з використанням відносно простої математичної моделі водія. Остання при цьому «намагається утримати» ТЗ на заданій траєкторії з урахуванням сил, що діють на автомобіль. До програми вводяться значення часу, швидкостей поступального й обертального рухів, курсового та направляючого кутів ТЗ і координати розташування його центру ваги по осях  $X$  та  $Y$ . Після цього моделюється рух автомобіля за часом.

Процес гальмування ТЗ при криволінійному русі, наприклад на повороті чи при маневрі, експерт може моделювати, задавши траєкторію руху. Це дає змогу, послідовно підбираючи параметри часткового гальмування отримати рух ТЗ без втрати або з втратою стійкості його руху (рис. 3, 4). Слід зауважити, що всі недоліки дослідження процесу гальмування в програмі CARAT при криволінійному русі збігаються з недоліками, які були перераховані для прямолінійного руху.

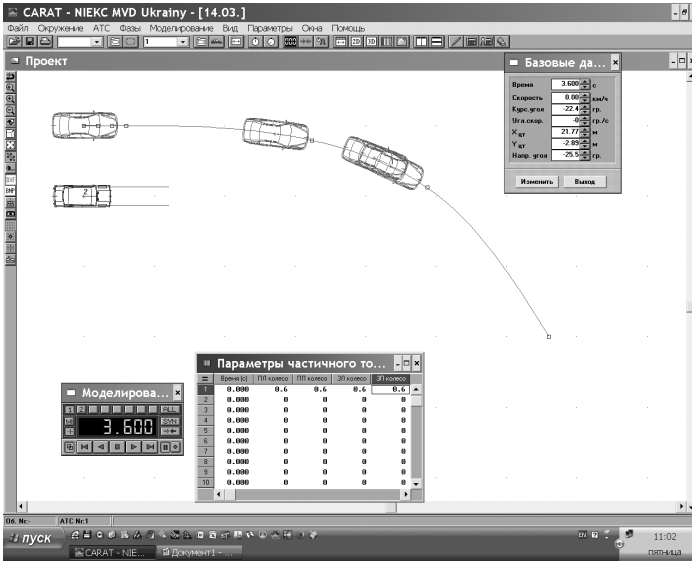


Рис. 3. Інтерфейс вікна програми CARAT для моделювання часткового процесу гальмування автомобіля, що імітує роботу антиблокувальної системи гальм

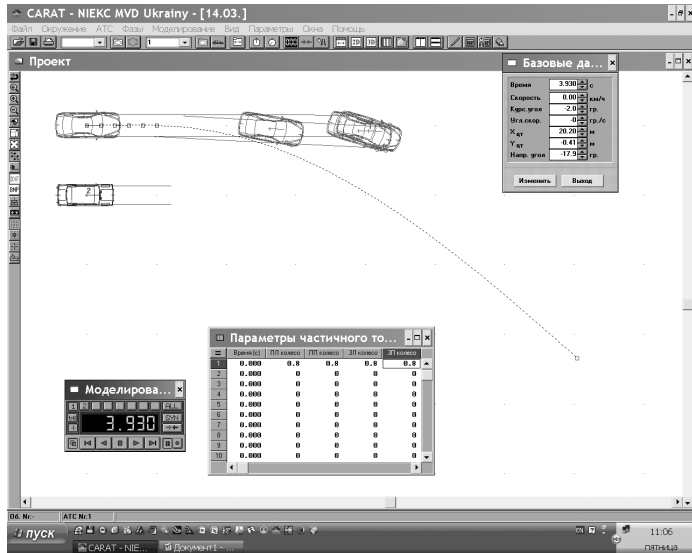


Рис. 4. Інтерфейс вікна програми CARAT для моделювання гальмування з максимальною ефективністю при русі транспортного засобу по кривій

Зовсім інший спосіб вимірювання динамічних властивостей гальмуючого автомобіля передбачає використання акселерометра. Сучасний акселерометр – електронний датчик. Цей відносно недорогий та інформативний спосіб вимірювання найчастіше використовують у сучасних приладах, наприклад, російського виробництва «Ефект» або польського АМХ 520 фірми AUTOMEX та інших виробників.

Прилад «Ефект» використовується для перевірки гальмівних систем вантажних і легкових автомобілів, автобусів й автопоїздів при проведенні державного технічного огляду, виконанні автотехнічної експертизи, у процесі експлуатації та в інших випадках, що вимагають оперативного контролю стану гальмівної системи ТЗ.

Прилад визначає відповідно до існуючих стандартів усталене сповільнення, пікове значення зусилля натиснення на педаль, довжину гальмівного шляху, час спрацювання гальмівної системи, початкову швидкість гальмування й лінійне відхилення ТЗ при гальмуванні. Прилад також перераховує норму гальмівного шляху до реальної початкової швидкості гальмування.

Прилад «Ефект» вимірює три параметри: сповільнення – прискорення автомобіля, зусилля на гальмовій педалі та час спрацювання гальмівної системи. На підставі цих вимірів електронний блок приладу розраховує швидкість автомобіля на початку гальмування й гальмівний шлях.

Слід зазначити, що в характеристиці цього приладу відсутні відомості про погрішність розрахункових величин – швидкості автомобіля та гальмівного шляху. Це основний недолік даного класу приборів, оскільки швидкість автомобіля й гальмівний шлях не вимірюються, а розраховуються. Крім того, зупинний шлях ТЗ такими приладами в автоматизованому режимі зовсім не визначається.

За допомогою приладу «Ефект» ми провели експериментальні гальмівні випробування легкових автомобілів, обладнаних різною конструкцією гальмівної системи. Отримані результати зведено в таблиці 1 і 2).

Таблиця 1

**Результати гальмівних випробувань автомобіля Ford Mondeo, обладнаного антиблокувальною системою гальм**

Параметр	Значення параметра				Середнє значення
	2	3	4	5	
1					6
Гальмівний шлях, м	10,8	9,8	10,2	11,5	10,57
Норма гальмівного шляху, перерахована до початкової швидкості, м	17,6	17,6	16,8	19,2	17,8
Усталене сповільнення за прибором «Ефект», м/с <sup>2</sup>	7,69	7,75	8,65	9,8	8,47
Час спрацювання гальмівної системи, с	0,15	0,15	030	0,37	0,24

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5	6
Сила на педалі гальм, Н	660	850	370	590	617,5
Швидкість автомобіля, км/год	42,5	42,5	41,4	44,6	42,75

Таблиця 2

**Результати гальмівних випробувань автомобіля ВАЗ 2101**

Параметр	Значення параметра			Середнє значення
Гальмівний шлях, м	9,1	13,5	15,7	12,7
Норма гальмівного шляху, що перерахована до початкової швидкості, м	14,5	19,5	18,9	17,63
Усталене сповільнення за прибором «Ефект», м/с <sup>2</sup>	6,66	7,9	6,79	7,11
Час спрацювання гальмівної системи, с	0,15	0,30	0,45	0,30
Сила на педалі гальм, Н	1220	1370	1490	1360
Швидкість автомобіля, км/год	38,1	45,1	44,2	42,46

Згідно з наведеними в таблицях даними гальмівний шлях автомобіля Ford Mondeo, обладнаного антиблокувальною системою гальм, при інших рівних умовах гальмування на 16,7 % менше, ніж в автомобіля ВАЗ-2101, хоча обидва ТЗ належать до однієї категорії М1 і відповідно до існуючих експертних розрахункових методик повинні мати однакові зупинний та гальмівний шляхи.

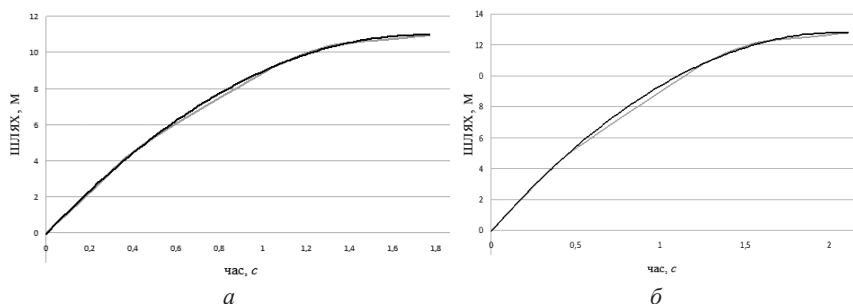
З метою усунення зазначених недоліків нами був розроблений більш удосконалений метод оцінювання ефективності гальмування ТЗ при дослідженні ДТП. Цей метод базується на автоматизованих засобах дослідження та враховує вплив сучасної антиблокувальної системи гальм на ефективність гальмування ТЗ. Метод передбачає визначення усталеного сповільнення ТЗ за новими систематизованими даними або за допомогою відповідного приладу, але з урахуванням тих обставин ДТП, які впливають на гальмівну ефективність, а саме: швидкість руху ТЗ, стан і геометрія дорожнього покриття. На підставі цього далі в автоматизованому режимі за розробленим алгоритмом та програмою розраховується зупинний шлях автомобіля за вдосконаленою математичною моделлю, рішенням якої є система рівнянь



$$\begin{cases} S_0 = S_1 + S_2 + S_3; \\ S_1 = v_a(t_1 + t_2); \\ S_2(t) = v_a t_3 - \frac{j_0 t_3^2}{6}; \\ S_3 = \frac{1}{2j} \left( v_a - \frac{j_0 t_3}{2} \right)^2; \end{cases}$$

де  $S_0$  – зупинний шлях ТЗ, м;  $S_1, S_2, S_3$  – ділянки зупинного шляху ТЗ (відповідно без сповільнення, з наростанням сповільнення, з усталеним сповільненням), м;  $v_a$  – швидкість руху ТЗ, м/с;  $t_1$  – час реакції водія, с;  $t_2$  – час запізнювання спрацювання дії гальм ТЗ, с;  $t_3$  – час наростання сповільнення ТЗ, с;  $j$  – усталене сповільнення ТЗ, м/с<sup>2</sup>.

Ця система рівнянь дозволяє вигідно подати залежність функції зупинного або гальмівного шляху ТЗ від часу в графічному вигляді без будь-яких додаткових розрахунків (рис. 5).



**Рис. 5.** Графік залежності зупинного шляху автомобіля від часу: *а* – для автомобіля категорії М1, обладнаного сучасною антиблокувальною системою гальм; *б* – для автомобіля категорії М1, що має застарілу конструкцію гальм

Відзначимо, що, як видно із графіків (рис. 5), отримані за запропонованим методом розрахунків дані зупинного шляху транспортних засобів відрізняються від експериментальних даних (таблиць 1 і 2) тільки на 2–3 %.

Таким чином, існуючі автоматизовані засоби дослідження обставин ДТП мають суттєві недоліки, а саме: не додають до вже відомих експертних методик об'єктивності та точності розрахунку процесу гальмування ТЗ і не дозволяють розрахувати зупинний чи гальмівний шлях з посиланням на конкретну математичну модель (формулу), яку можна було б оцінити та перевірити.

Експериментально доведено, що гальмівний шлях автомобіля категорії М1, обладнаного сучасною антиблокувальною системою гальм, при інших рівних умовах гальмування може бути на 16,7 % менше, ніж в автомобіля тієї самої категорії, але не обладнаного такою системою гальм.

Розроблено вдосконалений метод оцінювання ефективності гальмування ТЗ для дослідження обставин ДТП, який базується на автоматизованих засобах дослідження й урахуває вплив сучасної антиблокувальної системи гальм на ефективність гальмування ТЗ. Метод передбачає визначення усталеного сповільнення ТЗ за новими систематизованими даними або за допомогою відповідного приладу, але з урахуванням тих обставин ДТП, які впливають на гальмівну ефективність: швидкість руху ТЗ, стан і геометрія дорожнього покриття. На підставі цього далі в автоматизованому режимі за розробленим алгоритмом та програмою розраховується зупинний шлях автомобіля за вдосконаленою математичною моделлю.

Отримані за запропонованим методом розрахункові дані зупинного шляху ТЗ відрізняються від експериментальних даних тільки на 2–3 %.

### **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОРМОЖЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОГО ПРОИСШЕСТВИЯ**

*Сараев А. В.*

*Рассмотрены экспертные методы, позволяющие в автоматизированном режиме получить данные об эффективности торможения транспортного средства. Разработан усовершенствованный метод оценки эффективности торможения, который базируется на автоматизированных средствах исследования и учитывает влияние современной антиблокировочной системы тормозов на эффективность торможения транспортного средства.*

*Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие, торможение транспортного средства, антиблокировочная система тормозов, автоматизированные средства.*

### **AUTOMATED METHODS FOR ASSESSING THE CAR BRAKING EFFICIENCY IN TRAFFIC ACCIDENT INVESTIGATIONS**

*Saraiev O. V.*

*The article experimentally proves that stopping distance of an M1 category car equipped with an anti-lock brakes system, all things being equal, can be 16.7 % lower than that of a car with the same category but without this brakes system. The article provides an improved method for assessing the transport vehicle braking efficiency in traffic accident investigations. This method is based on automated study means and takes into account the influence of the anti-lock brakes system on the vehicle braking efficiency. The method provides determination the established slowing down of the vehicle using new, more systematic data or appropriate equipment but with regard to the accident conditions that influence the braking efficiency, namely: vehicle movement speed, the state and geometry of the road surface. Based on these data the car stopping distance is calculated automatically by software according to the developed algorithm and with the use of the updated mathematical model. And the estimates of transport vehicle stopping distance deviate from experimental data by 2–3 %.*

*Keywords: traffic accident, vehicle braking, anti-lock brakes system, automated tools.*