

АВТОМОБИЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 621.017

DOI:10.30977/BUL.2219-5548.2018.80.0.108

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ГАЛЬМУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ
ЗАСОБІВ КАТЕГОРІЇ N_1

Данець С.В., Харківський державний науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України,
Сараєв О.В., ХНАДУ

Анотація. Для об'єктивності реконструкції дорожньо-транспортних пригод у роботі запропоновано вирішення проблеми підвищення точності оцінки ефективності гальмування транспортних засобів категорії N_1 , які обладнані антиблокувальною системою гальм. Застосовано методи математичної статистики та теорії ймовірностей. Доведено, що випадкова величина усталеного сповільнення автомобілів категорії N_1 підпорядковується нормальному закону розподілу.

Ключові слова: транспорт, аварія, експертиза, гальмування, статистика, ефективність, оцінка.

Вступ

Основні питання автотехнічних досліджень (автотехнічної експертизи) з розрахунку механізму дорожньо-транспортної пригоди (ДТП) пов'язані з оцінкою ефективності гальмування транспортного засобу (ТЗ). Саме знання з динаміки гальмування ТЗ дає можливість визначити зупинний шлях, відстань до об'єкта в момент небезпеки, безпечну дистанцію, швидкість руху перед гальмуванням, проаналізувати можливість запобігання ДТП. Тому висновок експерта щодо результатів дослідження буде багато в чому залежати від правильності й достовірності визначення величини усталеного сповільнення ТЗ. Проблема покращення точності при встановленні цієї величини у процесі реконструкції ДТП є актуальною і до кінця не вирішеною.

У першу чергу виникає питання, як правильно розглядати процес гальмування ТЗ – у вигляді випадкової чи детермінованої функції? Відомо, що детерміновані величини підлегли функціональним залежностям, на відміну від випадкових величин, для яких заздалегідь прогнозувати результат неможливо, оскільки вони у більшій або меншій мірі зумовлені випадком. Існує два основних джерела виникнення випадкових величин – це, по-перше, вплив на досліджуваний об'єкт великої кількості неконтрольованих факто-

рів, що не враховуються моделлю; по-друге, похибки виміру детермінованої величини. Можна припустити, що всі фізичні об'єкти, у тому числі й процес гальмування ТЗ, є стохастичними, оскільки їх характеристики носять випадковий характер. Це пов'язано з тим, що всім їм притаманні певні допущення й їх параметри змінюються у процесі експлуатації, тобто ці характеристики мають вигляд випадкових функцій, для яких існує певне математичне очікування. Також треба враховувати, що всі випадкові величини поділяються на дискретні й неперервні. Дискретна випадкова величина набуває фіксованих значень на інтервалі $[a, b]$, наприклад, 0 чи 1. Неперервна випадкова величина набуває на інтервалі $[a, b]$ будь-якого значення з цього інтервалу; наприклад, при оцінці динаміки гальмування ТЗ такою величиною є його усталене сповільнення. Саме тип випадкової величини визначає можливі методи розв'язання статистичної задачі. Так, основними ймовірнісними законами розподілу дискретної випадкової величини є розподіли: біноміальний, Пуассона та геометричний. При описі неперервних випадкових величин широко використовуються такі ймовірнісні закони, як: нормальний закон розподілу; закон рівномірної щільності; показовий (експонентний) закон розподілу; закони Вейбулла та ін. Статистична перевірка правдоподібності гі-

потези про належність дослідних даних до заданого виду імовірнісного закону проводиться у два етапи – це, по-перше, за видом гістограми висувається гіпотеза про належність дослідних даних до конкретного імовірнісного закону; по-друге, робиться перевірка правдоподібності висунутої гіпотези.

У проведеному дослідженні наукова гіпотеза формується на основі критичного аналізу зібраної експериментальної інформації і чітко поставлених завдань, з метою більш глибокого і всебічного вивчення об'єкта, що досліджується. У цьому випадку статистична (нульова) гіпотеза дослідження полягає в тому, що усталене сповільнення ТЗ категорії N_1 , які обладнані АБС, повинно підпорядковуватись нормальному закону розподілу.

Концепція цієї роботи полягає у тому, що процес екстреного гальмування ТЗ слід розглядати не тільки як детермінований, але й як стохастичний процес шляхом розробки синтезованих детермінованих, імовірнісних та регресійних моделей, які б враховували більшість факторів, що впливають на покращення точності оцінки ефективності гальмування ТЗ.

Аналіз публікацій

Згідно із систематизованими табличними даними, які використовуються в експертній практиці, одні з найгірших показників за величиною усталеного сповільнення мають ТЗ категорії N_1 (табл. 1). Ці дані були отримані науковцями у 80-х роках минулого століття на підставі випробувань автомобілів ИЖ, УАЗ, ЕрАЗ та ін. [1].

Таблиця 1 – Експертні дані з оцінки ефективності гальмування ТЗ у спорядженому стані

Категорія ТЗ	Час запізнення гальмування t_2 , с	Час наростання сповільнення t_3 , с		Усталене сповільнення $j_{уст}$, м/с ²	
		сухе покриття	мокре покриття	сухе покриття	мокре покриття
M_1	0,2	0,4	0,3	6,7/6,4*	5,0
M_2	0,2	0,5	0,4	6,0	4,5
M_3	0,3	0,6	0,5	5,3/5,0**	4,0
N_1	0,3	0,4	0,3	5,6	4,5
N_2	0,3	0,6	0,4	5,9/5,7**	4,0
N_3	0,3	0,6	0,4	6,1	4,0
N_3+O_4 (автопоїзд)	0,4	0,7	0,4	5,1	4,0

* у чисельнику – для ТЗ із підсилювачем гальм, у знаменнику – без підсилювача;
** у чисельнику – для ТЗ із гідроприводом, у знаменнику – із пневмоприводом.

Разом з тим, не можна вважати дані табл. 1 повністю об'єктивними, оскільки, наприклад, сповільнення вантажних автомобілів збільшується з 5,6 м/с² до 6,1 м/с² в міру зростання категорії від N_1 до N_3 . Тобто на практиці це означає, що автомобіль КамАЗ-5320, який належить до категорії N_3 , буде ефективніше гальмувати, ніж автомобіль Ford Transit або Mercedes Vito, які належать до категорії N_1 . Але у дійсності це не так.

Є інформаційні дослідження колективу авторів Е.А. Китайгородського, Ю.А. Миранової, А.В. Пушнова, А.А. Каплієва, які досліджували параметри ефективності гальмування, зокрема величину усталеного сповільнення різних марок автомобілів за інформацією, що подавалась у провідних ав-

томобільних журналах світу, таких як «Автоврею», «За рулем», «Car and Driver» (USA), «Das neue Automobil» (Hamburg), «Quattroruote» (Milane), «Autocar» (Stanford), «Auto Motors und Sport» (Stuttgart), «Auto Sukces» (Warszawa), «Auto motor a Sport» (Praha), «Auto motor i Sport» (Wroclaw) [2]. Аналізуючи наведену інформацію, можна побачити, що гальмівна ефективність сучасних автомобілів, які обладнані АБС, значно зросла порівняно з автомобілями, які не мають такої системи. Так, наприклад, сповільнення автомобілів Subaru Impreza, BMW-525i, BMW M5, Mini Cooper, Mitsubishi Lancer під час гальмування зі швидкістю 100 км/год становить близько 10 м/с², а рекомендується до розрахунку брати усталене сповільнення 6,7 м/с², тобто різниця стано-

виль до 30 %. На підставі чого виникає питання, а власне як правильно оцінювати ефективність гальмування сучасних ТЗ, які обладнані АБС, коли експертні методи розрахунку дають свідомо значну похибку? Відповідь на це запитання потребує подальших досліджень.

У роботі В.А. Кашканова [3] удосконалено метод визначення коефіцієнта зчеплення коліс із дорогою для застосування в автотехнічній експертизі ДТП. Розглянуто процес гальмування автомобіля, обладнаного АБС. Доведено, що рекомендована ДСТУ-3649 формула для розрахунку гальмівного шляху, дає похибку для сухого асфальтобетонного покриття – 10,22–15,91 %, для мокрого – помилка збільшується до 19,31 %. Причому з підвищенням початкової швидкості ця помилка буде збільшуватися. Це пояснюється тим, що при використанні АБС гальмівний шлях зменшується. За запропонованим у роботі методом вдалося знизити похибку розрахунку гальмівного шляху до 7,2 % – на сухому асфальтобетоні і до 10,92 % – на мокрому. Виміри проводилися на швидкостях, що не перевищували 95 км/год.

У наш час широкого розповсюдження у галузі організації дорожнього руху набули автоматизовані технічні засоби, поєднані в інтелектуальну транспортну систему. За постійного зростання автомобілізації це дозволяє знизити аварійні, економічні й екологічні втрати в дорожньому русі на 15 % [4]. У випадку порушення правил дорожнього руху, створення аварійної ситуації здобути таким чином інформацію можна використовувати для дослідження обставин ДТП.

Постійну роботу з вивчення динаміки гальмування ТЗ проводять дослідники Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. Експериментально було доведено, що автомобілі, які обладнані АБС, гальмують краще, ніж автомобілі із застарілою гальмівною системою [5]. На підставі оброблених експериментальних даних було встановлено, що випадкова величина усталеного сповільнення автомобілів категорії M_1 підпорядковується нормальному закону розподілу [6]. Це дозволило створити більш точні емпіричні моделі для розрахунку величини усталеного сповільнення автомобілів категорії M_1 [7].

У європейських країнах експерти широко застосовують комп'ютерне моделювання розвитку механізму ДТП. Наприклад, дуже наближені до експериментальних даних ре-

зультати оцінки ефективності гальмування ТЗ дає програмне забезпечення CYBID V-SIM-3.0.35. Ця програма дозволяє враховувати різницю між ефективністю гальмування ТЗ з АБС і без неї [8].

Взагалі можна констатувати, що на сьогодні для експертів в Україні відсутні чіткі рекомендації з оцінки ефективності гальмування ТЗ, обладнаних АБС. Усі перераховані експертні методики діють одночасно, і деякі з них є безнадійно застарілими. Це призводить до можливості різної оцінки ефективності гальмування того ж самого ТЗ, що може по-різному впливати на висновки експертизи в цілому.

Мета і постановка завдання

Метою дослідження є підвищення точності оцінки ефективності гальмування транспортних засобів категорії M_1 .

Завдання дослідження:

– визначити та обґрунтувати актуальну невирішену задачу за обраним напрямом дослідження;

– запропонувати і довести наукову гіпотезу, розв'язання якої дозволило б вирішити актуальну проблему – покращити точність методу оцінки ефективності гальмування ТЗ категорії N_1 ;

– провести обробку багатофакторного експерименту з оцінки ефективності гальмування ТЗ категорії N_1 ;

– оцінити адекватність запропонованої наукової гіпотези;

– удосконалити експертний метод оцінки ефективності гальмування ТЗ категорії N_1 .

Об'єктом дослідження є процес гальмування дорожніх транспортних засобів. Предметом дослідження – оцінка ефективності гальмування транспортних засобів під час дослідження дорожньо-транспортної пригоди.

Методи дослідження: для підтвердження наукової гіпотези у роботі застосовані методи математичної статистики та теорії ймовірностей при встановленні закону розподілу випадкової величини усталеного сповільнення ТЗ; аналітичний метод розв'язання прикладних задач з оцінки ефективності гальмування ТЗ.

Визначення динаміки гальмування транспортних засобів під час дослідження дорожньо-транспортної пригоди

Протягом 2015–2018 років експертами Державних науково-дослідних експертно-

криміналістичних центрів МВС України, таких міст, як Київ, Харків, Дніпро, Черкаси, Одеса, Львів та ін. здійснювався збір експериментальних даних за величиною усталеного сповільнення ТЗ. Ці дані отримувались за допомогою спеціальних сучасних приладів: VZM-300, Ефект 2, АМХ-520, ЕФТОР – 2. Експериментальні дослідження проводилися з виїздом на місце ДТП в дорожніх умовах,

наближених до ДТП. Особливу увагу було приділено ТЗ категорії N_1 .

У зібраних статистичних даних зафіксовано тип приладу, яким було оцінено ефективність гальмування, модель і рік випуску ТЗ та марку встановлених шин, також тип та стан дорожнього покриття, рівень завантаження ТЗ і основні характеристики його гальмівної системи (табл. 2).

Таблиця 2 – Вибірка статистичних даних з оцінки ефективності гальмування ТЗ категорії N_1 , обладнаних АБС

Яким приладом проводилося вимірювання	Тип, марка та рік виготовлення транспортного засобу (ТЗ), які шини встановлені – літні, зимові (шиповані)	Покриття, стан проїзної частини, завантаженість	Тип гальмівної системи, наявність АБС, у двоколісних ТЗ – яким колесом проводилося гальмування	Результати вимірювання, м/с ²
ЕФТОР – 2	Volkswagen Transporter (VW T4), 2002 р.в. Fulda Kristall Gravito R15	Асфальтобетон, сухий, без вантажу, 1 пасажир	Гідравлічна, з гідравлічним підсилювачем та АБС	8,1
Ефект 02	Mercedes-Benz Sprinter, 2003 р.в., шини літні	Сухий асфальтобетон, водій + оператор	Гідравлічна з гідравлічним підсилювачем та АБС	6,8
АМХ-520	Mercedes Vito, 2006р.в., зимові шини	Асфальтобетон, сухий, без завантаження	Гідравлічна з вакуумним підсилювачем, АБС	8,6
АМХ 520	Opel Vivaro, 2008 р.в., шини літні, «GOODYEAR Cargo Marathon» 215/65R16	Асфальтобетон, сухий, без вантажу, без пасажирів	Гідравлічна з вакуумним підсилювачем, АБС, дискового типу	7,8
VZM-300	Volkswagen Transporter T4, 2001 р.в., шини зимові (не шиповані).	Асфальтобетон, сухий, без вантажу, один пасажир	Гідравлічна, з гідровакуумним підсилювачем та АБС	7,42
ЕФТОР – 2	Ford Transit connect, 2010 р.в., шини Continental ContiWinterContact 195/65 R15	Асфальтобетон, сухий, без вантажу, 1 пасажир	Гідравлічна, з вакуумним підсилювачем та АБС	6,4
VZM-300	Renau-Trafic, 2003р.в., шини літні	Асфальтобетон, сухий, без вантажу, без пасажирів	Гідравлічна, з гідровакуумним підсилювачем та АБС	7,2
VZM-300	Volkswagen Transporter T5, 2005р.в., шини зимові	Асфальтобетон, сухе, без вантажу, без пасажирів	Гідравлічна, з гідровакуумним підсилювачем та АБС	8,67

Технічний стан цих ТЗ відповідав вимогам правил дорожнього руху, а саме автомобілі перебували у справному технічному стані. Зі всієї кількості були обрані ті ТЗ категорії N_1 , які були обладнані АБС. Загальна кількість отриманих результатів на сухому рівному асфальтобетонному покритті склала 80 вимірювань величини усталеного сповільнення ТЗ таких автомобілів, як Mercedes Vito, Mercedes-Benz Sprinter, Volkswagen Transporter, Ford Transit, Renault

Trafic, Renault Kangoo, Renault Master, Citroen Berlingo, Citroen Jumpy, Opel Vivaro, Opel Movano та ін. Згідно з отриманими даними випадкова величина усталеного сповільнення на сухому асфальтобетонному покритті у ТЗ категорії N_1 , обладнаних АБС, може коливатися у достатньо широкому діапазоні – від 5,64 до 9,19 м/с². Статистична гістограма емпіричного розподілу випадкової величини усталеного сповільнення має вигляд нормального закону розподілу (рис. 1).

Завдання вирівнювання статистичного ряду, тобто визначення закону розподілу, полягає в тім, щоб краще підібрати теоретичну криву, яка буде описувати статистичний розподіл.

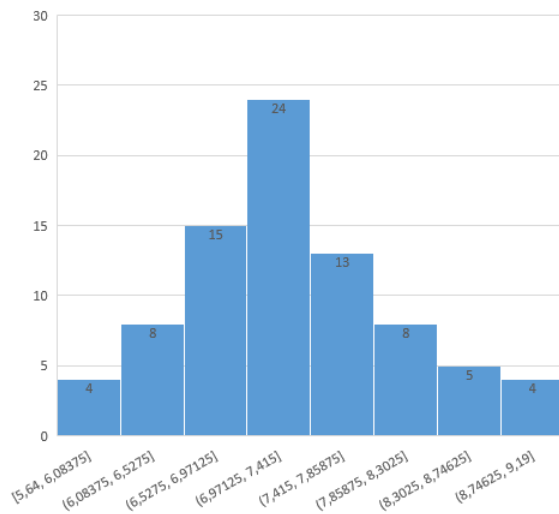


Рис. 1. Статистична гістограма щільності розподілу випадкової величини усталеного сповільнення ТЗ категорії N_1 , обладнаних АБС

Принциповий вигляд теоретичної кривої в цьому випадку відповідає виду функції

щільності нормального розподілу, яка по суті є однією з форм закону нормального розподілу випадкової величини. Відомо, що закон нормального розподілу (Гауса-Лапласа), заданий функцією щільності розподілу, має вигляд

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}},$$

де e – математична константа, основа натурального логарифма, $e=2,718$; x – координата аргументу (середина заданих інтервалів випадкової величини усталеного сповільнення), m/c^2 ; μ – математичне очікування (статистичне середнє), m/c^2 ; σ – середньоквадратичне відхилення, m/c^2 . Усі змінні, що входять до функції щільності розподілу, мають розмірність випадкової величини.

Для того, щоб забезпечити можливість наближення функції щільності розподілу до самого статистичного розподілу, було визначено статистичні характеристики випадкової величини – характеристику положення центра розсіювання й характеристику розкиду випадкової величини (табл. 3).

Таблиця 3 – Статистичні характеристики випадкової величини усталеного сповільнення ТЗ категорії N_1

Найменування та розмірність параметра	Розрахункова формула	Отримане значення параметра
Кількість інтервалів за заданого обсягу даних	$k = 4 \log n$	8
Статистичне середнє випадкової величини, m/c^2	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$	7,3
Розмах розсіювання випадкової величини, m/c^2	$R = x_{\max} - x_{\min}$	3,55
Середньоквадратичне відхилення випадкової величини, m/c^2	$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$	0,76
Дисперсія випадкової величини, $(m/c^2)^2$	$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$	0,57
Коефіцієнт варіації випадкової величини, %	$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} 100$	10,41

де n – кількість вимірювань параметра; \bar{x} – математичне очікування (у даному випадку статистичне середнє); x_i – випадкова величина i -го виміру параметра; σ – середньоквадратичне відхилення.

За експериментальними даними статистичне середнє (математичне очікування) випадкової величини усталеного сповільнення ТЗ категорії N_1 , які обладнані АБС, становить $\bar{x} = 7,3$ m/c^2 . Мода M_0 статистичного ряду визначається як середина інтервалу, в якому

частота є найбільшою. У даному випадку мода на інтервалі 6,97–7,41 m/c^2 буде дорівнювати $M_0 = 7,19$ m/c^2 . Це вказує на близькість розподілу статистичної середньої величини усталеного сповільнення до моди

(центра розсіювання) з незначним відхиленням $-0,11 \text{ м/с}^2$.

Характеристиками розкиду випадкової величини є розмах розсіювання R , середнє квадратичне відхилення σ , дисперсія σ^2 і коефіцієнт варіації V . Для випадкової величини усталеного сповільнення ТЗ категорії N_1 становить: розмах розсіювання $R=3,55 \text{ м/с}^2$; середньоквадратичне відхилення $\sigma = 0,76 \text{ м/с}^2$; дисперсія (розсіювання) $\sigma^2 = 0,57 \text{ (м/с}^2)^2$; коефіцієнт варіації (середньоквадратичне відхилення від середньоарифметичного у відсотках) $V=10,41 \%$.

З урахуванням перших двох моментів – математичного очікування і дисперсії, складемо функцію щільності розподілу для випадкової величини усталеного сповільнення ТЗ категорії N_1 , які обладнані АБС

дкової величини усталеного сповільнення ТЗ категорії N_1 , які обладнані АБС

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{0,76\sqrt{2\cdot 3,14}} e^{-\frac{(x-7,3)^2}{2\cdot 0,57}},$$

$$f(x) = 0,525 e^{-\frac{(x-7,3)^2}{2\cdot 0,57}}. \quad (1)$$

Розрахована за формулою (1) функція щільності розподілу випадкової величини усталеного сповільнення зведена до таблиці (табл. 4).

Таблиця 4 – Значення функції щільності розподілу випадкової величини усталеного сповільнення

Номер інтервалу	1	2	3	4	5	6	7	8
Середина інтервалу стовпчика x , м/с^2	5,861	6,305	6,749	7,193	7,636	8,08	8,524	8,968
Функція щільності розподілу $f(x)$, $\text{с}^2/\text{м}$	0,087	0,222	0,403	0,519	0,476	0,31	0,143	0,047
Відносна частота p_i	0,05	0,1	0,187	0,3	0,162	0,1	0,062	0,05
Щільність відносної частоти $\frac{p_i}{h}$, $\text{с}^2/\text{м}$	0,113	0,227	0,425	0,681	0,368	0,227	0,14	0,113

Якщо частоту інтервалу m_i (кількість появ випадкової величини в кожному інтервалі) розділити на розмір ряду (загальну кількість вимірювань параметра) n , то одержимо відносну частоту (частість) p_i появи випадкової величини в кожному інтервалі (табл. 4). На практиці, за великої кількості спостережень, відносна частота події приблизно береться за імовірність випадкової події або випадкової величини. Для того, щоб перейти до теоретичного опису випадкової величини, подамо її експериментальний розподіл у вигляді гістограми щільності відносної частоти p_i . Основою кожного ступеня гістограми є інтервал, у даному випадку – довжина кожного інтервалу $h = 0,443 \text{ м/с}^2$, а висота ступеня визначається відношенням відносної частоти до довжини інтервалу $\frac{p_i}{h}$, так званою щільністю відносної частоти. Якщо помножити основу ступеня на висоту, то одержимо площу прямокутного елемента гістограми, яка буде дорівнювати відносній частоті. За способом побудови гістограми необхідно, щоб повна її площа дорівнювала одиниці. Після чого можна порівняти щільність розподілу відносної

частоти випадкової величини $\frac{p_i}{h}$ (ряд 1) з функцією щільності імовірності (ряд 2), побудованою за рівнянням (1), (рис. 2).

Розмірність функції щільності ймовірності є зворотною розмірності випадкової величини. У літературі з теорії ймовірності функцію щільності розподілу іноді називають диференціальною функцією розподілу, а також диференціальним законом розподілу.

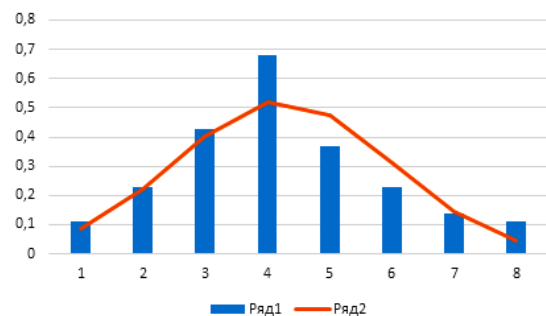


Рис. 2. Апроксимація щільності розподілу відносної частоти (ряд 1) функцією щільності ймовірності (ряд 2)

Для того, щоб перевірити, чи узгоджуються результати пошукового експерименту з теоретичними даними та висунутою науковою гіпотезою, побудуємо інтегральну статистичну функцію та відповідну їй інтегральну теоретичну функцію розподілу випадкової величини усталеного сповільнення ТЗ (рис. 3). Для розрахунку значень інтегральних функцій $F(x_i)$ будемо послідовно складати відносні частоти

$$F(x_1) = p_1; F(x_2) = p_1 + p_2;$$

$$F(x_3) = p_1 + p_2 + p_3; \dots F(x_k) = \sum_{i=1}^{k=8} p_i \approx 1.$$

Для розрахунку теоретичних частот p_i значення функції щільності розподілу $f(x)$ необхідно перемножити з довжиною інтервалу стовпчика $h = 0,443 \text{ м/с}^2$, тим самим визначивши підінтегральну площу функції щільності на заданому інтервалі

$$p_i = \int_{x_i}^{x_{i+1}} f(x) dx, \quad p_i \approx h \cdot f(x) \quad (\text{табл. 5}).$$

Таблиця 5 – Значення частот та інтегральної функції розподілу випадкової величини усталеного сповільнення

Номер інтервалу (розряду)		1	2	3	4	5	6	7	8
Відносна частота p_i	Емпірична	0,05	0,1	0,187	0,3	0,162	0,1	0,062	0,05
	Теоретична	0,038	0,098	0,178	0,301	0,21	0,137	0,063	0,02
Функція розподілу	Емпірична	0,05	0,15	0,337	0,637	0,799	0,899	0,961	1,011
	Теоретична	0,038	0,136	0,314	0,615	0,825	0,962	1,025	1,045

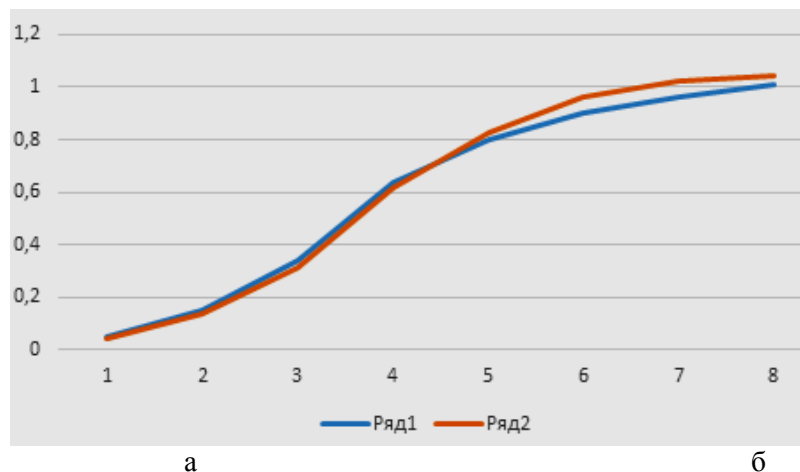


Рис. 3. Функції емпіричного (ряд 1) та теоретичного (ряд 2) розподілу випадкової величини усталеного сповільнення

Як би добре не було підібрано теоретичну функцію, між нею і статистичним розподілом будуть розбіжності. Природно виникає питання, чи пояснюються ці розбіжності тільки випадковими обставинами, пов'язаними з обмеженим числом спостережень; чи вони є істотними й пов'язані з тим, що підібрана функція неточно відображає вказаний статистичний розподіл? Питання про узгодження теоретичного й емпіричного розподілу перевірено за допомогою критерію згоди Колмогорова, який має вигляд $\lambda \leq D\sqrt{n}$, де $D = \max |F^*(x) - F(x)|$ – модуль максималь-

ної розбіжності між статистичною функцією $F^*(x)$ й відповідною теоретичною функцією $F(x)$ розподілу випадкової величини. Колмогоров довів, що якою б не була функція розподілу $F^*(x)$ випадкової величини x за необмеженої кількості спостережень n , імовірність нерівності $\lambda \leq D\sqrt{n}$ прагне до межі

$$P(\lambda) = 1 - \sum_{k=-\infty}^{\infty} (-1)^k e^{-2k^2\lambda^2}.$$

Для випадкової величини усталеного сповільнення ТЗ отримаємо $\lambda = 0,572$ при $D = 0,064$, $n = 80$. З урахуванням табульова-

них даних Колмогорова визначено імовірність $P(\lambda) = 0,864$. Оскільки отримані імовірності є великими, гіпотезу про нормальний розподіл випадкової величини усталеного сповільнення, що характеризує динаміку гальмування ТЗ категорії N_i , обладнаних АБС, можна вважати порівнянною з перевіреними даними. За граничною теоремою Ляпунова, якщо випадкова величина є сумою багатьох випадкових величин, то вона дуже добре описується нормальним законом, тобто якщо на процес впливає багато факторів, то випадкова величина цього процесу буде розподілена за нормальним законом. У даному випадку ми маємо наочне підтвердження цієї теореми. Отже, дані спостережень узгоджуються з гіпотезою про нормальний розподіл випадкової величини усталеного сповільнення ТЗ у межах певної категорії та з урахуванням типу конструкції гальмівної системи.

На підставі виконаних статистичних досліджень пропонується ввести відповідні корективи до розрахункової формули з визначення усталеного сповільнення ТЗ, а саме

$$j = \frac{g}{\delta} \left(\frac{\varphi}{k_e} + f \right), \quad (2)$$

де j – усталене сповільнення ТЗ, м/с^2 ; g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ; δ – коефіцієнт урахування обертових мас; φ – коефіцієнт зчеплення коліс із дорогою, який визначено експериментально на місці ДТП за допомогою відповідних приладів або за таблицями даними залежно від типу та стану покриття проїжджої частини [9]; k_e – коефіцієнт ефективності гальмування, який враховує ступінь використання сумарної сили зчеплення загальмованих коліс із поверхню проїжджої частини (невідповідність фактичних гальмівних сил на колесах силам зчеплення) [9]; f – коефіцієнт опору кочення.

Корективи величини усталеного сповільнення здійснюються за допомогою певного значення коефіцієнта k_e . Для розрахунку потрібне наступне перетворення виразу (2)

$$j = \frac{g}{\delta} \left(\frac{\varphi}{k_e} + f \right) = \frac{g}{\delta} \frac{\varphi}{k_e} + \frac{g}{\delta} f, \quad j - \frac{g}{\delta} f = \frac{g}{\delta} \frac{\varphi}{k_e},$$

$$\left(j - \frac{g}{\delta} f \right) \delta = \frac{1}{k_e}, \quad k_e = \frac{g\varphi}{j\delta - gf}.$$

Після перетворення отримуємо формулу для розрахунку коефіцієнта k_e . З метою подальшої корекції величини усталеного сповільнення ТЗ, обладнаного АБС, отримуємо

$$k_e = \frac{\varphi}{\frac{j\delta}{g} - f}. \quad (3)$$

Що стосується коефіцієнта урахування впливу обертових мас, то він, як відомо, залежить від багатьох факторів [10]

$$\delta_j = 1 + \frac{J_{k1}}{r_d} \frac{1}{r_{k1}} \frac{g}{G_a} + \frac{J_{k2}}{r_d} \frac{1}{r_{k2}} \frac{g}{G_a} + \frac{J_e}{r_d} \frac{i_i^2}{r_{k1}} \frac{g}{G_a}, \quad (4)$$

де r_d – динамічний радіус колеса, м; i_i – передавальне число трансмісії; J_{k1}, J_{k2} – інерційні моменти ведучого та веденого коліс відповідно $J_k = mr_d^2$, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$; J_e – інерційний момент на маховику двигуна, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$; r_k – кінематичний радіус колеса, $r_k = \frac{S_k}{2\pi n_{\text{об.к}}} = \frac{v_k}{\omega_k}$, м; S_k – шлях колеса, м; v_k – швидкість поступового руху колеса, м/с ; $n_{\text{об.к}}$ – кількість обертів колеса; ω_k – кутова швидкість колеса, с^{-1} .

Якщо колесо рухається без ковзання, що буває дуже рідко, то $r_k \approx r_d$. При блокуванні колеса, коли $r_k \rightarrow \infty$, отримуємо $\delta_j = 1$. У реальних умовах руху, коли є ковзання колеса, $r_k > r_d$. У цьому разі коефіцієнт урахування обертових мас δ_j буде також змінюватися.

Якщо у виразі (4) позначити вплив інерційних мас від двигуна та коліс відповідно як

$$\delta_{je} = \frac{J_e}{r_d} \frac{i_i^2}{r_{k1}} \frac{g}{G_a} \quad \text{та} \quad \delta_{jk} = \frac{J_{k1}}{r_d} \frac{1}{r_{k1}} \frac{g}{G_a} + \frac{J_{k2}}{r_d} \frac{1}{r_{k2}} \frac{g}{G_a},$$

то отримаємо

$$\delta_j = 1 + \delta_{je} i_i^2 + \delta_{jk},$$

де $\delta_{je}, \delta_{jk} = 0,03 \div 0,05$.

Коли нема ковзання коліс $r_k \approx r_d$, то можна прийняти $\delta_j = 1,04 + 0,04i_i^2$. Для випадків, коли гальмування відбувається з від'єднаним двигуном для ТЗ у завантаженому та спорядженому стані, δ_j відповідно буде дорівнювати $\delta_j = 1,03 \div 1,05$. У середньому можна прийняти $\delta_j \approx 1,04$.

Коефіцієнт опору кочення коліс f на асфальтобетоні у доброму стані буде знаходитися у межах $f = 0,014 \div 0,018$. У середньому можна взяти $f = 0,016$.

На підставі формули (3) виконаємо розрахунок значення коефіцієнта k_e для ТЗ категорії N_1 , які обладнані АБС і гальмують на сухому рівному асфальтобетонному покритті

$$k_e = \frac{\varphi}{\frac{j\delta}{g} - f} = \frac{0,8}{\frac{7,3 \cdot 1,04}{9,81} - 0,016} = 1,055. \quad (5)$$

Саме таке значення коефіцієнта буде наближати розрахункове значення усталеного сповільнення ТЗ категорії N_1 , обладнаних АБС, до математичного очікування випадкового значення цієї величини (усталеного сповільнення), яке, згідно з виконаними статистичними дослідженнями (табл. 3), буде дорівнювати $7,3 \text{ м/с}^2$.

Якщо експерт буде розраховувати усталене сповільнення за спрощеною формулою [1]

$$j = \frac{g\varphi}{k_e}, \quad (6)$$

то значення коефіцієнта k_e для ТЗ категорії N_1 , які обладнані АБС, буде дорівнювати

$$k_e = \frac{\varphi g}{j} = \frac{0,8 \cdot 9,81}{7,3} = 1,075. \quad (7)$$

Висновки

Проведено дослідження з оцінки ефективності гальмування 80 різних ТЗ категорії N_1 , які були обладнані АБС. Експериментальні данні оброблені за допомогою методів математичної статистики й теорії ймовірностей. Визначені статистики випадкової величини усталеного сповільнення становлять: статистичне середнє (математичне очікування) $\bar{x} = 7,3 \text{ м/с}^2$; розкид розсіювання $R = 3,55 \text{ м/с}^2$; середньоквадратичне відхилення $\sigma =$

$= 0,76 \text{ м/с}^2$; дисперсія $\sigma^2 = 0,57 \text{ (м/с}^2)^2$; коефіцієнт варіації $V = 10,41 \%$.

Доведено, що усталене сповільнення ТЗ категорії N_1 , обладнаних АБС, підпорядковується нормальному закону розподілу виду

$f(x) = 0,525e^{-\frac{(x-7,3)^2}{2 \cdot 0,57}}$ з достатньо високою ймовірністю $P(\lambda) = 0,864$ за критерієм згоди А.Н. Колмогорова.

На підставі виконаних статистичних досліджень внесено відповідні корективи до розрахункової формули з визначення усталеного сповільнення через відповідний коефіцієнт корекції. Для ТЗ категорії N_1 , які обладнані АБС і гальмують на сухому рівному асфальтобетонному покритті, цей коефіцієнт становить $k_e = 1,055$ або $k_e = 1,075$, залежно від типу обраної для розрахунку формули.

Література

1. Иларионов В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий : учеб. для вузов / В. А. Иларионов. – М. : Транспорт, 1989. – 256 с.
2. Миронова Ю.А. Исследование процессов торможения автомобилей зарубежного и отечественного производства : методические рекомендации / Ю. А. Миронова, Е. А. Китайгородский. – М. : ЭКЦ МВД России, 2005. – 176 с.
3. Кашканов В.А. Оценка тормозных свойств автомобилей при автотехнической экспертизе / В. А. Кашканов // Вісник ЖДТУ. Серія : Технічні науки. – 2014. – Вип. 2(69). – С. 109–111.
4. Капский Д.В. Развитие автоматизированной системы управления дорожным движением Минска как части интеллектуальной транспортной системы города / Д.В. Капский, Д.В. Навой // Наука и техника: международный научно-технический журнал. – 2017. – № 1. – С. 38–48.
5. Клименко В.І. Дослідження впливу антиблокувальної системи на ефективність гальмування легкового автомобіля / В.І. Клименко, І.А. Давіденко, О.В. Сараєв // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – 2011. – Вып. 29. – С. 245–249.
6. Сараєв О. В. Закон нормального розподілу випадкової величини усталеного сповільнення автомобіля / О. В. Сараєв // Вісник Національного технічного університету «ХП» : зб. наук. пр. Серія : Автомобілетракторобудування. – 2015. – № 10 (1119). – С. 69–81.

7. Saraev O. Regressive analysis of braking efficiency of MI category vehicles with anti-blocking brake system / O. Saraev // Автомобильный транспорт: сб. науч. тр. – 2015. – Вып. 36. – С. 67–72.
8. V-SIM 4.0. – Режим доступу : <http://www.cybid.com.pl>.
9. Судебная автотехническая экспертиза. Ч. II. Теоретические основы и методики экспертного исследования при производстве автотехнической экспертизы : пособие для экспертов-автотехников, следователей и судей / отв. ред. В. А. Иларионов. – М. : ВНИИСЭ, 1980. – 392 с.
10. Гришкевич А. И. Автомобили: Теория : учеб. для вузов / А. И. Гришкевич. – Минск : Выш. шк., 1986. – 208 с.

References

1. Ilarionov, V. A. (1989). *Ekspertiza dorozhno-transportnykh proisshchiviy* [Examination of road transport incidents]. Moscow: Transport [in Russian].
2. Mironova, Y.A., Kitaygorodskiy, E.A. (2005). *Issledovaniye protsessov tormozheniya avtomobiley zarubezhnogo i otechestvennogo proizvodstva* [Investigation of braking processes of cars of foreign and domestic production]. Moscow: EKTS MVD Rossii [in Russian].
3. Kashkanov, V. A. (2014). Otsenka tormoznykh svoystv avtomobiley pri avtotekhnicheskoy ekspertize [Evaluation of the braking properties of cars under autotechnical expertise]. *Visnik ZHDTU. Seriya : Tekhnichni nauki - Bulletin of ZSTU:Engineering science*, 2(69). 109-111.
4. Kapskiy, D.V., Navoy D.V. (2017). Razvitiye avtomatizirovannoy sistemy upravleniya dorozhnym dvizheniyem Minska kak chasti intellektual'noy transportnoy sistemy goroda [The development of an automated traffic management system of the Ministry of Transport as part of the city's intelligent transportation system]. *Nauka i tekhnika: mezhdunarodnyy nauchno-technicheskij zhurnal - Science and Technology: international Scientific and Technical Journal*, 1, 38-48.
5. Klymenko, V.I., Davidenko, I.A., Sarayev, O.V. (2011). Doslidzhennya vplyvu anty-blokuval'noyi systemy na efektyvnist ha-lmuvannya lehkovohto avtomobilya [Investigation of the effect of an anti-lock system on the efficiency of the braking of a car]. *Avtomobyl'nyy transport - Automobile transport*, 29, 245-249.
6. Sarayev, O. V. (2015). Zakon normalnoho rozpodilu vypadkovoyi velychyny ustalenohto spovilnennya avtomobilya [The law of the normal distribution of the random variable of a constant deceleration of an automobile]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KHPI» : Seriya : Avtomobile-ta traktorobuduvannya - Bulletin of the NTU «KhPI». Series: Automotive and tractor construction*, 10 (1119), 69-81.
7. Saraev, O. (2015) Regressive analysis of braking efficiency of MI category vehicles with antiblocking brake system. *Avtomobilnyy transport - Automobile transport*, 36, 67-72.
8. V-SIM 4.0. www.cybid.com.pl. – Retrieval from: <http://www.cybid.com.pl>
9. Ilarionov, V.A. (1980). *Sudebnaya avtotekhnicheskaya ekspertiza. CH. II. Teoreticheskiye osnovy i metodiki ekspertnogo issledovaniya pri proizvodstve avtotekhnicheskoy ekspertizy* [Forensic autotechnical examination. Theoretical bases and methods of expert research in the production of auto-technical expertise]. Moscow: VNIISE [in Russian].
10. Grishkevich, A.I. (1986). *Avtomobili: Teoriya [Cars: Theory]*. Minsk : Vysh. shk. [in Russian].

Данець Сергій Віталійович, завідувач сектору автотехнічних досліджень, Харківський державний науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України, тел. 0509583725, danez@ukr.net. 61000, Харків, Україна, вул. Ковтуна, 34

Сараєв Олексій Вікторович, д.т.н., декан, доцент, кафедра автомобілів тел. 0577073716, +080502755159, e-mail: sarayev9@gmail.com, Харківський національний автомобільно-дорожній університет 61002, Харків, Україна, вул. Ярослава Мудрого, 25

ESTIMATION OF BRAKING PERFORMANCE OF VEHICLES OF CATEGORY N₁

Danez S., Kharkiv State Research and Forensic Science Center of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine, Saraiev O., KhNAHU

Abstract. An assessment of the braking performance of an automobile is an important step in the investigation of a road accident. The accuracy of this assessment affects all further stages of the investigation and the conclusions of the examination. Modern cars are equipped with anti-lock braking system (ABS). **Problem.** Efficiency of braking of the car with ABS has improved. Existing methods of expert calculation do not take these changes into account. The calculated methods give a clearly significant error in the evaluation of the effectiveness of the braking of a car. This error can be 5% - 30%. The question arises about the legality of the application of these calculation methods. The concept of this work is to consider the emergency braking of a car as a stochastic process. **Goal.** The purpose of the study is to increase the accuracy in the evaluation of the effectiveness of the braking of vehicles of category N_1 . The main task of the work was the collection of statistical information on the dynamics of braking of vehicles of category N_1 . This information was collected during 2015-2018. The work was carried out by experts of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine in the cities of Kyiv, Kharkiv, Dnipropetrovsk, Cherkasy, Odessa, Lviv. **Methodology.** Special devices were used to evaluate the braking performance of VZM-300, Effect-2, AMX-520, EFTOR-2. Experimental studies were conducted at the place of the of a road accident. The vehicles were in good condition. These vehicles are Mercedes Vito, Mercedes-Benz Sprinter, Volkswagen Transporter, Ford Transit, Renault Trafic, Renault Kangoo, Renault Master, Citroen Berlingo, Citroen Jumpy, Opel Vivaro, Opel Movano and others. All vehicles were equipped with ABS. Experimental data were processed using mathematical statistics and probability theory methods. 80 measurements were selected. The random size of the deceleration of the vehicle was studied. **Results.** The mathematical expectation is 7.3 m/s^2 , the scattering rate is 3.55 m/s^2 , the normal

deviation is 0.76 m/s^2 , the dispersion is $0.57 \text{ (m/s}^2)^2$, the coefficient of variation is 10.41 %. **Originality.** It is proved that the dynamics of braking of a vehicle of category N_1 obeys the normal distribution law. Probability is 0.864 according to Kolmogorov criterion. **Practical value.** On the basis of the performed researches, corrections were made to the calculated formula for determining the deceleration of the car. The correction coefficient is entered in the formula. For vehicles of category N_1 , this ratio is 1.055-1.075. As a result of the research, a method was developed to evaluate the effectiveness of vehicle braking. This method passes the process of introduction into the expert service of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine.

Key words: transport, accident, examination, braking, statistics, efficiency, evaluation.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОРМОЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ КАТЕГОРИИ N_1

Данец С.В., Харьковский государственный
научно-исследовательский экспертно-
криминалистический центр МВД Украины
Сараев А.В., ХНАДУ

Аннотация. Для объективности реконструкции дорожно-транспортных происшествий в работе предложено решение проблемы повышения точности оценки эффективности торможения транспортных средств категории N_1 , оборудованных антиблокировочной системой тормозов. Применены методы математической статистики и теории вероятностей. Доказано, что случайная величина установившегося замедления автомобилей категории N_1 подчиняется нормальному закону распределения.

Ключевые слова: транспорт, авария, экспертиза, торможение, статистика, эффективность, оценка.