

УДК 656.084

*А. А. КАШКАНОВ*, канд. техн. наук, доц. ВНТУ, Вінниця**ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ЗНАЧЕНЬ КОЕФІЦІЄНТА ЗЧЕПЛЕННЯ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА РЕЗУЛЬТАТИ АВТОТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД**

Розглянуті причини виникнення невизначеності значень коефіцієнта зчеплення при проведенні експертиз дорожньо-транспортних пригод, та її вплив на інтерпретацію аналітичних результатів досліджень і розрахунків. Запропоновано шляхи мінімізації суб'єктивності експертного оцінювання значень коефіцієнта зчеплення під час розв'язування типових задач автотехнічної експертизи, що базуються на використанні аксіом теорії ймовірностей, нечіткої логіки та обробки числових даних (результатів вимірювань).

**Ключові слова:** система водій-автомобіль-дорога, мінімізація невизначеності, коефіцієнт зчеплення, прийняття рішень, експертиза дорожньо-транспортних пригод.

**Вступ.** Автомобіль є засобом підвищеної небезпеки. У світі в дорожньо-транспортних пригодах (ДТП) щорічно гинуть сотні тисяч і одержують поранення мільйони людей. Наноситься величезний матеріальний збиток економіці.

ДТП можна охарактеризувати як «розлагодження» взаємодії системи водій – автомобіль – дорога. Як правило, пригоди розвиваються за декілька секунд, а інколи за долі секунди. Як відомо, кожна ДТП має свої певні особливості, при чому в більшості пригод одночасно діють декілька видів причинно-наслідкових зв'язків. Це ускладнює експертизу ДТП і зумовлює те, що об'єктивність розслідування залежить від правильності вибору початкових даних та методики інженерного розрахунку [1-7].

**Аналіз основних досягнень і літератури.** Сучасна судова автотехнічна експертиза є експертним дослідженням, що проводиться з метою встановлення механізму і обставин ДТП з врахуванням показників технічного стану АТЗ, якості та параметрів дороги, психофізіологічних характеристик її учасників та інших факторів [1-3].

Проведення автотехнічної експертизи, як правило, пов'язано з розрахунками, для яких експерт в якості вихідних даних використовує результати тих чи інших вимірів, наданих йому слідчим або судом, а також типові довідкові дані – параметри і коефіцієнти, числові значення яких вибираються експертом самостійно із спеціальної науково-технічної і довідкової літератури у відповідності з характером та умовами скоєння ДТП [1-4]. В перелік таких характеристик і параметрів входить коефіцієнт зчеплення шин з дорогою, який характеризує можливості реалізації ефективного гальмування та безпечного маневрування АТЗ.

Для проведення автотехнічної експертизи експерту достатньо розрахувати ті чи інші параметри за відомими з теорії експлуатаційних властивостей автомобіля формулами. Проте отримати надійні і достовірні результати розрахунків можливо лише за умови підстановки в формули достовірних чисельних значень відповідних вихідних даних – результатів вимірювань, параметрів та коефіцієнтів. Це має принципове значення, оскільки лише за умови достовірності вихідних даних можна говорити про обґрунтованість, об'єктивність, достовірність висновків експерта та можливість їхнього використання в якості доказів [1-7].

**Мета дослідження, постановка задачі.** Метою роботи є розробка шляхів мінімізації невизначеності значень коефіцієнта зчеплення під час розв'язування типових задач автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод. Умови невизначеності при прийнятті рішень характеризуються відсутністю достатньої

© А. А. Кашканов, 2014

кількості інформації для доцільної організації дій. Якість процесу розробки рішень залежить від повноти врахування всіх факторів, що впливають на наслідки прийнятих рішень. Невизначеність можна усунути повністю чи частково двома шляхами: поглибленим вивченням наявної інформації або набуттям інформації, якої не вистачає.

Під час обчислення параметрів руху автомобіля, що є учасником ДТП, важливо правильно визначити коефіцієнт зчеплення шин з дорогою, оскільки він має сильну залежність від багатьох факторів і умов та володіє найбільшою невизначеністю серед інших використовуваних при експертизі ДТП факторів і параметрів. В процесі гальмування автомобіля приймають участь та взаємодіють як мінімум два об'єкта: дорога та автомобіль. Від властивостей кожного з них залежить ефективність гальмування. З одного боку, коефіцієнт зчеплення шин з дорожнім покриттям залежить від якості та стану шин автомобіля (тип протектора та ступінь його зносу, тиск повітря в шинах, швидкість і завантаженість автомобіля), з іншого боку, цей коефіцієнт змінюється в залежності від виду дорожнього покриття, структури та температури його поверхні, наявності вологи, забруднень на поверхні покриття.

Таким чином, при проведенні експертизи ДТП найкращим було б пряме чи непряме вимірювання коефіцієнта зчеплення дослідним шляхом для автомобіля, що є учасником ДТП, чи його аналога на місті пригоди, з обов'язковою оцінкою похибки вимірювальних приладів.

**Матеріали та результати досліджень.** Питаннями зчеплення автомобільного колеса з дорожнім покриттям займалися та внесли вагомий вклад В.І. Кнороз, Є.А. Чудаков, І.П. Петров, В.А. Асторов, Е.Г. Подліх, А.Б. Гредескул, О.С. Федосов, Б. Сабей, Д. Мур та інші. В результаті цих досліджень встановлено багато закономірностей, які відображають особливості взаємодії автомобіля з дорогою.

Коефіцієнт зчеплення є відношенням максимальної дотичної реакції в зоні контакту до нормальної реакції (навантаження), яка діє на колесо [8, 9].

Численними дослідженнями, проведеними у колишньому СРСР і за кордоном, встановлено, що зчеплення шини з дорожнім покриттям є наслідком великої кількості складних процесів, що відбуваються в зоні їх контакту і залежать від великої кількості факторів. Проте з різноманітності причин і умов, основний вплив на величину коефіцієнта зчеплення мають такі як, тип та стан дорожнього покриття; конструкція шини, стан та умови роботи шини.

Навіть при застосуванні однотипних приладів для виміру коефіцієнта зчеплення важко отримати результати, які можна порівняти, не говорячи про різні прилади для проведення таких вимірів. Різниця в результатах вимірів може бути викликана типом застосованих шин, твердістю та складом гуми протектора, величиною внутрішнього тиску повітря в шині, навантаженням на колесо, а також погодою і станом дорожнього покриття та іншим. Для того, щоб отримати за допомогою певного методу точні результати, необхідно, щоб всі виміри проводились в однакових умовах при збереженні сталими всіх факторів, які можуть вплинути на результат.

Для визначення коефіцієнтів зчеплення запропоновано ряд методів та приладів, які не завжди дають при паралельних випробуваннях однакові результати.

Методи визначення коефіцієнта зчеплення за довжиною гальмівного шляху та за величиною усталеного сповільнення мають вагомі недоліки, головний з яких – неможливо проводити вимірювання при високих швидкостях руху навіть на сухій дорозі. На вологій дорозі через різке гальмування при високих швидкостях може виникнути занос та перекидання автомобіля навіть при невеликій різниці у зчепленні шин з покриттям. Другий недолік методу використання довжини гальмівного шляху – це неможливість встановити дійсне значення коефіцієнта, оскільки довжина гальмового шляху складається з руху загальмованого колеса без ковзання і з ковзанням.

Співвідношення між цими шляхами залежить від інтенсивності гальмування. Крім того, коефіцієнт зчеплення, розрахований по довжині гальмівного шляху, є деяким середнім значенням для інтервалу швидкостей – від високої швидкості на початку гальмування до близької до нуля безпосередньо перед зупинкою автомобіля.

Перевагою цих методів є їхня простота. Вони добре відтворюють дійсні умови руху автомобіля, оскільки режим гальмування відповідає експлуатаційному. При проведенні випробувань з одним і тим же автомобілем отримуються точні дані, які можна порівняти.

Існує три конструкції портативних приладів: маятникового і ротаційного типу та ударної дії. Маятникові прилади дуже широко розповсюджені за кордоном. Вони порівняно прості в експлуатації і дозволяють достатньо швидко провести вимірювання. Недоліком всіх портативних приладів, як обертального так і маятникового типу, є неточність показань при випробуваннях покриттів з грубою текстурою поверхні. Для більшої точності вимірів необхідно використовувати криві їх кореляційного зв'язку з показниками динамометричних візків.

Найбільш точним і об'єктивним слід вважати спосіб вимірювання коефіцієнта зчеплення причіпними динамометричними візками. До числа його переваг відносяться більш висока точність результатів вимірювання, надійність і простота. Цим способом можна виявити залежність коефіцієнта зчеплення від швидкості руху, навантаження на колесо, типу, рисунку і ступеня зносу протектора, тиску в шині, типу і стану дорожнього покриття. Недоліком цього способу є необхідність досить великої ділянки дороги (не менше 20 м), потреба у великому числі повторних проїздів, випробування можуть проводитись тільки в години малої інтенсивності руху.

В зв'язку з цілим рядом зрозумілих причин найчастіше експериментальне визначення коефіцієнта зчеплення неможливе і для розрахунків використовують табличні дані про значення коефіцієнтів зчеплення для основних видів дорожніх покриттів [1-5, 7].

Цікаво, що табличні значення коефіцієнта зчеплення в різних літературних джерелах часто відрізняються. Так, в переважній більшості літературних джерел [1-4, 6] вказується максимальне значення коефіцієнта поздовжнього зчеплення – 0,8, причому для 100% проковзування колеса, у той час, як у інших [7-9] максимальне значення варіюється від 0,9 до 1,2. Крім того, табличні значення коефіцієнта зчеплення представляють у формі діапазонів «від-до». Якщо крайні значення коефіцієнта зчеплення для асфальтобетонного покриття відрізняються на 11%, то для ожеледиці вони відрізняються на 100%. Виникає сумнів, що при такій різниці даних можна отримати достовірні результати розрахунків і експерт вправі вибирати дані при експертизі ДТП на основі свого досвіду чи інтуїції з абсолютною впевненістю.

Можна впевнено сказати, що граничні значення коефіцієнта зчеплення, представлені в довідкових таблицях, знайдені в результаті статистичної обробки експериментальних даних. Але тоді будь-яке обране експертом значення коефіцієнта є лише конкретною реалізацією випадкової величини, яка має велике розсіювання. Відповідно дослідженням [4] локальні значення коефіцієнта, виміряні через 15-20 см гальмівного шляху, можуть мати відхилення в 30-50%, при цьому розподіл локальних значень коефіцієнта зчеплення підлягає нормальному закону. Отже, при використанні усереднених значень коефіцієнта зчеплення експерт повинен виконати оцінювання невизначеності обраного ним значення у відповідності до Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність». Оскільки в літературі та довідкових таблицях оцінки невизначеності довідкових значень коефіцієнта зчеплення в генеральній сукупності не наводяться, а лише вказуються нижня і верхня границі значень

коефіцієнта, можна скористатись «Керівництвом з вираження невизначеності вимірювань» [10].

Відповідно до пункту 4.3.7 цього керівництва, «якщо оцінені лише межі (верхня і нижня) для величини  $X_i$  і можна стверджувати, що для практичних цілей значення  $X_i$  знаходиться в інтервалі від  $X_1$  до  $X_2$ , та немає конкретних відомостей про можливі значення  $X_i$  всередині інтервалу, то можна стверджувати, що з однаковою імовірністю  $X_i$  може знаходитись в будь-якому місці в його межах (рівномірний розподіл можливих значень). Тоді  $x_i$  – очікуване значення  $X_i$  є середньою точкою інтервалу  $x_i = (X_1 + X_2) / 2$  з відповідними граничними відхиленнями  $\pm \Delta x_i$ ».

Таким чином, у відповідності до міжнародних рекомендацій, коефіцієнт зчеплення (як і всі інші табличні довідкові дані) необхідно подавати через його середнє значення і граничні відхилення  $\varphi = \varphi_{cp} \pm \Delta \varphi$ .

Останній підхід відображає випадкову природу явища і здатний при розрахунках дати більш об'єктивні результати, оскільки враховується невизначеність коефіцієнта зчеплення. Ефективність викладеного вище підходу підтверджується дослідженнями, результати яких опубліковані в [6, 7].

Так для визначення величини шляху, необхідного для зупинки транспортного засобу і відстані, на якій знаходився цей транспортний засіб від місця наїзду в момент виникнення небезпеки для руху використовується змінна  $\varphi$  – коефіцієнт зчеплення, від значення якої в значній мірі залежать висновки експертизи ДТП:

а) за діючою методикою [1-3] коефіцієнт зчеплення приймає для певної ділянки дороги досить широкий діапазон значень  $[\varphi_{\min}; \varphi_{\max}]$ , показаний на рис. 1;

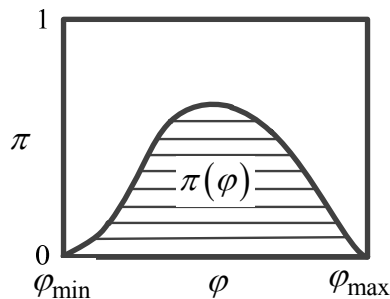


Рисунок 1 – Области невизначеності величини коефіцієнта зчеплення з врахуванням стохастичної та нечіткої невизначеності

б) за запропонованим підходом (з врахуванням стохастичної та нечіткої невизначеності) область невизначеності коефіцієнта зчеплення значно знижується до  $\pi(\varphi)$ , а потім перетворюється у чітку форму за допомогою одного з методів дефазифікації.

Доцільність використання результатів [6, 7], проілюструємо на прикладі.

Автомобілем ГАЗ-31105 збито пішохода, який перетинав проїзну частину дороги зліва направо відносно руху автомобіля. Потрібно визначити, чи мав технічну можливість водій шляхом гальмування уникнути наїзду за таких умов: ділянка дороги горизонтального профілю, після наїзду до повної зупинки автомобіль ГАЗ-31105 в стані гальмування подолав 9,2 м, з моменту виникнення перешкоди для руху і до

моменту наїзду пішохід подолав 5 м із швидкістю 4,5 км/год, пішохода збито передньою частиною автомобіля.

Розв'язання.

Питання про технічну можливість уникнути наїзду можна вирішити порівнюючи величину шляху, необхідного для зупинки транспортного засобу ( $S_0$ ) і відстань, на якій знаходився цей транспортний засіб від місця наїзду в момент виникнення небезпеки для руху ( $S_a$ ). На основі порівняння (рис. 2) приходимо до висновку:

а) водій не має технічної можливості шляхом гальмування уникнути наїзду за умови, що шлях, необхідний для зупинки дорівнює або більший ніж відстань, від транспортного засобу до місця наїзду;

б) водій має технічну можливість уникнути наїзду за умови, що шлях, необхідний для зупинки менший ніж відстань від транспортного засобу до місця наїзду.

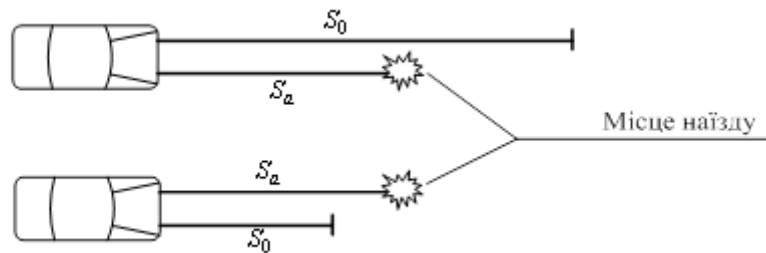


Рисунок 2 – Порівняння величин шляху, необхідного для зупинки і відстані від транспортного засобу до місця наїзду: а при  $S_0 > S_a$ , водій не має технічної можливості уникнути наїзду; б при  $S_0 < S_a$ , водій має технічну можливість уникнути наїзду

Результати розрахунків зведено в табл. 1. Останній стовпчик цієї таблиці показує наскільки важливе точне знання коефіцієнта зчеплення для прийняття рішення.

Таблиця 1 – Результати розрахунків для прийняття рішення

Методика	Коефіцієнт зчеплення	Зупиночний шлях автомобіля	Відстань до перешкоди в момент виникнення небезпеки	Рішення про можливість уникнення наїзду
Діюча	0,25	67,3 м	46,2 м	не можливо
	0,4	49,5 м	55,3 м	можливо
Запропонована	0,32	56,9 м	51,8 м	не можливо

**Висновки.** Обґрунтованість, об'єктивність, достовірність висновків експерта та можливість їхнього використання в якості доказів можливо забезпечити лише за умови достовірності вихідних даних. Відома методика в багатьох випадках дозволяє оцінити лише діапазон можливих значень коефіцієнта зчеплення, що ускладнює об'єктивність прийняття рішення при аналізі причин ДТП. Запропонований вище підхід, на відміну від відомої методики, дозволяє врахувати як стохастичну, так і нечітку невизначеність і звузити діапазон можливих оцінок, що підвищує об'єктивність прийняття рішень та дозволяє рекомендувати його як альтернативу існуючій методиці для застосування в практиці автодорожньої експертизи.

**Список літератури:** 1. Туренко А. М. Автотехнічна експертиза. Дослідження обставин ДТП : підручник для вищих навчальних закладів / А. М. Туренко, В. І. Клименко, О. В. Сараєв, С. В. Данець. – Харків : ХНАДУ, 2013. – 320 с. – ISBN 978-966-303-470-6. 2. Сумець О. М. Основи експертизи дорожньо-транспортних пригод: автотехнічна експертиза : Навчальний посібник / О. М. Сумець, В. Ф. Голодишій. – К.: Хай-Тек Прес, 2008. – 160 с. – ISBN 978-966-2143-18-8. 3. 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 / Ю. Б. Суворов. – М. : Экзамен, 2003. – 208 с. – ISBN 5-94692-404-4. 4. Тартаковский Д. Ф. Проблемы неопределенности данных при экспертизе дорожно-транспортных происшествий / Д. Ф. Тартаковский. – СПб. : Юридический центр Пресс, 2006. – 268 с. – ISBN 5-94201-409-4. 5. Кашканов А. А. Мінімізація суб'єктивності експертного оцінювання в задачах автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – № 29 (1002). – С. 120–125. 6. Кашканов А. А. Оцінка експлуатаційних гальмових властивостей автомобілів в умовах неточності вихідних даних : монографія / А. А. Кашканов, В. М. Ребедаїло, В. А. Кашканов. Вінниця: ВНТУ, 2010. – 146 с. – ISBN 978-966-641-364-5. 7. В. А. Кашканов. Інтелектуальна технологія ідентифікації коефіцієнта зчеплення при автотехнічній експертизі ДТП : монографія / В. А. Кашканов, В. М. Ребедаїло, А. А. Кашканов, В. П. Кужель. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 129 с. – ISBN 978-966-641-424-6. 8. Автомобильный справочник Bosch. Перевод с англ. Первое русское издание. – М.: ЗАО КЖИ «За рулем», 2002. – 896 с. 9. Работа автомобильной шины / [Кнороз В.И., Кленников Е.В., Петров И.П. и др.] ; под. ред. В.И. Кнороза. М.: «Транспорт», 1976. – 238 с. 10. Руководство по выражению неопределенности измерения (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement). Перевод с англ. под науч. ред. проф. Слаева В. А. – С.-Петербург : ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, 1999. – 134 с.

Надійшла до редколегії 28.02.2014

УДК 656.084

**Оцінювання невизначеності значень коефіцієнта зчеплення та її вплив на результати автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод / А. А. Кашканов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування. – Х. : НТУ «ХПІ», 2014. – № 8 (1051). – С. 61–66. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2078-6840.**

Рассмотрены причины возникновения неопределенности значений коэффициента сцепления при проведении экспертиз дорожно-транспортных происшествий, и ее влияние на интерпретацию аналитических результатов исследований и расчетов. Предложены пути минимизации субъективности экспертного оценивания значений коэффициента сцепления при решении типичных задач автотехнической экспертизы, которые базируются на использовании аксиом теории вероятностей, нечетких множеств и обработки числовых данных (результатов измерений).

**Ключевые слова:** система водитель-автомобиль-дорога, минимизация неопределенности, коэффициент сцепления, принятие решений, экспертиза дорожно-транспортных происшествий.

**Ocenivanie uncertainties of importances of the factor of the traction and its influence upon results auto technical expert operations of the road adventures / A. A. Kashkanov // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Car- and tractorbuilding. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2014. – № 8 (1051). – P. 61-66. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2078-6840.**

Reasons of subjective origin vagueness of values adhesion factor are considered during realization of road traffic accidents examinations, and her influence on interpretation of analytical results of researches and calculations. The ways of minimization of expert evaluation subjectivity of values adhesion factor are offered at the decision of typical tasks of motor-vehicle examination, which are based on the use of axioms of chances theory, fuzzy logic and processing of numeric data (results of measuring).

**Keywords:** the system a driver-car-road, minimization of vagueness, adhesion factor, making decision, examination of road traffic accidents.