

Автотехнічна експертиза

Костянтин Доля

Кафедра автомобілів та транспортної інфраструктури, Національний аерокосмічний університет "Харківський авіаційний інститут", Харків, Україна
ORCID: 0000-0002-4693-9158

Антон Григорович

Кафедра автомобілів та транспортної інфраструктури, Національний аерокосмічний університет "Харківський авіаційний інститут", Харків, Україна
ORCID: 0000-0001-5388-3159

Анотація: у статті розглянуто автотехнічну експертизу як інструмент встановлення технічних обставин дорожньо-транспортної пригоди (ДТП) та оцінювання причинно-наслідкових зв'язків між діями учасників і наслідками. Метою роботи є систематизація етапів експертного дослідження: збір вихідних даних, формування розрахункових припущень, визначення швидкісного режиму та гальмівного шляху, реконструкція траєкторій руху, оцінювання технічної можливості запобігання ДТП.

Запропоновано структуру показників для аналітичної реконструкції (коефіцієнт зчеплення, час реакції водія, сповільнення, видимість/оглядовість), а також типовий алгоритм перевірки версій з використанням балансу відстаней та часових інтервалів. Наведено приклад розрахунку критичної швидкості й мінімальної зупиночної відстані для різних дорожніх умов та продемонстровано чутливість висновків до невизначеності вхідних параметрів. Результати можуть бути використані для підготовки методично обґрунтованих експертних висновків у кримінальних та цивільних провадженнях.

Ключові слова: автотехнічна експертиза, ДТП, реконструкція подій, гальмівний шлях, зупиночна відстань, коефіцієнт зчеплення, час реакції водія, швидкість руху

1. Вступ

Автотехнічна експертиза є складовою судової експертизи, спрямованою на встановлення технічних обставин дорожньо-транспортної пригоди (ДТП) на основі матеріалів справи, слідової інформації, технічних характеристик транспортних засобів та дорожніх умов [12, 13]. Її завданням є надання відповідей на питання, що мають інженерно-технічний характер: визначення швидкості руху, траєкторій, можливості своєчасного виявлення небезпеки, розрахунок гальмівного та зупиночного шляхів, а також оцінювання технічної можливості уникнення зіткнення [4, 6].

Практичний досвід показує, що якість експертного висновку суттєво залежить від повноти вихідних даних і коректності прийнятих припущень. Невизначеність коефіцієнта зчеплення, фактичної маси ТЗ, часу реакції водія, моменту початку гальмування або реальної видимості може змінювати результат у межах, критичних для правової оцінки. Тому актуальним є формалізований підхід, який поєднує розрахункові моделі руху, аналіз чутливості та прозоре документування допущень.

2. Мета та задачі дослідження

Мета — систематизувати методику автотехнічної експертизи ДТП та продемонструвати типові розрахункові процедури для оцінювання швидкості руху, зупиночної відстані й технічної можливості уникнення зіткнення. Задачі:

- визначити перелік вихідних даних, необхідних для розрахунків (дорожні умови, сліди, параметри ТЗ, видимість);
- подати базові розрахункові залежності для гальмівного шляху і зупиночної відстані;
- описати порядок перевірки альтернативних версій механізму ДТП;
- показати вплив невизначеностей ключових параметрів на результат та висновок;
- сформулювати рекомендації щодо відтворюваності експертних розрахунків.

3. Методи досліджень

У роботі використано:

- кінематичні моделі руху з постійним уповільненням для оцінювання гальмівного шляху та швидкості [4, 5]; часо-інтервальний аналіз для балансу часу реакції, затримок і часу гальмування [6]; метод сценаріїв для порівняння альтернативних версій (різні μ , t_r , початкова швидкість) [7]; аналіз чутливості для оцінювання впливу невизначеностей на результат [8];
- графічну інтерпретацію залежностей $S_{\text{stop}}(V)$ [4, 9].

Базові співвідношення:

$$S_{\text{br}} = \frac{V^2}{2a}, \quad a \approx \mu g, \quad (1)$$

$$S_{\text{stop}} = V t_r + \frac{V^2}{2\mu g}, \quad (2)$$

де V — швидкість руху, a — уповільнення, μ — коефіцієнт зчеплення, g — прискорення вільного падіння, t_r — час реакції водія.

4. Аналіз джерел

Автотехнічна експертиза ДТП спирається на перетин кількох груп джерел: нормативних документів і методик судової експертизи; підручників і монографій з динаміки автомобіля та теорії руху; праць з дорожньої безпеки, де аналізуються типові сценарії конфліктних ситуацій; публікацій з трибології (фізики тертя) та шинної механіки, які пояснюють чинники зміни коефіцієнта зчеплення; статистико-інженерних підходів до роботи з невизначеністю та аналізу чутливості. Така багатоджерельність зумовлена тим, що підсумковий експертний висновок має одночасно бути фізично обґрунтованим, методично прозорим і юридично коректним [12, 13, 14].

1. Нормативно-методична база та вимоги до доказовості

У методичних рекомендаціях і «типових методиках» автотехнічних досліджень наголошується на необхідності суворого розмежування: (а) фактів, зафіксованих у матеріалах справи (відстані, сліди, положення ТЗ, пошкодження, дорожня обстановка); (б) розрахункових припущень (значення μ , t_r , t_0 , ухил, наявність/відсутність гальмування, момент виникнення небезпеки); (в) результатів моделювання (швидкість, зупиночна відстань, час до зіткнення, технічна можливість уникнення) [12, 13].

Практично важливо, щоб експерт:

- описував джерело кожного числового параметра (протокол огляду, вимірювання, довідкові дані, обґрунтоване припущення);
- наводив проміжні обчислення й перевірки одиниць вимірювання;

- зазначав межі застосовності обраної моделі (наприклад, припущення рівномірного уповільнення або відсутність суттєвих коливань μ на ділянці гальмування);
- формулював висновок у термінах «технічної можливості/неможливості» з урахуванням інтервальної параметрів [13, 14].

Окремим аспектом є пов'язання розрахункових результатів з об'єктивними слідами: довжиною слідів ковзання, характером деформацій, розташуванням ТЗ після зіткнення, даними відеореєстраторів або систем допомоги водієві (за наявності). Методики підкреслюють пріоритет емпіричних даних над довідковими, а також необхідність узгодження (крос-перевірки) результатів із кількох незалежних ознак [12, 13].

2. Розрахункові моделі руху та гальмування в інженерній літературі

Базою більшості прикладних розрахунків є кінематичні співвідношення для поступального руху та моделі гальмування з наближенням до сталого уповільнення на основній фазі гальмування. У класичних працях з динаміки транспортних засобів систематизовано вплив розподілу навантаження по осях, роботи гальмівної системи, шин і стану покриття на реалізоване уповільнення [4, 5].

У найпростішій (але поширеній у попередніх оцінках) моделі вважають, що на ділянці інтенсивного гальмування уповільнення близьке до сталого й визначається рівнем зчеплення:

$$a \approx \mu g, \quad (3)$$

де μ — коефіцієнт зчеплення, g — прискорення вільного падіння. Тоді гальмівний шлях при початковій швидкості V (у м/с) оцінюється співвідношенням:

$$S_{br} = \frac{V^2}{2a} \approx \frac{V^2}{2\mu g}. \quad (4)$$

Для ділянок з поздовжнім ухилом дороги доцільно вводити ефективне уповільнення (наближення для малих кутів):

$$a_{eff} \approx g(\mu \pm i), \quad (5)$$

де i — ухил (наприклад, $i = 0.05$ відповідає 5%), знак «+» відповідає руху на підйом, «-» — руху на спуск. Тоді повна зупиночна відстань із урахуванням реакції та технічної затримки задається як:

$$S_{stop} = V(t_r + t_0) \quad (6)$$

Нижче наведено ілюстрацію впливу ухилу на $S_{stop}(V)$ при фіксованих t_r і μ . Для задач експертизи важливе розуміння структури процесу зупинки:

- інформаційна фаза (виявлення небезпеки та реакція водія) з часовим параметром t_r ;
- фаза технічних затримок (перенесення ноги на педаль, люфти, наростання тиску в приводі) з параметром t_0 ;
- фаза гальмування з уповільненням a або з ефективним μ ;
- можлива фаза удару/ковзання (за контакту або блокування коліс), яка може модифікувати сліди та деформації.

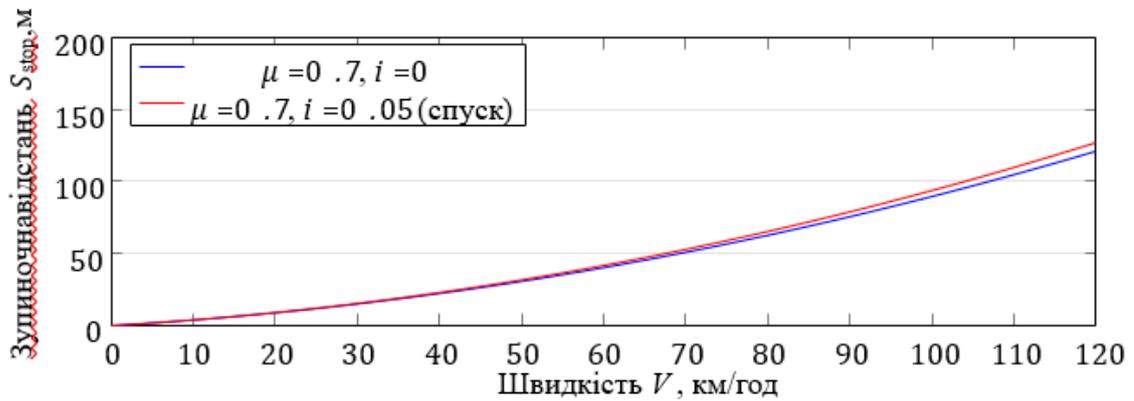


Рис 1. Вплив поздовжнього ухилу на зупиночну відстань у спрощеній моделі сталого уповільнення.

У прикладних розрахунках судової практики найчастіше використовується інтегральний показник «зупиночна відстань», що поєднує перші три фази. Саме це робить параметри t_r і μ критичними для висновку, а також пояснює необхідність подавати їх як інтервали, а не як «точні» значення [4, 6, 12].

3. Коефіцієнт зчеплення та фізика тертя: причини варіацій

Суттєва розбіжність експертних оцінок часто пов'язана з різним трактуванням допустимого діапазону μ . Інженерні та фізичні праці з тертя і шинної взаємодії показують, що μ залежить від:

- типу покриття (асфальтобетон, бетон, бруківка), мікро- та макрошорсткості;
- наявності води, бруду, піску, реагентів, льоду;
- температури та швидкісного режиму ковзання;
- стану шин (протектор, тиск, зношеність) та навантаження на колесо.

З погляду прикладної динаміки автомобіля μ є узагальненим параметром, який відображає максимально реалізовану відносну поздовжню силу тертя F_x на контактній шині з дорогою:

$$F_x \leq \mu N, \quad (7)$$

де N — нормальна реакція опори. За гальмуванням без урахування аеродинаміки та втрат у приводі маємо наближену рівність між уповільненням та μ :

$$a \approx \mu g. \quad (8)$$

Ці співвідношення пояснюють, чому навіть відносно невелика похибка у виборі μ переноситься у суттєву похибку гальмівного шляху, адже

$$S_{br} \approx \frac{V^2}{2\mu g}, \quad \frac{\partial S_{br}}{\partial \mu} = -\frac{V^2}{2g\mu^2}. \quad (9)$$

У трибологічних моделях підкреслюється, що тертя гуми є поєднанням адгезійної та деформаційної складових, а отже навіть короточасні зміни стану поверхні можуть суттєво змінювати ефективний рівень зчеплення [10, 11]. На практиці це проявляється в тому, що μ :

- не є сталим уздовж ділянки гальмування (локальні калюжі, пісок, «полірована» смуга накату, лід);
- залежить від режиму ковзання (часткове ковзання/блокування коліс), тому в умовах з ABS фактичний μ може відрізнитися від випадку повного ковзання;
- залежить від стану шини (протектор і тиск впливають на відвід води та реальну площу контакту).

Для експерта це означає, що використання довідкових табличних значень без прив'язки до конкретних умов місця події може призвести до некоректної реконструкції. Тому доцільно: обґрунтовувати обраний інтервал μ через опис покриття та погодних умов; по можливості виконувати крос-перевірку μ за слідами (тип сліду, наявність/відсутність переривчастості, довжина);

формуванню висновку у вигляді інтервалів (кращий/гірший сценарій) [12, 13].

Нижче наведено ілюстративну залежність коефіцієнта зчеплення від відносного ковзання s ("slip ratio") для сухого та мокрого покриття; вона пояснює, чому перехід від режиму часткового ковзання до блокування може змінювати ефективний рівень тертя.

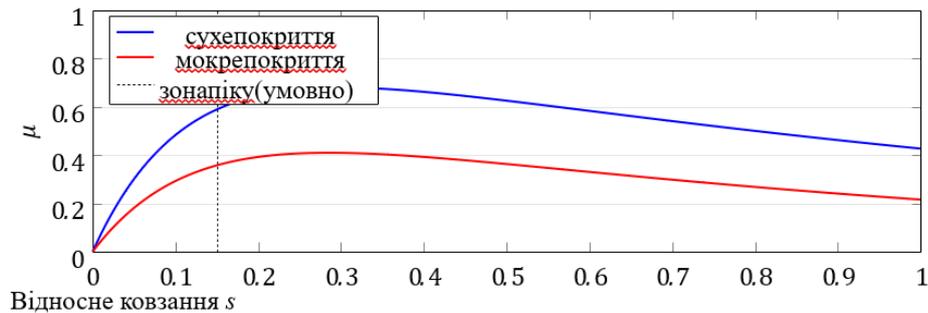


Рис 2. Ілюстративна залежність $\mu(s)$ для сухого та мокрого покриття: максимум досягається при частковому ковзанні.

У роботах з безпеки дорожнього руху, а також у класичних публікаціях з аналізу дорожніх інцидентів час реакції трактується не як константа, а як величина, що залежить від складності дорожньої обстановки, очікуваності перешкоди, освітлення, втоми, стресу та багатьох інших факторів [6]. Для автотехнічної експертизи це означає, що величини t_r та t_0 мають розглядатися як сценарні (інтервальні) параметри, а не як «точні» числа.

4.1. Дистанція реагування та роль t_r у зупиночній відстані

Під час реакції водія транспортний засіб продовжує рухатися практично без зменшення швидкості, тому шлях реагування (перцептивно-реакційна дистанція) оцінюється як:

$S_{pr} = V(t_r + t_0)$. Після початку гальмування повна зупиночна відстань дорівнює:

$$S_{stop} = S_{pr} + S_{br} = V(t_r + t_0) + \frac{V^2}{2\mu g}. \quad (10)$$

Таким чином, за фіксованої швидкості чутливість S_{stop} до часу реакції є лінійною:

$$\frac{\partial S_{stop}}{\partial t_r} = V. \quad (11)$$

Ця проста залежність є зручною для інтерпретації в судовій практиці: збільшення t_r на 0.3 с при $V = 60$ км/год (16.67 м/с) збільшує зупиночну відстань приблизно на 5 м.

4.2. Час до зіткнення та умова «встиг/не встиг»

Для попередньої оцінки ризику використовують показник *time-to-collision* (TTC) — час до потенційного контакту за умови збереження швидкостей. Для випадку нерухомої перешкоди:

$$TTC = \frac{S}{V}, \quad (12)$$

а для двох об'єктів, що зближуються, — з відносною швидкістю V_{rel} :

$$TTC = \frac{S}{V}. \quad (13)$$

Найпростіша умова технічної можливості уникнення зіткнення через гальмування в першому наближенні має вигляд:

$$S \geq S_{stop} \Leftrightarrow TTC \geq (t_r + t_0) + \frac{V}{2\mu g}. \quad (14)$$

4.3. Сценарні значення часу реакції

Щоб уникати категоричних висновків, доцільно використовувати кілька рівнів t_r залежно від дорожньої ситуації (очікуваність перешкоди, наявність відволікань, видимість тощо) [6, 12, 14].

Табл 1. Типові сценарні значення часу реакції водія (приклад для експертних розрахунків).

Сценарій	t_r , с	Коментар
Найкращий (ідеальний)	0.7	Очікувана подія, висока готовність
Номінальний	1.0	Типова міська ситуація
Гірший (ускладнений)	1.3	Неочікувана перешкода, складне середовище

4.4. Графічна інтерпретація впливу t_r

На рис. 3 показано лінійне зростання S_{stop} зі збільшенням t_r для двох швидкостей (за фіксованих μ та t_0).

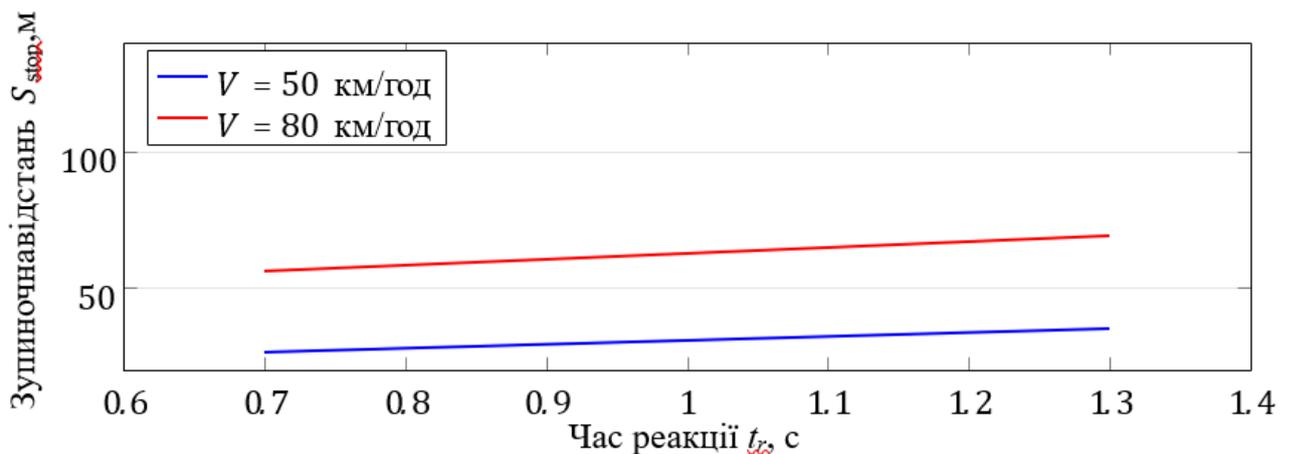


Рис 3. Вплив часу реакції на зупиночну відстань у спрощеній моделі при $\mu = 0.7$ та $t_0 = 0.2$ с.

Підсумовуючи, методично коректним є відділяти «мінімально можливий» час реакції (ідеальний сценарій) від «реалістичного»; чітко формулювати, у який момент вважається, що небезпека стала об'єктивно виявною; перевіряти висновок на кількох сценаріях t_r і t_0 , щоб уникнути надмірної категоричності [12, 14].

5. Невизначеність, сценарний підхід та аналіз чутливості

У сучасній практиці експертних реконструкцій значну увагу приділяють роботі з невизначеністю: похибки вимірювань відстаней, невідомий момент початку гальмування, інтервальність μ , можливі затримки керування, різні трактування траєкторій. Методологічно виправданим є сценарний підхід, коли порівнюються альтернативні комбінації параметрів і формулюються межі результату (наприклад, інтервал $V_{кр}$) [7, 8, 12].

5.1. Людський чинник як джерело невизначеності

Найскладнішим для формалізації елементом реконструкції є людський чинник: момент усвідомлення небезпеки, реальний час реакції t_r та додаткові затримки t_0 . На відміну від геометричних вимірювань, ці параметри не є безпосередньо спостережуваними в матеріалах справи й залежать від контексту (очікуваність події, увага, втома, освітлення, інтенсивність трафіку тощо) [6, 12, 14, 22].

У формулі зупиночної відстані

$$S_{\text{stop}} = V(t_r + t_0) + \frac{V^2}{2\mu g}, \quad (15)$$

людський чинник входить як адитивна складова $V(t_r + t_0)$, тому за фіксованої швидкості навіть невелика варіація t_r безпосередньо масштабується швидкістю. Це робить t_r «критичним параметром» у багатьох судових задачах.

5.2. Інтервальна (сценарна) постановка

Сценарний підхід доцільний тоді, коли параметри мають інтервальну природу. Типово будують принаймні три сценарії: кращий/номінальний/гірший, де окремо варіюють μ , t_r , t_0 та (за потреби) відстані S [12, 13]. Практичний сенс полягає у тому, щоб показати, чи зберігається висновок (наприклад, $S_{\text{stop}} \leq S$) для правдоподібного діапазону параметрів.

Табл 2. Джерела невизначеності та типові діапазони (узагальнений приклад).

Параметр/фактор	Позначення	Типово	Коментар
Коефіцієнт зчеплення	μ	0.35–0.75	Стан покриття/волога/шини
Час реакції водія	t_r	0.7–1.3 с	Людський чинник, ситуаційна залежність
Додаткова затримка	t_0	0.1–0.3 с	Перенесення ноги/спрацювання систем
Відстані на схемі Момент «виявлення небезпеки»	S —	$\pm(0.5-2)$ м сценарно	Похибка вимірювання/масштаб Тлумачення події, оглядовість

5.3. Лінеаризована оцінка чутливості (вплив людського чинника)

Для наочного пояснення впливу невизначеності часто використовують похідні (локальну чутливість). Для S_{stop} маємо:

$$\frac{\partial S_{\text{stop}}}{\partial t_r} = V, \quad \frac{\partial S_{\text{stop}}}{\partial t_0} = V, \quad \frac{\partial S_{\text{stop}}}{\partial \mu} = -\frac{V^2}{2g\mu^2}. \quad (16)$$

Звідси видно, що при великих швидкостях внесок людського чинника в невизначеність зупиночної відстані стає домінуючим навіть за порівняно невеликих варіацій t_r .

Якщо припустити незалежність складових невизначеності, то у лінеаризованому наближенні сумарну стандартну невизначеність можна оцінити як [8, 9]:

$$u^2(S_{\text{stop}}) \approx (V u(t_r))^2 + (V u(t_0))^2 + \left(\frac{V^2}{2g\mu^2} u(\mu) \right)^2 + u^2(S), \quad (17)$$

де $u(\cdot)$ — стандартні невизначеності (оцінки розкиду).

5.4. Графічне зіставлення сценаріїв

На рис. 4 показано, як змінюється критична швидкість $V_{\text{кр}}(t_r)$ для двох рівнів зчеплення (умови сухого/мокрого покриття) при фіксованих S та t_0 . Такий графік зручний для «пояснювальної» частини експертного висновку: він демонструє, що погіршення людського фактора (зростання t_r) та дорожніх умов (зменшення μ) однонапрямлено знижують допустиму швидкість.

5.5. Пояснювальна інтерпретація для судової практики

Поєднання сценарного підходу та аналізу чутливості дозволяє уникнути помилкової «точності»: замість одного числа швидкості або дистанції обґрунтовується інтервал результатів і показується, які саме припущення (зокрема щодо людського чинника) є визначальними для висновку [12, 13, 14]. Це підвищує відтворюваність і робить експертну модель прозорою для перевірки.

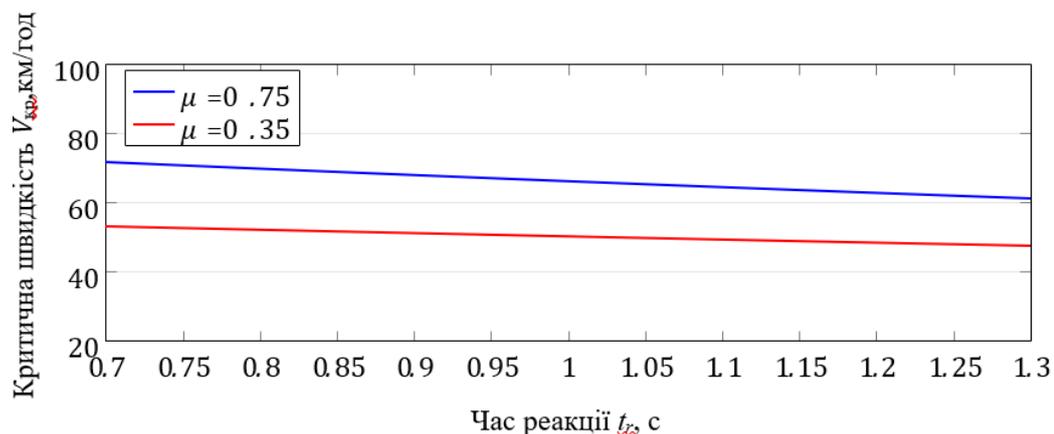


Рис 4. Інтервальна (сценарна) залежність $V_{\text{кр}}(t_r)$ при $S = 45$ м та $t_0 = 0.2$ с для різних рівнів зчеплення.

Отже, аналіз джерел свідчить, що ключові проблеми автотехнічної експертизи зводяться до вибору адекватної моделі руху та гальмування, правильного обґрунтування параметрів середовища (μ) і людського фактора (t_r), а також до забезпечення відтворюваності розрахунків через чітке документування допущень і перевірку альтернативних сценаріїв [4, 5, 12, 13, 14]. У цій статті огляд використано для: (а) виділення ключових параметрів реконструкції; (б) вибору базових формул і показників; (в) побудови сценарного алгоритму оцінювання технічної можливості уникнення ДТП.

З огляду на міждисциплінарність задачі, у подальшій роботі також враховано довідкові та нормативні джерела з геометрії доріг, гальмівних систем, випробувань динаміки ТЗ і процедур реконструкції ДТП [1, 2, 3, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21].

6. Дослідження

У межах дослідження розглянуто типову ситуацію міської ДТП, для якої доступні: схема місця дії, виміряні відстані (від точки виявлення небезпеки до місця контакту), наявність/відсутність слідів гальмування, опис дорожнього покриття (сухе/мокре), а також довідкові технічні характеристики транспортного засобу. Оскільки у реальних матеріалах

справи параметри часто задаються інтервалами, надалі використано інтервальний опис вхідних величин. Основні вхідні параметри:

- відстань до перешкоди S (м);
- коефіцієнт зчеплення μ (—);
- час реакції водія t_r (с);
- ефективне уповільнення a (м/с²), яке для спрощених оцінок приймається як $a \approx \mu g$;
- додаткові затримки t_0 (с) (сприйняття, перенесення ноги на педаль, спрацювання гальм).

Для практичних розрахунків зупиночну відстань подамо як:

$$S_{\text{stop}} = V(t_r + t_0) + \frac{V^2}{2\mu g} \quad (18)$$

Постановка задачі реконструкції

Нехай у матеріалах справи зафіксовано відстань S до місця зіткнення в момент виявлення небезпеки. Тоді задача експерта полягає у відповіді на запитання:

• чи могла особа керування технічно уникнути зіткнення за умови своєчасного гальмування;

- яким є максимальне допустиме значення швидкості $V_{\text{кр}}$, за якого $S_{\text{stop}} \leq S$;
- як змінюються висновки при варіюванні μ та t_r у правдоподібних межах.

Критичну швидкість отримуємо з квадратного рівняння:

$$\frac{1}{2\mu g} V^2 + (t_r + t_0)V - S = 0 \quad (19)$$

Позитивний корінь:

$$V_{\text{кр}} = \mu g \left(\sqrt{(t_r + t_0)^2 + \frac{2S}{\mu g}} - (t_r + t_0) \right) \quad (20)$$

3. Інтервальна оцінка та аналіз чутливості

У практиці автотехнічної експертизи суттєву роль відіграє невизначеність: μ може змінюватися в широких межах залежно від типу покриття, температури, забруднення, наявності води/льоду, стану шин; t_r залежить від психофізіологічного стану водія та складності дорожньої обстановки.

Для демонстрації чутливості розглянемо діапазони:

$$\mu \in [0.35; 0.75], \quad t_r \in [0.7; 1.3], \quad t_0 \in [0.1; 0.3], \quad S \in [40; 50]. \quad (21)$$

Для кожної комбінації параметрів можна визначити $V_{\text{кр}}$ та проаналізувати, які фактори найбільше впливають на результат. У спрощеному вигляді відносну чутливість можна оцінювати порівнянням крайніх сценаріїв:

$$\Delta V_{\text{кр}} = V_{\text{кр}}(\mu_{\text{max}}, t_r \text{ min}, t_0 \text{ min}, S_{\text{max}}) - V_{\text{кр}}(\mu_{\text{min}}, t_r \text{ max}, t_0 \text{ max}, S_{\text{min}}). \quad (22)$$

Табл 3. Діапазони вхідних параметрів для інтервальної реконструкції (приклад).

Параметр	Позначення	Мін.	Макс.
Відстань до перешкоди, м	S	40	50
Коефіцієнт зчеплення	μ	0.35	0.75
Час реакції, с	t_r	0.7	1.3
Додаткова затримка, с	t_0	0.1	0.3

Додаткові розрахункові співвідношення

Якщо у матеріалах справи наявні сліди гальмування довжиною L_{skid} , то за припущення рівномірного уповільнення швидкостей на початку гальмування оцінюється як [4, 5]:

$$V \approx \sqrt{2\mu g L_{skid}} \quad (24)$$

Для подальшого аналізу сформуємо матрицю сценаріїв (кращий/номінальний/гірший) для ключових параметрів.

Табл. 4. Сценарії для параметрів реконструкції (приклад).

Параметр	Кращий	Номінальний	Гірший
S , м	50	45	40
μ	0.75	0.55	0.35
t_r , с	0.7	1.0	1.3
t_0 , с	0.1	0.2	0.3

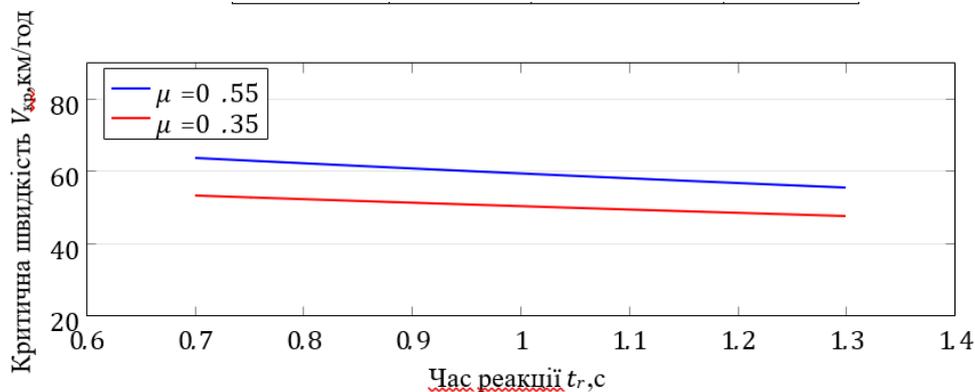


Рис 5. Чутливість критичної швидкості до часу реакції при $S = 45$ м та $t_0 = 0.2$ с.

4. Розрахунковий приклад та результат

Для ілюстрації прийнемо номінальні значення $S = 45$ м, $\mu = 0.55$, $t_r = 1.0$ с, $t_0 = 0.2$ с. Далі обчислимо $V_{кр}$ та порівняємо з інтервальною оцінкою.

На рис. 6 видно монотонне зростання $V_{кр}$ зі збільшенням μ . Для низьких значень μ (мокре/забруднене покриття) допустима швидкість може зменшуватися на десятки відсотків.

5. Оформлення висновку та відтворюваність

Щоб висновок автотехнічної експертизи був відтворюваним, рекомендовано:

- наводити вихідні дані із посиланням на джерело (протокол огляду, схема, фото);
- чітко вказувати прийняті значення μ , t_r , t_0 та обґрунтування їх вибору;
- наводити проміжні обчислення (переведення км/год у м/с, підстановка у формули);
- виконувати інтервальну перевірку (кращі/гірші сценарії) та явно формулювати межі застосовності;
- додавати графічну інтерпретацію, якщо це підвищує прозорість.

Наведений розділ демонструє узагальнений підхід до «дослідження» в межах статті: від постановки задачі до аналізу чутливості та рекомендацій щодо оформлення.

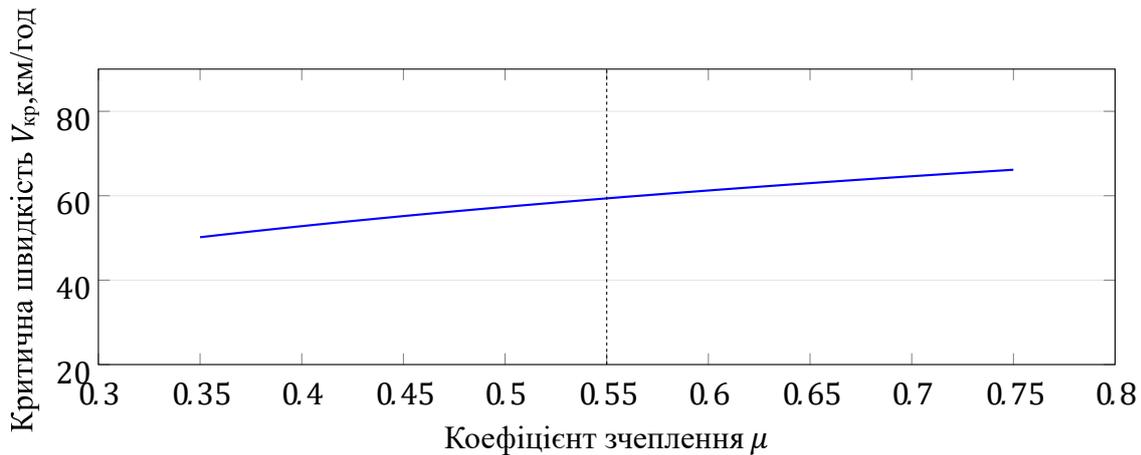


Рис 6. Залежність критичної швидкості від коефіцієнта зчеплення при $S = 45$ м, $t_r = 1.0$ с, $t_0 = 0.2$ с.

7. Результати та обговорення

Запропоновано послідовність виконання експертного дослідження:

Збір вихідних даних: схема ДТП, фото/відео, сліди гальмування/ковзання, параметри ТЗ, дорожні умови.

Нормалізація: приведення одиниць, оцінка похибок, формування діапазонів невизначеності.

Розрахунки: оцінка швидкості, гальмівного шляху та зупиночної відстані.

Перевірка версій: зіставлення розрахунків із фактичними відстанями та часовими інтервалами.

Висновок: документування допущень, меж застосовності та альтернатив.

2. Приклад оцінювання зупиночної відстані

Нехай відстань від моменту виявлення небезпеки до місця зіткнення становить $S = 45$ м, час реакції $t_r = 1.0$ с. Для сухого асфальту прийемо $\mu = 0.7$, для мокрого — $\mu = 0.4$. На рис. 7 наведено залежність $S_{stop}(V)$.

3. Обговорення

За однакової дистанції до перешкоди допустима (критична) швидкість для мокрого покриття істотно нижча, ніж для сухого, що підкреслює необхідність обґрунтовувати вибір μ та наводити інтервальні оцінки. Практично доцільно виконувати розрахунки для діапазону μ (наприклад, 0.35–0.75) і часу реакції (0.7–1.3 с), окремо фіксуючи «фізично можливий» і «реалістично очікуваний» сценарії.

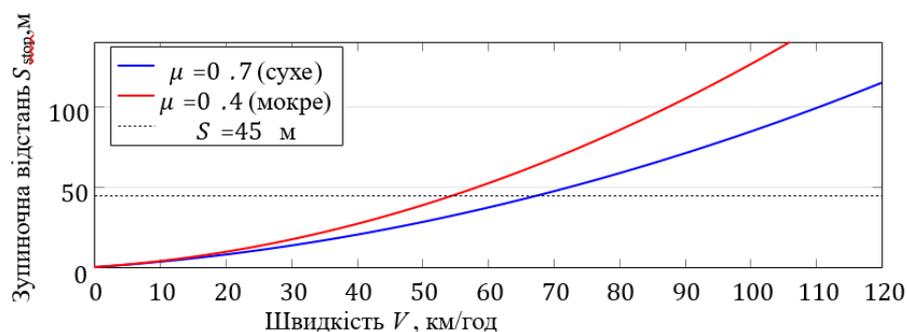


Рис. 7. Залежність зупиночної відстані від швидкості для різних μ при $t_r = 1.0$ с.

8. Висновки

Систематизовано підхід до проведення автотехнічної експертизи ДТП та запропоновано алгоритм, який забезпечує відтворюваність розрахунків і прозорість допущень. Показано, що

критичні параметри (коефіцієнт зчеплення та час реакції) мають розглядатися як інтервальні величини, а результати — подаватися з аналізом чутливості.

Наведений приклад розрахунку зупиночної відстані демонструє суттєвий вплив дорожніх умов на технічну можливість уникнення зіткнення. Запропонована структура розрахунків може бути використана як методична основа для підготовки експертних висновків та контролю якості автотехнічних досліджень.

Список літератури:

- 1) Гаврилюк, І. В. *Автотехнічна експертиза ДТП: теорія та практика*. Навчальний посібник. Київ, 2020.
- 2) ДСТУ 3649:2010. *Колісні транспортні засоби. Вимоги безпеки до технічного стану та методи контролювання*.
- 3) Бабков, В. Ф. *Автомобільні дороги і безпека руху*. Москва: Транспорт, 2011.
- 4) Gillespie, T. D. *Fundamentals of Vehicle Dynamics*. SAE International, 1992.
- 5) Wong, J. Y. *Theory of Ground Vehicles*. Wiley, 2008.
- 6) Haddon, W. A logical framework for categorizing highway safety phenomena and activity. *Journal of Trauma*, 1972.
- 7) Evett, I. W., Weir, B. S. *Interpreting DNA Evidence*. Sinauer, 1998. (методологія оцінювання невизначеності, аналогія для експертних висновків).
- 8) Saltelli, A., et al. *Global Sensitivity Analysis: The Primer*. Wiley, 2008.
- 9) Montgomery, D. C. *Applied Statistics and Probability for Engineers*. Wiley, 2014.
- 10) Persson, B. N. J. *Sliding Friction: Physical Principles and Applications*. Springer, 2000.
- 11) Kummer, H. W. Unified theory of rubber and tire friction. *Engineering Research Bulletin*, 1966.
- 12) Dolya K., Dolya O. Modelarea sistemului de funcționare a rutelor. Note științifice ale V.I. Vernadsky TNU. Serie: Științe tehnice. 2023. Vol. 35 (74) Nr. 1 2024. Partea a 2-a. P. 171–178. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.1.2/27>
- 13) Dolia , K., & Kobrina , N. (2024). În ceea ce privește cele aplicație de gravitație modelare rețea analiză internațională Știință Jurnal de Inginerie și Agricultură , 3(1), 75–81. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20240301.08>
- 14) ISO 15037-1:2006. *Road vehicles — Vehicle dynamics test methods — Part 1: General conditions for passenger cars*.
- 15) UNECE Regulation No. 13-H. *Uniform provisions concerning the approval of passenger cars with regard to braking*.
- 16) AASHTO. *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* (“Green Book”). 7th ed. Washington, DC, 2018.
- 17) PIARC (World Road Association). *Road Safety Manual*. Paris.
- 18) Brach, R. M., Brach, R. M. *Vehicle Accident Analysis and Reconstruction Methods*. SAE International, 2011.
- 19) Day, T. D., Hargens, R. L. *Traffic Accident Reconstruction*. Charles C Thomas, 2006.
- 20) Limpert, R. *Motor Vehicle Accident Reconstruction and Cause Analysis*. 7th ed. LexisNexis, 2011.
- 21) Ризики у транспортних процесах : навч. посібник / І. О. Ткаченко ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 114 с...

Car technical expertise

Konstantin Dolia

Department of Automobiles and Transport Infrastructure, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine
 ORCID: 0000-0002-4693-9158

Anton Grigorovich

Department of Automobiles and Transport Infrastructure, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Kharkiv, Ukraine

ORCID: 0000-0001-5388-3159

Abstract: the article considers the automotive technical examination as a tool for establishing the technical circumstances of a road accident (accident) and assessing the cause-and-effect relationships between the actions of the participants and the consequences. The aim of the work is to systematize the stages of expert research: collecting initial data, forming calculated assumptions, determining the speed regime and braking distance, reconstructing traffic trajectories, assessing the technical possibility of preventing a road accident.

The structure of indicators for analytical reconstruction (traction coefficient, driver reaction time, deceleration, visibility/sight) is proposed, as well as a typical algorithm for checking versions using the balance of distances and time intervals. An example of calculating the critical speed and minimum stopping distance for different road conditions is given and the sensitivity of conclusions to the uncertainty of input parameters is demonstrated. The results can be used to prepare methodically substantiated expert conclusions in criminal and civil proceedings.

Keywords: auto technical expertise, road accident, reconstruction of events, braking distance, stopping distance, adhesion coefficient, driver reaction time, speed
