

**А. А. Кашканов**  
**В. М. Ребедайло**  
**В. А. Кашканов**

## **ОЦІНКА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ГАЛЬМОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АВТОМОБІЛІВ В УМОВАХ НЕТОЧНОСТІ ВИХІДНИХ ДАНИХ**



Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**Кашканов А. А., Ребедаило В. М., Кашканов В. А.**

**ОЦІНКА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ГАЛЬМОВИХ  
ВЛАСТИВОСТЕЙ АВТОМОБІЛІВ  
В УМОВАХ НЕТОЧНОСТІ ВИХІДНИХ ДАНИХ**

**Монографія**

Вінниця  
ВНТУ  
2010

УДК 629.1:519.8:656.1

ББК 39.33-01

К 31

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 4 від 26.11.2009 р.)

*Рецензенти:*

**В. Ф. Анісімов**, доктор технічних наук, професор

**А. П. Поляков**, доктор технічних наук, професор

**Кашканов, А. А.**

К 31 Оцінка експлуатаційних гальмових властивостей автомобілів в умовах неточності вихідних даних : монографія / А. А. Кашканов, В. М. Ребедайло, В. А. Кашканов. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 148 с.

ISBN 978-966-641-364-5

Розглянуті експлуатаційні гальмові властивості автомобілів в дорожніх умовах при проведенні автотехнічних експертиз ДТП, моделі оцінки коефіцієнта зчеплення автомобіля з дорогою та оцінки траєкторії руху автомобіля при гальмуванні. Розроблено експертно-моделюючу систему "Автоексперт" для автоматизації найбільш трудомістких процедур прогнозування поведінки автомобіля при гальмуванні, в умовах неточності вихідних даних.

Монографія розрахована на науковців, спеціалістів з автотехнічної експертизи ДТП, викладачів, аспірантів та студентів транспортних спеціальностей.

**УДК 629.1:519.8:656.1**

**ББК 39.33-01**

**ISBN 978-966-641-364-5**

© А. Кашканов, В. Ребедайло, В. Кашканов, 2010

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ГАЛЬМОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АВТОМОБІЛІВ ПРИ ЕКСПЕРТИЗИ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД.....	8
1.1. Задачі автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод та актуальність побудови методу оцінки гальмових властивостей автомобіля в дорожніх умовах.....	8
1.2. Основні напрямки використання математичних методів для оцінки гальмових властивостей автомобіля в практиці ав- тотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод.....	11
1.3. Принципи побудови моделей для оцінки гальмових влас- тивостей автомобіля на нечіткій логіці.....	18
1.4. Постановка задач дослідження.....	24
Висновки з розділу 1.....	25
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦІНКИ ГАЛЬМОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АВТОМОБІЛЯ НА НЕЧІТКІЙ ЛОГІЦІ.....	26
2.1. Загальна методика побудови моделей.....	26
2.2. Розробка математичної моделі для оцінки коефіцієнта зче- плення коліс автомобіля з дорожнім покриттям. ....	31
2.2.1. Аналіз і відбір факторів, що впливають на коефіцієнт зчеплення.....	31
2.2.2. Побудова функцій належності для оцінки факторів впливу.....	36
2.2.3. Розробка бази знань та навчальної вибірки для моделі коефіцієнта зчеплення.....	40
2.2.4. Налаштування моделі.....	48
2.3. Розробка математичних моделей для оцінки величини гальмового моменту на колесах автомобіля при гальмуванні... ..	52
2.3.1. Аналіз і відбір факторів, що впливають на величину гальмового моменту.....	52
2.3.2. Побудова функцій належності для оцінки факторів впливу.....	58
2.3.3. Розробка баз знань та навчальних вибірок для моделей оцінки гальмового моменту.....	61
2.3.4. Налаштування моделей.....	70
Висновки з розділу 2.....	78
РОЗДІЛ 3. ОЦІНКА ТРАЄКТОРІЇ РУХУ АВТОМОБІЛЯ ПРИ ГАЛЬМУВАННІ.....	79

3.1. Аналіз існуючих підходів до оцінки траєкторії руху автомобіля при гальмуванні.....	79
3.2. Розробка моделі для оцінки траєкторії руху автомобіля при гальмуванні.....	86
3.2.1. Динаміка процесу гальмування.....	86
3.2.2. Реакції, що діють на автомобіль при гальмуванні.....	89
3.2.3. Оцінка параметрів траєкторії руху автомобіля.....	93
3.3. Рекомендації щодо застосування моделі.....	94
Висновки з розділу 3.....	95
<b>РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА РОЗРОБЛЕНИХ МОДЕЛЕЙ ТА АЛГОРИТМІВ.....</b>	<b>96</b>
4.1. Дослідження траєкторії руху задньопривідного автомобіля в гальмовому режимі.....	96
4.1.1. Нерівномірність дії гальмових моментів.....	98
4.1.2. Бічне зміщення центру мас.....	99
4.1.3. Нерівномірність розподілу коефіцієнта зчеплення по колесам автомобіля.....	100
4.2. Дослідження дорожньо-транспортних пригод, пов'язаних зі зміною траєкторії руху автомобіля при гальмуванні.....	101
4.2.1. Нерівномірність дії гальмових моментів.....	101
4.2.2. Бічне зміщення центру мас при нерівномірній дії гальмівних моментів.....	106
4.2.3. Нерівномірність розподілу коефіцієнта зчеплення по колесам автомобіля.....	109
Висновки з розділу 4.....	111
<b>РОЗДІЛ 5. МЕТОДИКА І ПРАКТИКА ОЦІНКИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ГАЛЬМОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АВТОМОБІЛІВ В УМОВАХ НЕТОЧНОСТІ ВИХІДНИХ ДАНИХ.....</b>	<b>112</b>
5.1. Методика оцінки експлуатаційних гальмових властивостей автомобіля в умовах неточності вихідних даних.....	112
5.2. Приклади оцінки гальмових властивостей автомобіля.....	115
5.2.1. Оцінка шляху, необхідного для зупинки автомобіля.....	115
5.2.2. Оцінка траєкторії руху автомобіля при гальмуванні.....	119
5.3. Експертно-моделююча система для автоматизації розрахунків при аналізі ДТП.....	128
Висновки з розділу 5.....	131
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>132</b>
<b>ЛІТЕРАТУРА.....</b>	<b>134</b>
<b>ДОДАТОК А. Екранні форми експертно-моделюючої системи «Автоексперт».....</b>	<b>143</b>

## ВСТУП

В історії розвитку транспорту і організації перевезень питанням підвищення безпеки руху завжди приділялось багато уваги. Проте протягом тисячоліть не було особливо гострої необхідності суворо уникати конфліктів і контактів між пішоходами і транспортом, оскільки різниця швидкостей була невелика. Найбільшу гостроту транспортні конфлікти отримали після появи автомобіля. Велика маса і особливо велика швидкість автомобіля – джерела конфліктних ситуацій (дорожньо-транспортних пригод). Зростаюче число транспортних конфліктів на вулицях і дорогах почало перетворюватися у важку проблему суспільства, яка завдає значних збитків як державним установам, так і окремим громадянам.

На сучасному етапі розвитку України чітко прослідковуються тенденції зростання кількості транспортних засобів на дорогах України та погіршення якості дорожніх покриттів. Це зумовлює підвищений рівень аварійності на шляхах країни. За останні п'ять років в Україні зареєстровано майже 212,9 тис. дорожньо-транспортних пригод (ДТП), з яких загинуло 37,8 тис. і травмовано 229,4 тис. чоловік.

Найпоширенішими видами пригод залишаються наїзди на пішоходів, зіткнення та перекидання транспортних засобів, на них припало 78% від усіх ДТП.

Оскільки основним фактором попередження ДТП є процес гальмування, розробка методів оцінки гальмових властивостей пов'язана, перш за все, із забезпеченням безпеки дорожнього руху з метою визначення найбільш ефективних напрямків боротьби з аварійністю. Особливу увагу в проблемі оцінки гальмових властивостей привертає те, що в теорії автомобіля, яка є теоретичною основою для відновлення механізму пригод, детально вивчено лише випадок екстреного гальмування з повним використанням сил зчеплення. Крім того, збільшенню суб'єктивізму при розслідуванні пригод сприяє неточність вихідних даних, які часто носять якісний характер.

Метою дослідження, результати якого лягли в основу цієї монографії, є підвищення об'єктивності розслідування ДТП за рахунок створення методу оцінки експлуатаційних гальмових властивостей автомобіля в дорожніх умовах, який дозволив би теоретично відтворити траєкторію руху загальмованого автомобіля навіть при наявності неточних вихідних даних.

Для досягнення поставленої мети розв'язано такі задачі:

- проведено аналіз основних напрямків застосування математичних методів в практиці дослідження дорожньо-транспортних пригод при гальмуванні; оцінено їх недоліки; сформульовано принципи побудови моделей для оцінки експлуатаційних гальмових властивостей автомобіля на базі теорії нечітких множин;

- розроблено на базі теорії нечітких множин математичну модель для оцінки коефіцієнта зчеплення коліс автомобіля з дорожнім покриттям; проведено натурний експеримент для отримання навчальної вибірки і настройки цієї моделі;

- розроблено на базі теорії нечітких множин математичні моделі для оцінки величин гальмового моменту на колесах автомобіля при гальмуванні;

- розроблено математичну модель для оцінки траєкторії руху автомобіля при гальмуванні;

- виконано експериментальне дослідження поведінки автомобіля при гальмуванні з врахуванням величини гальмових моментів, які були прикладені до коліс автомобіля, величини коефіцієнта зчеплення по бортах автомобіля, а також поперечного зміщення центра мас автомобіля в наслідок нерівномірного розподілу вантажу;

- створено метод оцінки експлуатаційних гальмових властивостей автомобіля в дорожніх умовах та побудовано на його основі експертно-моделюючу систему для автоматизації розрахунків.

В результаті виконаних наукових досліджень був визначений взаємозв'язок між характером руху автомобіля і коефіцієнтами зчеплення та гальмовими моментами на кожному колесі з урахуванням поперечного зміщення центра мас автомобіля в умовах неточності вихідних даних. В якості критерію використовувалось питоме сповільнення.

Отримані математичні моделі та результати експериментальних досліджень дозволили:

- розробити методику визначення діючих значень коефіцієнта зчеплення на основі інформації протоколів дорожньо-транспортних пригод;

- розробити методику розрахунку гальмових моментів, які діяли на колесах автомобіля під час аварійної ситуації;

- розробити метод і алгоритм оцінки експлуатаційних гальмових властивостей автомобіля в дорожніх умовах при наявності неточних вихідних даних;

– побудувати експертно-моделюючу система для оцінки траєкторії руху загальмованого автомобіля, яка може бути використана в автотехнічній експертизі ДТП для виявлення причин та умов, що сприяли виникненню пригоди. Програмне забезпечення впроваджено в експертно-криміналістичному відділі управління МВС України у Вінницькій області.

Книга містить п'ять розділів.

В першому розділі проведено огляд та аналіз методів оцінки гальмових властивостей автомобілів при експертизі дорожньо-транспортних пригод. Сформульовано основні задачі дослідження.

В другому розділі запропоновано новий підхід до побудови математичних моделей для оцінки гальмових властивостей автомобілів. Проведено натурний експеримент з визначення коефіцієнта зчеплення, запропоновано алгоритм і математичну модель визначення коефіцієнта зчеплення коліс автомобіля з дорожнім покриттям з даних протоколів ДТП. Проведено структурну ідентифікацію моделей для оцінки величин гальмового моменту на колесах автомобіля при гальмуванні з використанням теорії нечітких множин.

В третьому розділі проаналізовано існуючі підходи до оцінки траєкторії руху автомобіля при гальмуванні та розроблено нову математичну модель оцінки цього процесу.

В четвертому розділі викладені результати експериментальної перевірки розроблених моделей та алгоритмів.

В п'ятому розділі описано створений метод оцінки експлуатаційних гальмових властивостей автомобіля в дорожніх умовах та побудовано на його основі експертно-моделюючу систему для автоматизації розрахунків.

Весь цикл досліджень, представлених в монографії, здійснено А. А. Кашкановим, – ним же написано всі основні розділи монографії. В. М. Ребедаїлу належить постановка задачі для дослідження та загальне наукове керівництво цими дослідженнями. В. А. Кашканову – безпосередня участь в проведенні експериментів та розробці програмного забезпечення.

Автори висловлюють подяку д. т. н., проф. О. П. Ротштейну за цінні зауваження і поради, що сприяли поліпшенню моделей оцінки коефіцієнта зчеплення та гальмових моментів, а також за допомогу в їх оптимізації.

# **РОЗДІЛ 1**

## **АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ГАЛЬМОВИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АВТОМОБІЛІВ ПРИ ЕКСПЕРТИЗИ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД**

В цьому розділі розглядаються типові задачі, які виникають при проведенні автотехнічних експертиз ДТП, що сталися внаслідок зміни напрямку руху автомобіля при гальмуванні, аналізуються основні напрямки застосування математичних методів для оцінки гальмових властивостей при дослідженні аварійних ситуацій, формулюються науково-методичні принципи застосування теорії нечітких множин при побудові моделей для оцінки гальмових властивостей автомобіля і на цій основі ставляться задачі дослідження.

### **1.1. Задачі автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод та актуальність побудови методу оцінки гальмових властивостей автомобіля в дорожніх умовах**

Експертизою називають дослідження будь-яких матеріальних об'єктів, процесів, явищ, яке проводиться за чийось дорученням спеціалістом у певній галузі знань (експертом) для вирішення питання, що відноситься до цієї галузі, з представленням мотивованого висновку [29].

При експертизі дорожньо-транспортних пригод виконується комплексне науково-технічне дослідження всіх аспектів кожної пригоди окремо. 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 необхідність шляхом інженерного аналізу встановлювати частинні технічні, причинно-наслідкові, функціональні, часові та інші зв'язки, які діяли в процесі пригоди. Великою мірою об'єктивність розслідування залежить від правильності вибору початкових даних та методики інженерного розрахунку.

Відомо, що найпоширенішими видами пригод є наїзди на пішоходів, зіткнення та перекидання транспортних засобів (ТЗ) – на них припадає 78 % від усіх ДТП [27]. Крім того, вивчення вже скоєних ДТП

показує, що для їх попередження в 75,9% випадків використовувались гальмові системи [83].

Спираючись на ці статистичні дані, можна виділити задачі оцінки гальмових властивостей автомобіля, які досить часто доводиться розв'язувати при аналізі ДТП. Наведемо деякі з них.

*Задача 1.* Визначення коефіцієнта зчеплення коліс автомобіля з дорожнім покриттям.

В цій задачі необхідно визначити величину коефіцієнта зчеплення в практичному діапазоні його зміни (0–0,8).

При прийнятті рішення беруться до уваги такі фактори впливу: вид дорожнього покриття, стан дорожнього покриття, тип шин, ступінь проковзання шин, зношеність шин, тиск в шині, навантаження на колесо, швидкість автомобіля.

Значення перерахованих факторів встановлюються з даних протоколів ДТП.

*Задача 2.* Прогнозування зупинного шляху автомобіля.

В цій задачі необхідно встановити величину зупинного шляху автомобіля при певних умовах руху.

Прийняття рішення здійснюється на основі оцінки таких факторів:

- ситуаційний час реакції водія, який залежить від дорожньо-транспортної ситуації;
- час запізнення спрацювання гальмового приводу, який залежить від типу та стану гальмового приводу;
- час наростання сповільнення, який залежить від конструкції та стану гальмової системи;
- сповільнення при гальмуванні, яке визначається величиною коефіцієнта зчеплення, прикладеним гальмовим зусиллям та технічним станом гальмового механізму;
- швидкість автомобіля до початку гальмування.

*Задача 3.* Прогнозування величин гальмових моментів на колесах автомобіля в момент аварійної ситуації.

В цій задачі розв'язком є величина гальмового моменту, яка визначається ступенем натискання на важіль гальма. Крім того на нього чинить вплив конструкція гальмового приводу і гальмових механізмів. Оскільки найбільше поширення в конструкції легкових автомобілів отримали 3 схеми гальмових механізмів [65]: дискові, барабанні з рівними привідними силами та одностороннім розташуванням опор,

барабанні з рівними привідними силами та рознесеними опорами, то існує три групи факторів впливу та функціонального зв'язку.

При дискових гальмових механізмах в групу факторів впливу входять: привідна сила, коефіцієнт тертя, середній радіус поверхні тертя. При барабанних гальмових механізмах з рівними привідними силами і одностороннім розташуванням опор та з рівними привідними силами і рознесеними опорами групи факторів збігаються: привідна сила, коефіцієнт тертя, радіус барабана, плече нормальної сили, плече привідної сили, кут обхвату. Однак, має місце різний функціональний зв'язок в системі «фактори впливу–гальмовий момент».

*Задача 4.* Оцінки траєкторії руху автомобіля при гальмуванні.

Це комплексна задача, в якій необхідно виявити причини, що примусили автомобіль відхилитися від заданої траєкторії руху. Для її успішного вирішення необхідно врахувати фактори, які залежать від конструкції автомобіля (база автомобіля, колія, маса, розташування центра мас та його зміщення в наслідок нерівномірного розподілу навантаження), умов руху (вид та стан дорожнього покриття), технічного стану автомобіля (зношеність шин, справність гальмової системи та її окремих елементів), режиму руху (швидкість автомобіля, інтенсивність сповільнення), і на їх основі спрогнозувати траєкторію руху під час аварійної ситуації.

Із наведених прикладів видно, що кожна з задач оцінки гальмових властивостей автомобіля при дослідженні ДТП може розглядатися як пошук відображення:

$$X^* = (X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*) \rightarrow Y_j \in Y = (\underline{y}, \bar{y}), \quad (1.1)$$

де  $X^*$  - множина факторів впливу для конкретної задачі,  $Y$  - множина рішень про значення конкретної вихідної величини.

Основні труднощі розв'язування такого роду задач обумовлені такими причинами:

1. Для прийняття об'єктивного рішення про причини аварії необхідно враховувати дуже велике число факторів впливу. Крім того, в більшості дорожньо-транспортних пригод одночасно діють декілька видів причинно-наслідкових зв'язків [7].

2. Відсутні аналітичні залежності між факторами впливу (причинами) і відповідним наслідком або існують великі труднощі при застосуванні відомих, оскільки ці фактори різноманітні за характером: вони можуть бути кількісними (швидкість руху автомобіля, маса вантажу, тиск в шинах), якісними (тип шин, вид і стан дорожнього покриття). Та й навіть інформація про кількісні величини часто буває подана в лінгвістичній формі.

3. Основні труднощі розв'язання задачі оцінки траєкторії руху автомобіля при гальмуванні полягають в тому, що досі в теорії автомобіля [3, 10, 13, 19, 21, 24, 47, 48, 54, 57, 70] детально розглянуто лише випадок екстреного гальмування з повним використанням сил зчеплення, тоді як досить велика кількість пригод відбувається під час службового гальмування.

В цих умовах стає очевидною актуальність проблеми побудови методики та автоматизованої експертної системи для оцінки експлуатаційних гальмових властивостей автомобіля в дорожніх умовах.

Не зважаючи на велику кількість публікацій з теорії та застосування експертних систем, а також інтелектуальних систем прийняття рішень [5, 39, 45, 51, 56, 58, 73 - 77, 84, 106, 107] на сьогодні відсутні зручні інструментальні засоби, які дозволяють створювати такі системи і впроваджувати їх в практику автотехнічної експертизи. На наш погляд, це обумовлено недостатньою ефективністю математичних методів, які традиційно застосовуються в теорії автомобіля для моделювання залежностей між факторами впливу (причинами) і наслідком. Обґрунтування цього твердження розглядається в наступному розділі.

## **1.2. Основні напрямки використання математичних методів для оцінки гальмових властивостей автомобіля в практиці автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод**

Оскільки проведення експертизи передбачає прийняття певних рішень, то для вирішення проблеми автоматизації цього виду діяльності можуть використовуватися багато з формальних методів, які розроблені в рамках кібернетичної науки [18, 42, 109]. Проте, судячи зі спеціальних публікацій з теорії та розрахунку автомобіля [3, 10, 13, 15, 17, 20, 21, 24, 26, 34, 35, 37, 47, 48, 54, 57, 59, 60, 65, 68, 70, 100, 101, 102], які є теоретичною основою для проведення автотехнічної

експертизи, та з експертизи ДТП [7, 12, 23, 29, 36, 50], найбільше розповсюдження отримали: імовірісно-статистичний підхід, регресійний аналіз, метод фазового інтервалу і логічний висновок.

#### А) Імовірісно-статистичний підхід [12, 16, 30, 36]

Він переважно використовується для оцінки достовірності кількісних показників, значення яких можуть приймати неперервний ряд значень, і найчастіше полягає в розрахунку довірчого інтервалу (похибки) при заданій довірчій імовірності.

Нехай за даними вимірювань  $x_1, x_2, \dots, x_n$  розрахована середня величина

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}. \quad (1.2)$$

Очевидно, що  $\bar{x}$  не обов'язково збігається з істинним значенням оцінюваного параметра  $x$  і в загальному випадку існує відмінна від нуля різниця величин  $\bar{x}$  та  $x$ :  $0 \leq |\bar{x} - x| < \delta$ .

Додатне значення  $\delta$  задає похибку і характеризує достовірність параметра, що вимірюється. Як правило, справедливості нерівності  $|\bar{x} - x| < \delta$  стверджується тільки з деякою імовірністю  $\gamma$ , яка називається «довірчою імовірністю». Звичайно довірчу імовірність задають рівною 0,95, 0,99 або 0,999 і при відомому її значенні обчислюють похибку  $\delta$ .

Для нормального закону розподілу  $x_1, x_2, \dots, x_n$  похибка параметра  $\delta$  обчислюється з формули [12]

$$\delta = t_\gamma (S\sqrt{n}), \quad (1.3)$$

де  $n$  – об'єм вибірки (число вимірювань значення  $x$ );

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n n_i (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \text{ – виправлене «середнє квадратичне відхилення»};$$

$t_\gamma$  – коефіцієнт Стьюдента, який знаходять з таблиць.

Інтервал  $(\bar{x} - \delta, \bar{x} + \delta)$ , який покриває невідоме значення параметра  $x$  з імовірністю  $\gamma$ , називається «довірчим інтервалом». Скоротити довірчий інтервал можна або збільшуючи число вимірювань  $n$ , або зменшуючи довірчу імовірність.

Різним модифікаціям імовірнісно-статистичного підходу, який використовується при експертизі ДТП, властиві наступні обмеження:

1. Статистична інформація, необхідна для застосування імовірнісно-статистичних методів, як правило, відсутня. Її збір, обробка і зберігання пов'язані зі значними організаційними та обчислювальними труднощами.

2. Статистичні методи не дозволяють категорично стверджувати, що нерівність  $|\bar{x} - x| < \delta$  буде виконуватися у всіх випадках, яким би великим не було значення похибки  $\delta$ .

3. Значну трудність становить внесення до моделі нової інформації, що зумовлено необхідністю перерахунку всіх статистичних оцінок параметрів.

## Б) Регресійний аналіз [23, 34, 35, 60]

Нехай  $q$  – деякий вихідний параметр (наприклад, швидкість автомобіля), значення якого необхідно визначити, і  $q$  залежать від вектора вхідних параметрів  $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ . Тоді, використовуючи методи теорії планування експерименту [60], можна побудувати рівняння лінійної регресії

$$q = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \dots + a_n \cdot x_n, \quad (1.4)$$

де  $a_0, a_1, \dots, a_n$  – невідомі коефіцієнти, які визначаються методом найменших квадратів.

При необхідності врахування парних взаємодій параметрів, рівняння регресії ускладнюється і набуває нелінійного характеру.

Основні обмеження такого підходу:

1. За допомогою регресійного аналізу можуть вирішуватися лише ті задачі, в яких параметри впливу і вихідний розв'язок (величина) носять кількісний характер.

2. Значення вихідного параметра  $q$ , яке вираховується за допомогою регресійної моделі, сильно чутливе до умов експерименту, в яких оцінювались коефіцієнти  $a_0, a_1, \dots, a_n$ . Тому регресійні моделі, отримані в одних умовах (стан дороги, стан автомобіля і т. п.) не завжди можна переносити на інші умови.

3. Отримання статистично значимих коефіцієнтів в рівняннях регресії потребує обробки великого експериментального матеріалу.

#### В) Метод фазового інтервалу [79]

В основі різних модифікацій цього методу лежить ідея віднесення певної ситуації до того чи іншого випадку на основі обчислення відстані між двома точками в фазовому просторі. Розглядається  $n$ -вимірний простір, кожна координата  $x_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  якого відповідає одному з факторів впливу. Точка  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  фазового простору відповідає деякому випадку  $d_j$ ,  $j = \overline{1, m}$ .

На основі вивчення розслідуваних ДТП та досвіду експертів, в фазовому просторі виділяються області (множини точок)  $D_1, D_2, \dots, D_m$ , які відповідають випадкам  $d_1, d_2, \dots, d_m$ . Середини цих областей визначаються точками  $C_1, C_2, \dots, C_m$ .

Нехай  $X^*$  – точка в фазовому просторі, яка відповідає певній ситуації;  $R(X^*, C_j)$  – інтервал між точками  $X^*$  та  $C_j$ ,  $j = \overline{1, m}$ .

Тоді як випадок  $d_j^*$ , що відповідає вектору параметрів  $X^* = (X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*)$ , вибирається точка  $C_j$  або область  $D_j$ , для якої

$$R(X^*, C_j) = \min_{j=1, m} \{R(X^*, C_j)\}. \quad (1.5)$$

Для обчислення інтервалу  $R(A, B)$  між точками  $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$  та  $B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ , в  $n$ -вимірному просторі може використовуватися відстань за Хеммінгом:

$$R(A, B) = \sum_{i=1}^n |a_i - b_i|, \quad (1.6)$$

або Евклідова відстань

$$R(A, B) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i - b_i)^2}. \quad (1.7)$$

Порівняно з імовірнісно-статистичним підходом та регресійним аналізом, метод фазового інтервалу не потребує накопичення великого статистичного матеріалу та його трудомісткої обробки. Проте застосування цього методу обмежено тільки кількісними або бінарними факторами впливу.

В літературі описуються й інші методи, основані на ідеях фазового інтервалу та теорії ймовірностей. Проте всі вони являються модифікаціями або технічними реалізаціями методів, які розглянуті вище.

#### Г) Логічний висновок

Цей метод реалізований в мові логічного програмування Пролог [8, 25, 51, 52, 98, 108], який зараз знаходить широке застосування в експертних системах.

Теоретичною основою мови Пролог є апарат логіки предикатів [49, 61, 63, 104], який дозволяє здійснювати автоматичне доведення теорем [18]. Згідно з цією методологією, рішення  $d_j^*$  може бути прийняте для ситуації з вектором параметрів  $(X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*)$ , якщо в експертній базі знань (правил висновку “ЯКЩО-ТО”) існує ланцюжок міркувань для доказу справедливості твердження

$$\text{ЯКЩО } x_1^* \wedge x_2^* \wedge \dots \wedge x_n^*, \text{ ТО } d_j^*.$$

Пролог зручний для пошуку ланцюга правил, які ведуть від фактів  $(x_i^*)$  до цілі  $(d_j^*)$  або від цілі до фактів, які вибрані з бази знань. Це дозволяє не тільки приймати рішення, а і пояснювати його причини. Про-

те існує велика множина знань, які мають нечітку, імовірнісну природу. Наприклад, в області автотехнічної експертизи це знання типу: «ЯКЩО автомобіль при гальмуванні заносить, ТО можливо існує істотна різниця між коефіцієнтами зчеплення з лівої і правої сторони», або «ЯКЩО важіль гальма провалюється, ТО в систему попало повітря».

Для подібних знань вводять коефіцієнт впевненості зі значеннями від  $-1$  до  $1$  (від ненадійних знань до достовірних знань). Цей спосіб достатньо простий, але в якійсь мірі суб'єктивний. До того ж коефіцієнт впевненості визначає все правило, а що ж робити з такими поняттями як істотна різниця, провалюється не до кінця і т. п.?

Для реалізації дедуктивного логічного висновку в Пролозі необхідна операція пошуку за зразком. Іншими словами, для висновку за допомогою правила «якщо  $x \in A$ , то  $y \in B$ » необхідно насамперед перевірити чи існує в базі знань факт « $x \in A$ ». Пролог не забезпечує можливості логічного висновку в проміжних точках типу « $x \in$  величина близька до  $A$ ». Тому в базі знань необхідно зберігати інформацію про всі допустимі значення параметра  $x$ . Це призводить до надмірного збільшення затрат машинної пам'яті та часу на логічний висновок.

Обмеження методів, які розглянуті вище, зведені в табл. 1.1, де

А – імовірнісно-статистичний підхід;

Б – регресійний аналіз;

В – метод фазового інтервалу;

Г – логічне програмування;

+ (–) – наявність (відсутність) труднощів.

Таблиця 1.1

**Труднощі застосування традиційних математичних методів в практиці розслідування ДТП при гальмуванні**

Труднощі:	Методи			
	А	Б	В	Г
- збору та обробки статистичної інформації;	+	+	–	–
- поповнення бази знань;	+	+	–	–
- забезпечення стійкості моделі до факторів впливу;	+	+	–	–
- врахування якісних параметрів;	+	+	+	+
- роботи з нечіткими знаннями	+	+	+	+

Із табл. 1.1 видно, що розглянуті методи не пристосовані до роботи з якісними (нечисловими) та нечіткими знаннями, тобто знаннями, які задаються на природній мові. Проте, саме такі евристичні або інтуїтивні знання часто використовуються при розслідуванні ДТП. Іншими словами, багато чому можна навчитися, вивчаючи досвід кваліфікованих експертів-автотехніків.

Психологи встановили, що в ході процесу мислення людина перетворює вхідні стимули в вербальний код [40]. У відомій роботі «Магічне число  $7 \pm 2$ » [111] відмічається, що процес мисленого перекодування дуже важливий в психології людини. Особливо тип лінгвістичного кодування, який складає ніби кровоносну систему процесів мислення. В цій роботі постулюється, що внаслідок обмеженої здатності людини формувати абсолютне твердження і обмеженої здатності до безпосереднього запам'ятовування, вона (людина) в змозі отримати, усвідомити та запам'ятати обмежену кількість інформації. Вербальне перекодування стало для людини способом переробки матеріалу в згустки насиченої інформації. Природна мова в цьому відношенні унікальна.

Основою строгої математичної обробки нечислової (лінгвістичної) інформації служить теорія нечітких множин, запропонована Л. Заде в 1965 р. [117]. Концепція нечіткої множини виникла у Заде як «незадоволеність математичними методами класичної теорії систем, яка змушувала домагатися штучної точності, недоречної в багатьох системах реального світу, особливо в так званих гуманістичних системах, які включають людей» [31].

До недавнього часу теорія нечітких множин розвивалася, в основному, в математичному аспекті [6, 14, 31, 44, 56, 64, 85]. В останній час з'явилися публікації про застосування цієї теорії в традиційних для складних систем задачах проектування та управління [1, 2, 33, 53]. В ряді публікацій згадується про доцільність застосування теорії нечітких множин для подання та використання знань, в том числі і автотехнічних [116]. Проте, систематичне викладення математичних моделей, алгоритмів та принципів їх застосування в автотехнічній експертизі нам невідоме.

### 1.3. Принципи побудови моделей для оцінки гальмових властивостей автомобіля на нечіткій логіці

Беручи до уваги одну з основоположних робіт Заде [31], наведемо основні поняття теорії нечітких множин, необхідні для подальшого викладу.

Нехай  $U$  – універсальна множина, тобто повна множина, яка охоплює всю проблемну область.

Нечітка підмножина  $F$  множини  $U$  визначається через функцію належності  $\mu_F(u)$ , де  $u$  – елемент множини, тобто  $u \in U$ .

Функція належності відображає елементи із множини  $U$  на множину чисел в інтервалі  $[0, 1]$ , які вказують ступінь належності кожного елемента  $u \in U$  нечіткій множині  $F \subset U$ . Якщо універсальна підмножина  $U$  складається з кінцевого числа множин (або елементів)  $u_1, u_2, \dots, u_n$ , то нечітка множина  $F$  подається у вигляді

$$F = \mu_F(u_1)/u_1 + \mu_F(u_2)/u_2 + \dots + \mu_F(u_n)/u_n = \sum_{i=1}^n \mu_F(u_i)/u_i. \quad (1.8)$$

У випадку неперервної множини  $U$  використовується таке позначення

$$F = \int_U \mu_F(u)/u. \quad (1.9)$$

(Знаки суми та інтегралу в цих формулах позначають сукупність пар  $\mu(u)/u$ ).

Операції доповнення, об'єднання та перетину нечітких множин визначаються так:

1. Доповнення множини

$$\bar{F} = \sum_{i=1}^n (1 - \mu_F(u_i)/u_i), \quad \mu_{\bar{F}}(u) = 1 - \mu_F(u).$$

## 2. Об'єднання множин

$$F \cup G = \sum_{i=1}^n \{\mu_F(u_i) \vee \mu_G(u_i)\} / u_i, \quad \mu_{F \cup G}(u) = \mu_F(u) \vee \mu_G(u),$$

де  $\vee$  – знак операції взяття максимуму.

## 3. Перетин множин

$$F \cap G = \sum_{i=1}^n \{\mu_F(u_i) \wedge \mu_G(u_i)\} / u_i, \quad \mu_{F \cap G}(u) = \mu_F(u) \wedge \mu_G(u),$$

де  $\wedge$  – знак операції взяття мінімуму.

При виконанні нечітких висновків необхідно знати нечіткі відношення.

Припустимо, що існує знання-правило типу «якщо  $F$ , то  $G$ », яке використовує нечіткі множини  $F \subset G$  і  $G \subset V$ , задані на універсальних множинах

$$U = \{x_1, x_2, \dots, x_l\} \text{ та } V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}.$$

Тоді, згідно з [31], нечітке відношення між множинами  $F \subset G$  та  $G \subset V$  визначається матрицею виду

$$R = F \times G = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \{\mu_F(u_i) \wedge \mu_G(v_j)\} / (u_i, v_j), \quad (1.10)$$

у якій елемент, який стоїть на перетині  $u$ -рядка і  $v$ -стовпчика визначається так:

$$\mu_R(u, v) = \mu_F(u) \wedge \mu_G(v). \quad (1.11)$$

Нечіткий логічний висновок записується таким чином:

$$\frac{F \longrightarrow G}{F' \longrightarrow G'}$$

Це означає, що якщо факт  $G$  випливає з факту  $F$ , то факт  $G'$  випливає з факту  $F'$ , де  $F, G, F', G'$  – нечіткі множини.

Для розрахунку висновку  $G'$  використовується формула:

$$G' = F' \circ R = F' \circ (F \times G), \quad (1.12)$$

де  $\circ$  – операція max-min композиції, згідно з якою

$$G' = \sum_{i=1}^m \bigvee_{u_i \in U} \left\{ \mu_F(u_i) \wedge \mu_R(u_i, v_j) \right\} / v_j, \quad (1.13)$$

$$F, F' \subset U; \quad G, G' \subset V.$$

Узагальнення досвіду, накопиченого автором при розв'язанні практичних задач [38, 88, 89, 114] дозволяє сформулювати низку науково-методичних принципів, спираючись на які слід розробляти моделі для оцінки гальмових властивостей автомобіля на нечіткій логіці.

1) Принцип лінгвістичності розв'язку та факторів впливу.

Відповідно до цього принципу розв'язок (вихідна змінна) та фактори впливу на нього (вхідні змінні) будемо розглядати як лінгвістичні змінні з якісними термами (терм – від англ. term – називати).

Згідно Заде [31], лінгвістичною змінною називається змінна, значеннями якої є слова або речення природної мови, тобто якісні терми. Прикладами лінгвістичних змінних та їх термів (вони записані справа в дужках) являються:

КОЕФІЦІЄНТ ЗЧЕПЛЕННЯ {дуже низький, низький, нижче середнього, середній, вище середнього, високий, дуже високий};

ГАЛЬМОВИЙ МОМЕНТ НА КОЛЕСАХ АВТОМОБІЛЯ {відсутній, низький, середній, високий, дуже високий};

ВИД ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ {асфальт, брук, щебінь, пісок, ґрунтова дорога};

Шановний читачу!

Умови придбання надрукованих примірників монографії наведені на сайті видавництва <http://publish.vntu.edu.ua/get/?isbn=978-966-641-364-5>

Уважаемый читатель!

Условия приобретения печатных экземпляров монографии приведены на сайте издательства <http://publish.vntu.edu.ua/get/?isbn=978-966-641-364-5>

Dear reader!

You may order this monograph at the Web page <http://publish.vntu.edu.ua/get/?isbn=978-966-641-364-5>

*Наукове видання*

Кашканов Андрій Альбертович  
Ребедаило Вадим Миколайович  
Кашканов Віталій Альбертович

**ОЦІНКА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ГАЛЬМОВИХ  
ВЛАСТИВОСТЕЙ АВТОМОБІЛІВ В УМОВАХ  
НЕТОЧНОСТІ ВИХІДНИХ ДАНИХ**

Монографія

Редактор С. Малішевська

Оригінал-макет підготовлено А. Кашкановим

Підписано до друку 20.05.2010 р.  
Формат 29,7×42¼ Папір офсетний.  
Гарнітура Times New Roman.  
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 8,55  
Наклад 100 прим. Зам № 2010-098

Вінницький національний технічний університет,  
КІВЦ ВНТУ,  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-85-32  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті,  
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі,  
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,  
ВНТУ, ГНК, к. 114.  
Тел. (0432) 59-81-59  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.