

Вінницький національний технічний університет
Факультет машинобудування та транспорту
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему

**«Вибір та обґрунтування методу оцінювання
зчіпних якостей автомобільних шин при дослідженні дорожньо-
транспортної пригоди в умовах невизначеності»**



Виконав: студентка 2 курсу,
групи 1АТ-20м
спеціальності

274 – Автомобільний транспорт

_____ Кашканова А.А.

Керівник: д.т.н., проф., проф. каф. АТМ

_____ Біліченко В.В.

« ____ » _____ 2021 р.

Опонент: д.т.н., проф., зав. каф. ТАМ

_____ Козлов Л.Г.

« ____ » _____ 2021 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри АТМ

_____ к.т.н., доц. Цимбал С.В.

« ____ » _____ 2021 р.

Вінниця ВНТУ - 2021 рік

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ПОТЕНЦІАЛ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗЧІПНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОЛІС АВТОМОБІЛЯ З ДОРОЖНІМ ПОКРИТТЯМ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ГАЛЬМУВАННЯ	9
1.1 Стан та проблеми забезпечення безпеки руху на автомобільному транспорті України	9
1.2 Результати аналізу розвитку конструкції гальмівних систем автомобілів категорії М1	14
1.3 Фактори, що визначають якість взаємодії автомобільних шин з дорогою та ефективність процесу гальмування	19
1.4 Невизначеність даних та її вплив на результати розслідування ДТП	22
1.5 Загальна характеристика діяльності базового підприємства за обраною тематикою дослідження	27
Висновки до розділу 1 та постановка завдань дослідження	31
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ ЩОДО ОЦІНЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЗЧЕПЛЕННЯ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ	32
2.1 Вибір переліку впливових факторів та математичних методів для оцінювання коефіцієнта зчеплення	32
2.2 Методика ідентифікації та побудови структури математичних моделей оцінювання коефіцієнта зчеплення	34
2.3 Загальний алгоритм моделювання величини коефіцієнта зчеплення, що реалізується в умовах експлуатації	40
2.4 Методика обробки та обчислення похибок результатів непрямих вимірювань параметрів для автотехнічної експертизи дорожньо- транспортних пригод	41
Висновки до розділу 2	46

РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ВЕЛИЧИН КОЕФІЦІЄНТА ЗЧЕПЛЕННЯ В ОБЧИСЛЮВАЛЬНОМУ СЕРЕДОВИЩІ МАТЛАВ	48
3.1 Експериментальне дослідження ефективності гальмування транспортних засобів категорії М1 в умовах експлуатації та формування вихідних даних для моделювання	48
3.2 Оцінювання інформативності факторів, які впливають на коефіцієнт зчеплення, засобами Fuzzy Logic Toolbox	56
3.3 Навчання та аналіз параметрів оптимальної ANFIS-моделі	59
Висновки до розділу 3	63
РОЗДІЛ 4. МЕТОДИКА І ПРАКТИКА ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ АВТОТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД	64
4.1 Інтегровані інформаційні системи експертних досліджень ДТП та загальні методичні підходи	64
4.2 Підвищення гальмівної ефективності автомобілів шляхом застосування систем активної безпеки	66
4.3 Оцінювання часу реакції водія – одного з головних параметрів, які враховуються під час визначення зупинного шляху автомобіля	70
4.4 Моделювання траєкторії руху автомобіля при дослідженні дорожньо-транспортних пригод	78
4.5 Підвищення якості автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод в умовах композиційної невизначеності	91
Висновки до розділу 4	99
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	100
5.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи	101
5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	103
5.3 Пожежна безпека	109

Висновки до розділу 5	111
ВИСНОВКИ	112
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	114
Додаток А (обов'язковий). Технічне завдання	123
Додаток Б (обов'язковий). Ілюстративна частина	127
Додаток В (довідниковий). Лістинг програми та результатів моделювання величини коефіцієнта зчеплення в обчислювальному середовищі Matlab	142
Додаток Г (довідниковий). Скріншоти виконання програми та візуалізації результатів моделювання величини коефіцієнта зчеплення в обчислювальному середовищі Matlab	147



ВСТУП

Актуальність теми. Забезпечення безпеки руху автомобільної техніки є актуальною проблемою для країн усього світу. Щорічно в результаті дорожньо-транспортних пригод (ДТП) гине близько 1,35 мільйона людей, від 20 до 50 мільйонів отримують травми, а збитки від ДТП обходяться більшості країн у 3% їх валового внутрішнього продукту. Це ставить цілий комплекс завдань, які необхідно вирішити для зменшення аварійності на автомобільному транспорті. Якість розв'язання цих завдань значною мірою залежить від точності та об'єктивності методів аналізу ДТП, виявлення причинно-наслідкових зв'язків.

Основним методом попередження ДТП є процес гальмування транспортних засобів (ТЗ). Ефективність даного процесу залежить від особливостей конструкції та роботи гальмівних систем ТЗ (наявності антиблокувальної системи гальм, системи екстреного гальмування, превентивних систем безпеки тощо) та обмежується величиною сил тертя в контакті шин з дорогою.

Існує багато різних методів, засобів і технологій, що застосовуються для оцінювання гальмівних властивостей автомобілів з метою забезпечення роботи систем активної безпеки, керування дорожнім рухом, удосконалення конструкції доріг чи аналізу аварійних ситуацій. Чинні вимоги визначають критеріями оцінки ефективності гальмування автомобілів при дорожніх випробуваннях гальмівний шлях і усталене сповільнення. Під час розслідування аварійних ситуацій експерт повинен оцінити усталене сповільнення шляхом слідчого експерименту в дорожніх умовах місця події або аналогічних йому, а потім на підставі отриманих даних розрахувати зупинний шлях. У разі наявності таких пошкоджень ТЗ, що унеможливають проведення дорожніх випробувань, експерту доводиться використовувати середньостатистичні значення сповільнення, коефіцієнт зчеплення шин з дорогою або використовувати застарілі розрахункові методики. Це сприяє виникненню похибок та збільшує

невизначеність даних, на основі яких формуються експертні висновки. Отже, удосконалення методів оцінювання зчпних якостей автомобільних шин при дослідженні дорожньо-транспортної пригоди в умовах невизначеності є актуальним.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно розпоряджень Кабінету Міністрів України «Про схвалення Стратегії підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2024 року» (№ 1360-р від 21 жовтня 2020 р.), «Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року» (№ 430-р. від 30 травня 2018 р.). Дослідження є частиною робіт, що проводились в рамках виконання другого етапу комплексної науково-дослідної теми кафедри АТМ ВНТУ 18К5 «Розробка теоретичних основ функціонування та розвитку виробничих систем автомобільного транспорту» у 2019-2021 роках.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є удосконалення існуючих підходів щодо оцінювання коефіцієнта зчеплення та показників ефективності гальмування ТЗ при автотехнічній експертизі ДТП в умовах наявності композиційної (стохастичної та нечіткої) невизначеності.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- дослідити потенціал реалізації зчпних властивостей коліс автомобіля з дорожнім покриттям та його вплив на ефективність гальмування ТЗ;
- розробити теоретичні засади удосконалення існуючих підходів щодо оцінювання коефіцієнта зчеплення в умовах невизначеності;
- виконати експериментальне дослідження ефективності гальмування транспортних засобів категорії М1 в умовах експлуатації з метою формування вихідних даних для моделювання;
- провести моделювання величини коефіцієнта зчеплення в обчислювальному середовищі Matlab та сформулювати практичні рекомендації щодо застосування розроблених моделей та алгоритмів.

Об'єкт дослідження – процес взаємодії автомобільних шин з дорожнім покриттям в умовах експлуатації.

Предмет дослідження – методи оцінювання зчепних якостей автомобільних шин при дослідженні ДТП в умовах невизначеності.

Методи досліджень. Методичною основою магістерської кваліфікаційної роботи є використання системного підходу. В теоретичній частині дослідження використані методи аналізу та синтезу, методи теорії прийняття рішень, методи теорії нечітких множин та нейронних мереж. Для підтвердження адекватності розроблених математичних моделей та отримання нових наукових даних використано експериментальні методи, теорію невизначеності вимірювань та теорію похибок. Порівняння теоретичних та експериментальних даних здійснювалось на основі методу комп'ютерного моделювання.

Наукова новизна отриманих результатів.

Одержали подальший розвиток теоретичні засади та методи оцінки коефіцієнта зчеплення при автотехнічній експертизі ДТП в умовах невизначеності.

Практична значимість отриманих результатів.

Запропоновано методика оцінювання коефіцієнта зчеплення при автотехнічній експертизі ДТП в умовах невизначеності, яка може використовуватись для покращення якості експертних висновків при встановленні причин виникнення аварійних ситуацій.

Достовірність теоретичних положень кваліфікаційної роботи забезпечується коректним використанням математичних методів, строгістю постановки задач наукового дослідження, чітким визначенням аналітичних співвідношень, порівнянням отриманих результатів з відомими, збіжністю експериментальних даних з результатами моделювання.

Апробація результатів роботи. Результати роботи доповідались та обговорювались на наукових конференціях:

- V-IX міжнародних науково-практичних інтернет-конференціях «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (Вінниця, ВНТУ, 2017-2021);
- міжнародній науково-практичній конференції «Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології і методи підготовки фахівців» (Харків, ХНАДУ, 2017);
- X, XIV міжнародних науково-практичних конференціях «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (Вінниця, ВНТУ, 2017, 2021);
- регіональній науково-практичній інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців. Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи. ВНТУ, Вінниця, 2018;
- V міжнародній науково-технічній конференції «Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузі» (Луцьк, ЛНТУ, 2018);
- II Міжнародній науково-технічній конференції “Перспективи розвитку машинобудування та транспорту – 2021”, присвяченій 80-річчю від дня народження доктора технічних наук, професора Віталія Антоновича Огороднікова, 13-15 травня 2021р (Вінниця, ВНТУ);
- XLVI-L Науково-технічних конференціях підрозділів Вінницького національного технічного університету (Вінниця, ВНТУ, 2017-2021);
- міжнародній науково-практичній та науково-методичній конференції «Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців» (Харків, ХНАДУ, 2021).

Публікації. Положення та результати досліджень опубліковані в 16 наукових роботах, включаючи 3 статті у фахових виданнях [1-3] та 13 матеріалів і тез у збірниках конференцій [4-16].

РОЗДІЛ 1.

ПОТЕНЦІАЛ РЕАЛІЗАЦІЇ ЗЧІПНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОЛІС АВТОМОБІЛЯ З ДОРОЖНІМ ПОКРИТТЯМ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ГАЛЬМУВАННЯ

1.1 Стан та проблеми забезпечення безпеки руху на автомобільному транспорті України

Висока аварійність на автомобільному транспорті є причиною загибелі понад 1,3 мільйона та травмування близько 50 мільйонів людей у різних країнах світу, вона спричиняє значні економічні збитки, що становлять 3-5% валового внутрішнього продукту [17]. Зниження аварійності на транспорті – актуальний комплекс завдань, успішне рішення яких залежить від об'єктивності методів аналізу дорожньо-транспортних пригод (ДТП) та точності виявлення причинно-наслідкових зв'язків.

У 2020 році, як свідчать дані департаменту патрульної поліції, в Україні кількість ДТП сягнула 168107 випадків, в яких загинули 3541 людини і 31974 отримали травми різного ступеня тяжкості (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Постраждали в ДТП на дорогах України у 2020 році

Показник	2020 рік	Зміна у % до 2019 року
Всього ДТП	168107	+4,6%
ДТП з постраждалими	26140	+0,3%
Загинуло в ДТП	3541	+2,5%
Травмовано в ДТП	31974	-2,3%
Всього ДТП за добу	459	+4,3%
Загинуло за добу	10	0%
Травмовано за добу	87	-3,3%

Результати аналізу статистики аварійних ситуацій на дорогах України [18] за зареєстрованими причинами та видами представлені на рисунках 1.1 і 1.2.

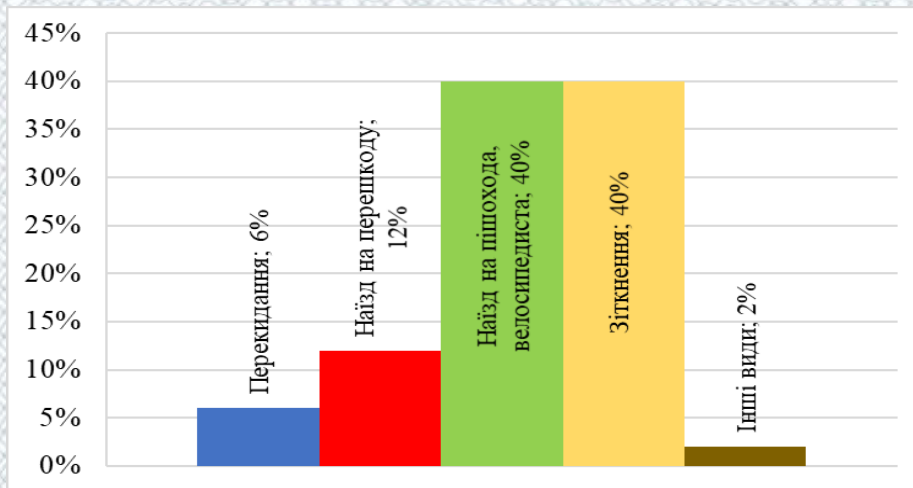


Рисунок 1.1 – Види ДТП

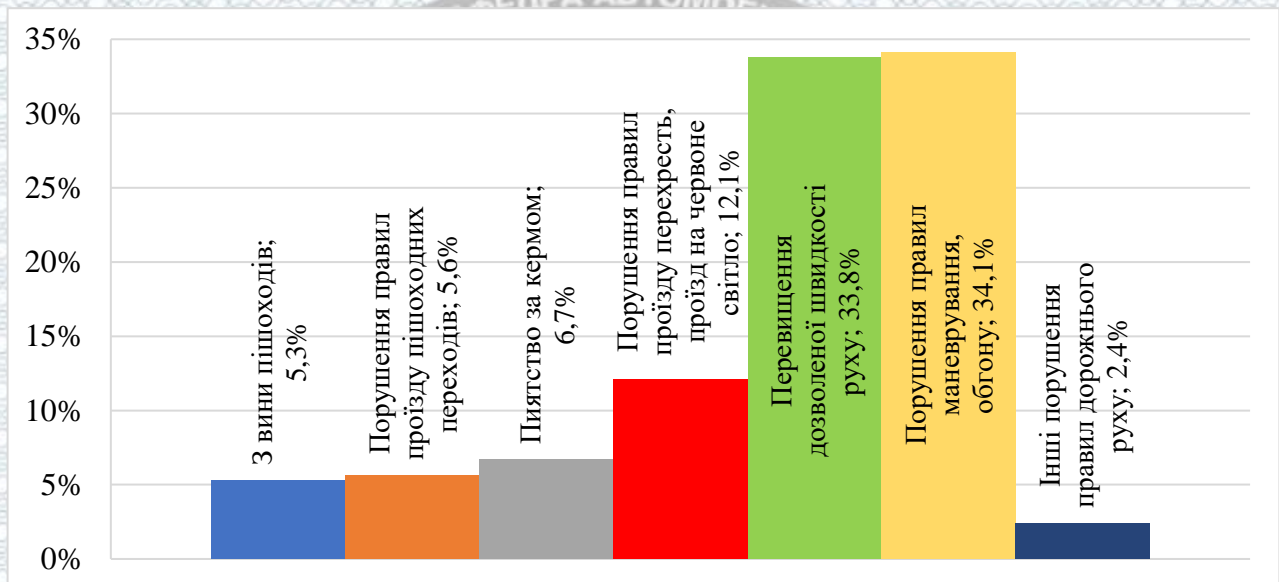


Рисунок 1.2 – Зареєстровані причини ДТП

Виходячи з аналізу причинно-наслідкових зв'язків виникнення ДТП можна виділити такі групи причин їх виникнення, відомі з опублікованих джерел [19, 20]:

Перша група – помилки в управлінні транспортних засобів (ТЗ) та порушення Правил дорожнього руху (ПДР);

Друга група – несправності та порушення правил експлуатації транспортних засобів;

Третя група – незадовільний рівень організації дорожнього руху та стан автомобільних доріг.

Проте, виходячи з рис. 1.1, 1.2, в Україні причинам ДТП другої та третьої групи приділяється незначна увага і офіційно вони навіть не реєструються. Підозрілість даної ситуації виходить зі статистики [21], оскільки середній вік автомобільного парку України дорівнює 22,7 років. Для порівняння, у ЄС середній вік легкових автомобілів вдвічі менший – 10,8 років (рис. 1.3). Очевидною є шкода від старіння автопарку, тому що цей показник суттєво впливає не тільки на екологію, а й на безпеку руху: нові моделі мають більш продумані з точки зору пасивної безпеки кузова, більше подушок безпеки та досконаліші електронні асистенти. Однак, при бажанні, можна виявити і користь від старіння автомобілів. Віковий автопарк збільшує попит на СТО, різні майстерні та магазини запчастин, що, в свою чергу, теоретично призводить до зростання їх доходів. Враховуючи думку фахівців, можна зробити висновок, що український автопарк і надалі продовжує старіти, адже переважна більшість імпорту – це автомобілі віком 5-15 років, а відсоток нових автомобілів в структурі імпорту за 2020 рік складає 20,5.

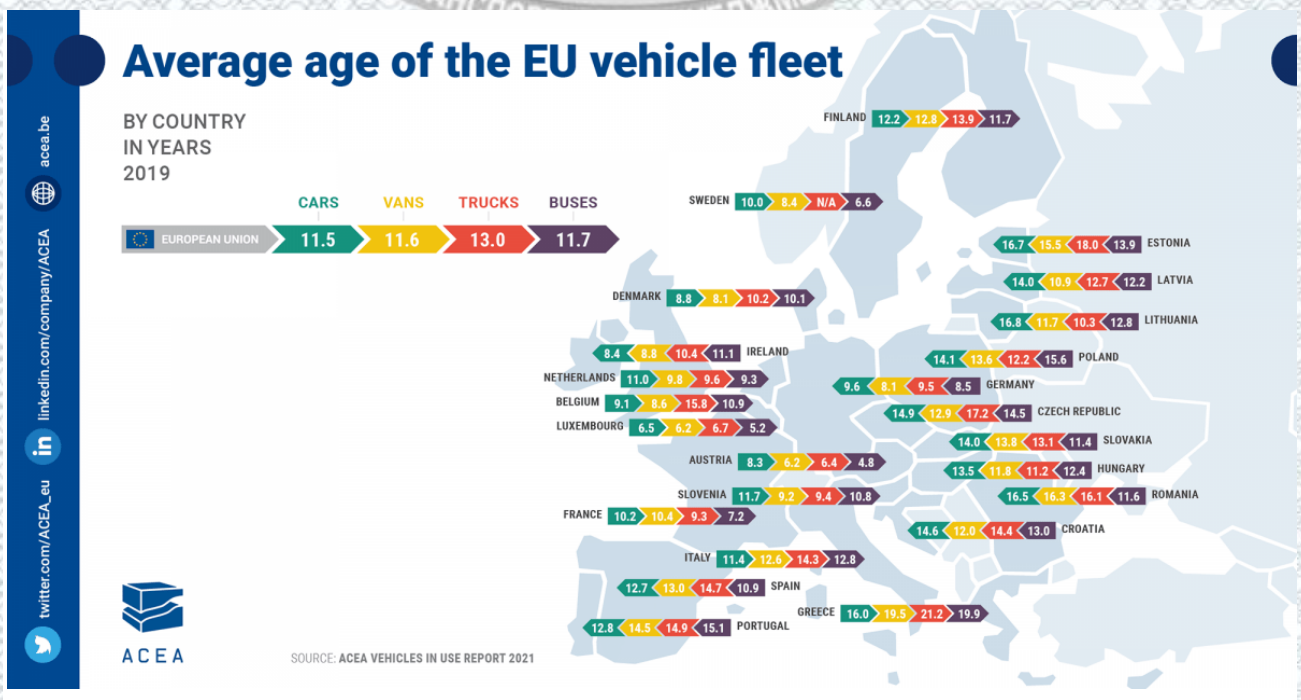


Рисунок 1.3 – Середній вік автомобілів в Європейському союзі [21].

В Україні рівень травматизму та смертності внаслідок ДТП є одним з найвищих в Європі, крім того є вкрай низьким рівень організації та безпеки дорожнього руху, що засвідчують експерти Світового банку, ВООЗ та інших міжнародних організацій [22].

В нашій країні на даний час працює програма безпеки дорожнього руху від 2018 року. Мета цієї програми – зниження рівня травматизму і смертності на дорогах. Результати аналізу статистики травмованих в ДТП у 2020 році в Україні (див. табл. 1.1) свідчать про неповне її виконання та критичність проблеми забезпечення безпеки руху. За добу в нашій країні в середньому відбувається 459 ДТП, в яких 87 людей травмується і гине мінімум 10 людей [18].

Причини високої аварійності на дорогах України:

- нехтування вимогами безпеки (ігнорування ременів безпеки в особистому транспорті, їх відсутність в автомобілях, що виконують пасажирські перевезення; користування мобільними телефонами при керуванні ТЗ; перехід дороги пішоходами у необлаштованих для цього місцях; перевантаження пасажирського транспорту тощо);
- відсутність контролю з боку поліції за порушеннями ПДР, що призводить до великої чисельності порушень;
- відсутність контролю за технічним станом ТЗ, які знаходяться в експлуатації на автошляхах країни;
- безкарність осіб, скоївших правопорушення в галузі безпеки руху;
- незадовільність стану автомобільних доріг;
- недосконалість обліку ДТП, неякісна робота відповідальних структур щодо фіксації статистичних даних про ДТП та аналізу їх причини з ціллю розробки рекомендацій та планів спрямованих на мінімізацію аварійності у майбутньому.

Проблеми забезпечення безпеки руху властиві не лише Україні, а і міжнародному суспільству в цілому, тому для поліпшення безпеки на дорогах доцільно звернути увагу на позитивний досвід інших країн. Наприклад, заходи з

поліпшення безпеки руху у Німеччині стали фундаментом для створення загальної європейської програми «Нульової смертності на дорогах». Ця програма потім була поширена на США та Австралію. Дія цієї програми дозволила знизити смертність на дорогах з 2001 по 2010 рік на 50%, далі, з 2010 по 2020 рік – ще на 50% з врахуванням того, що чисельність автопарків країн ЄС постійно збільшується (рис. 1.4) [23].

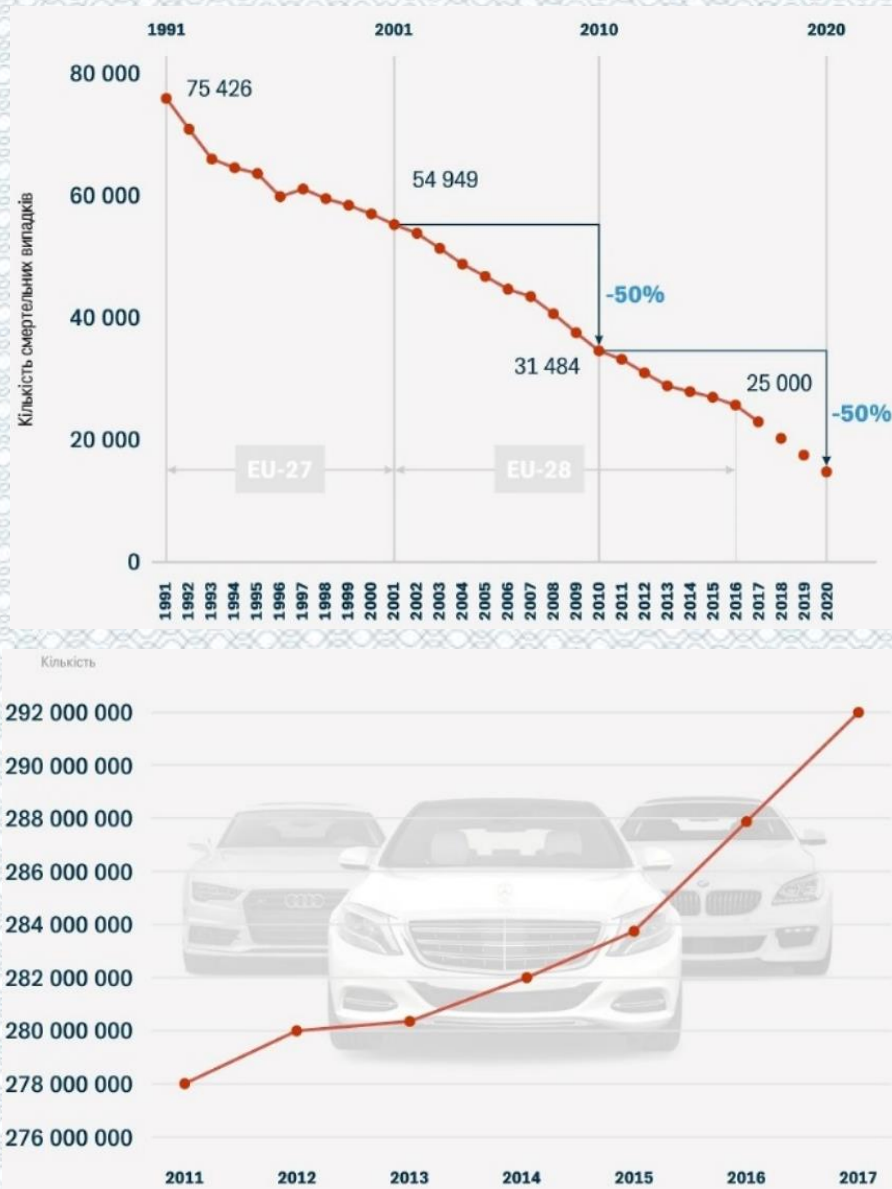


Рисунок 1.4 – Кількість загинувших у ДТП та чисельність парку ЄС [23].

Розв’язання проблем поліпшення безпеки руху слід здійснювати на базі системного підходу, при цьому слід враховувати сучасні вимоги та розвиток

технологій, що охоплюють ключові напрямки забезпечення безпеки дорожнього руху при запобіганні ДТП, під час ДТП та після ДТП на основі загальноприйнятих світових підходів.

1.2 Результати аналізу розвитку конструкції гальмівних систем автомобілів категорії М1

Історія впровадження систем зменшення гальмівного шляху автомобілів розпочалась з антиблокувальної системи гальм (ABS), основним призначенням якої є запобігання блокуванню коліс під час гальмування, збереження курсової стійкості автомобіля та керованості. З 2004 року ABS є частиною стандартної комплектації усіх нових автомобілів, що продаються у Євросоюзі [19, 24]. В сучасних автомобілях ABS як правило є частиною більш складної електронної системи гальмування, в склад якої також можуть входити: система розподілу гальмівних зусиль, система електронного контролю стійкості, система екстреного гальмування.

Основним призначенням системи розподілу гальмівних зусиль (EBD) є попередження блокуванню задніх коліс шляхом керування гальмівним зусиллям задньої осі. Вона працює на компонентній базі ABS і припиняє свою роботу з початком блокуванню ведучих коліс.

Система електронного контролю стійкості (ESP) є системою активної безпеки високого рівня, яка призначена для динамічної стабілізації автомобіля в критичних ситуаціях. ESP включає в себе ABS, EBD, систему електронного блокуванню диференціала (EDS) та систему запобігання буксуванню (ASR). З 2011 року ESP є частиною стандартної комплектації усіх нових легкових автомобілів, що продаються у Євросоюзі, США та Канаді [24, 25].

Система екстреного гальмування – це адаптивна система призначена для підвищення ефективності використання водієм робочої гальмівної системи в екстремій ситуації. Застосування систем екстреного гальмування може бути

вирішальним фактором для попередження ДТП чи зменшення її наслідків за рахунок скорочення гальмівного шляху автомобіля на 15-45% [26, 27]. Існує два види систем екстреного гальмування: система допомоги при екстреному гальмуванні (ВА), яка дозволяє реалізувати максимальне гальмівне зусилля у разі натиснення водієм на важіль гальма, та система автоматичного екстреного гальмування, яка створює часткове чи максимальне гальмівне зусилля без участі водія. В системах автоматичного екстреного гальмування крім основної реалізується ряд інших функцій шляхом поєднання роботи систем активної і пасивної безпеки автомобіля, що перетворює їх у так звані превентивні (попереджувачі) системи безпеки [24, 28, 29].

Превентивна система безпеки автомобіля (ПСБА) або ж система попередження зіткнення призначена для допомоги водію оцінити дорожню ситуацію, виявити джерела небезпеки та здійснити відповідні маневри з метою повного виключення ДТП або, як мінімум, зменшити її наслідки. Залежно від конструкції превентивна система може виконувати:

- попередження водія про небезпеку зіткнення;
- підготовку гальмівної системи до екстреного гальмування;
- активацію окремих пристроїв пасивної безпеки;
- часткове або повне автоматичне гальмування.

В основу критерію функціонування ПСБА покладена дистанція безпеки, тобто та мінімальна відстань до перешкоди для руху, при досягненні якої у випадку наявності відносної швидкості повинне розпочатись гальмування. При цьому гальмування повинне здійснюватися зі сповільненням (реалізація якого можлива при даній швидкості руху і реально існуючому зчепленні шин з дорожнім покриттям), що забезпечує зупинку автомобіля без небезпеки зіткнення з перешкодою.

Логічна послідовність робочого процесу ПСБА складається з таких операцій:

- виявлення потенційної перешкоди на шляху руху;

- вимірювання швидкості об'єкта-перешкоди;
- вимірювання дистанції до об'єкта-перешкоди;
- вимірювання власної швидкості автомобіля з ПСБА;
- визначення дистанції безпеки на базі даних про можливі гальмівні шляхи лідируючого та керованого автомобілів з врахуванням зчіпних якостей коліс з дорожнім покриттям;
- виявлення необхідності зміни режиму руху;
- порівняння існуючої дистанції з розрахунковою безпечною дистанцією між перешкодою для руху та керованим автомобілем;
- визначення початку зміни режиму руху у часі;
- подача сигналу водію про зміну режиму руху.

На даний час превентивні системи безпеки достатньо широко розповсюджені та активно впроваджуються на легкові автомобілі. Відомим превентивними системами безпеки є:

- Pre-Sense Front, Pre-Sense Front Plus та Pre-Sense Rear від Audi;
- Pre-Safe та Pre-Safe Brake від Mercedes-Benz;
- Collision Mitigation Braking System, CMBS від Honda;
- City Brake Control від Fiat;
- Collision Warning with Brake Support та Forward Alert від Ford;
- Forward Collision Mitigation, FCM від Mitsubishi;
- Pre-Collision System, PCS від Toyota;
- Front Assist та City Emergency Brake від Volkswagen;
- Collision Warning with Auto Brake та City Safety від Volvo;
- Predictive Emergency Braking System, PEBS від Bosch.

Аналіз особливостей функціонування даних ПСБА дозволяє поділити їх на дві категорії:

- системи безпеки спрямовані на попередження ДТП;
- системи створення комфортних умов для водія шляхом забезпечення часткової автоматизації керування автомобілем.

Об'єднання функцій пасивної та активної безпеки доцільно здійснювати на основі синергетичного підходу в системах ПСБА (рис. 1.5). Прикладами синергізму у використанні датчиків різних систем безпеки, наприклад системи динамічної стабілізації, є такі функції, як розширена ідентифікація перекидання, раннє розпізнання наїзду на стовп та пом'якшення повторного зіткнення.



Рисунок 1.5 – ПСБА засновані на датчиках кругового огляду

Активні системи (рис. 1.5) втручаються в керування динамікою автомобіля, пасивні – надають інформацію.

Системи пасивної безпеки забезпечують функції зменшення наслідків аварії, наприклад, підготовка до зіткнення, заходи захисту пішохода.

Системи допомоги водію, які не втручаються в керування автомобілем, створюють передумови для полегшення роботи водія. Такі системи подають водієві попередження або рекомендації відносно маневру. Засоби полегшення паркування мають різноманітні функції, від простої подачі сигналу про відстань до перешкоди до частково автоматизованого руху автомобіля на вільне місце для паркування.

Виявлення потенційно небезпечних об'єктів у «сліпій зоні» здійснюється датчиками ближньої дії (ультразвуковими чи радарними). Відеодатчики успішно використовуються для покращення оглядовості в нічний час. Система попередження про зміну смуги руху використовує відеокамеру, на основі даних якої попереджує водія про вихід за межі смуги руху, якщо сигнал повороту не був поданий.

Адаптивний круїз-контроль – одна з систем керування автомобілем, яка може знімати з водія частину задач по керуванню в складних умовах руху в повільному потоці. В якості подальшого розвитку даної системи пропонується організувати взаємодію між різними датчиками для забезпечення можливості лінійного контролю автомобіля при русі у місті та на великих швидкостях. Це можна зробити на основі інтеграції даних від радарів та відеосистем.

Шляхом інтеграції систем лінійного контролю із системами бокового огляду теоретично можливо створити автономну систему керування. Системи визначення положення на смузі руху – це подальший розвиток систем попередження про зміну смуги руху.

Активні системи безпеки дорожнього руху охоплюють усі функції спрямовані на попередження ДТП. Підвищені вимоги, що висуваються до таких систем по відношенню функціональності та надійності, розповсюджуються від простої функції зупинки автомобіля до того, як він зіткнеться з перешкодою при паркуванні, до функції комп'ютеризованого керування маневром для попередження зіткнення. Функції середньої складності забезпечуються подання попереджень та прогнозів від систем безпеки дорожнього руху. В цей ряд включені такі функції, як попереджувальне задіяння гальм при виникненні небезпеки, шляхом коротких циклів гальмування аж до екстреного гальмування.

Якою б досконалою не була гальмівна система сучасних автомобілів, її можливості обмежені якістю взаємодії автомобільних шин з дорогою.

1.3 Фактори, що визначають якість взаємодії автомобільних шин з дорогою та ефективність процесу гальмування

Гальмування транспортних засобів (ТЗ), ефективність якого залежить від реалізації зчіпних властивостей шини з дорожнім покриттям, є основним методом попередження аварійних ситуацій [19, 30, 31]. Показником для оцінювання якості взаємодії шин з дорогою є величина коефіцієнта тертя покою (коефіцієнта зчеплення ϕ), а при заблокованих колесах – коефіцієнта тертя ковзання, який має нижчі показники ніж коефіцієнт зчеплення. Безрозмірна величина ϕ для звичайних дорожніх шин змінюється в діапазоні (0; 1] [24]. Значення ϕ близькі до нуля позначають гладку слизьку поверхню в контакті шини з дорогою, що характеризується низькими величинами сил тертя (поздовжніх, поперечних, бічного уводу). Зі збільшенням значень ϕ підвищуються сили тертя, які необхідно подолати або передати.

Зчеплення шини з дорожнім покриттям є наслідком дії великої кількості складних процесів, що відбуваються в зоні контакту шини з дорогою. Воно залежить від великої кількості факторів (рис. 1.6), основними з яких є: тип і стан дорожнього покриття; конструкція, стан та умови роботи шини [32, 33].

Результуюча сила, що передається шиною на дорогу, є векторною сумою поперечних та поздовжніх сил (рис. 1.7). Вона збільшується зі зростанням зчіпної здатності в зоні контакту дороги і шини або нормального навантаження на колесо [24, 33].

Величину коефіцієнта зчеплення при аналізі ДТП можна визначити одним з трьох способів [30, 31, 34]:

– на основі інформації електронних систем керування, безпеки і комфорту ТЗ;



Рисунок 1.6 – Фактори впливу на потенціал реалізації зчіпних властивостей коліс автомобіля з дорожнім покриттям

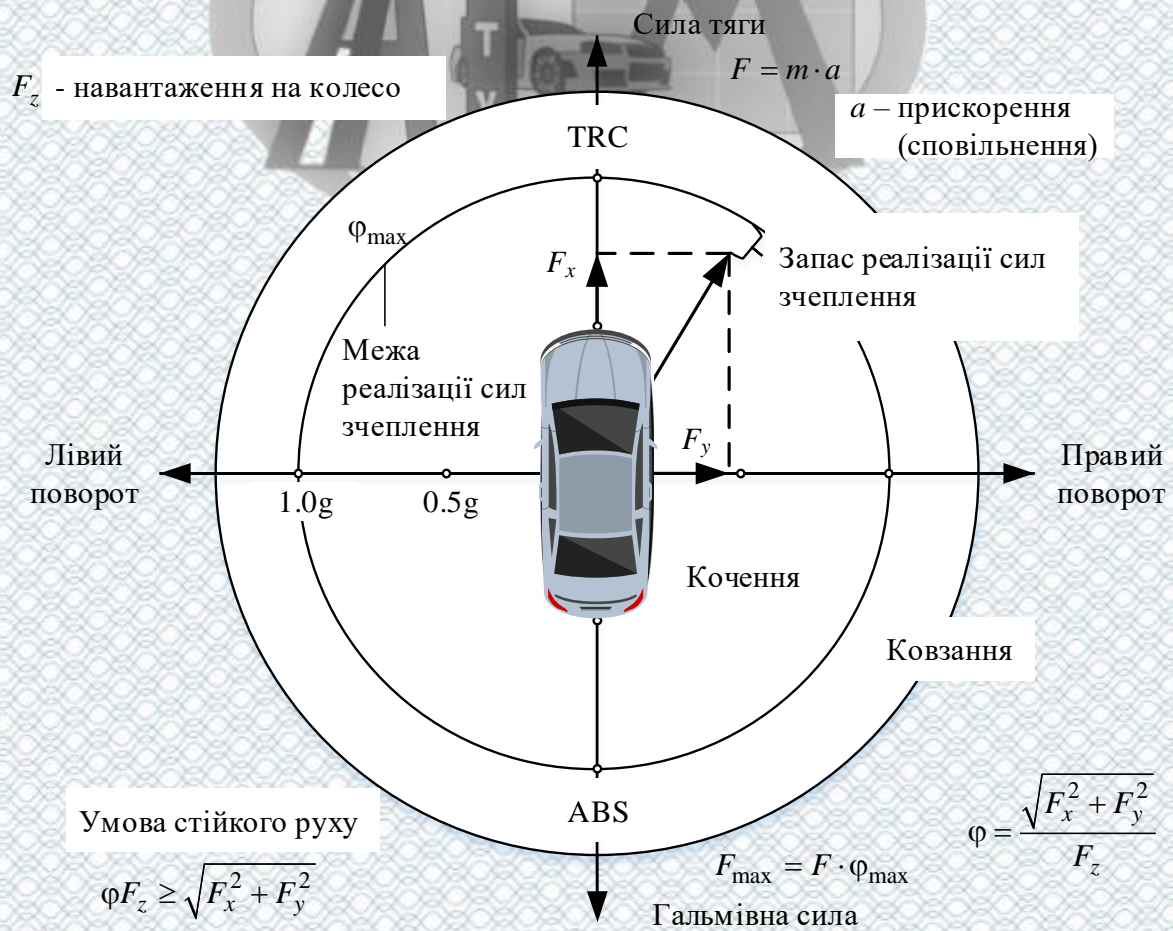


Рисунок 1.7 – Сили, що діють на шину в колі Камма

- експериментальним шляхом;
- за довідковими даними експериментально-розрахункових значень.

Перший спосіб є достатньо новим. Обмеженням його широкого використання є те, що встановлення параметрів руху записаних на основі інформації електронних систем ТЗ бортовими реєстраторами даних про події (EDR), можливо за наявності таких систем в конструкції ТЗ. Відсоток таких ТЗ у світовому парку автомобілів досить малий, але має тенденцію до збільшення з кожним роком [35, 36].

Інструкція з передової практики реконструкції обставин ДТП Європейської мережі установ судової експертизи [31] рекомендує для оцінювання взаємодії шин з дорогою виконувати слідчий експеримент в дорожніх умовах місця події або аналогічних йому. При цьому, експериментально визначають коефіцієнт зчеплення або гальмівний шлях чи сповільнення, значення яких характеризують процеси тертя в контакті шин з дорогою. Однак, використання цього способу не завжди є можливим в силу дії ряду об'єктивних причин [30].

У випадку коли проведення експерименту неможливе, величина коефіцієнта зчеплення, сповільнення та гальмівного шляху може бути визначена за довідковими даними експериментально-розрахункових значень [31] або прийнята як нормативна, встановлена Правилами дорожнього руху та нормативним документом Council Directive 71/320/ЕЕС. Визначення параметрів ефективності гальмування можливе розрахунковим шляхом за відомими в експертній практиці формулами [19, 37], отриманими на основі математичних моделей системи «водій – автомобіль – дорога – середовище» (ВАДС).

При використанні математичних моделей системи ВАДС невизначеність значень розрахункових параметрів залежить від точності визначення вхідних параметрів та прийнятої структури моделі, яка є лише наближенням реальності. При використанні записів EDR, невизначеність значень розрахункових параметрів може бути результатом помилок вимірювання значень, що

характеризують рух автомобіля та помилок в результаті обробки записаних даних. Точність експериментальних методів залежить від методики проведення випробувань, використовуваної апаратури та якості обробки результатів вимірювань [38, 39].

1.4 Невизначеність даних та її вплив на результати розслідування ДТП

Під час вирішення задач експертизи ДТП прийняття рішень здійснюється в умовах невизначеності [19, 30-32, 37-42].

Невизначеність за причинами появи поділяють на види (рис. 1.8).

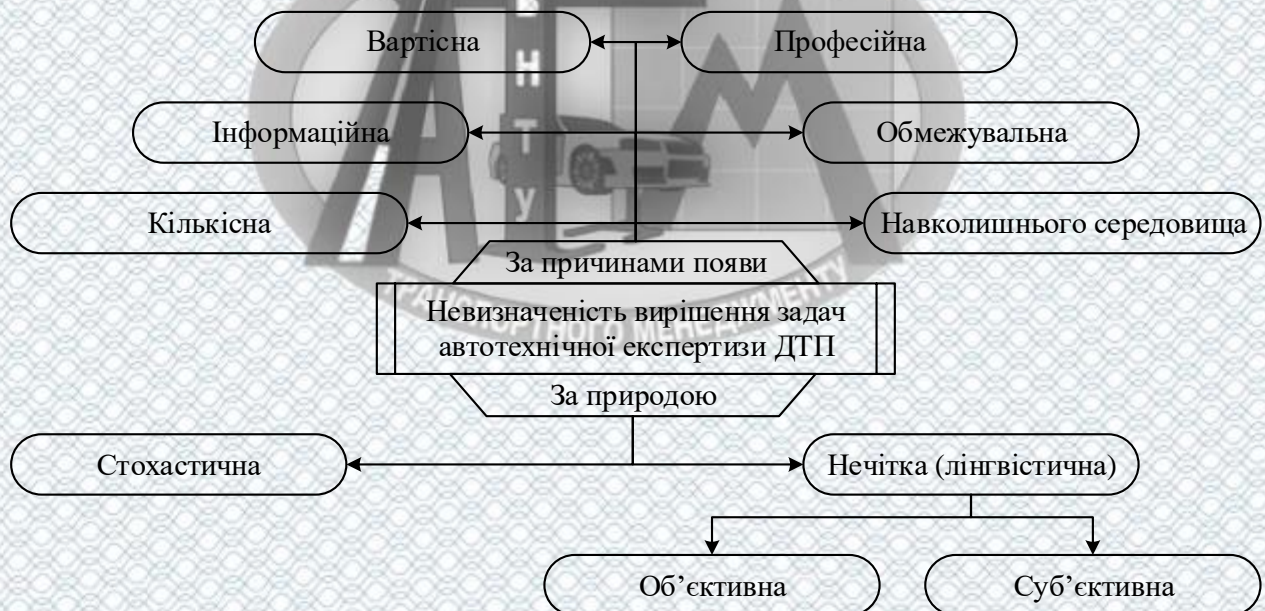


Рисунок 1.8 – Види невизначеності

Як видно з рис. 1.8, розрізняють невизначеність [38, 41, 42]:

- кількісну, причиною якої є велика кількість елементів ситуації;
- інформаційну, причиною якої є неточність інформації або її недостатність через дію технічних, соціальних чи інших причин;
- професійну, спричинену недостатніми професійними навичками особи, яка приймає рішення;

- обмежувальну, спричинену наявністю обмежень в засобах, коштах, часі тощо;
- вартісну, спричинену надто дорогою або недоступною платою за визначеність;
- зовнішнього середовища, спричинену реакцією середовища на процес прийняття рішення.

Невизначеність може мати стохастичну чи нечітку природу. Стохастична невизначеність з'являється при користуванні статистично оціненими даними, а не їх точними значеннями. Нечітка невизначеність поділяється на два види. Вона може бути суб'єктивною, пов'язаною зі спроможністю людини оцінювати інформацію, та об'єктивною, яка характерна для всіх реальних величин [43].

Причини суб'єктивної невизначеності:

- неповнота знань експерта про властивості об'єктів;
- недостатня впевненість експерта в правильності своїх оцінок;
- суперечливість знань експерта;
- нечіткість представлення вихідної інформації;
- неоднозначність природної мови та недовизначеність понять і термінів;
- особливості об'єднання індивідуальних експертних оцінок тощо.

Виявлення обставин ДТП є багатодисциплінарним завданням, яке вимагає широких знань не тільки з різних технічних напрямків, а і застосування навичок з інших галузей природничих наук (психологія, медицина, судова генетика, токсикологія, тощо).

Враховуючи науково-методичні рекомендації з питань підготовки та призначення судових експертиз [44], формуватися загальна невизначеність результатів експертизи дорожньо-транспортних пригод буде за схемою, поданою на рис. 1.9.

В практиці автотехнічної експертизи для визначення показників ефективності гальмування та повороту ТЗ користуються виразами [19, 20, 30-32]:



Рисунок 1.9 – Формування невизначеності під час розв’язування задач експертизи дорожньо-транспортних пригод

$$S_0 = (t_1 + t_2 + 0,5t_3)V_a + \frac{V_a^2}{2g\varphi}, \quad (1.1)$$

$$Y = \frac{\varphi \cdot g \cdot X^2}{6 \cdot k_m \cdot V_a^2}, \quad (1.2)$$

де V_a – швидкість автомобіля;

Y – переміщення ТЗ перпендикулярно напрямку руху;

X – переміщення ТЗ в напрямку початкового руху;

φ – коефіцієнт зчеплення коліс ТЗ з дорогою;

k_m – коефіцієнт корегування маневру ТЗ;

g – прискорення вільного падіння;

S_0 – зупинний шлях ТЗ;

t_1 – час реакції водія ТЗ на дорожню ситуацію;

t_2 – час спрацьовування системи гальмування автомобіля;

t_3 – час наростання сповільнення автомобіля.

Аналізу розрахункових даних щодо визначення похибки величини зупинного шляху залежно від коефіцієнта зчеплення та швидкості руху автомобіля подані на рисунках 1.10, 1.11, а різниці розрахунку значень відхилення автомобіля перпендикулярно початковому напрямку руху на рисунку 1.12. З рисунків видно, що при визначенні зупинного шляху за діючою методикою найменша різниця між максимальним та мінімальним значенням складає 20%, а найбільша різниця при екстремому гальмуванні на льоду складає 316%. При прийнятті рекомендованої залежності за еталонну можна з'ясувати резерви покращення точності моделювання.

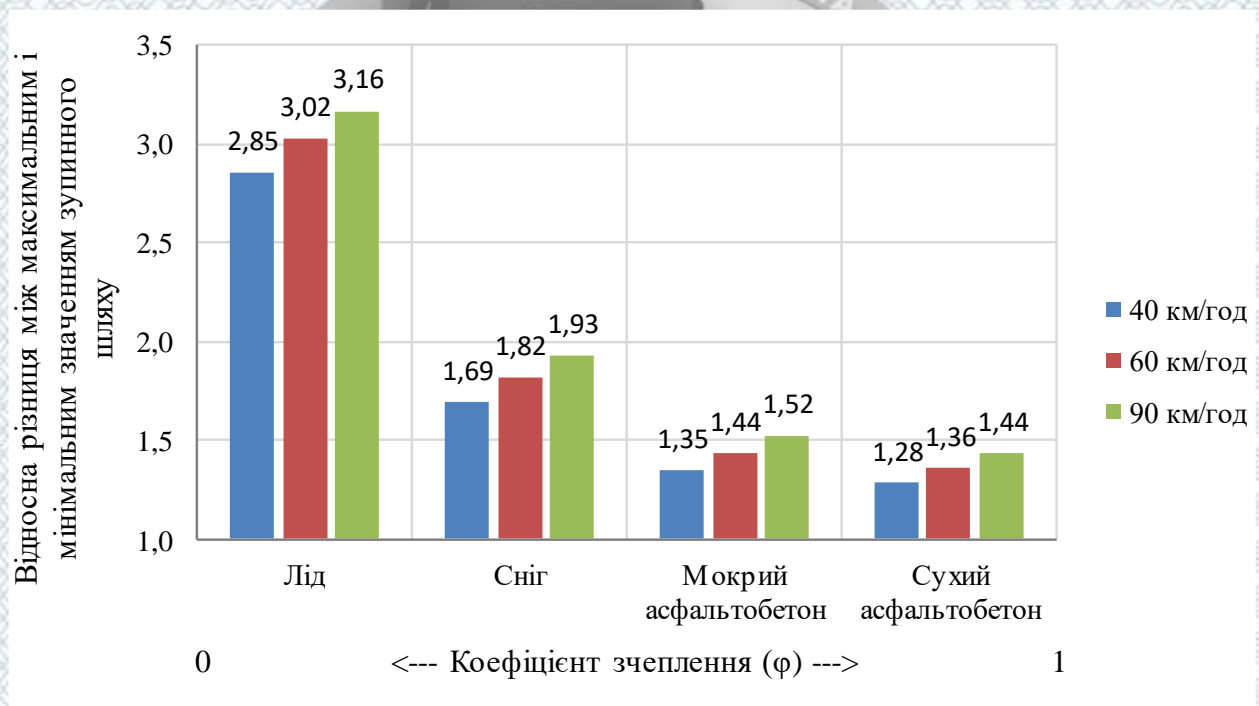


Рисунок 1.10 – Можлива похибка розрахунку зупинного шляху автомобіля [42]

Врахування наявності ABS на досліджуваному автомобілі зменшує діапазон можливих значень зупинного шляху на 7-12%, а відхилення автомобіля перпендикулярно початковому напрямку руху на 12-21%. При врахуванні типу шин, встановлених на автомобіль, для випадку взаємодії шин із дорогою покритою снігом чи ожеледицею покращує точність розрахунків зупинного

шляху ТЗ на 32-41%, а відхилення автомобіля перпендикулярно початковому напрямку руху на 11-43%.

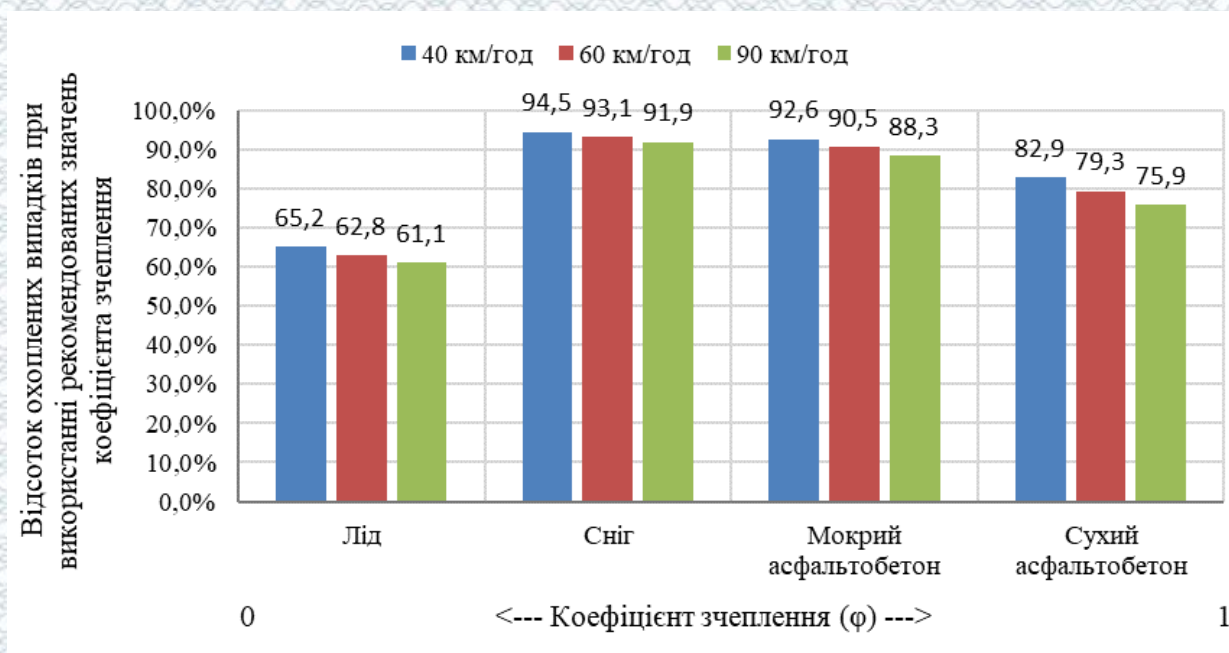


Рисунок 1.11 – Відсоток випадків охоплених при визначенні зупинного шляху автомобіля за рекомендованими значеннями коефіцієнта зчеплення [42]

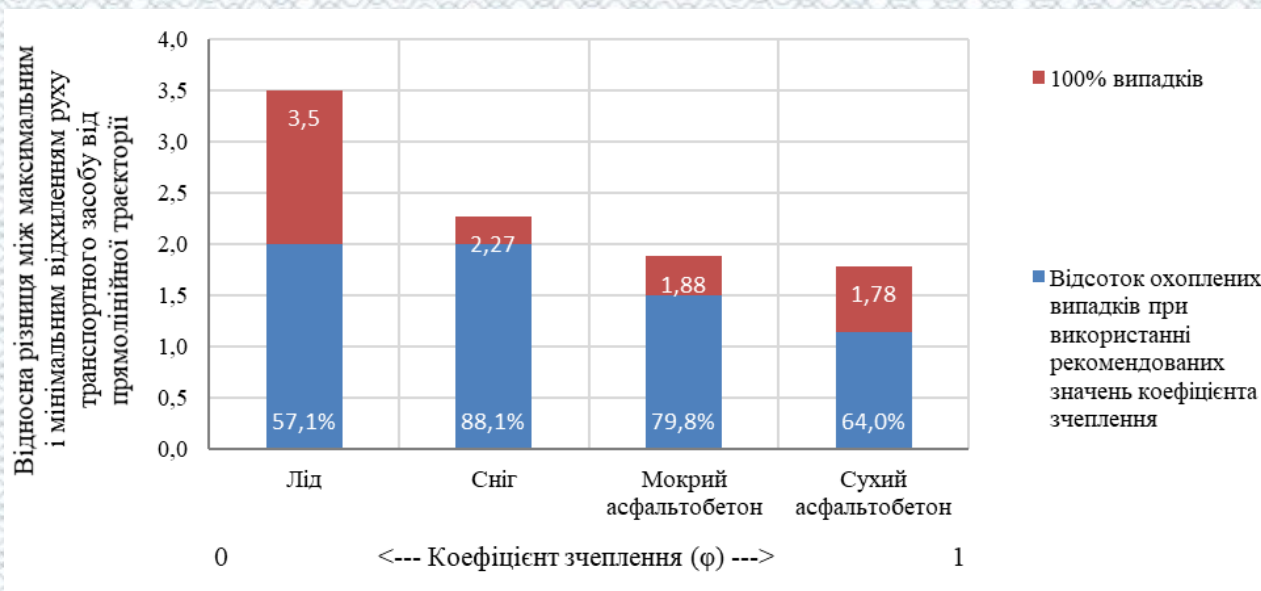


Рисунок 1.12 – Можлива різниця у визначенні відхилення автомобіля перпендикулярно початковому напрямку руху [42]

Коефіцієнт зчеплення суттєво залежить від швидкості руху ТЗ, бокового відведення коліс, тиску в шинах та їх температури, зношеності шин ТЗ, товщини водяної плівки на поверхні дороги, інших факторів. В експериментальних дослідженнях зчїпних властивостей шин ТЗ на асфальтобетонному покритті коефіцієнт зчеплення ϕ при швидкості руху автомобіля 10 км/год дорівнював 0.65, а при швидкості руху автомобіля 100 км/год – 0.34 [41].

Наведене вище підтверджує необхідність виконання поглиблених досліджень невизначеності вихідних даних в задачах експертизи ДТП.

1.5 Загальна характеристика діяльності базового підприємства за обраною тематикою дослідження

Експертна служба Міністерства внутрішніх справ (МВС) України є найбільшим відомчим експертним органом. Окремі регіональні підрозділи даної служби є в усіх обласних центрах. Вінницький науково-дослідний експертно-криміналістичний центр (НДЕКЦ) МВС України знаходиться за адресою: 21000, Вінницька область, м. Вінниця, вул. Василя Порика 8 (рис. 1.13).

Контакти Вінницького НДЕКЦ:

Тел.: (0432) 56-03-01; (факс) (0432) 56-02-86, (моб): (067) 430-87-36.

Офіційний сайт: <http://ndekc.vn.ua>. Електронна пошта: ndekc@i.ua.

Історія створення експертної служби на Вінниччині та його подальшого розвитку розпочалась у липні 1948 року зі створення науково-технічної групи, яка мала штатну чисельність у 2 посади: старшого експерта та експерта.

На даний час Вінницький НДЕКЦ МВС України є потужним експертним підрозділом, який укомплектовано висококваліфікованими кадрами, новітніми експертно-криміналістичними технічними засобами та спеціальною технікою для використання за призначенням.



Рисунок 1.13 – Загальний вигляд будівель та входу
Вінницького НДЕКЦ МВС України

З березня 2002 року Експертна служба МВС України є членом європейської мережі криміналістичних наукових установ (ENFSI), що свідчить про міжнародне визнання можливостей Експертної служби та її авторитету.

Вінницький науково-дослідний експертно-криміналістичний центр у жовтні 2016 року отримав атестат про акредитацію та відповідність вимогам ДСТУ ISO/IEC 17025:2006 від Національного агентства з акредитації України.

В експертно-криміналістичному центрі є спеціальні профільні лабораторії, обладнані необхідним сучасним устаткуванням, крім того, створено належні умови праці співробітникам, забезпечено усі вимоги щодо охорони праці та техніки безпеки.

Структурні підрозділи Вінницького науково-дослідного експертно-криміналістичного центру:

- відділ комп'ютерно-технічних та телекомунікаційних досліджень;
- сектор досліджень у сфері інформаційних технологій;
- відділ криміналістичних видів досліджень;
- сектор вибухотехнічних та пожежотехнічних досліджень;
- відділ автотехнічних досліджень та криміналістичного дослідження транспортних засобів;
- відділ досліджень матеріалів, речовин і виробів;
- відділ біологічних досліджень та обліку;
- відділ економічних досліджень;
- відділ товарознавчих та гемологічних досліджень;
- відділ будівельних, земельних досліджень та оціночної діяльності;
- відділ забезпечення діяльності центру.

У Вінницького експертно-криміналістичний центр має своїх представників в усіх територіальних сервісних центрах (м. Вінниця, м. Гайсин, м. Могилів-Подільський, м. Тульчин, м. Хмільник) регіонального сервісного центру МВС України у Вінницькій області.

У Вінницькому науково-дослідному експертно-криміналістичному центрі працюють фахівці, які забезпечують 51 вид досліджень та експертиз. Підрозділи експертної служби МВС України мають можливість з дозволу Кабінету Міністрів України надавати експертні послуги, здійснювати експертизи та дослідження, за кошти юридичних та фізичних осіб. Це дозволяє залучити додаткове фінансування для забезпечення основної діяльності НДЕКЦ щодо потреб правоохоронних органів.

Вінницький науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України пропонує свої послуги на платній основі за такими напрямками:

- дослідження транспортних засобів і документів, що їх супроводжують;
- автотоварознавчі дослідження;
- транспортно-трасологічні дослідження;
- дослідження обставин і механізму дорожньо-транспортних пригод;
- молекулярно-генетичні дослідження (ДНК-аналіз);
- дослідження документів;
- товарознавчі дослідження;
- економічні дослідження;
- інженерно будівельні дослідження;
- оцінка нерухомого та рухомого майна;
- дослідження у сфері інтелектуальної власності;
- комп'ютерно-технічні дослідження;
- відстріл вогнепальної зброї та огляд її технічного стану;
- трасологічні;
- холодної зброї;
- почеркознавчі;
- портретні та фототехнічні;
- мистецтвознавчі;
- дослідження вибухових пристроїв, слідів та обставин вибуху;
- дослідження матеріалів, речовин та виробів;

- психологічні;
- дослідження дотримання вимог пожежної безпеки, обставин виникнення і поширення пожеж.

Висновки до розділу 1 та постановка завдань дослідження

Аналіз стану питання, що розглядається, дозволив сформулювати такі завдання дослідження:

- дослідити потенціал реалізації зчіпних властивостей коліс автомобіля з дорожнім покриттям та ефективність гальмування ТЗ;
- розробити теоретичні засади удосконалення існуючих підходів щодо оцінювання коефіцієнта зчеплення в умовах невизначеності;
- виконати експериментальне дослідження ефективності гальмування транспортних засобів категорії М1 в умовах експлуатації з метою формування вихідних даних для моделювання;
- провести моделювання величини коефіцієнта зчеплення в обчислювальному середовищі Matlab та сформулювати практичні рекомендації щодо застосування розроблених моделей та алгоритмів.

Аналіз особливостей діяльності установи, на базі якої мають проводитись дослідження, показує наявність необхідних ресурсів для проведення наукових досліджень, підтверджує обґрунтованість вибору Вінницького науково-дослідного експертно-криміналістичного центру МВС України в якості базового.

РОЗДІЛ 2.

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ ЩОДО ОЦІНЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЗЧЕПЛЕННЯ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

2.1 Вибір переліку впливових факторів та математичних методів для оцінювання коефіцієнта зчеплення

В спеціальній дорожній та автомобільній літературі опубліковано багато даних, що характеризують коефіцієнт зчеплення шини з дорогою, який визначає межу гальмівних властивостей автомобіля. Відомо, що цей коефіцієнт може змінюватися приблизно у 10 разів від значення, близького до 1 на шорсткуватій поверхні, до 0,1 і менше на зледенілій поверхні.

Необхідно відзначити, що величини коефіцієнтів зчеплення, які вказуються в різних джерелах для одного і того ж типу дорожнього покриття, часто відмінні. Це пояснюється не тільки відмінностями в застосовуваній при дослідженні методиці і апаратурі, але й у важкості точної характеристики стану дорожнього покриття (тип, структура, забрудненість, зношеність та ін.). При аналітичному визначенні гальмівного шляху автомобіля важливо мати найбільш достовірні дані стосовно коефіцієнта зчеплення, який значно впливає на точність отриманого результату, що особливо важливо при аналізі механізму скоєння ДТП.

Розв'язання задач автотехнічної експертизи ДТП відбувається в умовах невизначеності, а прийняття рішень здійснюється при наявності неповної інформації, тому для вирішення проблеми автоматизації цього виду діяльності можуть використовуватися багато з формальних методів, які розроблені в рамках кібернетичної науки [45]. Таким чином, неповнота інформації призводить до виникнення задач прийняття рішень в умовах невизначеності [46].

В процесі прийняття рішень виникають різні види невизначеності в залежності від причин її появи. Зокрема розрізняють невизначеність [39]:

- професійну як наслідок недостатнього професіоналізму особи, що приймає рішення;
- інформаційну, обумовлену недостатністю інформації чи її неточністю через технічні, соціальні та інші причини;
- обмежувальну (спричинену обмеженнями в ситуації прийняття рішень, наприклад обмеження в часі та інш.);
- вартісну через надто дорогу чи недоступну плату за визначеність;
- кількісну, зумовлену значним числом об'єктів чи елементів в ситуації;
- зовнішнього середовища, пов'язану з його поведінкою чи реакцією на процес прийняття рішення.

Крім того, невизначеність може мати стохастичну або нечітку природу. При прийнятті рішень стохастична невизначеність виникає при використанні даних, про які відомі не точні значення, а їх статистичні оцінки. Нечітка невизначеність властива практично будь-якій ситуації експертного оцінювання і може бути об'єктивною, властивою всім реальним величинам чи суб'єктивною, властивою людській природі в цілому, і особливо можливостям людини оцінювати інформацію. Причинами виникнення суб'єктивної невизначеності є [39]:

- суперечливість експертних знань;
- неповнота знань експерта про властивості об'єктів;
- його недостатній ступінь впевненості в правильності своїх оцінок;
- семантична невизначеність, пов'язана з неоднозначністю природної мови, недовизначеністю понять і термінів;
- нечіткість представлення інформації;
- особливості агрегування індивідуальних експертних оцінок тощо.

Аналіз застосування математичних методів в практиці розслідування ДТП, виконаний в роботі [42], показав, що при відсутності можливості використання

традиційних математичних методів, які базуються на виявленні точних кількісних взаємозв'язків, для дослідження ДТП в умовах невизначеності доцільно застосовувати наближені методи моделювання, які засновані на нечітких (неперервних) логіках.

Роботи [32, 47, 48], основані на визначенні коефіцієнта зчеплення за допомогою апарату теорії нечітких множин [46], в значній мірі сприяли уточненню його визначення в конкретних умовах експлуатації.

Серед факторів впливу на коефіцієнт зчеплення найбільш впливовими можна визнати [19, 24, 25, 32-34, 42, 47, 48]:

- зношеність шини;
- ступінь проковзування шини;
- тиск в шині;
- навантаження на колесо;
- швидкість автомобіля при гальмуванні;
- тип і стан дорожнього покриття.

Таким чином, задача знаходження коефіцієнта зчеплення зводиться до пошуку багатofакторної залежності $\varphi = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

2.2 Методика ідентифікації та побудови структури математичних моделей оцінювання коефіцієнта зчеплення

Оцінювання коефіцієнта зчеплення виконувалось на базі метода ідентифікації нелінійних об'єктів нечіткими базами знань [46] в нейро-нечіткому редакторі Anfis [49] пакета Fuzzy Logic Toolbox обчислювального середовища Matlab [50]. Математичні моделі будувались в два етапи (рис. 2.1): структурна ідентифікація; параметрична ідентифікація.

На етапі структурної ідентифікації формувалась структура залежності коефіцієнта зчеплення від факторів впливу (рис. 2.2) на основі правил «якщо-то».

Параметрична ідентифікація проводилась шляхом підбору таких параметрів бази знань, які б забезпечували максимальну наближеність результатів моделювання та експериментальних даних. Як видно з рис. 2.2, нейро-нечітка мережа залежності складається з п'яти шарів.

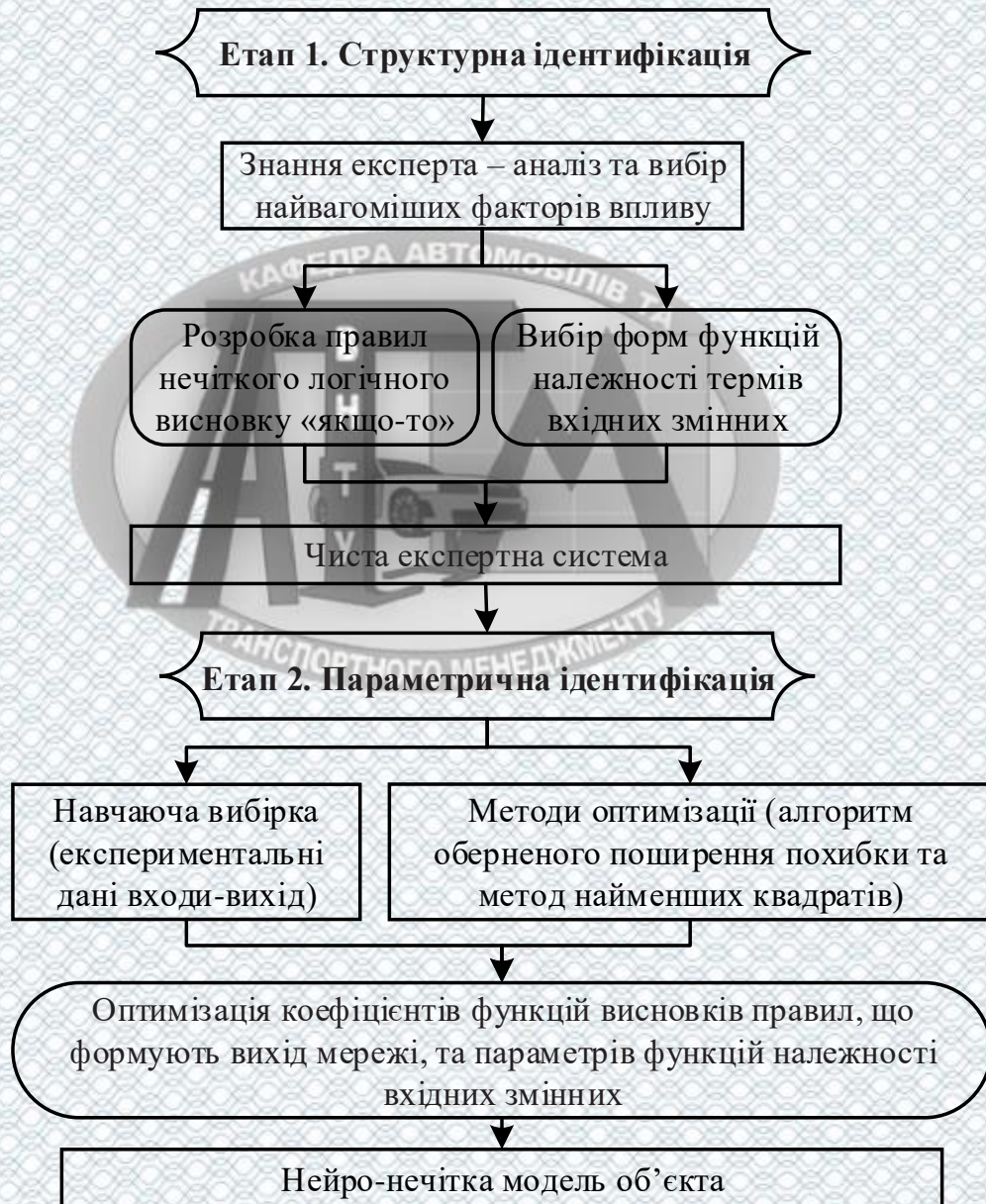


Рисунок 2.1 – Етапи налаштування системи оцінювання коефіцієнта зчеплення

Кожен вузол першого шару є одним термом з гауссовою функцією належності [51]

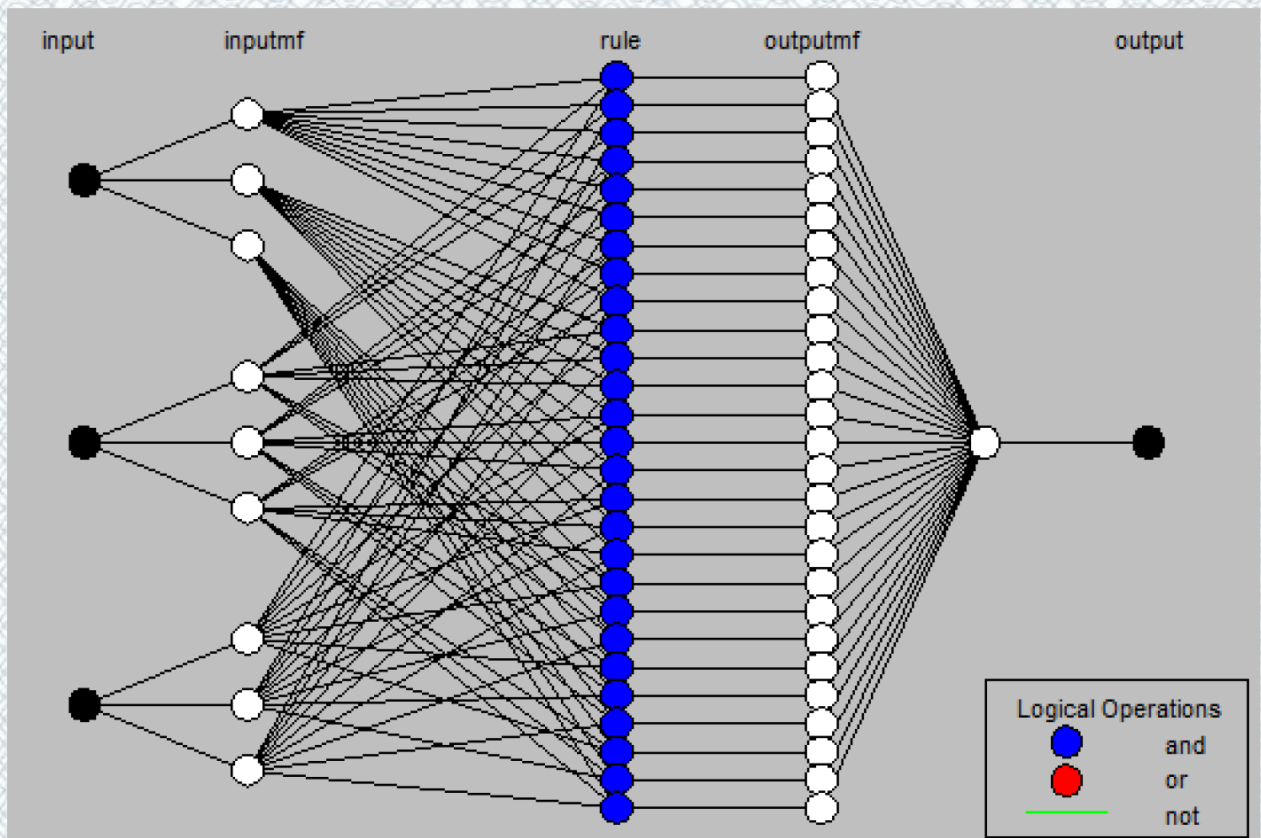


Рисунок 2.2 – Приклад нейро-нечіткої мережі сформованої в редакторі ANFIS

$$\mu_j(x_i) = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x_i - c_{ij}}{\sigma_{ij}}\right)^2\right), \quad (2.1)$$

де $\mu_j(x_i)$ – функція належності нечіткої множини a_{ij} ;

c_{ij} та σ_{ij} – коефіцієнт концентрації та координата максимуму – параметри функції належності.

Кількість вузлів другого шару є рівним кількості правил нечіткої бази знань Сугено [50]. Кожен вузол другого шару з'єднаний з такими вузлами першого шару, які утворюють антецеденти відповідного правила. Ступінь виконання вкладеного у вузол правила τ_r є виходом вузла, вона дорівнює добутку вхідних сигналів.

Усі вузли третього шару визначають відносну ступінь виконання відповідного нечіткого правила τ_r^* (залежність (2.2)). У вузлах четвертого шару визначаються вклади нечітких правил у вихід мережі φ .

$$\varphi_r = \tau_r^* \cdot (b_{0,r} + b_{1,r} \cdot jq + b_{2,r} \cdot N + b_{3,r} \cdot V + b_{4,r} \cdot BS), \quad (2.2)$$

де $b_{q,r}$ – коефіцієнти функції консеквентів r -го правила ($r = 1, 2, \dots, m$; $q = 0, 1, 2, 3, 4$).

Єдиний вузол п'ятого шару здійснює агрегування вкладів усіх правил

$$\varphi = \varphi_1 + \dots + \varphi_j + \dots + \varphi_m. \quad (2.3)$$

Всі фактори впливу на коефіцієнт зчеплення (табл. 2.1) розглядаються як лінгвістичні змінні, що визначені на відповідних універсальних множинах. Їх оцінення здійснюється за допомогою нечітких термів.

Таблиця 2.1 – Фактори впливу на коефіцієнт зчеплення [47]

Фактор	Універсальна множина	Терми для оцінок
1	2	3
Q – інтегральний показник «тип шин – дорога» (integrated indicator "type of tires - road")	(0 - 9) у.о.	низький (Q_1), нижче середнього (Q_2), середній (Q_3), вище середнього (Q_4), високий (Q_5)
S – ступінь проковзування шини (slippage)	(0 - 100) %	кочення з проковзуванням (S_1), юз (S_2)

Продовження табл. 2.1

1	2	3
H – зношеність шини (wear)	(0 - 100) %	нова (H_1), в межах допустимого (H_2), зношена (H_3)
P – тиск в шині (pressure)	(50 - 150) %	понижений (P_1), нормальний (P_2), підвищений (P_3)
N – навантаження на колесо (load)	(0 - 100) %	без навантаження (N_1), середнє (N_2), повне (N_3)
V – швидкість автомобіля (car speed)	(0 - 130) км/год	низька (V_1), нижче середньої (V_2), середня (V_3), вище середньої (V_4), висока (V_5)

Рекомендації для оцінки інтегрального показника «шини – дорога» Q надані в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Рекомендації для оцінки інтегрального показника Q [47]

Дорожнє покриття		Показник Q для типу шин (T)		
Тип (D_1)	Стан (D_2)	Високого тиску	Низького тиску	Високої прохідності
1	2	3	4	5
Асфальтобетонне, цементобетонне	Сухе	5.63 – 7.88	7.88 – 9	7.88 – 9
	Зволожено дощем	3.1 – 4.33	4.33 – 4.95	4.33 – 4.95

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4	5
Асфальтобетонне, цементобетонне	Мокре	3.94 – 5.06	5.06 – 6.19	5.63 – 6.75
	Покрите грязю	2.81 – 5.06	2.81 – 4.5	2.81 – 5.06
	Мокрий сніг ($t > 0^{\circ}\text{C}$)	2.1 – 3.4	2.1 – 4.2	2.1 – 4.2
	Ожеледиця ($t < 0^{\circ}\text{C}$)	0.9 – 1.69	1.13 – 2.25	0.56 – 1.13
Булижне	Сухе	4.5 – 5.63	5.63 – 6.19	6.75 – 7.88
	Мокре	2.7 – 3.75	3.75 – 4.43	4.5 – 6.19
Щебеневе	Сухе	5.63 – 6.75	6.75 – 7.88	6.75 – 7.88
	Мокре	3.38 – 4.5	4.5 – 5.63	4.5 – 6.19
Грунтова дорога	Суха	4.5 – 5.63	5.63 – 6.75	5.63 – 6.75
	Зволожена дощем	2.25 – 4.5	3.38 – 5.06	3.94 – 5.63
	В період роздоріжжя	1.68 – 2.81	1.68 – 2.81	2.25 – 3.38
Цілина літом: Пісок	Сухий	2.25 – 3.38	2.48 – 4.5	2.25 – 3.38
	Вологий	3.94 – 4.5	4.5 – 5.63	4.5 – 5.63
Цілина літом: Суглинок	Сухий	4.5 – 5.63	5.06 – 6.19	4.5 – 5.63
	Зволожений до пластичного стану	2.25 – 4.5	2.81 – 4.5	3.38 – 5.06
	Зволожений до текучого стану	1.69 – 2.25	1.69 – 2.81	1.69 – 2.81
Цілина зимою: сніг	Рихлий	2.25 – 3.38	2.25 – 4.5	2.25 – 4.5
	Втоптаний	1.69 – 2.25	2.25 – 2.81	3.38 – 5.63

Правила нечіткого логічного висновку «якщо-то» були сформовані в нейро-нечіткому редакторі ANFIS обчислювального середовища Matlab в автоматичному режимі.

2.3 Загальний алгоритм моделювання величини коефіцієнта зчеплення, що реалізується в умовах експлуатації

Алгоритм визначення коефіцієнта зчеплення в загальному випадку зводиться до виконання таких кроків:

1. Визначення типу і стану дорожнього покриття, типу шин.
2. Оцінювання величини інтегрального показника «шини – дорога» Q на основі рекомендацій, представлених у додатку 1.
3. Оцінювання остаточної висоти протектора шин, яка визначає відсоток їх зношення.
4. Вимірювання тиску в шинах.
5. Виходячи з технічної характеристики ТЗ встановлення конструктивних особливостей його гальмівної системи та аналіз слідів гальмування (з метою визначення ступеня проковзання шин).
6. Визначення навантаження на колесо.
7. Визначення величини початкової швидкості гальмування, км/год.
8. На основі залежностей (2.1)-(2.3) виконання моделювання за допомогою розробленої нейро-нечіткої системи оцінювання коефіцієнта зчеплення коліс автомобіля з дорожнім покриттям у середовищі Matlab (див. п. 2.2).

Даний алгоритм може скорочуватися у разі обґрунтованого використання неповного переліку обраних факторів та за умови забезпечення необхідної точності моделювання. Дослідженню таких обставин присвячено третій розділ даного наукового дослідження.

2.4 Методика обробки та обчислення похибок результатів непрямих вимірювань параметрів для автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод

Багато фізичних величин важко виміряти безпосередньо, тому їх визначення включає два різних етапи. Спочатку вимірюють величини x_i , що функціонально пов'язані з величиною X , яка вимірюється, залежністю

$$X = f(x_1, \dots, x_m), \quad (2.4)$$

а потім шукане значення величини X розраховують, тобто непрямим шляхом. Функціональна залежність (2.4) повинна бути встановлена експериментально або має бути відомою з теоретичних передумов. Результати вимірювання аргументів x_i та оцінки похибок аргументів можна отримати з непрямих, прямих, сумісних вимірювань, результатів взятих з довідкової чи наукової літератури, технічної документації. Загальний підхід до оброблення непрямих вимірювань [41, 43, 52, 53] визначає, що аргументи, впливові на вимірювану величину, та оцінки їх похибок, отримуються з непрямих, прямих, сумісних вимірювань, а відомі систематичні похибки результатів вимірювань аргументів виключені.

Розрахунки, що виконуються при експертизі ДТП, як правило, є непрямими вимірюваннями. Так, щоб визначити зупиночний шлях автомобіля, необхідно шляхом вимірювань отримати дані про час реакції водія, часові параметри спрацьовування гальмівної системи, швидкість автомобіля до початку гальмування, коефіцієнт зчеплення коліс автомобіля з дорожнім покриттям.

Результатом непрямого вимірювання є оцінка величини X , яку знаходять шляхом підстановки у вираз (2.4) результатів вимірювання аргументів x_i . Оскільки кожен з аргументів x_i вимірюється з певною похибкою, задача

оцінювання похибки результату зводиться до додавання похибок вимірювання аргументів. Особливість непрямих вимірювань полягає в тому, що вклад окремих похибок вимірювання аргументів в похибку результату і правила їх додавання залежать від виду функції (2.4).

Для оцінювання похибок істотним є поділ непрямих вимірювань на лінійні та нелінійні непрямі вимірювання.

Для лінійних непрямих вимірювань рівняння вимірювань має вид

$$X = \sum_{i=1}^m a_i x_i, \quad (2.5)$$

де a_i – постійні коефіцієнти при аргументах x_i .

Будь-які інші функціональні залежності (2.4) відносять до нелінійних непрямих вимірювань.

Результат лінійного непрямого вимірювання обчислюють за формулою (2.5), шляхом підстановки в неї вимірних значень аргументів. Похибки вимірювання аргументів можна задати своїми границями Δx_i або довірчими границями $\Delta x(P)_i$ з довірчими ймовірностями P_i .

При малому числі аргументів (менше 5) проста оцінка похибки результату ΔX отримується шляхом додавання граничних похибок (без врахування знаку), тобто підстановкою границь $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_m$ у вираз

$$\Delta X = \pm(\Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_m). \quad (2.6)$$

Зі збільшенням числа аргументів ця оцінка стає надто завищеною, оскільки таке додавання фактично передбачає, що похибки вимірювання усіх аргументів одночасно мають максимальне значення і співпадають за знаком. Ймовірність такого співпадання практично дорівнює нулю, хоча можна гарантувати, що

похибка визначена за (2.6) є максимально можливою. Для знаходження більш реалістичної оцінки переходять до статистичного додавання похибки аргументів. Якщо в заданих межах похибки аргументів розподілені рівномірно, довірчі границі $\Delta X(P)$ похибки результату вимірювання визначаються за формулою

$$\Delta X(P) = k \sqrt{\sum_{i=1}^m a_i^2 \cdot \Delta x_i^2}, \quad (2.7)$$

де k – коефіцієнт, який визначається прийнятою довірчою ймовірністю P (при $P = 0,95$ $k = 1,1$) [52].

Якщо похибки вимірювання аргументів задані довірчими границями з однаковими довірчими ймовірностями P , то вважаючи розподіл цих похибок нормальним, довірчі границі результату знаходять за формулою

$$\Delta X(P) = \sqrt{\sum_{i=1}^m a_i^2 \cdot [\Delta x_i(P)]^2}. \quad (2.8)$$

Якщо довірчі ймовірності похибок аргументів різні, їх необхідно привести до одного значення P .

Особливістю нелінійних непрямих вимірювань є те, що результати вимірювань аргументів піддаються функціональним перетворенням, які у випадку роботи з випадковими величинами призводять до зміни законів їх розподілу [41, 53].

Результат вимірювання X , як і при лінійних непрямих вимірюваннях, отримують з виразу (2.4). Якщо функція (2.4) є складною, знаходження закону похибки результату може мати значні математичні ускладнення. Тому при нелінійних непрямих випробуваннях відмовляються від використання

інтервальних оцінок похибки результату і обмежуються наближеною верхньою оцінкою її границь. В основі наближеного оцінювання похибки нелінійних непрямих вимірювань лежить лінеаризація функції (2.4) і подальша обробка результатів, як при лінійних вимірюваннях.

Метод лінеаризації передбачає розкладання нелінійної функції в ряд Тейлора

$$f(x_1, \dots, x_m) = f(\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_m) + \sum_{i=1}^m \frac{df}{dx_i} \Delta x_i + R, \quad (2.9)$$

де x_i – результат вимірювання i -го аргументу;

Δx_i – відхилення результату вимірювання аргументу від його середнього арифметичного;

R – остаточно член ряду.

Якщо остаточно член R достатньо малий, то ним можна знехтувати і оцінити похибку як при лінійному непрямому вимірюванні. Розглянемо цей випадок докладніше.

Вираз для повного диференціалу функції (2.4) має вигляд

$$dX = \frac{\partial X}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial X}{\partial x_2} dx_2 + \dots + \frac{\partial X}{\partial x_m} dx_m. \quad (2.10)$$

За визначенням повний диференціал функції – це приріст функції, визваний малими приростами її аргументів.

Якщо похибки вимірювання аргументів є малими величинами порівняно з номінальними значеннями аргументів, то можна замінити диференціали аргументів dx_i в (2.10) на похибки вимірювань Δx_i , а диференціал функції dX на похибку результату вимірювання ΔX

$$\Delta X = \frac{\partial X}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial X}{\partial x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial X}{\partial x_m} \Delta x_m. \quad (2.11)$$

Вважаючи, що розподіл похибок аргументів підлягає рівномірному закону, при числі доданків $m < 5$ границі похибки результату можна визначити за формулою (2.6). В тому випадку, коли похибки аргументів задані їх границями Δx_i чи довірчими границями, оцінку похибки результату визначають за (2.7) або (2.8). В обох випадках роль коефіцієнтів a_1, a_2, \dots, a_m виконують частинні похідні $\frac{\partial X}{\partial x_i}$.

Застосувавши формулу (2.11), отримуємо декілька простих правил оцінювання похибки результату непрямого вимірювання.

Правило 1. Похибки в доданках і різницях. Якщо x_1 та x_2 виміряні з похибками Δx_1 та Δx_2 і виміряні значення використовуються для обчислення суми чи різниці $X = x_1 \pm x_2$, то додаються абсолютні похибки (без врахування знаку): $\Delta X = \Delta x_1 + \Delta x_2$. Тоді границі похибки будуть $\pm \Delta X$.

Правило 2. Похибки в добутках і частках. Якщо виміряні значення x_1 та x_2 використовуються для обчислення $X = x_1 \cdot x_2$ чи $X = x_1 / x_2$, то додаються відносні похибки $\delta X = \delta x_1 + \delta x_2$, де $\delta x = \Delta x / x$.

Правило 3. Виміряна величина множиться на точне число. Якщо x використовується для обчислення добутку $X = A \cdot x$, в якому A не має похибки, то $\delta X = |A| \cdot \delta x$.

Правило 4. Піднесення до ступеня. Якщо x використовується для обчислення ступеня $X = x^n$, то $\delta X = n \cdot \delta x$.

Правило 5. Похибка у довільної функції однієї змінної. Якщо x використовується для обчислення функції $X = f(x)$, то $\delta X = \frac{dX}{dx} \delta x$.

Використання правил дозволяє отримати не дуже завищену оцінку граничної похибки результату нелінійного непрямого вимірювання для числа аргументів $m < 5$. Якщо відомо, що похибки вимірювання аргументів незалежні, то для оцінювання похибки результату доцільно скористатися квадратичним додаванням.

Будь-який розрахунок похибки можна виконати шляхом послідовних кроків за допомогою вищевказаних правил.

Якщо неможливо зробити припущення про те, що похибки вимірювання аргументів малі порівняно з їх середніми значеннями, обробку результатів необхідно виконувати за більш складним алгоритмом, який враховує нелінійність функції (2.4). Хоча навіть у випадку великих похибок аргументів метод лінеаризації дозволяє оцінити порядок похибки результату (з меншою точністю) і судити про його невизначеність.

Висновки до розділу 2

1. Коефіцієнт зчеплення шини з дорогою, який визначає межу гальмівних властивостей автомобіля, може змінюватися приблизно у 10 разів від значення, близького до 1 на шорсткуватій поверхні, до 0,1 і менше на зледенілій поверхні. Серед факторів впливу на коефіцієнт зчеплення найбільш впливовими можна визнати: тип і стан дорожнього покриття; швидкість автомобіля при гальмуванні; навантаження на колесо; ступінь проковзування шини; зношеність шини; тиск в шині.

2. Оцінити коефіцієнт зчеплення в умовах невизначеності можна методом ідентифікації нелінійних об'єктів нечіткими базами знань в нейро-нечіткому редакторі Anfis пакета Fuzzy Logic Toolbox обчислювального середовища Matlab. При цьому побудова математичних моделей повинна здійснюватись в два етапи: структурна ідентифікація; параметрична ідентифікація.

3. Формування вихідних даних для моделювання повинно здійснюватись з урахуванням методики обчислення похибок та обробки результатів непрямих вимірювань параметрів для автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод, представленої в п. 2.4.



РОЗДІЛ 3.

МОДЕЛЮВАННЯ ВЕЛИЧИН КОЕФІЦІЄНТА ЗЧЕПЛЕННЯ В ОБЧИСЛЮВАЛЬНОМУ СЕРЕДОВИЩІ MATLAB

3.1 Експериментальне дослідження ефективності гальмування транспортних засобів категорії М1 в умовах експлуатації та формування вихідних даних для моделювання

Мета експерименту полягає в отриманні статистичного матеріалу, необхідного для перевірки адекватності запропонованих математичних моделей та підтвердження висунутих теоретичних положень.



Досліджувані показники за видами випробувань та відповідна вимірювальна апаратура представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Досліджувані показники та засоби їх вимірювання

Вид випробування	Показники, що підлягали фіксації	Вимірювальна апаратура та допоміжні засоби
Інерційне оцінювання взаємодії автомобільних шин з дорогою при екстремому гальмуванні ТЗ	Тип і стан дорожнього покриття, тип і стан шин, тиск в шині, навантаження на колесо, початкова швидкість гальмування ТЗ, конструкція гальмівної системи ТЗ (наявність ABS, BA), усталене сповільнення ТЗ, наявні сліди гальмування	Деселерометри МАНА VZM 100, МАНА VZM 300

Технічні параметри вимірювальної апаратури, що використовувалась під час експериментальних досліджень наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Технічна характеристика деселерометрів

Прилад/Параметр	МАНА VZM 100	МАНА VZM 300
Загальний вигляд		
Країна виробник	Німеччина	Німеччина
Діапазон вимірювань	від 0 до 10 м/с ²	від 0 до 22 м/с ²
Похибка вимірювань	± 0.1 м/с ²	± 0.1 м/с ²
Максимальна величина вимірюваної сили на педалі гальм	1.0 кН	1.0 кН
Максимальна швидкість «кльовка»	30 град/с	40 град/с
Кількість вимірювань в пам'яті	1-6	7-14
Запис величин вимірювання	60 Гц	100 Гц
Робоча температура	від -10 до +50 °С	від 0 до +50 °С
Вага	1100 г	1000 г
Габарити приладу	245 x 120 x 65 мм	260 x 124 x 60 мм
Кількість випробувань при повній зарядці батареї живлення	близько 30 з врахуванням друку результатів	близько 50 з врахуванням друку результатів
Джерело живлення	NiHM 6В/1.2 А·год 230В/9В AC 12В DC	NiHM 6В/1.8 А·год 230В/15В AC 12/24В DC

Експериментальні дослідження проводились у такій послідовності:

- обґрунтування переліку вимірюваних показників;
- вибір обладнання та вимірювальної апаратури;
- вибір режимів випробувань в дорожніх умовах;
- вимірювання обраних показників.

Отримані результати вимірювання сповільнення ТЗ (рис. 3.1-3.4, табл. 3.3) при екстремому гальмуванні разом з частиною експериментальних даних [27] було об'єднано в одну базу, яка має характеристики подані в таблиці 3.4.

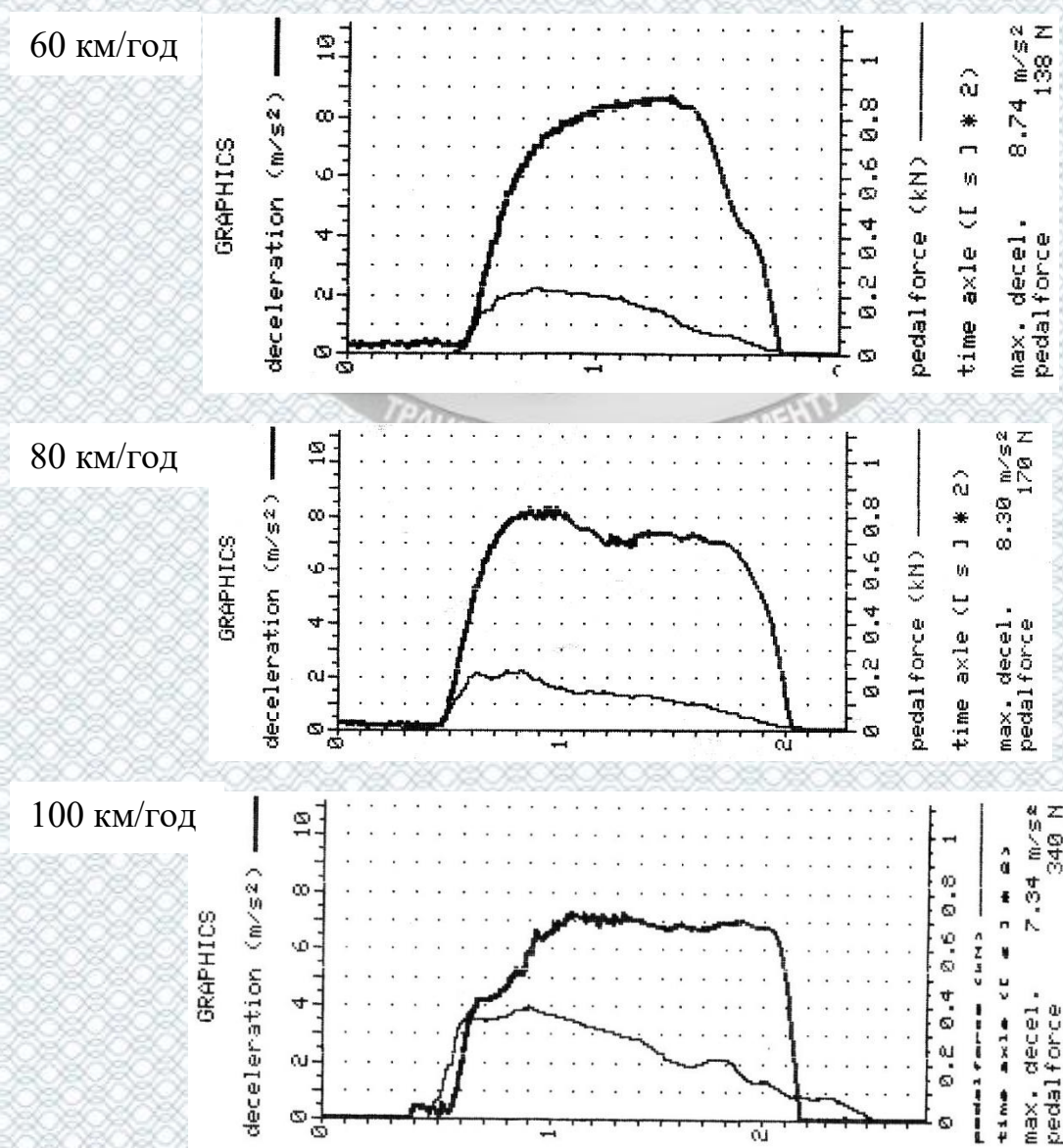


Рисунок 3.1 – Приклади діаграм випробувань Daewoo Lanos, зафіксованих приладом VZM 100 для швидкостей 60, 80 та 100 км/год

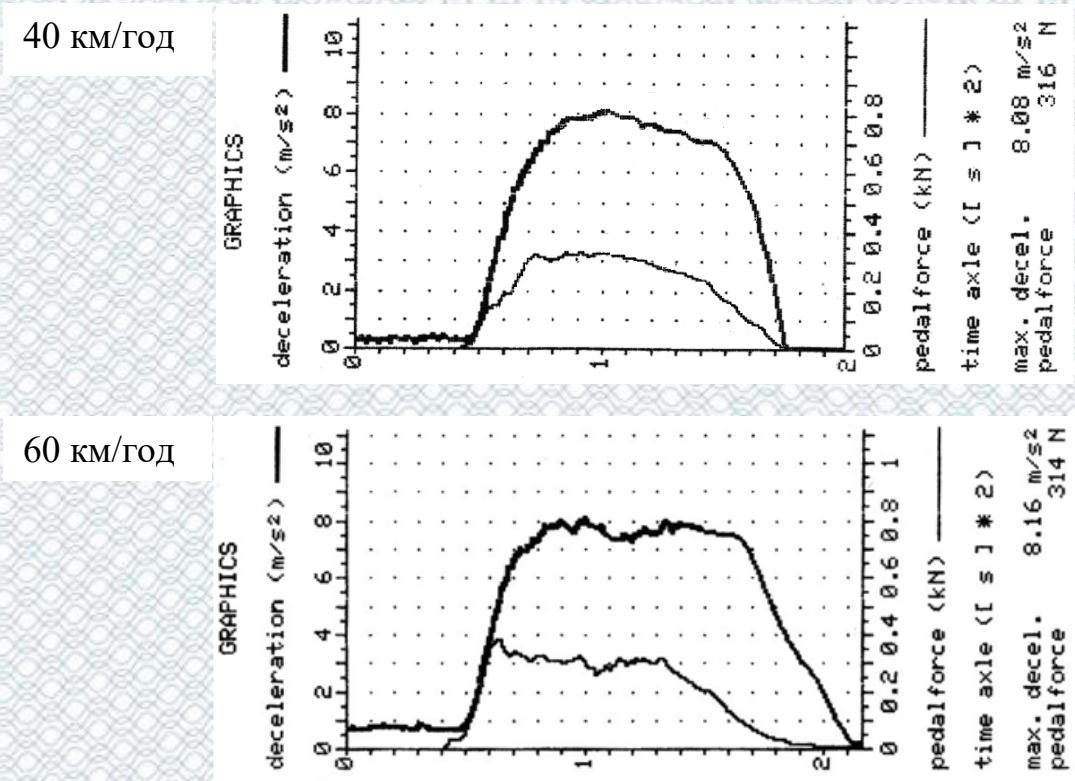
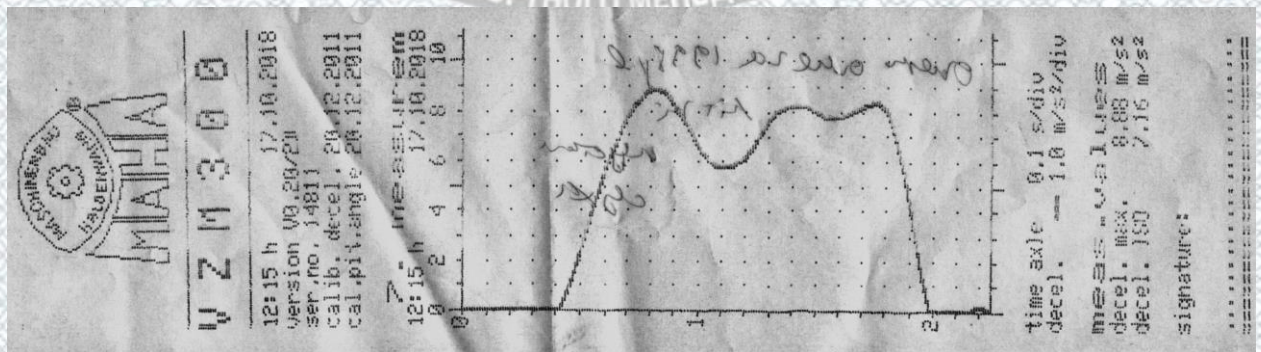
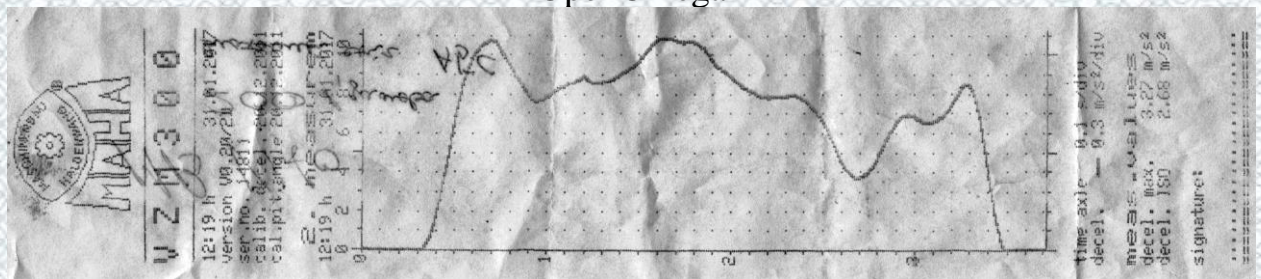


Рисунок 3.2 – Приклади діаграм випробувань Mercedes Benz 212D, зафіксованих приладом VZM 100 для швидкостей 40, 60 км/год



Opel Omega



Mercedes-Benz Vito

Рисунок 3.3 – Приклади діаграм випробувань, зафіксованих VZM 300



Рисунок 3.4 – Одні з багатьох ТЗ, що були задіяні у випробуваннях ефективності гальмівних систем

Таблиця 3.3 – Експериментальні дані (фрагмент) з визначення ефективності гальмівних систем автомобілів, отримані за участі автора

Вимірювальний прилад	Тип, марка та рік виготовлення ТЗ, встановлені шини	Покриття, стан проїзної частини, завантаженість	Тип гальмівної системи, наявність ABS, ВА	Результати вимірювання сповільнення, m/s^2
1	2	3	4	5
VZM-300	Mazda-6, 2008 р.в., зимові	Асфальтобетон, сухий, водій та 1 пас.	Гідравлічна, з гідровакуумним підсилювачем, ABS, ВА	8,58

Продовження табл. 3.3

1	2	3	4	5
VZM-300	Hyundai IX-35, 2011 р.в., літні	Асфальтобетон, сухий, водій та 1 пас.	Гідравлічна, з вакуумним підсилювачем та ABS	8,18
VZM-300	Mitsubishi lancer Sport, 2010 р.в., літні	Асфальтобетон, сухий, водій та 1 пас.	Гідравлічна, з вакуумним підсилювачем та ABS	7,91
VZM-300	Renault Scenic Grand, 2014 р.в., літні	Асфальтобетон, сухий, водій та 1 пас.	Гідравлічна, з вакуумним підсилювачем, ABS, BA	9,01
VZM-300	Mercedes-Benz 350S, 2004 р.в., літня.	Асфальтобетон, сухий, водій та 1 пас.	Гідравлічна, з вакуумним підсилювачем та ABS	7,92
VZM-300	Volkswagen Touareg, 2007 р.в., літні	Асфальтобетон, сухий, водій та 1 пас.	Гідравлічна, з гідровакуумним підсилювачем та ABS	8,51
VZM-300	BMW-116i, 2012 р.в., шини літні.	Асфальтобетон, сухий, без вантажу та пасажирів	Гідравлічна, з гідровакуумним підсилювачем та ABS	8,10
VZM-100	Daewoo Lanos 2007 р.в., літні	асфальтобетон, сухий, без вантажу	Гідравлічна, з підсилювачем, ABS	8,52
VZM-100	Mercedes Benz 212D літні	асфальтобетон, сухий, без вантажу	Гідравлічна, з підсилювачем, ABS	8,48
VZM-100	Skoda Octavia, 2008 р.в, зимові	вкатаний сніг, без вантажу	Гідравлічна, з підсилювачем, ABS	3,50

Таблиця 3.4 – База даних, отримана за результатами проведених натурних експериментальних досліджень

φ	Q	S	H	P	N	V
1	2	3	4	5	6	7
0,69	6,15	20	62	0,2	15	20
0,45	4,45	100	65	0,2	15	60
0,47	4,7	100	65	0,18	20	100
0,43	3,4	10	15	0,17	95	120
0,42	3,7	64	95	0,25	45	72
0,82	7,9	34	21	0,27	17	15
0,81	8,1	67	72	0,25	20	58
0,76	7,4	25	20	0,14	15	15
0,9	8,6	40	75	0,18	20	45
0,42	3,9	100	35	0,29	45	110
0,88	8,9	25	70	0,19	60	90
0,6	5,3	30	5	0,26	90	35
0,82	8,6	80	20	0,2	15	20
0,7	6,15	30	62	0,2	15	40
0,68	6,3	100	65	0,18	20	20
0,22	1,7	100	65	0,18	20	60
0,88	8,5	15	25	0,18	65	78
0,54	4,5	32	75	0,19	90	80
0,81	7,5	25	25	0,18	71	67
0,35	2,6	65	50	0,16	60	55
0,53	5	70	20	0,17	100	25
0,16	0,7	100	75	0,18	20	10
0,92	8,6	20	10	0,2	15	30
0,45	4,45	100	65	0,2	15	20
0,67	6,3	100	65	0,18	20	60
0,56	5,6	100	75	0,2	25	100
0,39	2,9	20	25	0,24	51	68
0,37	2,85	56	75	0,29	40	40
0,58	5,5	53	98	0,18	100	35
0,58	5,2	18	20	0,17	38	129
0,77	8,2	15	10	0,2	100	115

Продовження табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7
0,77	8,3	100	30	0,17	80	40
0,93	8,8	15	55	0,21	62	32
0,57	5	37	15	0,18	17	25
0,71	6,8	70	28	0,16	90	52
0,8	7,3	21	37	0,2	50	65
0,69	6,7	80	75	0,12	56	62
0,48	4,8	100	20	0,23	10	80
0,37	3,3	50	90	0,3	50	85
0,35	2,1	20	55	0,23	70	40
0,95	8,8	20	10	0,2	0	10
0,67	6,15	100	62	0,2	15	60
0,89	8,3	20	15	0,18	20	40
0,74	7,2	70	70	0,19	15	60
0,3	1,7	35	30	0,16	74	34
0,75	6,5	20	30	0,22	20	94
0,22	1,3	72	35	0,15	70	53
0,33	2,25	62	21	0,31	85	64
0,44	4,3	90	10	0,13	10	80
0,95	8,9	18	5	0,22	10	10
0,77	8,6	100	62	0,2	15	80
0,86	8,2	30	45	0,2	15	40
0,46	4,7	100	65	0,18	20	20
0,23	0,9	60	10	0,14	100	20
0,57	5,2	51	70	0,22	38	97
0,27	2,3	100	62	0,21	35	70
0,39	3,2	44	55	0,23	10	40
0,59	5,8	100	5	0,22	100	35
0,26	1,5	25	68	0,14	35	30
0,52	5,4	87	60	0,25	75	40
0,71	6,9	80	4,5	0,16	30	50
0,39	2,8	30	95	0,24	35	60
0,92	8,55	20	20	0,21	0	37
0,87	8,23	25	10	0,18	10	55

3.2 Оцінювання інформативності факторів, які впливають на коефіцієнт зчеплення, засобами Fuzzy Logic Toolbox

Застосування ANFIS для прогнозування величини коефіцієнта зчеплення дозволяє застосувати засоби теорії нечітких множин та нейронних мереж [46, 49-51] для розв'язання типової задачі нелінійного регресійного аналізу. Прогнозування здійснювалось за параметрами, представленими в табл. 2.1. Експериментальні дані (таблиця 3.4) були записані у файл auto-gas.dat.

Для побудови моделі прогнозування коефіцієнта зчеплення експериментальні дані було розділено на навчальну та тестову вибірки.

Вибір найкращого набору входних змінних здійснювався за допомогою функції `exhsrch`. З метою скорочення часу перебору можливих варіантів, нечіткі моделі з різними входами навчалися за одну ітерацію ANFIS-алгоритма.

З початку була виконана процедура оцінювання інформативності параметрів впливу на коефіцієнт зчеплення на основі грубих моделей «вхід-вихід». Результати тестування 6 нечітких моделей подані на рис. 3.5.

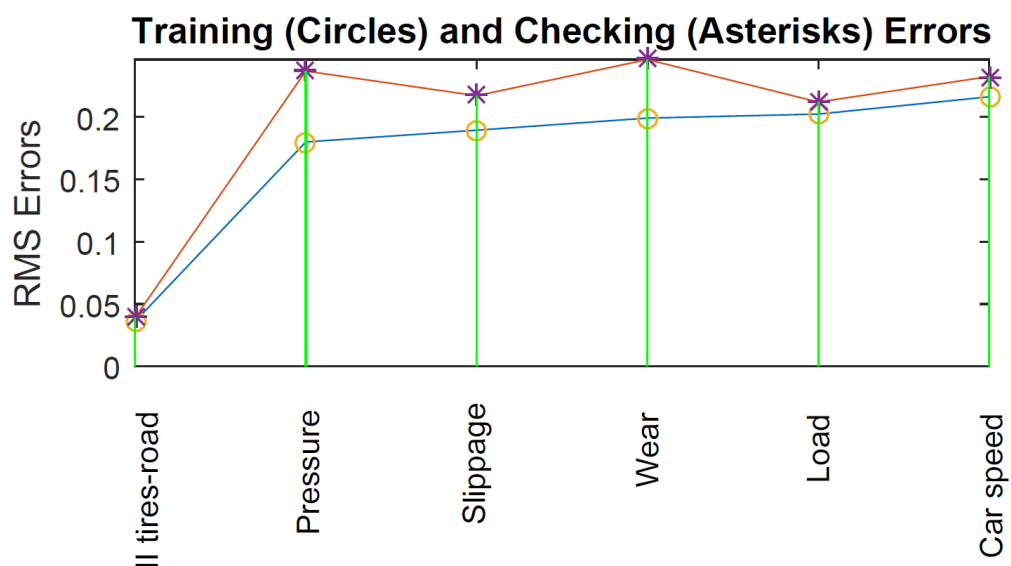


Рисунок 3.5 – Результати тестування шести однофакторних нечітких моделей оцінювання коефіцієнта зчеплення

Значення нев'язки RMSE (Root Mean Squared Error) на навчальній та тестовій вибірках позначені відповідно колами та зірочками. Чисельні значення нев'язок подані в додатку 3 в лістингу виконання програми.

Як видно з графіка (див. рис. 3.5), найбільш інформативною ознакою є інтегральний показник «тип шин – дорога», а другим за рангом – тиск. Нев'язки на навчальній та тестовій вибірках одного порядку, тому можна додати в модель ще одну вхідну змінну. Інтуїтивно можна було б обрати зазначені вище дві змінні, оскільки для них значення похибок навчання мінімальні. Проте такий директивний підхід не гарантує, що обрана ANFIS-модель з двома входами забезпечить максимальну точність прогнозування.

Результати оцінювання інформативності 15 пар вхідних змінних подані на рис. 3.6.

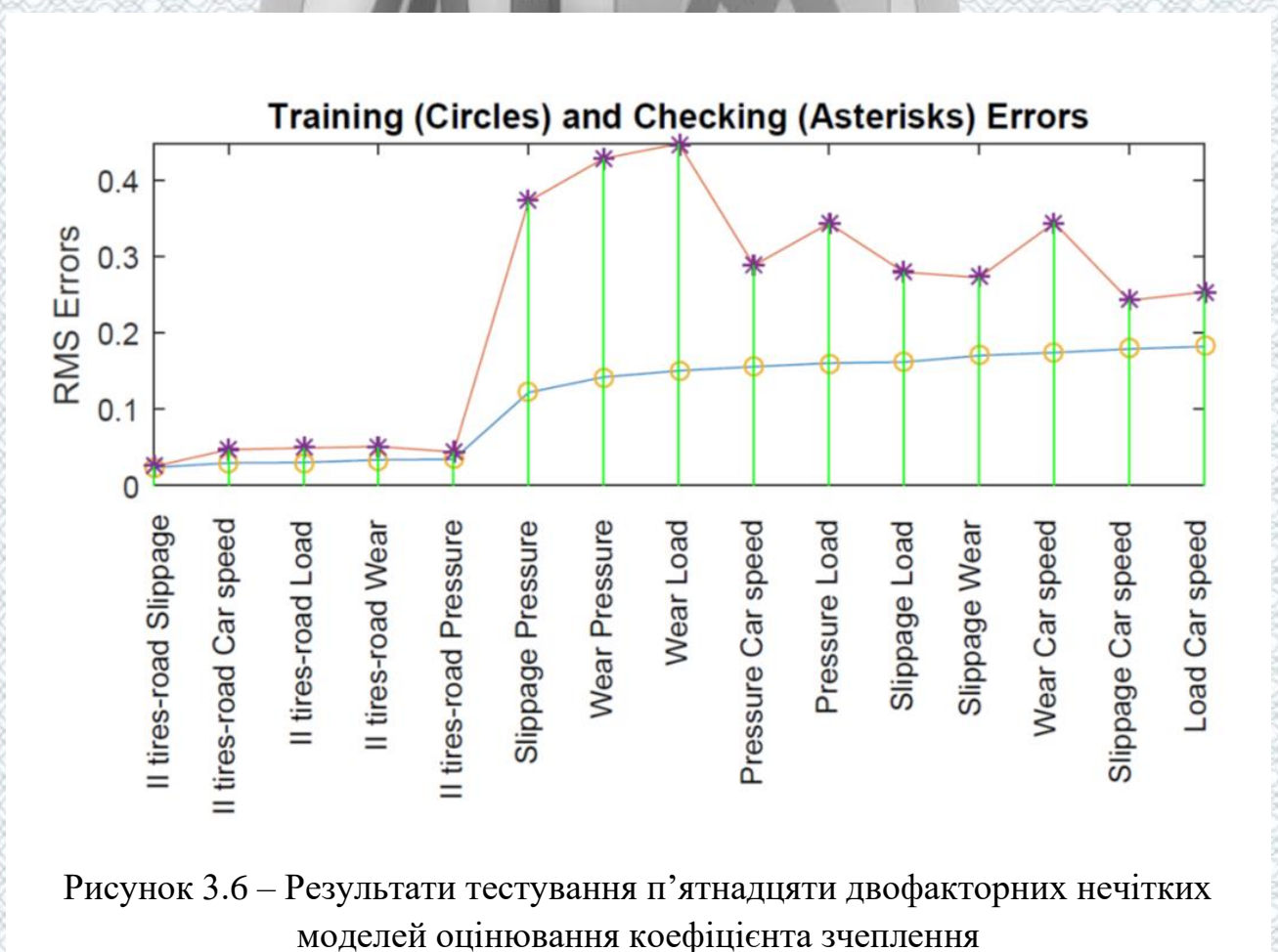


Рисунок 3.6 – Результати тестування п'ятнадцяти двофакторних нечітких моделей оцінювання коефіцієнта зчеплення

Як видно з рис. 3.6, найбільш інформативною парою ознак є «вхід-вихід» є інтегральний показник «тип шин – дорога» та ступінь проковзування шини. Також не погані результати, але з дещо більшою похибкою дають пари інтегрального показника «тип шин – дорога» з швидкістю автомобіля, навантаженням на колесо, зношеністю шини та тиском в шині. Далі різниця на навчальній і тестовій вибірках значно зростає, що говорить про наближення ефекту переускладнення моделі.

Результати оцінювання інформативності трійок вхідних змінних при тестуванні 20 синтезованих моделей «три входи – вихід» подані на рис. 3.7.

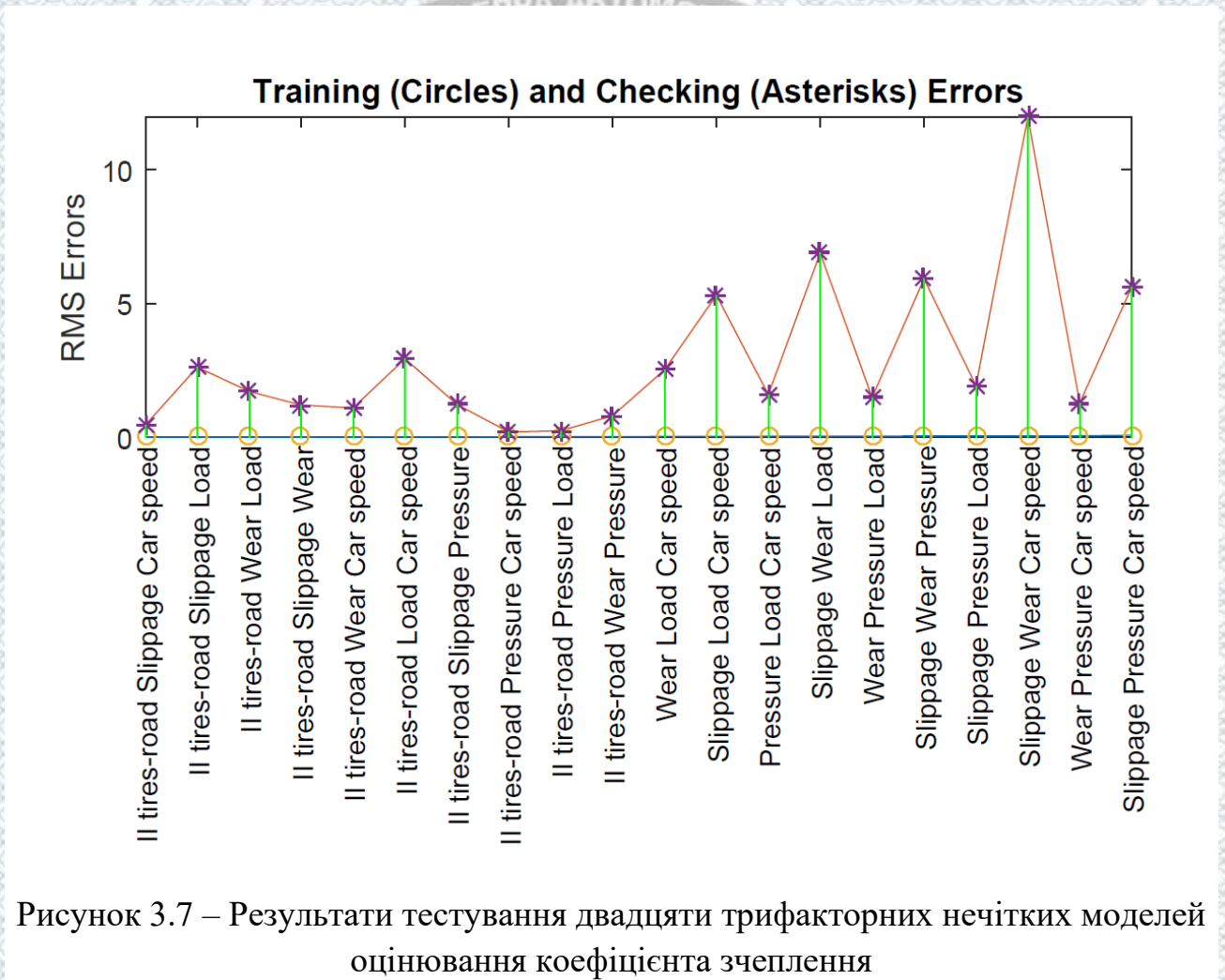


Рисунок 3.7 – Результати тестування двадцяти трифакторних нечітких моделей оцінювання коефіцієнта зчеплення

Найкраще прогнозування забезпечує модель з такими вхідними параметрами: інтегральний показник «тип шин – дорога», ступінь проковзування

шини та початкова швидкість гальмування автомобіля. Мінімальні нев'язки на навчальній та тестовій вибірках суттєво не зменшилися порівняно з найкращою моделлю «два входи – вихід». Це означає, що додавання ще однієї вхідної змінної до пари інтегральний показник «тип шин – дорога» та ступінь проковзування шини не дуже підвищить точність прогнозування величини коефіцієнта зчеплення. З метою забезпечення кращих узагальнюючих властивостей надається перевага використанню більш простих моделей, тому для подальших досліджень обирається модель «два входи – один вихід».

3.3 Навчання та аналіз параметрів оптимальної ANFIS-моделі

Для кращої ANFIS-моделі «два входи – один вихід» («тип шин – дорога», ступінь проковзування шини – коефіцієнт зчеплення) значення RMSE на навчальній та тестовій вибірках дорівнює 0.0231 та 0.0243 відповідно (див. табл. 3.4). Для порівняння, звичайна лінійна модель, яка враховує вплив усіх обраних факторів (див. табл. 2.1), забезпечує значення RMSE 0.0324 та 0.0347 на навчальній та тестовій вибірках відповідно.

Результати навчання обраної двофакторної моделі подані на рис. 3.8.

На попередніх етапах моделі-кандидати навчались за допомогою функції `exhsrch` лише протягом однієї ітерації ANFIS-алгоритму. Це було зроблено для швидкого вибору доцільної множини вхідних змінних. Тепер, коли вхідні змінні обрані, можна потратити більше часу для навчання. Рис. 3.5 ілюструє динаміку навчання нечіткої моделі у вигляді залежностей помилок навчання (нижня крива) та помилок тестування (верхня крива) від кількості ітерацій алгоритму. Мінімум похибки тестування досягається на 78 ітерації алгоритму. Потім похибка тестування зростає, що вказує на ефект перенавчання, тобто на втрату моделлю властивостей узагальнення. Точка мінімуму відмічена на графіку колом.

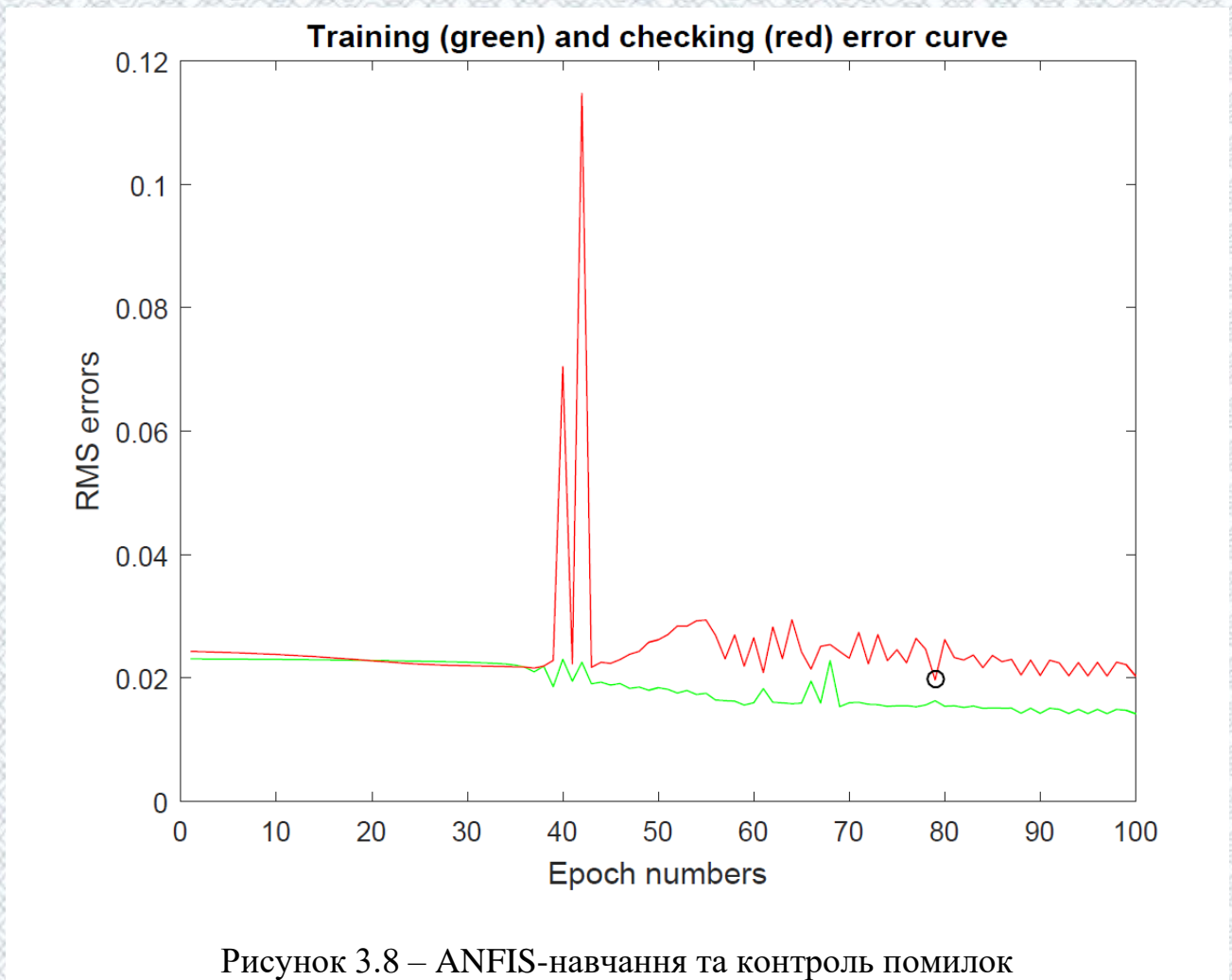


Рисунок 3.8 – ANFIS-навчання та контроль помилок

На рисунку 3.9 подана поверхня «входи – вихід» нечіткої моделі з мінімальною похибкою тестування. Для цієї моделі похибки на навчальній та тестовій вибірках дорівнюють 0.0176 та 0.02 відповідно.

При розгляді правого ближнього кута поверхні (рис. 3.9) виявляється парадоксальний ефект – максимум коефіцієнта зчеплення спостерігається при значеннях ступеня проковзання шини близьких до нуля. Така неочікувана поведінка моделі спостерігається внаслідок відсутності в навчальній вибірці даних в цій області факторного простору, що можна побачити на рис. 3.10.

При розгляді правого ближнього кута поверхні (рис. 3.9) виявляється парадоксальний ефект – максимум коефіцієнта зчеплення спостерігається при значеннях ступеня проковзання шини близьких до нуля. Така неочікувана

поведінка моделі спостерігається внаслідок відсутності в навчальній вибірці даних в цій області факторного простору, що можна побачити на рис. 3.10.

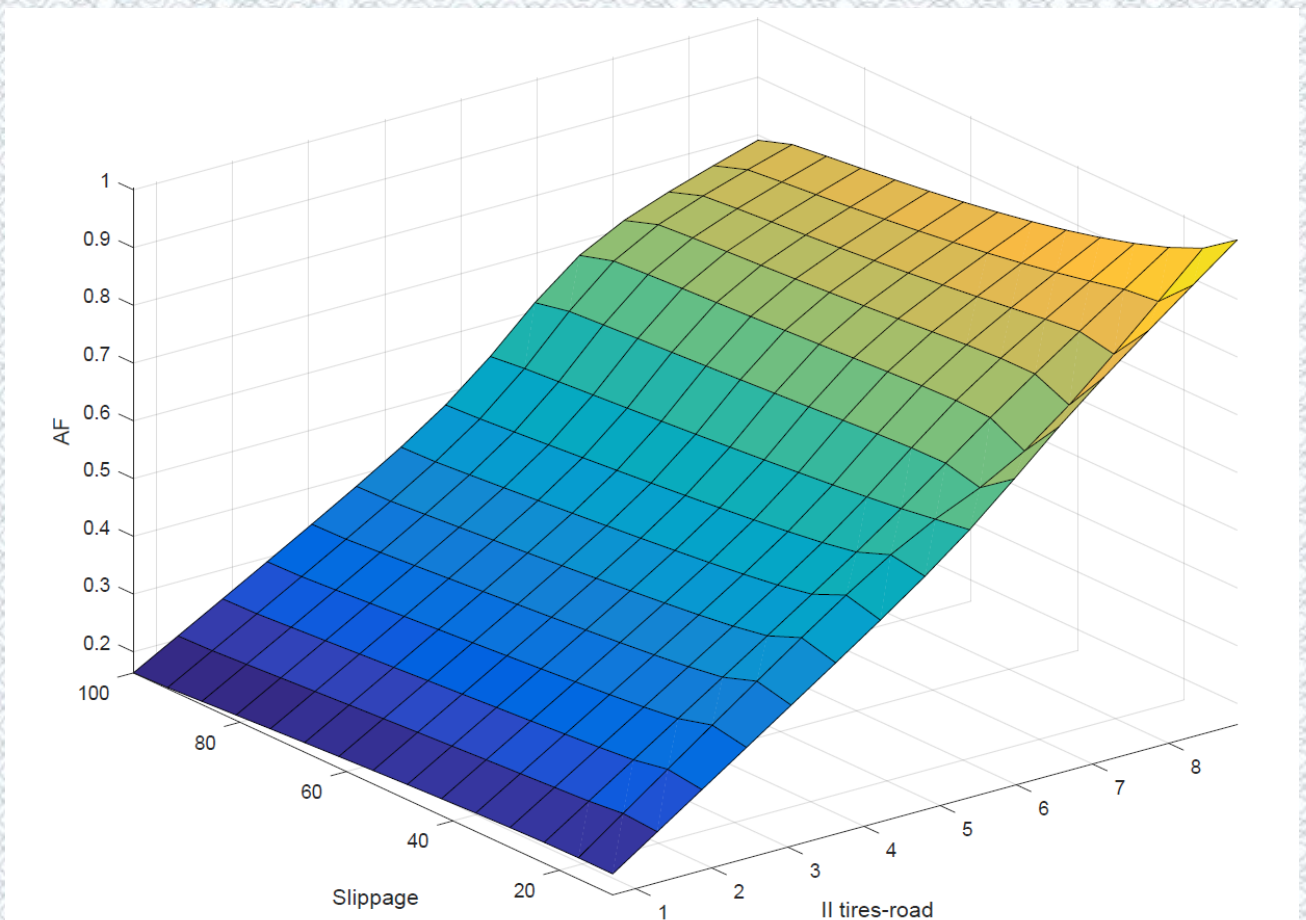


Рисунок 3.9 – Поверхня «входи – вихід» нечіткої моделі після навчання

Використовуючи моделі, синтезовані за допомогою ANFIS або за допомогою іншої технології автоматичного навчання, необхідно пам'ятати, що вони адекватно можуть описувати лише закономірності, представлені репрезентативними вибірками даних.

Отже, удосконалення існуючих підходів щодо оцінювання коефіцієнта зчеплення та показників ефективності гальмування транспортних засобів при автотехнічній експертизі ДТП в умовах наявності композиційної (стохастичної та нечіткої) невизначеності можна досягти за рахунок використання простих ANFIS-моделей, які забезпечують кращі узагальнюючі властивості. Саме тому для подальшого навчання була обрана модель «два входи – один вихід».

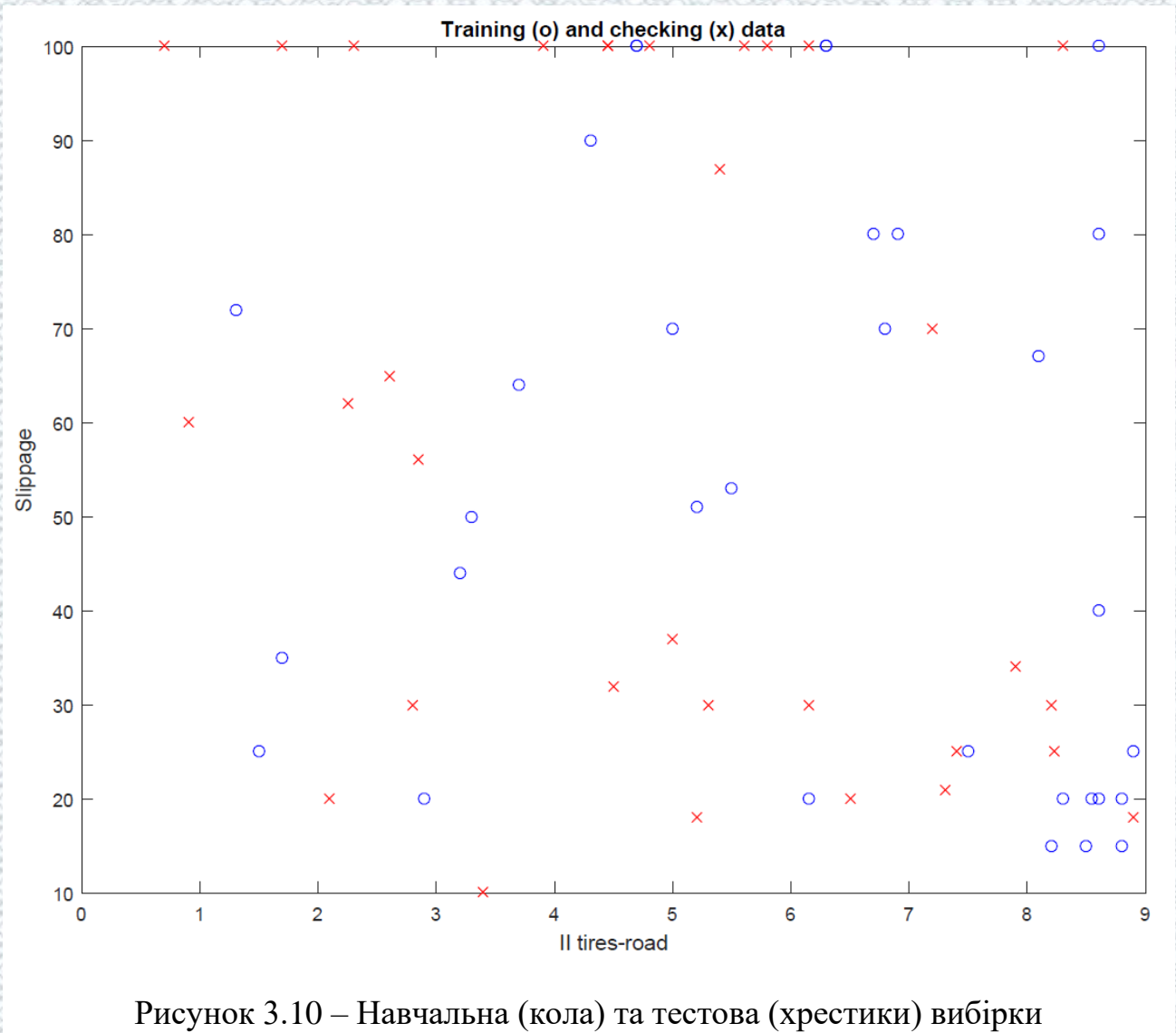


Рисунок 3.10 – Навчальна (кола) та тестова (хрестики) вибірки

Для застосування результатів виконаного дослідження на практиці при дослідженні ДТП потрібно вдосконалити існуючий протокол огляду місця ДТП, шляхом введення додаткових граф з факторами впливу на коефіцієнт зчеплення для обов'язкового заповнення на місці ДТП співробітником поліції, при відсутності детермінованих значень, потрібно надати якісний опис параметрів конкретного фактору (табл. 2.1). На базі початкових даних удосконаленого протоколу огляду місця ДТП проводити розрахунок коефіцієнта зчеплення для конкретної дорожньої обстановки з використанням розробленої експертної системи за спрощеним алгоритмом на основі інформації п. 2.3.

Висновки до розділу 3

При вирішенні задач автотехнічної експертизи ДТП прийняття рішень відбувається в умовах неповноти інформації, тобто в умовах невизначеності. В процесі прийняття рішень виникають різні види невизначеності в залежності від причин її появи: кількісна, інформаційна, вартісна, професійна, обмежувальна, зовнішнього середовища. Крім того, невизначеність може мати стохастичну або нечітку природу.

Аналіз застосування математичних методів в практиці розслідування ДТП показав, що при відсутності можливості використання традиційних математичних методів, які базуються на виявленні точних кількісних взаємозв'язків, для дослідження ДТП в умовах невизначеності доцільно застосовувати наближені методи моделювання, які засновані на нечітких (неперервних) логіках.

На основі сформованої експериментальної бази даних щодо дослідження ефективності гальмування транспортних засобів категорії М1 в умовах експлуатації було проведено оцінювання інформативності факторів, які впливають на коефіцієнт зчеплення, засобами Fuzzy Logic Toolbox обчислювального середовища Matlab. В результаті чого встановлено, що удосконалення існуючих підходів щодо оцінювання коефіцієнта зчеплення та показників ефективності гальмування транспортних засобів при автотехнічній експертизі ДТП в умовах наявності композиційної (стохастичної та нечіткої) невизначеності можна досягти за рахунок використання простих ANFIS-моделей, які забезпечують кращі узагальнюючі властивості. Саме тому для подальшого навчання була обрана модель «два входи – один вихід», яка дозволяє прогнозувати величину коефіцієнта зчеплення з похибкою в межах 2%. Однак, слід пам'ятати, що моделі, синтезовані за допомогою ANFIS або за допомогою іншої технології автоматичного навчання, можуть адекватно описувати лише закономірності, представлені репрезентативними вибірками даних.

РОЗДІЛ 4.

МЕТОДИКА І ПРАКТИКА ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ АВТОТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД

4.1 Інтегровані інформаційні системи експертних досліджень ДТП та загальні методичні підходи

Розвиток апаратної бази електронних обчислювальних машин та програмних продуктів, що використовуються в експертизі дорожньо-транспортних пригод, підвищують роль інформаційних технологій, які реалізуються в спеціалізованих програмних засобах. При цьому під інформаційною технологією в експертних дослідженнях аварійних ситуацій слід розуміти цілу сукупність взаємопов'язаних процедур обробки початкової інформації про компоненти системи водій-автомобіль-дорога-середовище [31, 42]. Взаємозв'язок елементів та адекватність інтегрованих інформаційних систем підвищення ефективності експертних досліджень ДТП обумовлюється якістю та обсягом інформації, що обробляється [3]. Комплексне застосування спеціалізованого комп'ютерного забезпечення для моделювання механізму ДТП та систем автоматизованого вимірювання та доекспертного розрахунку початкових даних можна вважати набором модулів, складених із сукупності стандартних елементів. Кожний модуль забезпечує досягнення загальної мети, виконуючи свої функції в інтегрованій системі, взаємозв'язки в якій відображає схема (рис. 4.1). На цій схемі пунктиром показані інформаційно-потоківі та суцільною лінією керуючі взаємозв'язки в інтегрованому часовому циклі.

Модульність інтегрованої системи забезпечує високу якість виконання експертизи ДТП [20].

Відповідно до рівнів управління процесом провадження експертизи ДТП (табл. 4.1) можна виділити такі підсистеми: обробки даних, управління, підтримки прийняття рішень (ППР).

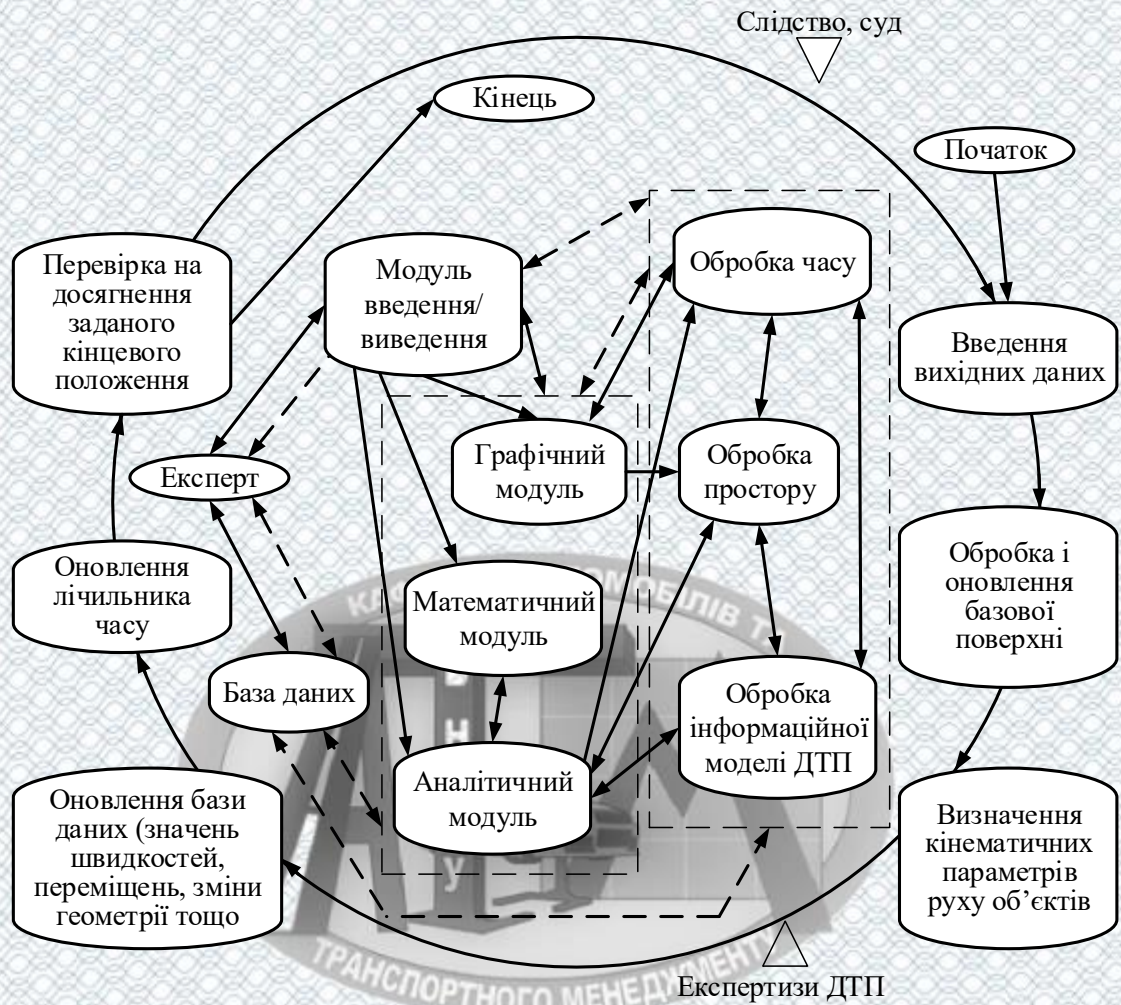


Рисунок 4.1 – Взаємозв'язок елементів інтегрованої інформаційної системи експертизи ДТП в часовому циклі

Таблиця 4.1 – Характеристика рівнів інтегрованих систем експертизи ДТП

Підсистема/ показник	Обробка даних	Управління	ППР
1	2	3	4
Базова технологія	Оперативна обробка даних	Інтерактивна аналітична обробка	Методи статистичного аналізу, експертних систем, математичного та імітаційного моделювання, інтелектуального аналізу даних

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4
Виконавці	Експерти	Спеціаліст з організаційно-технічного забезпечення	Керівник підрозділу
Мета	Оперативне виконання робіт на робочому місці	Аналіз показників діяльності, формування планів, контроль за ними	Вирішення задач управління на стратегічному рівні
Завдання	Вирішення окремих задач експертизи ДТП	Формування виробничої програми	Освоєння нових методів та видів експертиз, інжиніринг та реінжиніринг
Витрати часу	Від одного до декількох днів	Від декількох днів до декількох тижнів	Рік і більше

Зрозуміло, що зі збільшенням інтеграції розширюються еventуальні можливості системи, зростає ступінь альтернативності та різноманіття [42].

Побудова інтегрованої системи автотехнічної експертизи ДТП (рис. 4.1) здійснюється на базі аналізу запитів органів суду чи слідства та різних обставин та умов виникнення ДТП. В процесі побудови визначаються функції системи, які вона повинна виконувати. За мету системи експертизи дорожньо-транспортних пригод зазвичай приймають такі параметри, як гарантування прав громадян на об'єктивне та неупереджене розслідування обставин ДТП, підвищення якості та зменшення суб'єктивізму при підготовці експертних висновків, оптимізація матеріальних та трудових затрат на провадження експертизи тощо.

4.2 Підвищення гальмівної ефективності автомобілів шляхом застосування систем активної безпеки

Гальмувати при керуванні автомобілем потрібно дуже часто. Гальмування є засобом швидкої зупинки автомобіля та регулювання швидкості руху.

На практиці умовно розрізняють два види гальмування:

- службове, яке виконують для зупинки автомобіля в завідомо відомому місці або зниження його швидкості (цей вид гальмування, як правило, не призводить до виникнення заносу чи втрати керування);
- екстрене, яке виконують при появі перешкоди на близькій відстані з метою зупинити автомобіль на мінімальному відрізку шляху (цей вид гальмування, як правило, виконують без врахування якості дороги, він спричиняє дію на автомобіль значних поперечних і поздовжніх сил, які намагаються порушити його стійкість, та підвищене навантаження деталей і вузлів гальмівної системи, що може призвести до її відмови).

До систем активної безпеки (САБ), які підвищують гальмівну ефективність автомобіля належать [24, 55]: антиблокувальна система гальм, система розподілу гальмівних зусиль та система екстреного гальмування. Відомо, що найбільше число дорожньо-транспортних пригод пов'язане з неправильною оцінкою поведінки автомобіля при гальмуванні. Зокрема, з недооцінкою водієм наслідків юза – втрати стійкості і керуваності. Тому стержневим компонентом сучасної концепції активної безпеки, поза сумнівом, є антиблокувальна система (ABS) гальм.

САБ автомобіля є системою із зворотним зв'язком, який дозволяє зберегти курсову стійкість під час руху автомобіля. Вона об'єднана з гальмівною системою і силовою передачею. САБ попереджує «випередження» або «запізнювання» повороту автомобіля під час керування ним.

Переваги ABS і ASR/MSR (антипробуксовочної системи/системи керування крутним моментом двигуна) розвиваються САБ шляхом управління автомобілем за такими пунктами:

- забезпечення водія активною допомогою навіть при критичних динамічних ситуаціях;
- підвищення курсової стійкості автомобіля навіть за гранично складних умов дорожнього руху для усіх режимів експлуатації, таких, як повне або

часткове гальмування, рух накатом, розгін, гальмування двигуном, зміна навантажень;

- підвищення стійкості руху навіть під час екстремальних маневрів управління (аварійна ситуація);
- поліпшення керованості за гранично складних умов дорожнього руху;
- залежно від умов руху більш краще використання потенціалу зчеплення між шинами і дорожнім покриттям в порівнянні з ABS і ASR/MSR.

Відомо, що на характеристику рульового керування автомобіля можна вплинути за допомогою ковзання шин [24]. В системі САБ використовується ця характеристика шин в цілях впровадження сервокерування. Це підвищує надійність управління автомобілем, оскільки він зберігає курсову стійкість і траєкторію руху, яка наскільки це можливо відповідає куту повороту рульового колеса. Під час здійснення повороту це є випадком, коли поперечні сили, діючі на шину, залишаються значно нижче за зчеплення між шиною і дорожнім покриттям.

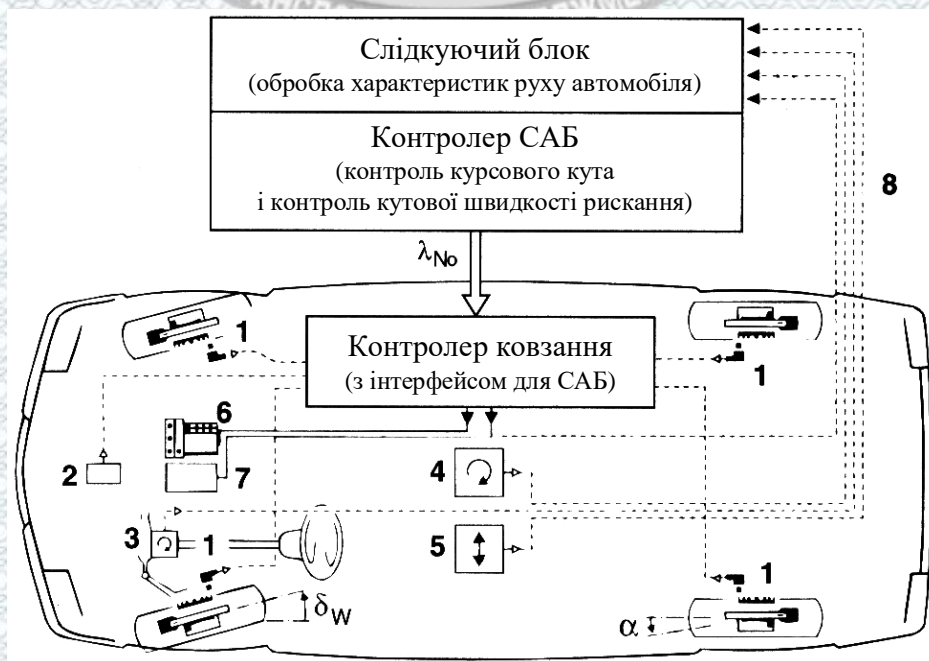
САБ не обмежується режимами роботи систем ABS і ASR/MSR, але також поширюється на режим руху автомобіля накатом і приводиться в дію під час часткового гальмування на межі можливості управління автомобілем. Керування автомобілем на межі фізичних можливостей управління повинне враховувати три ступені свободи автомобіля на площині дороги (поздовжня і поперечна складові руху та поворот відносно вертикальної осі). Як показано на блок-схемі (рис. 4.2), спочатку слід визначити, як правильно повинен поводитися автомобіль відповідно до дій водія (номінальна поведінка), і як він фактично поводить на дорозі (дійсна поведінка). В цілях мінімізації різниці між номінальною і дійсною поведінкою сили дії на шину повинні управлятися виконавчими механізмами.

На схемі (рис. 4.3) показана структура управління, що складається з головного контролера системи САБ і контролерів ковзання. За допомогою головного контролера вводяться номінальні величини для контролера ковзання

у вигляді параметра номінальної величини прослизання λ_{No} . Блок стеження визначає змінну контрольованого стану (курсний кут автомобіля).



Рисунок 4.2 – Блок-схема контролера системи САБ



α - кут ковзання шини; δ_w - кут повороту переднього колеса

Рисунок 4.3 – Узагальнена система управління САБ

Оцінюються сигнали від датчика положення 3 рульового колеса, датчика тиску 2 в гальмівній системі і від органів управління 7 роботою двигуна. Окрім швидкості руху автомобіля в обчислення також входять необхідні характеристики коефіцієнтів зчеплення між шинами і дорожнім покриттям. Ці параметри оцінюються на основі сигналів, що отримуються від датчиків швидкості обертання коліс 1, датчика поперечного прискорення 5, датчика кутової швидкості навколо вертикальної осі 4 і датчика тиску в гальмівній системі 2. Потім обчислюється момент відносно вертикальної осі, який потрібний для наближеного приведення параметрів дійсного стану до параметрів необхідного стану. В цілях отримання необхідного моменту рискання необхідно, щоб зміни у величинах відносного ковзання коліс визначалися за допомогою контролера САБ. Ці величини потім встановлюються за допомогою контролера ковзання і контролера тягового зусилля за допомогою виконавчого механізму гальмівної системи 6 і приводу управління роботою двигуна 7. У цій системі застосовується метод послідовних наближень компонентів ABS і ASR. Гідравлічний модулятор 6 з розширеними функціями ASR допускає високий рівень динамічного гальмування усіх коліс при будь-яких існуючих температурах, хоча в той же час надійно підтримує необхідний розподіл гальмівних контурів.

Необхідний крутний момент двигуна може бути встановлений за допомогою управління роботою двигуна інтерфейсом CAN так, що можуть бути відрегульовані тягово-зчіпні параметри усіх коліс.

4.3 Оцінювання часу реакції водія – одного з головних параметрів, які враховуються під час визначення зупинного шляху автомобіля

На сьогодні в практиці судової автотехнічної експертизи України використовуються диференційовані значення часу реакції водія [1, 19, 31], методично обґрунтовані та затверджені до використання в експертній практиці

СРСР у 1983 році. Вони були отримані на основі експериментальних досліджень, проведених в дорожніх умовах, що відповідають характеристикам і варіантам дорожньо-транспортних ситуацій (ДТС). Дослідження проводились під керівництвом Е. М. Лобанова (Московський автодорожній інститут - МАДИ), Н. М. Крісті (Всесоюзний науково-дослідний інститут судових експертиз - ВНИИСЭ), О. В. Лукошявичене (Вільнюський інженерно-будівельний інститут), В. М. Сегеркранца (Талліннський політехнічний інститут), Р. Т. Мушегяна (Науково-дослідний інститут автомобільного транспорту - НИИАТ), Ю. Б. Суворова, А. К. Гордєєвої (ВНИИСЭ).

Реакція – це дія організму у відповідь на який-небудь подразник. Вся діяльність водія являє собою суцільний ланцюг різних реакцій [42]. Несвочасні або неточні реакції приводять до підвищення небезпеки руху. Час реакції людини в різних аспектах вивчається психологами, фізіологами та інженерами. Реакції бувають прості і складні. Якщо при виконанні рушійного процесу необхідно вибрати одну або кілька конкретних дій із ряду можливих, то реакція називається складною. Саме така реакція цікавить експерта-автотехніка при проведенні автотехнічної експертизи ДТП.

Ситуаційний час реакції водія t_1 (рис. 4.4), тобто інтервал часу від моменту появи подразника в полі зору водія до початку впливу останнього на органи керування автомобілем (важель гальма, зчеплення, акселератора, кермо), залежить від багатьох факторів: вік і стать водія; рівень професійної підготовки; стаж роботи (досвід); умови руху (вдень, вночі, в гірських умовах, по ковзкій дорозі, інтенсивність руху, дистанція тощо); швидкість руху автомобіля; інтенсивність інформаційного навантаження; тривалість робочого часу; індивідуальні особливості водія; конструктивні особливості автомобіля.

Розрізняють латентний і моторний періоди часу реакції. Латентний (скритий) період – час, необхідний водію для усвідомлення, оцінювання ситуації і прийняття рішення про початок моторної (рушійної) реакції. Відповідно,

моторний період – інтервал часу від початку рушійної реакції до початку впливу на орган керування автомобілем.

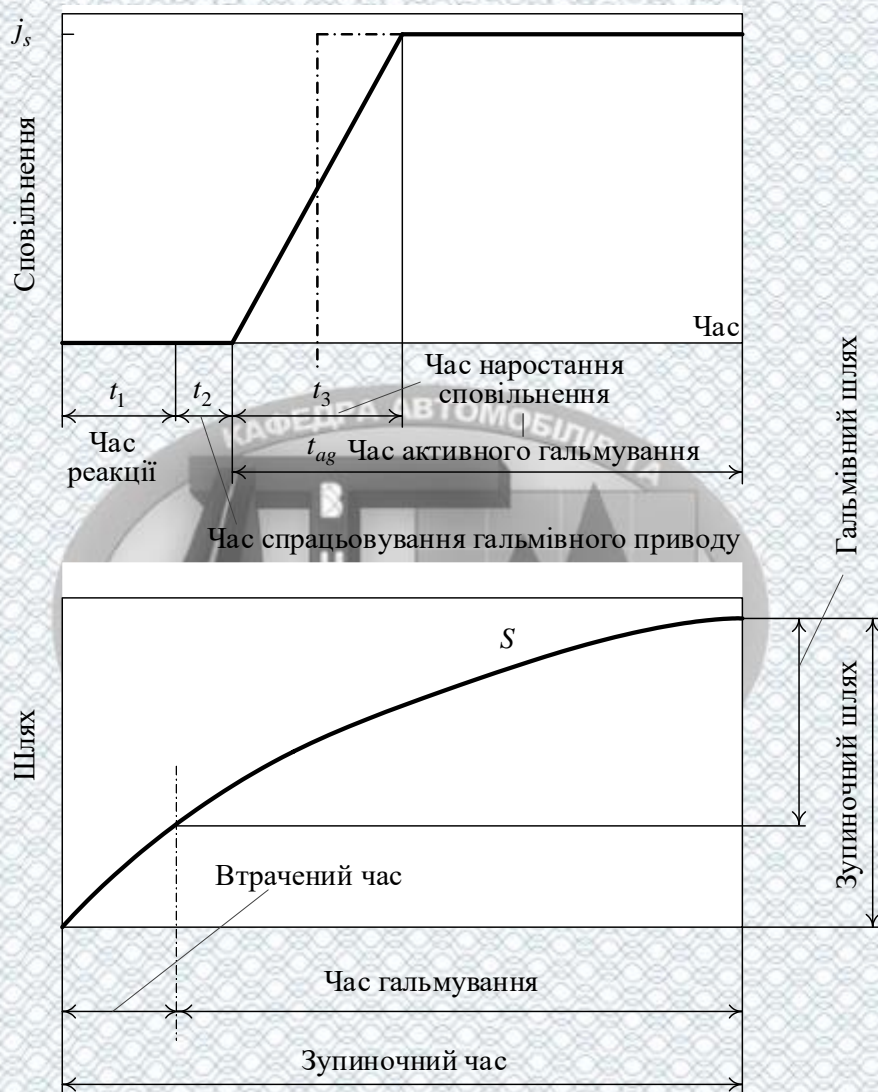


Рисунок 4.4 – Сповільнення і зупиночний шлях автомобіля

Аналіз робіт, в яких представлені результати досліджень часу реакції водіїв [19, 30, 31, 37, 42], показує, що цей час змінюється в широких межах – від 0,3 с до 3,2 с. Автори багато років проводили дослідження складної сенсомоторної реакції у водіїв різного віку, результати яких подані на рис. 4.5 для 2% усередненої та 98% статистичної вибірки, як для найбільш показових

значень, від загального числа осіб, що пройшли випробовування (близько 1100 чол.). Мінімальні та максимальні значення часу реакції водіїв подані в табл. 4.2.

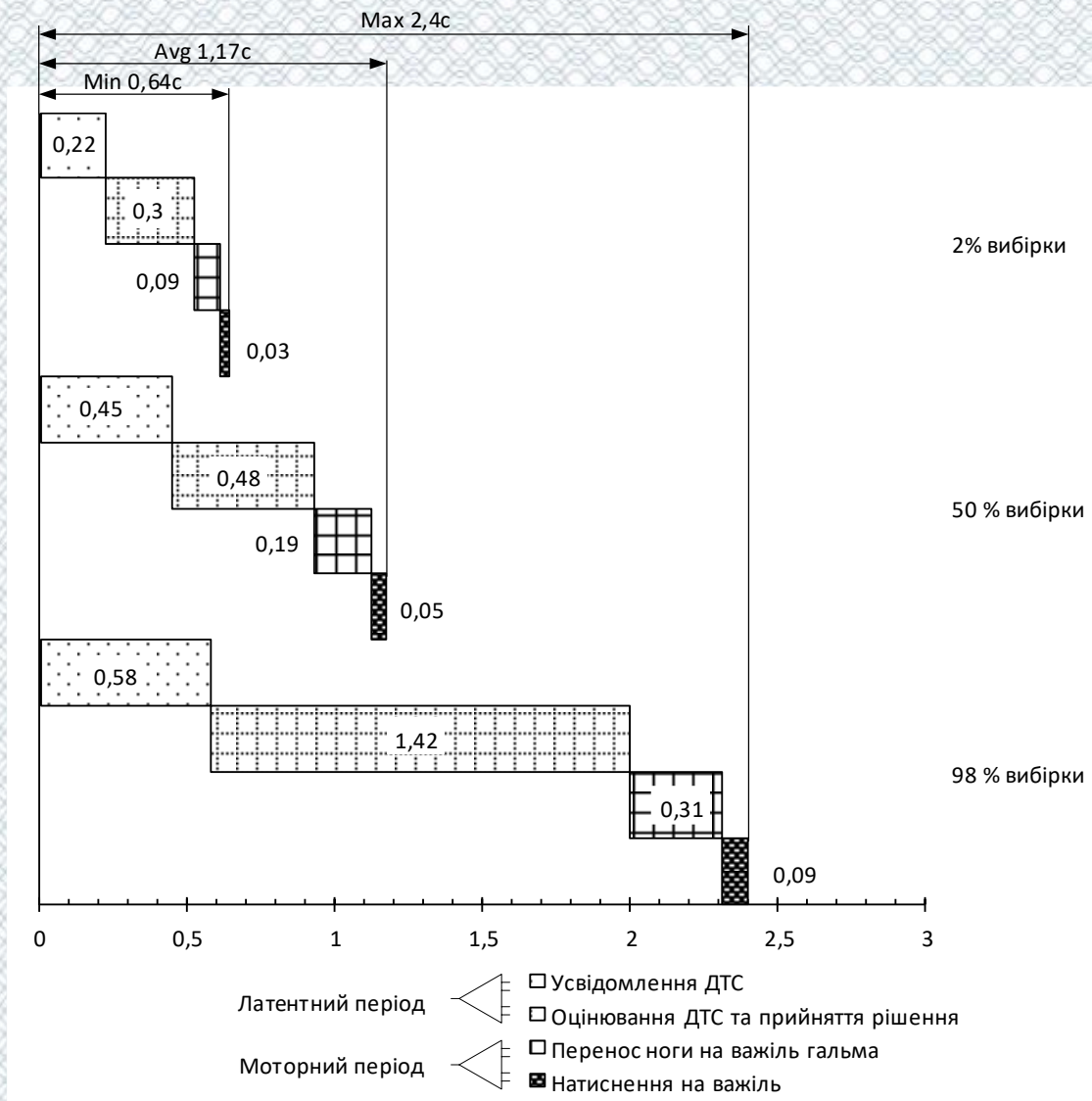


Рисунок 4.5 – Обсяги досліджень та граничні значення складових часу сенсомоторної реакції водія [1, 42]

Таблиця 4.2 – Значення часу реакції водіїв за віковими групами

Група	Вік, років	Мінімальний час реакції, с	Максимальний час реакції, с
1	18-20	$0,65 \pm 0,05$	$1,3 \pm 0,20$
2	20-40	$0,90 \pm 0,20$	$1,5 \pm 0,20$
3	40-50	$1,35 \pm 0,25$	$1,75 \pm 0,25$
4	50-60	$1,70 \pm 0,10$	$2,1 \pm 0,30$
5	> 60	$2,15 \pm 0,25$	$2,4 \pm 0,25$

Істотний вплив на час реакції чинить втома водія протягом робочого дня. Втома людини понижує її працездатність. Розрізняють фізіологічну та психічну втому. Фізіологічна втома пов'язана з впливом на нервову систему продуктів розпаду речовин в організмі людини. Психічна втома обумовлена перевантаженням нервової системи. В результаті спільної дії усіх цих факторів, обумовлених втомою водія, час його реакції збільшується. Одночасно збільшується і розсіювання часу реакції відносно середнього значення.

Чим вища інтенсивність руху, тим більше об'єктів попадає в поле зору водія і тим складніше йому оцінити певний сигнал та вибрати правильне рішення. На дорогах з двома чи трьома смугами для руху в обох напрямках мінімальний час реакції відповідає інтенсивності 120-200 авт./год., а максимальний – при русі по вільній від транспортних засобів дорозі. Така дорога характерна монотонністю, що знижує інтенсивність уваги та емоційну напругу водія. При появі втоми час реакції водія збільшується зі збільшенням інтенсивності руху [41, 42] (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Вплив тривалості роботи та інтенсивності руху на час реакції водія

Тривалість роботи водія, год.	Середній час реакції, с.	Середнє квадратичне відхилення, с.	Оцінка часу реакції для довірчої ймовірності 0,95, с.
Інтенсивність руху 100-300 автомобілів на годину			
0	1,39	0,173	$1,39 \pm 0,35$
4	1,21	0,135	$1,21 \pm 0,27$
8	1,29	0,210	$1,29 \pm 0,42$
12	1,53	0,272	$1,53 \pm 0,54$
Інтенсивність руху 350-500 автомобілів на годину			
0	1,39	0,173	$1,39 \pm 0,35$
4	1,22	0,141	$1,22 \pm 0,28$
8	1,36	0,242	$1,36 \pm 0,48$
12	1,65	0,292	$1,65 \pm 0,58$

З метою оцінювання розсіювання вхідних величин часу реакції водія, що використовуються при розслідуванні ДТП, скористаємося рекомендаціями з вираження невизначеності вимірювань [43], розробленими міжнародними організаціями: BIPM (Міжнародне бюро мір і ваг); IEC (Міжнародна електротехнічна комісія); IFCC (Міжнародна федерація клінічної хімії); ISO (Міжнародна організація зі стандартизації); IUPAC (Міжнародний союз з чистої і прикладної хімії); IUPAP (Міжнародний союз з чистої і прикладної фізики); OIML (Міжнародна організація законодавчої метрології); ILAC (Міжнародна організація з акредитації лабораторій та інспекційних органів). Поняття невизначеності вимірювань в міжнародних рекомендаціях і стандартах було введено для опису точності вимірювання як ступеня довіри до отриманого результату. Відповідно до вище згаданих рекомендацій, там, де це можливо, розсіювання даних по відношенню до номінального значення X_N будемо характеризувати симетричними граничними відхиленнями ΔX з метою представлення їх у вигляді $X = X_N \pm \Delta X$. Результати оцінювання значень зупиночного шляху за загальноприйнятою методикою [31], з врахуванням t_1 , подані на рис. 4.6.

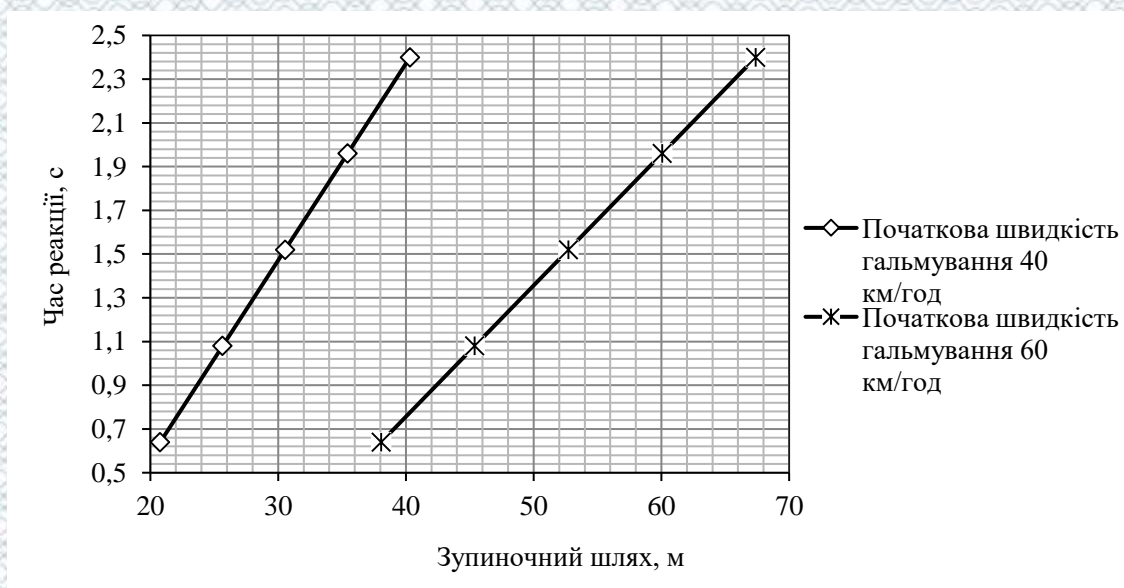


Рисунок 4.6 – Залежність зупиночного шляху автомобіля від часу реакції водія (для автомобіля категорії М1 на сухому асфальтобетоні)

Аналіз рис. 4 показує, що оцінки значень зупиночного шляху мають широке поле невизначеності (біля 100%), для зменшення якої пропонується застосовувати математичну модель оцінювання сенсомоторної фази реакції водія, отриману з таких міркувань. Час сенсомоторної фази реакції водія t_1 на гальмування вимірюється з моменту впливу стимулу на орган відчуття до торкання важеля гальма (початку руху педалі) можна визначити так [56]:

$$t_1 = t_0 + t_{mk}(RV) + \Delta t(V_a, B), \quad (4.1)$$

де t_0 – час виявлення, впізнання, прийняття рішення тощо, с (табл. 4.4);

Таблиця 4.4 – Нормативний час t_0

Екстрене гальмування на виникнення небезпеки	Час t_0 , с
1. Очікувана ймовірність небезпеки 100% (нога на важелі гальма)	0,6
2. Очікувана ймовірність небезпеки 95-99% (нога на важелі гальма)	0,8
3. Очікувана ймовірність небезпеки 90% (нога на важелі акселератора)	1,0
4. Були ознаки небезпеки, невідомі водію, які рідко зустрічаються в практиці водіння	1,2
5. Були лише непрямі ознаки небезпеки, мало відомі навіть досвідченим водіям	1,4
6. При екстремому гальмуванні лідера та увазі водія в цей момент на світлофор	1,36
7. При екстремому гальмуванні лідера та увазі водія в цей момент на інші об'єкти, крім лідера і світлофора	1,6

$t_{mk}(RV)$ – час моторного компонента реакції водія при гальмуванні, який залежить від різниці висот площадок важелів акселератора і гальма автомобіля, $t_{mk}(RV) = 0,38 - 0,003RV + 0,0002RV^2$, с;

$\Delta t(V_a, B)$ – приріст фаз часу реакції водія в залежності від швидкості автомобіля в момент виявлення небезпеки (V_a , км/год) та віку водія (B , років), с:

$$\Delta t(V_a, B) = 0,1 \cdot \lg((1 + 0,005V_a)0,04B). \quad (4.2)$$

Взявши за основу рівняння (4.1), залежність часу реакції водія від тривалості його роботи та інтенсивності руху (табл. 4.3), можна запропонувати такий вираз для оцінювання сенсомоторної фази реакції водія

$$t_1 = t_0 + t_{mk}(RV) + \Delta t(V_a, B) + \Delta t(T_H, I_a), \quad (4.3)$$

де $\Delta t(T_H, I_a)$ – приріст фаз часу реакції водія в залежності тривалості його роботи (T_H , год) та інтенсивності руху (I_a , авт/год) в момент виявлення небезпеки, с:

– при вільному русі ($0 < I_a < 50$)

$$\Delta t(T_H, I_a) = 0,0006 + 0,0167 \cdot T_H + 0,0206 \cdot (T_H)^2 - 0,004 \cdot (T_H)^3 + 0,0002 \cdot (T_H)^4;$$

– при середній завантаженості смуги руху ($100 < I_a < 300$)

$$\Delta t(T_H, I_a) = -0,0002 + 0,0258 \cdot T_H + 0,0161 \cdot (T_H)^2 - 0,0035 \cdot (T_H)^3 + 0,0002 \cdot (T_H)^4;$$

– при високій завантаженості смуги руху ($350 < I_a < 500$)

$$\Delta t(T_H, I_a) = -0,0007 + 0,031 \cdot T_H + 0,014 \cdot (T_H)^2 - 0,0034 \cdot (T_H)^3 + 0,0002 \cdot (T_H)^4.$$

Оцінка часу реакції t_1 за виразом (4.3) для довірчої ймовірності 0,95 складає $t_1 \pm 0,176t_1$ с.

Невизначеність значень часу реакції водія при проведенні експертиз дорожньо-транспортних пригод може призвести до формулювання протилежних

висновків при інтерпретації аналітичних результатів досліджень і розрахунків. Використання запропонованої математичної моделі оцінювання сенсомоторної фази реакції водія дозволяє мінімізувати вплив суб'єктивних факторів при формуванні експертних висновків та зменшити невизначеність оцінювання на 70%.

4.4 Моделювання траєкторії руху автомобіля при дослідженні дорожньо-транспортних пригод

Прогрес в галузі автомобільного транспорту сприяв поглибленню вивчення аспектів функціонування системи ВАДС в цілому та особливостей руху автомобілів по дорозі зокрема. На сьогоднішній день в практиці оцінювання траєкторії руху автомобіля для попередження і аналізу ДТП використовуються різні методи, засоби та технології, набір яких визначається метою та спрямованістю виконуваних досліджень.

Розвиток технологій відеоспостереження та комп'ютерної техніки стали основою для використання методів оцінювання траєкторії руху транспортних засобів на основі аналізу зображень [57]. Результати таких досліджень можуть використовуватись при розробці інтелектуальних систем управління рухом [54, 58]. На основі аналізу відеоспостережень працюють інформаційні системи попередження ДТП [28]. Для аналізу причин окремих видів ДТП застосування технологій відеоспостереження вкрай обмежене [19].

У США та Європі інформація електронних систем управління, безпеки і комфорту транспортних засобів успішно використовується в цілях встановлення обставин дорожньо-транспортних пригод. Це стало можливим завдяки розвитку технологій фіксації руху транспортних засобів в процесі ДТП: системи GPS позиціонування місцезнаходження транспортних засобів, системи EDR – Event Data Recorder (реєстрація даних про події), ACN – Automated Crash Notification (автоматизовані системи повідомлення про ДТП) [56].

Автоматизовані системи реєстрації параметрів руху забезпечують високу достовірність вихідних даних та є основою для встановлення механізму виникнення окремих аварійних ситуацій на основі фундаментальних законів руху [30].

Енергетичні методи реконструкції ДТП [60] засновані на аналізі процесу удару та принципі еквівалентності кількості кінетичної енергії транспортних засобів до ДТП та кількості потенціальної енергії деформації та руйнування, що залишилась в пошкодженому автомобілі та дорожніх спорудах. Ці методи дозволяють встановити історію зміни швидкостей, положень, енергію деформації (навантаження, що сприймали водій, пасажери чи пішоходи). Повністю відновити кінематику траєкторій учасників руху на основі енергетичних методів не можливо [19].

Загальноприйняті методики аналізу і реконструкції обставин ДТП базуються на відомих законах механіки та теорії стійкості руху [31].

Стійкість – властивість автомобіля, яка визначається його здатністю зберігати задану траєкторію руху при впливі на автомобіль зовнішніх сил, які сприяють відхиленню його від цієї траєкторії при зафіксованих колесах. Розрізняють курсову і траєкторну стійкість [60]. Траєкторна стійкість – властивість автомобіля з достатньою точністю прямувати по заданій криволінійній траєкторії (повертати), курсова – прямувати по прямій (не змінювати напрямку руху).

На сьогоднішній день в практиці оцінювання траєкторії руху автомобіля переважно використовуються три типи моделей [61]:

- одноколійна лінійна одномасова (велосипедна схема);
- просторова одномасова;
- просторова багатомасова.

Одноколійна лінійна одномасова модель є найбільш розповсюдженою. В цьому випадку автомобіль подається у вигляді двоколісного візка. Колеса шарнірно зв'язані з корпусом візка, причому одне з них (частіше заднє) має

відносно корпусу тільки один ступінь вільності – обертання відносно своєї осі обертання, а інше – два ступеня вільності – обертання відносно тієї ж осі та поворот відносно вертикальної осі, яка розташована в поздовжній площині (кероване колесо). Центр мас автомобіля здійснює плоско-паралельний рух і копіює поздовжній профіль дороги. Обидва колеса кожної з осей мають однакові кути зсуву та обидва керовані колеса повернуті на один і той же кут. При формуванні рівнянь руху розглядаються не сили, які діють на кожне з коліс, а сумарні сили, які діють на обидва колеса передньої та задньої осей. Це дозволяє замість просторової схеми розглядати одноколіїну лінійну (велосипедну).

Завдяки використанню одноколіїної лінійної моделі в теорію автомобіля були введені такі поняття, як надлишкова, недостатня і нейтральна поворотність, критична швидкість руху, поняття про зони стійкого та нестійкого руху. Проте, застосування цієї моделі не завжди забезпечує достатню точність результатів моделювання. Порівняння результатів експериментального визначення параметрів руху автомобіля з теоретичними результатами показує, що в ряді випадків існує значна не тільки кількісна, а й якісна розбіжність [31, 61].

Просторова одномасова модель, на відміну від попередньої, дозволяє дослідити вплив перерозподілу нормальних реакцій на характер руху автомобіля при його повороті. В цьому випадку автомобіль зображається чотириколісним та вважається, що його колеса навантажені силами, різними за величиною та напрямком дії. Застосування просторової розрахункової моделі збільшує коло тих практичних задач, які можуть бути розв'язані з застосуванням одномасової моделі [19, 60]. Може бути достатньо точно досліджена залежність керованості та стійкості від характеристик рульової трапеції, наближено вивчено вплив конструкції підвіски, типу диференціала тощо.

Використання багатомасової просторової математичної моделі дозволяє дослідити автомобіль як систему кількох тіл, що з'єднані голономними і неголономними зв'язками. Це приводить до вивчення складної механічної системи з великою кількістю незалежних параметрів, яка описується системою

диференціальних рівнянь високого порядку. Ускладнення математичної моделі не завжди дає позитивний ефект, оскільки при визначенні маси, моментів інерції та характеристик зв'язків неминучі похибки, які збільшують невизначеність кінцевих результатів [30, 61]. Крім того, практичне використання подібних розрахункових схем потребує попереднього аналітичного і, особливо, експериментального визначення великої кількості конструктивних параметрів автомобіля і шин.

Основним фактором попередження ДТП є процес гальмування [2, 19, 32, 47]. Моделювання траєкторії руху автомобіля для режиму гальмування 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. Довідковими даними є параметри і коефіцієнти, числові значення яких вибираються експертом самостійно із спеціальної науково-технічної і довідкової літератури у відповідності з характером та умовами скоєння ДТП. В перелік таких характеристик і параметрів входять параметри, які характеризують ефективність гальмування АТЗ (час запізнення спрацьовування гальмівної системи, час наростання сповільнення, усталене сповільнення), час реакції водія; показники якості і стану дорожнього покриття, коефіцієнт зчеплення шин з дорогою, відомості про швидкість руху пішоходів, ухили та радіуси повороту дороги тощо.

Для оцінювання траєкторії руху автомобіля при гальмуванні експерту достатньо розрахувати ті чи інші параметри за відомими з теорії експлуатаційних властивостей автомобіля формулами. Але ці формули забезпечують адекватні результати лише за умови достовірності вихідних даних та вірного вибору методики розрахунку.

Стійкість автомобіля визначається бічними реакціями опорної поверхні, що діють з боку дороги на його колеса. Бічні сили виникають від відцентрового ефекту при повороті, від поперечного ухилу дороги, вітру тощо. Якщо вони менші граничної величини бічної реакції, то колесо буде рухатись по заданій

траєкторії і незначно відхиляться від неї тільки за рахунок бічного зсуву. Якщо ж гранична величина бічної реакції перевищена, починається бічне ковзання, і колесо втрачає стійкість. Таким чином, колесо буде стійким, якщо [42]

$$R_{\Sigma} = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \leq \varphi_{max} \cdot R_z, \quad (4.4)$$

де R_{Σ} – сумарна реакція, яка діє в площині контакту з опорною поверхнею; R_x, R_y, R_z – поздовжня, бічна, нормальна реакції в контакті колеса (чи коліс осі) з опорною поверхнею;

φ_{max} – максимальне значення коефіцієнта зчеплення для певного покриття при оптимальному проковзуванні коліс автомобіля.

Потужність гальм сучасних автомобілів дозволяє водію заблокувати колеса автотранспортного засобу. При цьому можливі випадки:

- втрата траєкторної стійкості, у випадку блокування передніх коліс;
- втрата курсової стійкості, у випадку блокування задніх коліс.

Якщо автомобіль відхилився від прямолінійного напрямку руху на кут біля 20° , занос вже неможливо припинити навіть повним розгальмовуванням та енергійним маневром за допомогою рульового управління [32]. Для попередження таких випадків на сучасних транспортних засобах встановлюють антиблокувальні системи гальм (АБС), системи курсової стійкості тощо [19, 24].

Випробування, які проведені на легкових автомобілях [62], показали, що при одночасному блокуванні чи при випереджаючому блокуванні передніх коліс автомобіль, як правило, не втрачав курсову стійкість. Якщо ж задні колеса блокувались раніше передніх, то відбувався занос автомобіля. При блокуванні одного заднього колеса заносу не було до блокування другого.

Виходячи із конструктивних і технологічних особливостей, допускається [2] певне відхилення величин гальмівних сил між різними колесами в процесі гальмування, а також нерівномірність спрацювання гальм коліс однієї осі. Тому

транспортний засіб під час гальмування може розвертатись навколо свого центра ваги, але в процесі розвороту він не повинен виходити за габарити коридору шириною 3,5 м. З урахуванням бокових інтервалів безпеки 0,5 м ширину коридору безпеки можна вважати рівною 4,5 м.

Отже, для забезпечення безпеки руху автомобіля необхідно, щоб гальмівний шлях S_0 не перевищував певної нормованої величини. Крім того, не можна допускати вихід автомобіля за межі заданої смуги руху, який може виникнути при розвороті (заносі). Умовою гранично допустимого розвороту автомобіля є вираз [32]:

$$\frac{B_{sr}}{2} \leq y + \frac{L_a}{2} \sin \gamma + \frac{B_a}{2} \cos \gamma, \quad (4.5)$$

де B_{sr} – ширина смуги руху;

y – поперечне відхилення центра мас;

L_a та B_a – габарити автомобіля (довжина і ширина);

γ – кут розвороту повздовжньої осі автомобіля.

Криволінійну траєкторію руху автомобіля в процесі гальмування можна спостерігати навіть з фіксованим в нейтральному положенні рульовим колесом. Пояснюється це тим, що при гальмуванні в силу різних конструктивних, технологічних та експлуатаційних факторів нерівномірно діють гальмові моменти на окремих колесах. В результаті з'являються різні за величиною поздовжні реакції і виникає момент, який повертає автомобіль в горизонтальній площині. Рух автомобіля при цьому стає нестійким, виникає можливість його заносу.

Гальмування автомобіля може відбуватись з різним сполученням заблокованих і незаблокованих коліс в залежності від нерівномірної дії гальмових моментів, різних величин поздовжніх, бічних та нормальних реакцій на колесах. Характер перебігу процесу гальмування для двовісного автомобіля

можна умовно розділити на дві стадії: динамічну і стадію дії усталеного сповільнення.

В динамічній стадії відбувається зростання гальмових сил на колесах автомобіля від нуля до максимальних значень, які визначаються зчіпними якостями заблокованих коліс або найбільшим тиском робочого тіла в гальмівному приводі. Тривалість динамічної стадії залежить від конструкції привода, індивідуальних особливостей водія, зчіпних властивостей коліс з дорогою. При екстреному гальмуванні вона складає в середньому 0,5 с. Стадія дії усталеного сповільнення характеризує процес гальмування від моменту появи максимального сповільнення і до повної зупинки автомобіля. Закони зміни сил і моментів, що діють на автомобіль в кожній фазі процесу гальмування відрізняються один від одного [19, 24, 30-32].

Положення автомобіля в просторі визначається рухом його центра мас $(x; y)$ в нерухомій системі координат x, y, z і кутом розвороту поздовжньої осі γ (рис. 4.7). Для визначення цих параметрів необхідно скласти рівняння рівноваги:

$$\begin{cases} m_a \dot{j}_x = -R_{x1} - R_{x2}, \\ m_a \dot{j}_y = -R_{y1} + R_{y2}, \\ I_z \dot{\omega} = M_1 + M_2 - R_{y1} \cdot a - R_{y2} \cdot b, \end{cases} \quad (4.6)$$

де m_a – маса автомобіля;

I_z – момент інерції автомобіля відносно вертикальної осі, яка проходить через його центр мас;

Δy – бічне зміщення центра мас автомобіля;

$R_{x1} = R_{x1}^l + R_{x1}^r, R_{x2} = R_{x2}^l + R_{x2}^r$ – поздовжні реакції, що діють на осі автомобіля;

$R_{y1} = R_{y1}^l + R_{y1}^r, R_{y2} = R_{y2}^l + R_{y2}^r$ – бічні реакції, що діють на осі автомобіля;

$M_1 = (0,5B - \Delta y)R_{x1}^r - (0,5B + \Delta y)R_{x1}^l, M_2 = (0,5B - \Delta y)R_{x2}^r - (0,5B + \Delta y)R_{x2}^l$ – моменти, що повертають автомобіль;

$j_x = V'_x + V_y \cdot \omega$, $j_y = -V'_y + V_x \cdot \omega$ – прискорення центра мас автомобіля відповідно в напрямку осей x та y [32];

$\dot{\omega}$ – кутове прискорення автомобіля відносно осі z (ω – кутова швидкість автомобіля відносно осі z);

V_x і V_y – швидкість центра мас відповідно в напрямку повздовжньої осі автомобіля і в напрямку, перпендикулярному до неї;

a , b , B – конструктивні параметри автомобіля (індекси 1 і 2 позначають передню і задню осі, а індекси l і r – ліві та праві колеса).

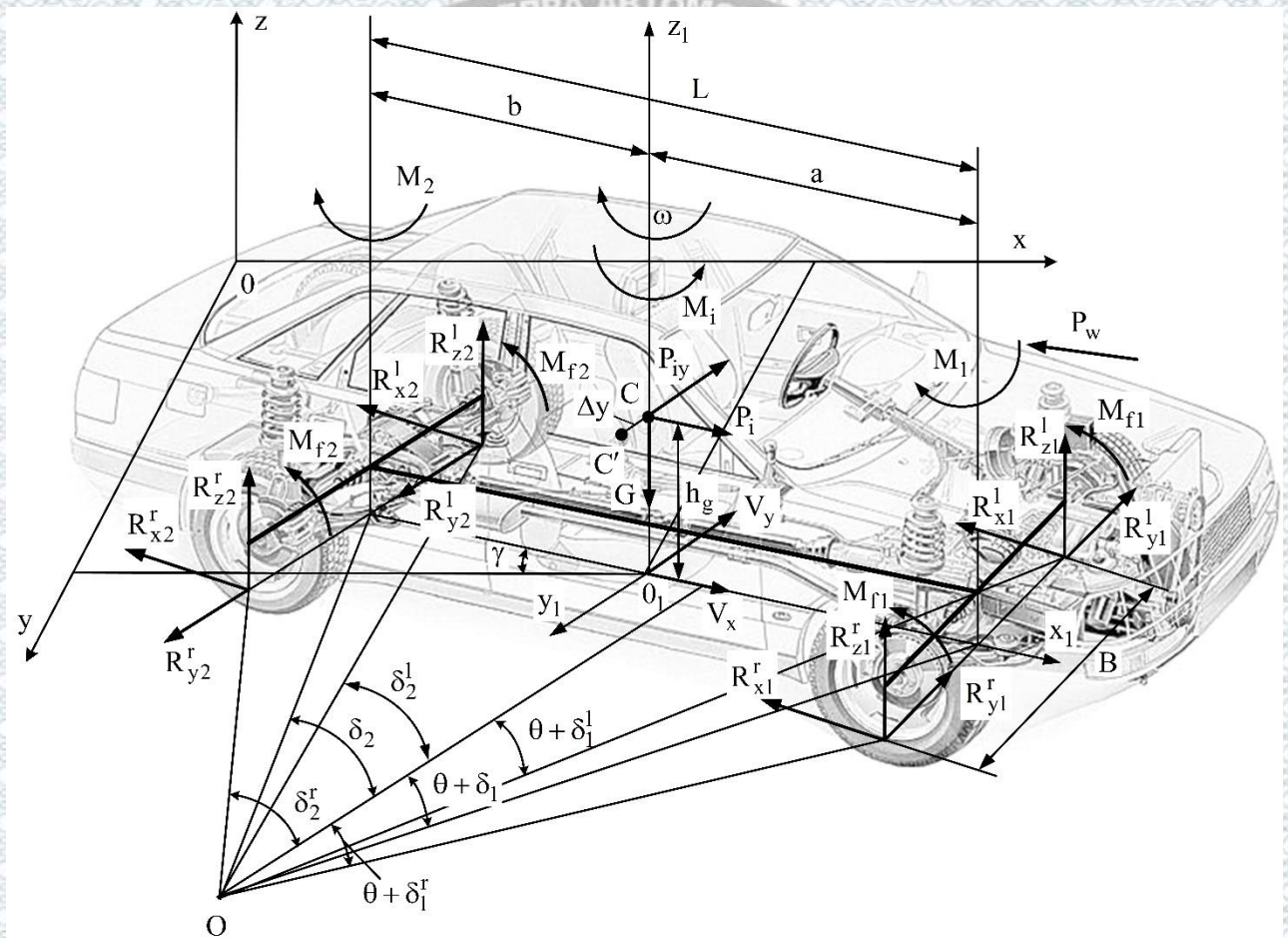


Рисунок 4.7 – Схема сил, що діють на автомобіль при гальмуванні

Для оцінки параметрів траєкторії руху автомобіля і розв'язку системи диференціальних рівнянь (4.6) необхідно визначити закони зміни сил і моментів, діючих на автомобіль в процесі гальмування.

Для заблокованих коліс можна записати наступні вирази поздовжніх реакцій:

$$R_{x1}^l = \frac{M_{g1}^l}{r_k}; R_{x1}^r = \frac{M_{g1}^r}{r_k}; R_{x2}^l = \frac{M_{g2}^l}{r_k}; R_{x2}^r = \frac{M_{g2}^r}{r_k}, \quad (4.7)$$

де r_k – динамічний радіус колеса;

$M_{g1}^l, M_{g1}^r, M_{g2}^l, M_{g2}^r$ – гальмівні моменти на колесах автомобіля.

Величини бічних реакцій R_y на заблокованих колесах автомобіля можна визначити за відомою залежністю [19]

$$R_y = k_y \cdot \operatorname{tg} \delta, \quad (4.8)$$

де δ – кут зсуву (бічного відведення) колеса;

k_y – коефіцієнт опору бічному зсуву (відведенню) колеса).

Нормальну реакцію дороги під задніми колесами автомобіля можна знайти

$$R_{z2} = \frac{G}{L} \left(a \cdot \cos(\alpha) + h_g \cdot \sin(\alpha) - \frac{j}{g} \cdot k_{\delta i} \cdot h_g + f \cdot r_k \cdot \cos(\alpha) \right), \quad (4.9)$$

де $G = m_a \cdot g$ – вага автомобіля;

α – кут поздовжнього нахилу проїзної частини (приймається додатнім під час руху автомобіля на підйом та від'ємним – під час руху на спуск);

h_g – висота розміщення центру мас автомобіля;

g – прискорення вільного падіння;

$k_{\delta i}$ – коефіцієнт, що враховує інерцію оберткових мас автомобіля;

L – база автомобіля;

f – коефіцієнт опору коченню;

j – сповільнення автомобіля.

$$j = g \left(\varphi \cdot k_{p\varphi} \cdot \cos(\alpha) + \sin(\alpha) \right), \quad (4.10)$$

де φ – коефіцієнт зчеплення;

$k_{p\varphi}$ – коефіцієнт, який враховує покращення використання зчіпних якостей автомобільного колеса з дорожнім покриттям за рахунок роботи АБС.

Нормальну реакцію дороги під передніми колесами можна розрахувати так

$$R_{z1} = G - R_{z2}. \quad (4.11)$$

Враховуючи вплив зміщення центру мас автомобіля, нормальні реакції на колесах автомобіля розподіляться наступним чином:

$$\begin{aligned} R_{z1}^l &= R_{z1} \left(\frac{1}{2} - \frac{\Delta y}{B} \right); & R_{z1}^r &= R_{z1} \left(\frac{1}{2} + \frac{\Delta y}{B} \right); \\ R_{z2}^l &= R_{z2} \left(\frac{1}{2} - \frac{\Delta y}{B} \right); & R_{z2}^r &= R_{z2} \left(\frac{1}{2} + \frac{\Delta y}{B} \right) \end{aligned} \quad (4.12)$$

Поздовжні та бокові реакції на заблокованих колесах можна визначити наступним чином:

$$\begin{aligned} R_{x1} &= R_{z1} \cdot \varphi \cdot \cos(\delta_1); & R_{x2} &= R_{z2} \cdot \varphi \cdot \cos(\delta_2); \\ R_{y1} &= R_{x1} \cdot \operatorname{tg}(\delta_1); & R_{y2} &= R_{x2} \cdot \operatorname{tg}(\delta_2). \end{aligned} \quad (4.13)$$

На рис. 4.7 показані кути напрямку руху коліс δ_1^i та δ_2^i , які у випадку заблокованого колеса є кутом ковзання, у випадку незаблокованого колеса – кутом зсуву. Кут θ характеризує зміну напрямку руху передньої осі автомобіля за рахунок невідповідності кінематики рульового приводу і підвіски у випадку залежної підвіски або за рахунок нахилу коліс у випадку незалежної підвіски при крені кузова. Якщо блоковані обидва колеса передньої осі, то кути θ дорівнюють нулю. Величини кутів θ невеликі і змінюються від нуля до одного градуса [32].

Для автомобілів з передньою залежною підвіскою

$$\theta = \rho(V'_x + V_y \cdot \omega), \quad (4.14)$$

а для автомобілів з передньою незалежною підвіскою

$$\theta = \rho_n(-V'_y + V_x \cdot \omega), \quad (4.15)$$

де ρ і ρ_n – параметри, які характеризують конструкцію та пружні властивості підвісок.

Враховуючи невеликі значення кутів при гальмуванні автомобіля, можна записати

$$\theta + \delta_1^r \approx \theta + \delta_1^l \approx \theta + \delta_1; \quad \delta_2^r \approx \delta_2^l \approx \delta_2. \quad (4.16)$$

Відповідно кінематиці повороту (рис. 4.7) маємо

$$\operatorname{tg}(\delta_1) = \frac{\omega \cdot a - V_y}{V_x} - \theta; \quad \operatorname{tg}(\delta_2) = \frac{\omega \cdot a + V_y}{V_x}. \quad (4.17)$$

Після встановлення законів зміни сил і моментів, що діють на автомобіль в процесі гальмування, параметри траєкторії його руху (x , y , γ) можна визначити із системи диференціальних рівнянь (4.6), перетворивши рівняння до виду

$$\begin{cases} V'_x = f_{V_x}(V_x, V_y, \omega, \text{const}), \\ V'_y = f_{V_y}(V_x, V_y, \omega, \text{const}), \\ \omega' = f_{\omega}(V_x, V_y, \omega, \text{const}). \end{cases} \quad (4.18)$$

Розв'язати систему (4.18) можна лише чисельними методами (наприклад, методом Рунге-Кутта), в результаті чого після інтегрування цієї системи можна отримати функціональні залежності $V_x = f_1(t)$; $V_y = f_2(t)$; $\omega = f_3(t)$, які характеризують

процес гальмування автомобіля.

З метою отримання траєкторії руху центра мас автомобіля (x, y) і розвороту його поздовжньої осі γ необхідно знову інтегрувати функціональні залежності, отримані для V_x , V_y та ω , відповідно до виразів

$$\gamma = \int_0^t \omega dt; x = \int_0^t (V_x \cos \gamma + V_y \sin \gamma) dt; y = \int_0^t (V_x \sin \gamma - V_y \cos \gamma) dt. \quad (4.19)$$

Наведений алгоритм моделювання траєкторії руху автомобіля при гальмуванні можливо виконати на основі даних автоматизованих систем реєстрації параметрів руху (системи EDR, ACN) [35, 36]. Можливе використання даних мобільного реєстраційно-вимірювального комплексу для проведення динамічних випробувань колісних машин [63]. Однак в переважній більшості випадків при дослідженні ДТП значення величини гальмівних моментів, які були прикладені до коліс автомобіля, а також величин коефіцієнта зчеплення на кожному колесі носять якісний характер. Тобто ці параметри мають оцінку у вигляді певного діапазону можливих значень і визначаються експертно [19, 32]. Для зменшення суб'єктивності при оцінці гальмівних моментів на колесах автомобіля необхідно скористатись відповідними моделями та методиками, які детально описані в [32, 47] та розробленими у розділах 2, 3 моделями коефіцієнта зчеплення.

Після розробки наведених теоретичних положень було проведено натурні експерименти та використано результати розрахунків при розслідуванні ДТП, за допомогою яких перевірялась можливість відтворення траєкторії руху автомобіля при гальмуванні. Алгоритм експерименту був такий:

КРОК 1. Створення (фіксація) відповідних умов руху автомобіля.

КРОК 2. Отримання (фіксація) експериментальної траєкторії автомобіля при гальмуванні для заданих умов руху.

КРОК 3. Моделювання траєкторії автомобіля для заданих умов руху за

допомогою розроблених моделей і алгоритмів.

КРОК 4. Порівняння результатів моделювання, отриманих на КРОКУ 3, з результатами натурних експериментів (ДТП).

Експеримент проводився з автомобілями Skoda Octavia та BMW 520i на ділянці асфальтобетонного покриття горизонтального профілю [1]. Стан покриття: сухе, мокре, покрите брудом. Досліджувався вплив нерівномірності розподілу гальмівних сил і коефіцієнта зчеплення між колесами автомобіля, а також зміщення центру мас автомобіля в поперечному напрямку. Порівняння результатів моделювання та експериментальних даних показало максимальну похибку 7,9 %.

Криволінійну траєкторію руху автомобіля в процесі гальмування можна спостерігати з фіксованим в нейтральному положенні рульовим колесом. Такі випадки спричиняються нерівномірністю гальмівних сил коліс осі, боковим зміщенням центра мас автомобіля, нерівномірністю розподілу коефіцієнта зчеплення по колесам автомобіля. Це повністю збігається з даними, добре відомими з робіт [60, 61].

Основні труднощі розв'язування задач оцінювання гальмівних властивостей автомобілів при дослідженні ДТП обумовлені необхідністю врахування великого числа кількісних та якісних факторів, відсутністю аналітичних залежностей, які зв'язують фактори впливу з рішеннями. Математичні методи, які традиційно використовуються для розв'язання таких задач [19, 24, 30, 31], не дозволяють моделювати логіку міркувань експертів з залученням нечислової та нечіткої інформації. Застосування моделі визначення коефіцієнта зчеплення (розділи 2, 3) та моделей оцінювання гальмівного моменту на колесах автомобіля [32] усувають зазначені недоліки шляхом врахування як стохастичної, так і нечіткої невизначеності. Завдяки цьому звужується діапазон можливих оцінок та підвищується об'єктивність прийняття рішень при дослідженні ДТП.

Результати даної роботи можуть бути використані при розслідуванні дорожньо-транспортних пригод, пов'язаних зі зміною траєкторії руху при гальмуванні.

4.5 Підвищення якості автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод в умовах композиційної невизначеності

З метою підвищення якості розслідування обставин ДТП та досягнення об'єктивного висновку під час слідства і суду Міністерством юстиції України затверджені науково-методичні рекомендації щодо підготовки та призначення експертних досліджень та судових експертиз, які передбачають перелік основних питань з автотехнічної експертизи [44]. Для відповіді на ці питання експерту достатньо визначити ті чи інші параметри за формулами, відомими з теорії експлуатаційних властивостей автомобіля [24]. Однак отримання достовірних результатів розрахунків можливе у разі підстановки достовірних чисельних значень вихідних розрахункових даних в формули: результатів вимірювань, параметрів та коефіцієнтів. Даний підхід є принциповим, оскільки лише у випадку достовірності вихідних даних можна гарантувати обґрунтованість, достовірність та об'єктивність висновків експерта, забезпечити можливість їхнього використання в якості доказів. Нажаль розрахунок параметрів руху транспортних засобів при автотехнічній експертизі в переважній більшості випадків виконується без оцінювання похибки одержуваних результатів, що не задовольняє вимоги Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність». Це визначає актуальність удосконалення методів розв'язування задач автотехнічної експертизи ДТП [19, 20, 31, 40, 43].

Необхідність визначення ефективності гальмування ТЗ в процесі дослідження дорожньо-транспортної пригоди виникає у переважній більшості автотехнічних досліджень ДТП [19, 40]. Питання «Який гальмовий (зупинний) шлях автомобіля був за даної швидкості його руху в умовах певної дорожньої обстановки?» входить до затвердженого Міністерством юстиції України переліку основних питань автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод [44].

Для ілюстрації ефективності розробленого у [39, 42] підходу з врахування розробок, представлених у розділах 2, 3, визначимо величину гальмового та зупинного шляху ТЗ у певних дорожніх обставинах на основі моделей (4.20)-(4.24) та порівняємо отримані величини з результатами розрахунку за формулами (4,25) у програмі «Експресс аналіз ДТП» [64, 65] та результатами моделювання у програмі PC-Crash, [64, 66] що відображають діючу методику [19, 31, 40]. При цьому, до уваги візьмемо той факт, що в даному контексті невизначеність довідкових та розрахункових параметрів впливає на інтерпретацію аналітичних результатів.

Для автомобілів з антиблокувальною системою гальм (ABS) та (або) з асистентом гальмування (BA) для визначення зупинного шляху ТЗ пропонується залежність [42]

$$S_0 = (t_1 + t_2 + 0.5t_3) \cdot V_a + \frac{V_a^2 - V_s^2}{2j_{ABS(BA)}} + \frac{V_s^2}{2j_s} - S_{OR}, \quad (4.20)$$

де t_1 – час реакції водія, с;

t_2 – час спрацьовування гальмівного приводу, с;

t_3 – час наростання сповільнення, с;

V_a – швидкість ТЗ на початку гальмування, м/с;

$j_{ABS(BA)}$ – усталене сповільнення при роботі ABS (BA);

j_s – усталене сповільнення без (відключеній) ABS;

v_s – гранична швидкість автомобіля, зменшення якої призводить до відключення ABS, $v_s = 15$ км/год [24];

S_{OR} – відстань, на яку зменшується зупинний шлях ТЗ за рахунок дії сил опору руху за час t_1 , t_2 і t_3 .

$$S_{OR} = j_{OR}(t_1 + t_2) \cdot \left(\frac{t_3}{2} + \frac{V_a}{j_{ABS(BA)}} - \frac{j_{OR} \cdot (t_1 + t_2)}{2j_{ABS(BA)}} + \frac{(t_1 + t_2)}{2} \right) - \frac{j_{ABS(BA)} \cdot t_3^2}{24}, \quad (4.21)$$

де j_{OR} – сповільнення, що виникає за рахунок дії сил опору руху.

Аналіз запропонованих математичних моделей (4.20), (4.21) показав, що врахування дії сил опору руху на ділянках зупинного шляху, які відповідають проміжкам часу t_1 , t_2 і t_3 , дозволяє підвищити точність оцінювання величини S_0 на 5-10% порівняно з існуючими методами. Це може суттєво вплинути на формування висновків з дослідження обставин ДТП.

У разі необхідності визначення гальмівного шляху ТЗ, на основі (4.20) та (4.21) маємо

$$S_b = (t_2 + 0.5t_3) \cdot V_a + \frac{V_a^2 - V_S^2}{2j_{ABS(BA)}} + \frac{V_S^2}{2j_S} - S_{OR}^b, \quad (4.22)$$

де S_{OR}^b – відстань, на яку зменшується гальмівний шлях ТЗ за рахунок дії сил опору руху за час t_2 і t_3 .

$$S_{OR}^b = j_{OR} \cdot t_2 \cdot \left(\frac{t_2 + t_3}{2} - \frac{V_a}{j_{ABS(BA)}} + \frac{j_{OR} \cdot t_2}{2j_{ABS(BA)}} \right) + \frac{j_{ABS(BA)} \cdot t_3^2}{24}. \quad (4.23)$$

Визначати зупинний та гальмівний шляхи ТЗ для автомобілів без ABS пропонується за такими виразами

$$S_0 = \left(t_1 + t_2 + \frac{t_3}{2} \right) \cdot V_a + \frac{V_a^2}{2j_S} - S_{OR}, \quad S_b = \left(t_2 + \frac{t_3}{2} \right) \cdot V_a + \frac{V_a^2}{2j_S} - S_{OR}^b, \quad (4.24)$$

де S_{OR} та S_{OR}^b визначаються за виразами (4.21) та (4.23) із заміною $j_{ABS(BA)}$ на j_S .

В практиці встановлення обставин ДТП Європейської мережі установ судової експертизи [31] зупинний та гальмівний шлях визначають так

$$S_0 = (t_1 + t_2 + 0.5 \cdot t_3) \cdot \frac{V_a}{3.6} + \frac{V_a^2}{26 \cdot j_a}, \quad S_b = (t_2 + 0.5 \cdot t_3) \cdot \frac{V_a}{3.6} + \frac{V_a^2}{26 \cdot j_a}, \quad (4.25)$$

де j_a – усталене сповільнення при екстремому гальмуванні, м/с².

Якщо виходити з припущення, що величину зміни меж відстані від автомобіля до місця наїзду в момент появи небезпеки для руху було встановлено без врахування невизначеності, при співставленні з верхньою межею можливі чотири ситуації (рис. 4.8):

1. Результат перевищує граничне значення на величину, більшу за розширену невизначеність.

2. Результат перевищує граничне значення на величину, меншу за розширену невизначеність.

3. Результат нижче граничного значення на величину, меншу за розширену невизначеність.

4. Результат нижче граничного значення на величину, більшу за розширену невизначеність.

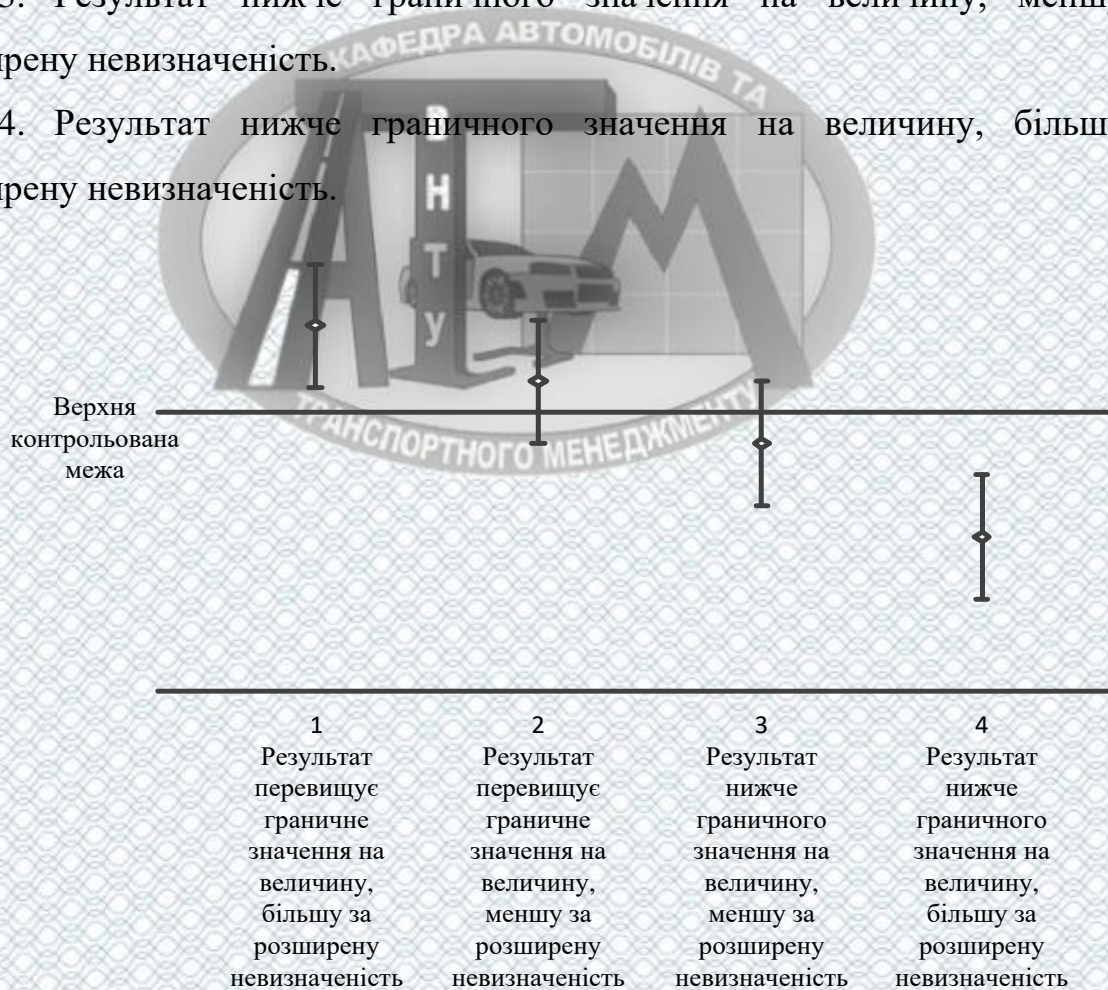


Рисунок 4.8 – Невизначеність та її відповідність заданим межам

Випадок 1 звичайно інтерпретується як демонстрація повної впевненості в тому, що водій не мав технічної можливості уникнути наїзду. Навпаки, випадок 4 звичайно інтерпретується як демонстрація повної впевненості в тому, що водій

мав технічну можливість уникнути наїзду. Випадки 2 і 3 звичайно потребують окремого поглибленого розгляду. Аналогічні міркування застосовні при роботі з нижньою межею заданого параметра.

З метою ілюстрації ефективності пропонованих новацій, проведемо оцінювання показників гальмування ТЗ на основі таких обставин ДТП: 16.02.20...р. близько 23.20 години водій А, рухаючись за кермом автомобіля марки «ЗАЗ 110557», допустив наїзд на пішохода Б, який рухався в попутному з автомобілем напрямку, внаслідок чого Б було доставлено до лікарні.

Вихідні дані (прийняті з постанови про призначення експертизи):

1. Покриття: вкрите шаром укатаного снігу товщиною 4 сантиметра, пряме зі спуском 6 градусів, призначене для руху в двох напрямках, по одній смузі руху в кожному напрямку, лінії дорожньої розмітки відсутні.

2. Швидкість та напрямок руху: автомобіль ЗАЗ 110557, рухався на відстані 0.4 м (зі слів водія) до лівого краю проїзної частини зі швидкістю 40 км/год (зі слів водія).

3. Завантаженість: автомобіль ЗАЗ 110557 – рухався без пасажирів та вантажу (зі слів водія та протоколу огляду місця події).

4. Сліди гальмівного юзу: наявний слід юзу колеса автомобіля ЗАЗ 110557, довжиною 24.3 м, який розпочинається на відстані 3.2 м від лівого краю та закінчується на відстані 3.2 м відповідно до лівого краю проїзної частини.

5. Освітленість: темна пора доби.

6. Наїзд відбувся: лівою частиною автомобіля «ЗАЗ 110557».

7. Видимість пішохода та елементів дороги: місце наїзду розташоване на відстані 0.4 м від лівого краю проїзної частини дороги та лівого плеча пішохода та на відстані 1.8 м до краю будинку № ... по вулиці При цьому пішохід рухався в темпі спокійного кроку (зі слів пішохода) в напрямку вул. ..., та його видимість складала 41.1 м, видимість елементів дороги складала 72.4 м (зі слів водія).

8. Момент виникнення небезпеки для водія автомобіля ЗАЗ 110557, відповідає моменту появи пішохода в полі його зору.

Застосуємо обставини ДТП для автомобілів, які мають різні конструктивні особливості гальмових систем та типи шин та визначимо шлях, необхідний для зупинки ТЗ. В таблиці 4.5, представлені вхідні значення параметрів гальмування адаптовані для розрахунку. В таблиці 4.6 – результати розрахунку за діючою методикою для автомобілів ЗАЗ 110557 (без ABS), Skoda Octavia (з ABS), Audi A6 (з ABS та BA).

Таблиця 4.5 – Значення параметрів гальмування адаптовані для розрахунку

Величина параметра	Вхідний параметр					
	t_1 , с	t_2 , с	t_3 , с	V_a , км/год	j , м/с ²	α , °
	1	0,2	0,1	35,4-34,4	2,0-2,9	-6

Таблиця 4.6 – Результати розрахунку за діючою методикою з врахуванням стохастичної невизначеності

Аналітична модель (4.25) – програма «Експресс анализ ДТП»				Імітаційна модель PC-Crash			
Зупинний шлях		Гальмовий шлях		Зупинний шлях		Гальмовий шлях	
x_{\min} , М	x_{\max} , М	x_{\min} , М	x_{\max} , М	x_{\min} , М	x_{\max} , М	x_{\min} , М	x_{\max} , М
ЗАЗ 110557 (без ABS)							
36,85±0,85	59,1±1,5	27,15±0,75	49,4±1,4	36,85±0,88	59,12±1,52	24,25±0,71	46,52±1,34
Skoda Octavia (з ABS)							
36,85±0,85	59,1±1,5	27,15±0,75	49,4±1,4	36,85±0,88	59,12±1,52	24,25±0,71	46,52±1,34
Audi A6 (з ABS та BA)							
36,85±0,85	59,1±1,5	27,15±0,75	49,4±1,4	36,85±0,88	59,12±1,52	24,25±0,71	46,52±1,34

Як видно з таблиці 4.6, діюча методика не враховує конструкцію гальмівної системи та тип і стан використовуваних шин при оцінюванні ефективності гальмування, і в межах однієї категорії ТЗ дає однакові рішення.

Застосуємо розроблений математичний апарат [42], представлений виразами (4.20)-(4.24), для оцінювання даної дорожньої ситуації.

В таблиці 4.7 подані результати розрахунку сповільнення досліджуваних ТЗ на основі моделювання в адаптивній нейро-нечіткій системі оцінювання взаємодії коліс автомобіля з дорожнім покриттям при екстремому гальмуванні (розділи 2, 3).

Таблиця 4.7 – Результати розрахунку сповільнення ТЗ за запропонованою методикою з врахуванням стохастичної та нечіткої невизначеності

Модель ТЗ	ЗАЗ 110557	Skoda Octavia	Audi A6
V_a , км/год	35,4-34,4		
Навантаження на колесо, кг	190	312	420
Тип і стан шин	зимова, до 50% зносу		
Дорожнє покриття	Укочений сніг після проходу грейдера		
Гальмівна система	без ABS	з ABS	з ABS та BA
Коефіцієнт зчеплення φ_{\min}	0,196	0,205	0,221
Коефіцієнт зчеплення φ_{\max}	0,226	0,236	0,256
Сповільнення j_{\min}^1 , м/с ²	0,9	1,0	1,1
Сповільнення j_{\max}^1 , м/с ²	1,2	1,3	1,5

1 – 3 урахуванням ухилу дороги в -6° (спуск)

В загальному випадку алгоритм визначення коефіцієнта зчеплення зводиться до виконання таких кроків:

1. Визначення типу і стану дорожнього покриття.
2. Встановлення типу шин та оцінювання остаточної висоти протектора шин за якою встановлюється відсоток їх зношення.

3. Оцінювання величини інтегрального показника «шини – дорога» Q на основі рекомендацій, представлених у розділі 2.
4. Встановлюємо величину початкової швидкості гальмування V_a , км/год.
5. Виходячи з технічної характеристики ТЗ встановлюємо конструктивні особливості його гальмівної системи (без ABS, з ABS або з ABS та ВА) та встановлюємо навантаження на колесо N , кг.
6. Виконуємо моделювання за допомогою розробленої нейро-нечіткої системи оцінювання коефіцієнта зчеплення коліс автомобіля з дорожнім покриттям у середовищі Matlab.

Далі, для автомобілів Skoda Octavia та Audi A6 зупинний та гальмовий шлях визначаємо за виразами (4.20) та (4.22). Для автомобіля ЗАЗ 110557 – за виразами (4.25). Результати розрахунку зводимо до таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Результати розрахунку за запропонованою методикою з врахуванням стохастичної та нечіткої невизначеності

Зупинний шлях		Гальмовий шлях	
x_{\min} , М	x_{\max} , М	x_{\min} , М	x_{\max} , М
ЗАЗ 110557 (без ABS)			
51,95±1,31	63,21±1,64	42,25±1,18	53,51±1,50
Skoda Octavia (з ABS)			
49,41±1,23	59,49±1,51	39,72±1,09	49,8±1,37
Audi A6 (з ABS та ВА)			
45,37±1,08	55,47±1,37	35,67±0,94	45,77±1,23

Аналіз результатів розрахунку, представлених у таблиці 4.8, показує, що завдяки врахуванню конструкції гальмівної системи, типу і стану використовуваних шин при оцінюванні ефективності гальмування, запропонована методика дозволяє уникнути однаковості рішень в межах однієї категорії ТЗ та підвищити об'єктивність оцінювання дорожньо-транспортної ситуації.

Висновки до розділу 4

Розвиток апаратної бази електронних обчислювальних машин та програмних продуктів, що використовуються в експертизі дорожньо-транспортних пригод, комплексне застосування спеціалізованого комп'ютерного забезпечення для моделювання механізму ДТП та систем автоматизованого вимірювання та доекспертного розрахунку початкових даних підвищують роль інформаційних технологій в забезпеченні необхідного рівня об'єктивності експертних висновків.

Процес прийняття рішень в автотехнічній експертизі ДТП слід розглядати не тільки як детермінований, але і як стохастичний та нечіткий процес, який потребує застосування синтезу детермінованих, імовірнісних, регресійних та нейро-нечітких моделей для врахування більшості факторів, що впливають на зменшення невизначеності при формуванні експертних висновків. Запропонований підхід показує, що врахування стохастичної та нечіткої невизначеності сприяє звуженню діапазонів можливих рішень на 49,4%. Імовірність появи помилок I роду скоротиться на 1,75-18,5%, а помилок II роду – на 43,1-67,8%.

РОЗДІЛ 5.

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Безпека праці – один з чинників, який, поряд з іншими (станом охорони здоров'я, освіти, свободи підприємництва, свободи слова) визначає, в цілому, якість нашого життя. По стану безпеки праці в державі можна судити про відношення суспільства до таких вищих цінностей, як людське життя, про рівень технічного прогресу, а також про соціальну відповідальність влади, бізнесу, політичних і суспільних організацій.

В даній роботі розглядаються умови праці працівника під час виконання досліджень з удосконалення існуючих підходів щодо оцінювання коефіцієнта зчеплення та показників ефективності гальмування ТЗ при автотехнічній експертизі ДТП в умовах наявності композиційної (стохастичної та нечіткої) невизначеності в умовах Вінницького науково-дослідного експертно-криміналістичного центру МВС України. Обробка результатів досліджень відбувалася в приміщенні, яке обладнане комп'ютеризованими робочими місцями. На працівника, згідно ГОСТ 12.0.003-74, мали вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

1. Фізичні:

- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищена чи понижена вологість повітря;
- підвищений рівень статичної електрики;
- підвищений рівень електромагнітного випромінювання;
- недостатня освітленість робочої зони.

2. Психофізіологічні:

- розумове перевантаження;
- перенапруга аналізаторів;

- статичне перевантаження.

5.1 Технічні рішення щодо безпечного виконання роботи

Обладнання приміщення та робочого місця.

Під час аналізу умов праці на робочому місці необхідно оцінити відповідність параметрів приміщення НПАОП 0.00-7.15-18 та відповідність параметрів мікроклімату ДСН 3.3.6.042-99. В приміщенні знаходиться 2 робочих місця обладнаних ПК.

Площа приміщення становить 20,8 м², що в розрахунку на одного працівника становить 10,4 м². Даний показник відповідає нормі щодо площі приміщення на одного працівника відповідно до НПАОП 0.00-7.15-18.

Об'єм приміщення становить 62,4 м³, що в розрахунку на одного працівника становить 31,2 м³. Даний показник відповідає нормі щодо площі приміщення на одного працівника відповідно до НПАОП 0.00-7.15-18.

Робоче місце проектувальника і взаємне розташування всіх його елементів відповідає антропометричним, фізичним і психологічним вимогам ДСТУ 8604:2015.

Робота за ЕОМ вимагає пильної уваги, чітких дій і самоконтролю. Тому не можна працювати :

- при недостатньому освітленні;
- при поганому самопочутті (в цьому випадку треба звернутися до лікаря).

Вимоги роботи перед початком роботи:

- спокійно, без поспіху, заходити в кабінет і займати відведене місце;
- візуально оглянувши пристрої ПК, переконатися у відсутності явних пошкоджень;
- сідати так, щоб екран дисплея знаходився на відстані 60-70 см від очей, перпендикулярно лінії погляду;

– розташовувати на столі зошит, навчальний посібник так, щоб вони не перешкоджали роботі ПК.

Вимоги безпеки під час роботи на ЕОМ:

- дбайливо поводитись з технікою;
- чітко виконувати всі правила, зазначені вище, а також поточні рекомендації технічних працівників;
- плавно натискати на клавіші, без різких ударів;
- працювати на клавіатурі чистими руками;
- ніколи не намагатись самостійно усувати неполадки в роботі апаратури;
- слідкувати за справністю апаратури і з появою незвичного звуку чи мимовільного відключення апаратури негайно припинити роботу та негайно повідомити про це технічних працівників.

При роботі в комп'ютерному класі забороняється:

- торкатися місць під'єднання кабелів;
- торкатися проводів живлення і пристроїв заземлення;
- працювати на комп'ютері при знятому кожусі будь-якого пристрою;
- під'єднувати та від'єднувати з'єднувачі при поданій напрузі;
- вмикати і вимикати апаратуру без дозволу викладача;
- порушувати порядок ввімкнення і вимкнення апаратурних блоків;
- класти диски, книги, зошити на монітор і клавіатуру;
- працювати у вологому одязі і вологими руками.

Вимоги безпеки після закінчення роботи:

- вимкнути пристрої ПК;
- від'єднати ПК від електромережі;
- привести робоче місце в належний порядок.

У разі виникнення аварійних ситуацій потрібно негайно припинити роботу, вимкнути пристрої і повідомити про це технічних працівників.

Електробезпека

Обладнання живиться від однофазної мережі з заземленою нейтраллю напругою 220 В. Клас приміщення по ступеню небезпеки ураження електричним струмом – без підвищеної небезпеки.

Згідно з ДСТУ Б В.2.5-82:2016 в якості захисту необхідно виконувати занулення. Занулення це навмисне електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих струмоведучих частин обладнання, що може виявитись під напругою.

Усю будівлю, в тому числі і досліджуване приміщення, електрифіковано згідно з усіма відповідними нормами. Вимоги електробезпеки і пожежної безпеки у приміщеннях, де встановлені екранні пристрої, відображені у НПАОП 0.00-7.15-18: ПК і все устаткування для обслуговування, ремонту та налагодження роботи їх, електропроводи і кабелі мають відповідати електробезпеці зони за ПВЕ та мати апаратуру захисту від струму короткого замикання.

Заборонено під'єднувати обладнання до звичайної двопровідної електричної мережі, зокрема з використанням перехідних пристроїв. Електромережі штепсельних з'єднань та електричних розеток виконані за магістральною схемою, по 3-6 в одному колі. Оскільки вони розташовані уздовж стін, то провідники прокладені по підлозі в металевих трубах і гнучких металевих рукавах. Металеві трубки і гнучкі металеві рукави заземлені.

5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

Показники мікроклімату в виробничих приміщеннях нормуються згідно ДСН 3.3.6.042-99 для теплого та холодного періодів року згідно категорій робіт. Роботи, які виконуються відносяться до категорії Іб

Інтенсивність теплового опромінення працюючих від нагрітих поверхонь не повинна перевищувати 100 Вт/м^2 при опроміненні не більше 25% поверхні тіла.

Температура повітря коливається в межах $16...18^\circ\text{C}$ в холодний період року та $18...22^\circ\text{C}$ в теплий період року з вологістю 50...70%. Швидкість руху повітря в межах $0,2...0,4 \text{ м/с}$. Теплове опромінення в межах $20...40 \text{ Вт/м}$ при опроміненні не більше 15% поверхні тіла.

Таблиця 5.1 – Оптимальні та допустимі норми температури, відносна вологість та швидкість руху повітря в робочій зоні виробничого приміщення

Період року	Категорія	Температура, $^\circ\text{C}$			Відносна вологість, %		Швидкість руху повітря, м/хв	
		Оптим.	Допустима		Оптим.	Допуст. не більше	Оптим. більше	Допуст. не більше
			Верхня гран.	Нижня гран.				
Холод	Iб	17-19	21	15	40-60	75	0,3	0,4
тепл	Iб	20-22	27	16	40-60	70	0,4	0,5

Отже, всі показники мікроклімату знаходяться в оптимально-допустимих межах.

Освітлення природне бокове та штучне комбіноване.

Обладнання живиться напругою 220 В від однофазної мережі з заземленою нейтраллю.

Використовується природна вентиляція та механічна приточно-витяжна система. ГДК шкідливих речовин, які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 5.2.

Забезпечення складу повітря робочої зони здійснюється за допомогою системи кондиціонування та вологого прибирання.

Таблиця 5.2 – ГДК шкідливих речовин у повітрі

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Озон	0,16	0,03	1
Вуглекислий газ	3	1	4

Освітлення робочої зони має наступні параметри:

- штучне освітлення: освітленість 150лк;
- природне освітлення: освітленість 300 лк.

Стосовно природного освітлення:

- освітлення бічне;
- географічна широта 48°;
- орієнтація вікон - на захід.

Таблиця 5.3 – Нормування освітленості за ДБН В.2.5-28:2018

Характер зорової роботи	Найменший розмір об'єкту розрізнення	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкту розрізнення	Характер фону	Штучне, лм	Природне, %
						Комбіноване	Комбіноване
Високоточні	Більше 0,15 до 0,3	2	в	Середній	Середній	750	2,5

Так як маємо одностороннє бічне природне освітлення, то мінімальне значення КПО нормується в точці, розміщеній на відстані 1 м від стіни, найбільш віддаленій від світлових проїомів, на перетині вертикальної площини характерного перерізу приміщення та умовної робочої поверхні (пола).

Таблиця 5.4 – Коефіцієнт світлового клімату та сонячності

Пояс світлового клімату	Коефіцієнт світлового клімату, m	Коефіцієнт сонячності клімату, C
		при світлових пройомках, орієнтовних в боки горизонту (азимут, град)
		226.. 315
II б) 50° пш та південніше	0,9	0,75

Нормоване значення КПО, e_n для будівлі, що знаходиться в IV поясі світлового клімату, знаходимо по формулі:

$$e_n^{IV} = e_n^{III} \cdot m \cdot c, \quad (5.1)$$

де $e_n^{III}=2,5$ для природнього освітлення;

$e_n^{III} = 4,5$ для суміщеного освітлення;

$m=0,9$; $c=0,75$

$e_n^{IV} = 2,5 \cdot 0,9 \cdot 0,75 = 1,6875 = 1,7\%$ $e_n^{IV} = 4,5 \cdot 0,9 \cdot 0,75 = 3,075 = 3,0\%$

$e_n^{IV} = 0,5 - 0,9 - 0,75 = 0,3375 \sim 0,4\%$.

Отже, освітленість робочої зони діляниці відповідає нормам ДБН В.2.5-28:2018.

Основним джерелом шуму на ділянці є комп'ютери та системи вентиляції.

Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях в виробничих приміщеннях визначаються за ДСН 3.3.6.037-99.

Для забезпечення допустимих параметрів шуму в приміщенні передбачено використання звукопоглинаючих матеріалів.

Під час роботи в приміщенні на працівника діє електромагнітне випромінювання (ЕМВ), що створюється ПК. ЕМВ через свою негативну дію на

генофонд і здоров'я людини підлягають гігієнічному нормуванню згідно з вимогами ДСанПіН 3.3.6.096-2002.

Таблиця 5.5 – Допустимі рівні звукового тиску

Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах з середньо геометричними частотами, Гц									Рівні звуку і еквівалентні рівнів звуку, дБ(А)
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	80
107	95	87	82	78	75	73	71	69	

Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань від монітора комп'ютера представлені в табл. 5.6.

Таблиця 5.6 – Допустимі значення параметрів неіонізуючих електромагнітних випромінювань

Найменування параметра	Допустимі значення
Напруженість електричної складової електромагнітного поля на відстані 50см від поверхні відеомонітора	10 В / м
Напруженість магнітної складової електромагнітного поля на відстані 50см від поверхні відеомонітора	0,3 А / м
Напруженість електростатичного поля не повинна перевищувати: для дорослих користувачів для дітей дошкільних установ і студентів середніх спеціальних і вищих навчальних закладів	20 кВ / м 15 кВ / м

Для забезпечення безпеки від дії ЕМВ використовують організаційні, інженерно-технічні та лікувально-профілактичні заходи.

Організаційні заходи: організація робочих місць, оптимальне розміщення технологічного устаткування, розробка гігієнічно-обґрунтованих режимів праці та відпочинку, зменшення часу перебування у зоні опромінення.

Технічні заходи: віддалення робочого місця від джерела випромінювання.

Лікувально-профілактичні заходи: періодичні медогляди.

Оцінка психофізіологічних факторів під час проектування об'єкта будівництва здійснюється відповідно до Гігієнічної класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу.

Загальні енергозатрати організму: до 174 Вт.

Стереотипні робочі рухи (кількість за зміну): до 40 000.

Робоча поза: вільна зручна поза, можливість зміни пози («сидячи – стоячи») за бажанням працівника; перебування в позі «стоячи» до 40% часу зміни.

Нахили тулуба (вимушені, більше 30°), кількість за зміну: до 50 раз.

Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження:

– зміст роботи – творча діяльність, що вимагає вирішення складних завдань за відсутності алгоритму;

– сприймання інформації та їх оцінка – сприймання сигналів з наступним порівнянням фактичних значень параметрів з їх номінальними значеннями.

Заключна оцінка фактичних значень параметрів;

– розподіл функцій за ступенем складності завдання – обробка, виконання завдання та його перевірка.

Сенсорні навантаження:

– зосередження (%за зміну) – до 5-75%;

– щільність сигналів (звукові за 1 год) – до 150;

– навантаження на слуховий аналізатор (%) – розбірливість слів та сигналів від 50 до 80 %;

– спостереження за екранами відеотерміналів (годин на зміну) – 4-6 год.

– навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 16 до 20.

Емоційне навантаження: ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за функціональну якість основної роботи; Ступінь ризику для власного життя – вірогідний;

Режим праці:

- тривалість робочого дня – більше 8 год;
- змінність роботи – однозмінна (без нічної зміни).

За зазначеними показниками важкості та напруженості праці, робота, яка виконується належить до допустимого класу умов праці (напруженість праці середнього ступеня).

5.3 Пожежна безпека

За вибухопожежною і пожежною небезпекою приміщення відноситься до категорії Д. До категорії приміщення Д відносяться приміщення з наступною характеристикою речовин і матеріалів, які знаходяться у приміщенні: Негорючі речовини і матеріали в холодному стані.

Будівля, де знаходиться приміщення відноситься до I ступені вогнестійкості. До ступені вогнестійкості I відносяться будівлі з штучними і відгороджуваними конструкціями з природних та штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових та плитних негорючих матеріалів. Відповідно до ДСТУ Б В.1.1-36:2016 мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій, год. (над ризикою) і максимальні межі розповсюдження вогню по ним, см. (під ризикою):

- стіни несучі і сходинові клітини - 2,5/0;
- стіни самонесучі - 1,25/0;
- стіни зовнішні не несучі (у тому числі з навісних панелей) - 0,5/0;
- стіни внутрішні ненесучі (перегородки) - 0,5/0;
- колони - 2,5/0;

- сходинові площадки, косоури, ступені, балки і марші сходинових клітин - 1/0;
- плити, настили (у тому числі з утеплювачем) і другі несучі конструкції перекрить - 1 /0;
- елементи покрить: плити, настили (у тому числі з утеплювачем) і прогони - 0,5/0;
- елементи покрить: балки, ферми, арки, рами - 0,5/0.

Для категорії приміщення Д, ступені вогнестійкості І допустима кількість поверхів 10, площа поверху в межах пожежного відсіку не обмежується.

Відстань від найбільш віддаленого робочого місця до ближчого евакуаційного виходу із приміщення безпосередньо зовні чи в сходинову клітину не обмежується незалежно від об'єму приміщення для категорії приміщення Д і ступені вогнестійкості будови І.

Ширину евакуаційного виходу (дверей) із приміщення необхідно приймати в залежності від загальної кількості людей, які евакуюються через цей вихід і кількості людей на 1 м ширини виходу (дверей). Для категорії приміщення Д, ступені вогнестійкості І, незалежно від об'єму кількість людей на 1 м ширини евакуаційного виходу (дверей) повинна бути не менше 260 чол./м.

Для виробничих будов, споруд категорії Д норми первинних засобів пожежогасіння приведені в табл. 5.7.

Таблиця 5.7 – Характеристика та норми оснащення приміщення

Категорія приміщення	Гранична захищувана площа, м ²	Пінні та водні вогнегасники місткістю 10 л	Порошкові вогнегасники місткістю, л		
			2	5	10
Д	1800		1+	2+	

Протипожежний захист приміщення забезпечується шляхом:

1. Безпечної евакуації людей та майна (аварійного вимкнення устаткування).
2. Обмеження розмірів та поширення пожежі (облаштування систем автоматичної пожежної сигналізації та пожежогасіння).
3. Створення умов для успішного гасіння пожежі (пожежної автоматики).

Висновки до розділу 5

В даному розділі на основі аналізу умов праці при виконанні роботи по підвищенню ефективності бортових систем забезпечення безпеки руху автомобілів було розроблено необхідні організаційно-технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії, організаційно-технічні рішення щодо забезпечення безпечної роботи. Отже поставлені завдання виконані.



ВИСНОВКИ

1. Високий рівень аварійності на автомобільному транспорті призводить до широкого залучення експертних служб щодо встановлення обставин дорожньо-транспортних пригод. Виконаний аналіз літературних джерел виявив недоліки існуючих підходів щодо оцінювання потенціалу реалізації зчіпних властивостей коліс автомобіля з дорожнім покриттям та ефективності гальмування ТЗ при експертизі ДТП, дозволив сформулювати завдання дослідження. Аналіз особливостей діяльності установи, на базі якої мають проводитись дослідження, показує наявність необхідних ресурсів для проведення наукових досліджень, підтверджує обґрунтованість вибору Вінницького науково-дослідного експертно-криміналістичного центру МВС України в якості базового.

2. Коефіцієнт зчеплення шини з дорогою, який визначає межу гальмівних властивостей автомобіля, в умовах невизначеності доцільно оцінювати засобами нейро-нечіткого редактора Anfis пакету Fuzzy Logic Toolbox в обчислювальному середовищі Matlab на основі методу ідентифікації нелінійних об'єктів нечіткими базами знань. При цьому побудова математичних моделей повинна здійснюватись в два етапи: структурна ідентифікація; параметрична ідентифікація. Формування вихідних даних для моделювання повинно здійснюватись з урахуванням методики обробки результатів та обчислення похибок непрямих вимірювань вихідних даних для автотехнічної експертизи ДТП.

3. На основі сформованої експериментальної бази даних щодо дослідження ефективності гальмування транспортних засобів категорії М1 в умовах експлуатації було проведено оцінювання інформативності факторів, які впливають на коефіцієнт зчеплення, засобами Fuzzy Logic Toolbox обчислювального середовища Matlab. В результаті чого встановлено, що удосконалення існуючих підходів щодо оцінювання коефіцієнта зчеплення та показників ефективності гальмування транспортних засобів при автотехнічній

експертизі ДТП в умовах наявності композиційної (стохастичної та нечіткої) невизначеності можна досягти за рахунок використання простих ANFIS-моделей, які забезпечують кращі узагальнюючі властивості. Саме тому для подальшого навчання була обрана модель «два входи – один вихід», яка дозволяє прогнозувати величину коефіцієнта зчеплення з похибкою в межах 2%. Однак, слід пам'ятати, що моделі, синтезовані за допомогою ANFIS або за допомогою іншої технології автоматичного навчання, можуть адекватно описувати лише закономірності, представлені репрезентативними вибірками даних.

4. В процесі прийняття рішень в автотехнічній експертизі дорожньо-транспортних пригод розглядаються не тільки детерміновані, але і стохастичні та нечіткі величини, обробка яких потребує застосування синтезу імовірнісних, регресійних, детермінованих та нейро-нечітких моделей з метою врахування факторів, які можуть зменшити невизначеність при формуванні експертних висновків. Врахування нечіткої та стохастичної невизначеностей сприяє мінімізації діапазонів можливих рішень до 50%. При цьому імовірність появи помилок I роду скорочується до 20%, а помилок II роду – від 40 до 70%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кашканов А. А., Кашканова А. А., Грисюк О. Г. Оцінювання часу реакції водія при експертизі дорожньо-транспортних пригод. Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк: ЛНТУ, 2018. №62. С. 131-137.
2. Кашканов А. А., Кашканов В. А., Кашканова А. А. Моделювання траєкторії руху автомобіля при дослідженні дорожньо-транспортних пригод. Вісник машинобудування та транспорту. Вінниця: ВНТУ, 2019. №1(9). С. 53-65. DOI: 10.31649/2413-4503-2019-9-1-53-65.
3. Кашканов А. А., Рейко С. Л., Діордіца В. М., Кашканов В. А., Кашканова А.А. Підвищення якості автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод в умовах композиційної невизначеності. Вісник машинобудування та транспорту. 2020. №2(12). С. 66-73. DOI: 10.31649/2413-4503-2020-12-2-66-73.
4. Кашканов А. А., Кашканова А. А. Невизначеність довідкових значень часу реакції водія в розслідуванні дорожньо-транспортних пригод. Матеріали V-ої міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту», 13-14 квітня 2017 року: збірник наукових праць. Вінниця: ВНТУ, 2017. С. 50-55.
5. Кашканов А. А., Кашканова А. А. Формування сучасних інструментальних засобів збору, обробки, зберігання та передачі даних з місця ДТП. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології і методи підготовки фахівців», 19–20 жовтня 2017 року : збірник наукових праць. Харків: ХНАДУ, 2017. С. 283-284.
6. Кашканов А. А., Грисюк О. Г., Назарук Я. В., Кашканова А. А. Підвищення гальмівної ефективності автомобілів шляхом застосування систем активної безпеки. Матеріали X міжнародної науково-практичної конференції

«Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 23-25 жовтня 2017 року: збірник наукових праць. Вінниця: ВНТУ, 2017. С. 180-183.

7. Кашканов А. А., Кашканова А. А. Методика обчислення похибок та обробки результатів непрямих вимірювань параметрів для автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод. Матеріали VI-ої міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту», 12-13 квітня 2018 року: збірник наукових праць. Вінниця: ВНТУ, 2018. С. 68-71.

8. Кашканов А. А., Походзей Б. М., Кашканова А. А. Проблеми діагностування технічного стану автотранспортних засобів. Електронне наукове видання матеріалів Регіональної науково-практичної Інтернет-конференції студентів, аспірантів та молодих науковців. Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи. ВНТУ, Вінниця, січень-травень 2018 р. [Електронний ресурс]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2018/paper/view/3661/3063>.

9. Кашканов А. А., Кашканова А. А., Тимчук В. С., Тіманов П. О. Превентивні системи безпеки автомобілів. Електронне наукове видання матеріалів XLV науково-технічної конференції ВНТУ, Вінниця, 22-23 березня 2018 р. [Електронний ресурс]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2018/paper/view/4059/3307>.

10. Кашканов А. А., Кашканова А. А. Сучасні засоби збору, обробки, зберігання та передачі даних з місця ДТП. Матеріали VII-ої міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту», 8-10 квітня 2019 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. Вінниця: ВНТУ, 2019. С. 52-58.

11. Кашканов А. А., Кашканова А. А. «Роль інформаційних технологій в автотехнічній експертизі аварійних ситуацій» в Матеріали конференції «XLVIII Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного

технічного університету (2019)», Вінниця, 2019. [Електронний ресурс]. URL: https://conferences.vntu.edu.ua/public/files/1/fmt_2019_netpub.pdf.

12. Москаленко О. В., Кашканова А. А., Кашканов А. А. Аналіз чинників, що визначають технічний стан кузовів легкових автомобілів та впливають на безпеку руху. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту : матеріали VIII-ої міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 14-15 квітня 2020 року. Вінниця: ВНТУ, 2020. С. 231-236.

13. Кашканов А. А., Кашканова А. А., Козачишин Я. М. Оцінювання відстані від автомобіля до місця ДТП в момент виникнення небезпеки для руху. L Науково-технічна конференція підрозділів Вінницького національного технічного університету (2021) : матеріали конференції, Вінниця, 2021. [Електронний ресурс]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2021/paper/view/11812/9867>.

14. Кашканов А. А., Кашканов В. А., Кашканова А. А. Інтегровані інформаційні системи експертних досліджень ДТП. Перспективи розвитку машинобудування та транспорту – 2021: електронне наукове видання тез міжнародної науково-технічної конференції, 13-15 травня 2021 р. Вінниця. 2 с. [Електронний ресурс]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/prmt/pmrt2021/paper/view/13198/11156>.

15. Кашканов А. А., Кашканова А. А. Удосконалення існуючих підходів щодо оцінювання коефіцієнта зчеплення в умовах невизначеності під час розслідування дорожньо-транспортних пригод. Матеріали міжнародної науково-практичної та науково-методичної конференції «Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті та при підготовці фахівців» 27-29 жовтня 2021 року: збірник наукових праць. Харків: ХНАДУ, 2021. С. 287-290.

16. Кашканов А. А., Кашканова А. А., Буньков І. О. Стан та проблеми безпеки руху на автомобільному транспорті України. Матеріали XIV міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та

перспективи розвитку автомобільного транспорту», 25-27 жовтня 2021 року: збірник наукових праць. Вінниця: ВНТУ, 2021. С. 88-91.

17. World Health Organization. Road traffic injuries. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>.

18. Статистика. Патрульна поліція України. [Електронний ресурс]. URL: <http://patrol.police.gov.ua/statystyka/>.

19. Туренко А. М., Клименко В. І., Сараєв О. В., Данець С. В. Автотехнічна експертиза. Дослідження обставин ДТП : підручник для вищих навчальних закладів. Харків : ХНАДУ, 2013. 320 с.

20. Кашканов А. А. Технології підвищення ефективності автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2018. 160 с.

21. Дослідження: Український автопарк найстаріший в Європі, середній вік легкових автомобілів в країні – 22,7 років, в ЄС – 10,8 років: [Електронний ресурс]. URL: <https://itc.ua/news/doslidzhennya-ukra%D1%97nskij-avtopark-najstarishij-v-evropi-serednij-vik-legkovih-avtomobiliv-v-kraini-227-rokiv-v-es-108-rokiv/>.

22. Україна у ТОП-10 країн з найбільшою смертністю у ДТП. [Електронний ресурс]. URL: <https://p-p.com.ua/news/ukraina-u-top-10-krain-z-naibilshoyu-smertnistyu-u-dtp/>.

23. Три тисячі смертей щорічно: чи покращиться дорожня безпека в Україні? AUTO.RIA.com™. [Електронний ресурс]. URL: <https://auto.ria.com/news/autolaw/236184/tri-tysyachi-smertej-ezhegodno-uluchshitsya-li-dorozhnaya-bezopasnost.html>.

24. Bosch Automotive Handbook. 9th Edition. [Reif K., Dietsche K.-H. & others]. Karlsruhe: Robert Bosch GmbH, 2014. 1544 p.

25. AASHTO Green Book. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 7th Edition, 2018, 1047 p.

26. Breuer J., Faulhaber A., Frank P. and Gleissner S. Real world safety benefits of brake assistance systems. Proceedings of the 20th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles. Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration. Paper no. 07-0103.

27. Rieger L., Scheef J., Becker H., Stanzel M. and Zobel R. Active safety systems change accident environment of vehicles significantly – a challenge for vehicle design. Nineteenth International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Washington. 2005. Paper 05-0074.

28. Zhang R., Cao L., Bao S., Tan J. A method for connected vehicle trajectory prediction and collision warning algorithm based on V2V communication. International Journal of Crashworthiness. 2017. Vol. 22. No. 1. P. 15-25.

29. Laugier C., Paromtchik I. E., Perrollaz M., Yoder J.-D., Tay C., Yong M., Nègre A., Mekhnacha K. Probabilistic analysis of dynamic scenes and collision risks assessment to improve driving safety. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine. 2011. Vol. 3. P. 4-19.

30. Struble D. Automotive accident reconstruction: practices and principles. Boca Raton: CRC Press, 2013. 498 p.

31. European Network of Forensic Science Institutes. Best Practice Manual for Road Accident Reconstruction, ENFSI, ENFSI-BPM-RAA-01. Version 01 - November 2015. [Электронный ресурс]. URL: http://enfsi.eu/wp-content/uploads/2016/09/4._road_accident_reconstruction_0.pdf.

32. Совершенствование методов автотехнической экспертизы при дорожно-транспортных происшествиях: монография / [В. П. Волков, В. Н. Торлин, В. М. Мищенко, А. А. Кашканов, В. А. Кашканов, В. П. Кужель, В. А. Ксенофонтова, А. А. Ветрогон, Н. В. Скляр]. Харьков: ХНАДУ, 2010. 476 с.

33. Pacejka Hans B. Tyre and vehicle dynamics. 3rd Ed. Butterworth-Heinemann, Elsevier, 2012. 629 p.

34. Kanwar Bharat Singh & Saied Taheri. Estimation of tire-road friction coefficient and its application in chassis control systems. *Systems Science & Control Engineering*. 2015. №3:1. P. 39-61. DOI: 10.1080/21642583.2014.985804.

35. Marco P daSilva. Analysis of Event Data Recorder Data for Vehicle Safety Improvement. URL: <http://www.nhtsa.gov/DOT/NHTSA/NRD/Multimedia/PDFs/EDR/Research/811015.pdf>.

36. Hynd, D., McCarthy, M. Study on the benefits resulting from the installation of Event Data Recorders. URL: https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/docs/study_edr_2014.pdf.

37. Пучкин В. А. Основы экспертного анализа дорожно-транспортных происшествий: База данных. Экспертная техника. Методы решений. Ростов н/Д: ИПО ПИ ЮФУ, 2010. 400 с.

38. Wach W., Unarski J. Uncertainty of calculation results in vehicle collision analysis. *Forensic Science International*. 2007. Vol. 167(2), P. 181–188. DOI: 10.1016/j.forsciint.2006.06.061.

39. Кашканов А. А. Методика оцінювання і зменшення невизначеності в задачах автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2020. №1(11). С. 71-78. DOI: 10.31649/2413-4503-2020-11-1-71-78.

40. Иларионов В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий: учебник для вузов. Москва: Транспорт, 1989. 255 с.

41. Тартаковский Д. Ф. Проблемы неопределенности данных при экспертизе дорожно-транспортных происшествий. СПб.: Юридический центр Пресс, 2006. 268 с.

42. Кашканов А. А. Концепція оцінювання і зменшення невизначеності в задачах автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод : дис. ... докт. тех. наук. Харків, 2020. 609 с.

43. Васілевський О. М., Кучерук В. Ю., Володарський Є. Т. Основи теорії невизначеності вимірювань : підручник. Вінниця : ВНТУ, 2015. 230 с.

44. Науково-методичні рекомендації з питань підготовки та призначення судових експертиз та експертних досліджень (у редакції наказу Міністерства юстиції України від 26.12.2012 № 1950/5 зі змінами № 1350/5 від 27.07.2015).

45. М. Эддоус, Р. Стэнсфилд. Методы принятия решений. Пер. с англ. под ред. И. И. Елисейевой. М.: Аудит, ЮНИТИ, 1997. 590 с.

46. Rotshtein A., Rakytyanska H. Fuzzy Evidence in Identification, Forecasting and Diagnosis. Berlin : Springer, 2012. 313 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-25786-5>.

47. Кашканов В. А., Ребедайло В. М., Кашканов А. А., Кужель В. П. Інтелектуальна технологія ідентифікації коефіцієнта зчеплення при автотехнічній експертизі ДТП : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2011. 128 с.

48. Kashkanov A. A., Rotshtein A. P., Kucheruk V. Yu., Kashkanov V. A. Tyre-Road friction Coefficient: Estimation Adaptive System. Bulletin of the Karaganda University. «Physics» series. 2020. № 2(98). P. 50-59. DOI: 10.31489/2020Ph2/50-59.

49. Jang J.-S. R., ANFIS: Adaptive-Network-based Fuzzy Inference Systems, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 23, No. 3, P. 665-685, May 1993.

50. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. Москва: Горячая линия – Телеком, 2007. 288 с.

51. Зайченко Ю. П. Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах. Киев: Издательський дом «Слово», 2008. 344 с.

52. Новицкий П.В. Оценка погрешностей результатов измерений. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1991. 304 с.

53. Захаров И. П., Кукуш В. Д. Теория неопределенности в измерениях: учеб. пособие [для студ. высш. учеб. зав.]. МОН України. Харьков: Консум, 2002. 256 с.

54. Кашканов А.А., Грисюк О.Г. Безпека руху автомобільного транспорту: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2005. 177 с.

55. Кашканов А. А., Кужель В. П., Грисюк О. Г. Інформаційні комп'ютерні системи автомобільного транспорту : навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2010. 230 с.

56. Евтюков С. А., Васильев Я. В. Экспертиза ДТП: методы и технологии. С.-Петербург: СПбГАСУ, 2012. 310 с.

57. Xu W., Lu J., Zhang Y. and Wang J. A Novel Method for Trajectory Analysis in Surveillance. Fourth International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, Shenzhen, Guangdong. 2011. P. 34-37.

58. Pariota L., Bifulco G. N., Markkula G., Romano R. Validation of driving behavior as a step towards the investigation of Connected and Automated Vehicles by means of driving simulators. 5th IEEE International Conference on Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS), Naples. 2017. P. 274-279.

59. Steffan H. Accident reconstruction methods. Vehicle System Dynamics. 2009. Volume 47. Issue 8: State of the art papers of the 21st IAVSD symposium. P. 1049-1073.

60. Подригало М. А., Клец Д. М., Артемов Н. П. Устойчивость колесных машин как сложное эксплуатационное свойство. Автомобильный транспорт. 2011. вып. 29. С. 179-183.

61. Сахно В. П., Вербицкий В. Г., Кондратьев В. В. К вопросу о сравнительном анализе математических моделей плоскопараллельного движения с учетом и без учета влияния продольных и поперечных сил. Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. 2012. №4. С. 36-42.

62. Lister, R. Retention of directional control wheel braking // S.A.E. Prepr. s.a. №650092. P. 432-449.

63. Клец Д.М. Разработка мобильного регистрационно-измерительного комплекса для проведения динамических испытаний колесных машин. Вісник Національного транспортного університету. Науково-технічний збірник. К.: НТУ, 2012. Вип. 25. С.234-241.

64. Аземша С. А., Галушко В. Н., Скирковский С. В. Совершенствование экспертного анализа дорожно-транспортных происшествий с помощью компьютерных программ моделирования. Наука и техника, 2015. №4. С. 18-24.

65. Экспресс анализ ДТП ExpAn. [Электронный ресурс]. URL: <https://soft.mydiv.net/win/download-Yekspress-analiz-DTP-ExpAn.html>.

66. PC-Crash. The Expert`s Choice. Collision & Trajectory Physics Simulation. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pc-crash.com>.

67. Положення про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти. СУЯ ВНТУ-03.02.02-П.001.01:21. [Електронний ресурс]. URL: <https://iq.vntu.edu.ua/repository/getfile.php/3090.pdf>.





ДОДАТКИ

Додаток В (довідниковий)

Лістинг програми та результатів моделювання величини коефіцієнта зчеплення в обчислювальному середовищі Matlab

```
function [data, input_name] = loadgas

%LOADGAS Load data file for automobile Fi (adhesion factor) prediction
%
% ===== Get data from original data file

data_file = 'auto-gas.dat';
fprintf('Getting data from file '%s'...\n', data_file);
pause(0.1);
fid = fopen(data_file, 'r', 'n', 'utf8');

raw_data = zeros(500, 8);
i = 1;
while 1
    line = fgetl(fid);
    if ~isstr(line), break, end
    if isempty(find(line=='?')), % get rid of data with missing value
        raw_data(i, :) = sscanf(line, '%f');
        i = i+1;
    end
end
fclose(fid);
raw_data(i:500, :) = [];

% Rearrange the data so that inputs come first

data = [raw_data(:, 2:7) raw_data(:, 1)];

% ===== Get variable names
% 1. AF: continuous
% 2. II tires-road: continuous
% 3. slippage: multi-valued discrete
% 4. wear: multi-valued discrete
% 5. pressure: continuous
% 6. load: multi-valued discrete
% 7. car speed: multi-valued discrete
% 8. origin: multi-valued discrete

input_name = ...
    str2mat('II tires-road', 'Slippage', 'Wear', 'Pressure', 'Load', 'Car
speed', 'AF');

%% Partitioning Data
% The data set is obtained from the original data file 'auto-gas.dat'. The
% dataset is then partitioned into a training set (odd-indexed samples) and
% a checking set (even-indexed samples).

[data, input_name] = loadgas;
trn_data = data(1:2:end, :);
chk_data = data(2:2:end, :);
```

```

%% Input Selection
% The function |exhsrch| performs an exhaustive search within the available
% inputs to select the set of inputs that most influence the fuel
% consumption. The first parameter to the function specifies the number of
% input combinations to be tried during the search. Essentially, |exhsrch|
% builds an ANFIS model for each combination and trains it for one epoch
% and reports the performance achieved. In the following example, |exhsrch|
% is used to determine the one most influential input attribute in
% predicting the output.

exhsrch(1, trn_data, chk_data, input_name);

Train 6 ANFIS models, each with 1 inputs selected from 6 candidates...

ANFIS model 1: II tires-road --> trn=0.0359, chk=0.0388
ANFIS model 2: Slippage --> trn=0.1894, chk=0.2170
ANFIS model 3: Wear --> trn=0.1991, chk=0.2461
ANFIS model 4: Pressure --> trn=0.1800, chk=0.2368
ANFIS model 5: Load --> trn=0.2023, chk=0.2120
ANFIS model 6: Car speed --> trn=0.2162, chk=0.2324

% *Figure 1:* Every input variable's influence on adhesion factor

%%
% The left-most input variable in Figure 1 has the least error or in other
% words the most relevance with respect to the output.
%
% The plot and results from the function clearly indicate that the input
% attribute 'Load' is the most influential. The training and checking
% errors are comparable, which implies that there is no overfitting. This
% means we can push a little further and explore if we can select more than
% one input attribute to build the ANFIS model.
%
% Intuitively, we can simply select 'II tires-road' and 'Load' directly since
% they
% have the least errors as shown in the plot. However, this will not
% necessarily be the optimal combination of two inputs that result in the
% minimal training error. To verify this, we can use |exhsrch| to search
% for the optimal combination of 2 input attributes.

input_index = exhsrch(2, trn_data, chk_data, input_name);

Train 15 ANFIS models, each with 2 inputs selected from 6 candidates...

ANFIS model 1: II tires-road Slippage --> trn=0.0231, chk=0.0243
ANFIS model 2: II tires-road Wear --> trn=0.0332, chk=0.0507
ANFIS model 3: II tires-road Pressure --> trn=0.0339, chk=0.0435
ANFIS model 4: II tires-road Load --> trn=0.0298, chk=0.0487
ANFIS model 5: II tires-road Car speed --> trn=0.0291, chk=0.0466
ANFIS model 6: Slippage Wear --> trn=0.1698, chk=0.2720
ANFIS model 7: Slippage Pressure --> trn=0.1215, chk=0.3720
ANFIS model 8: Slippage Load --> trn=0.1612, chk=0.2790
ANFIS model 9: Slippage Car speed --> trn=0.1785, chk=0.2419
ANFIS model 10: Wear Pressure --> trn=0.1416, chk=0.4279
ANFIS model 11: Wear Load --> trn=0.1499, chk=0.4472
ANFIS model 12: Wear Car speed --> trn=0.1737, chk=0.3437
ANFIS model 13: Pressure Load --> trn=0.1599, chk=0.3430
ANFIS model 14: Pressure Car speed --> trn=0.1553, chk=0.2880
ANFIS model 15: Load Car speed --> trn=0.1816, chk=0.2531

```

```

% *Figure 2:* All two input variable combinations and their influence
% on adhesion factor

%%
% The results from |exhsrch| indicate that 'II tires-road' and 'Slippage' form
the
% optimal combination of two input attributes. The training and checking
% errors are getting distinguished, indicating the outset of overfitting.
% It may not be prudent to use more than two inputs for building the ANFIS
% model. We can test this premise to verify it's validity.

exhsrch(3, trn_data, chk_data, input_name);

Train 20 ANFIS models, each with 3 inputs selected from 6 candidates...

ANFIS model 1: II tires-road Slippage Wear --> trn=0.0037, chk=1.1997
ANFIS model 2: II tires-road Slippage Pressure --> trn=0.0114, chk=1.2261
ANFIS model 3: II tires-road Slippage Load --> trn=0.0019, chk=2.6159
ANFIS model 4: II tires-road Slippage Car speed --> trn=0.0016, chk=0.4593
ANFIS model 5: II tires-road Wear Pressure --> trn=0.0195, chk=0.8029
ANFIS model 6: II tires-road Wear Load --> trn=0.0033, chk=1.7094
ANFIS model 7: II tires-road Wear Car speed --> trn=0.0075, chk=1.0934
ANFIS model 8: II tires-road Pressure Load --> trn=0.0193, chk=0.2404
ANFIS model 9: II tires-road Pressure Car speed --> trn=0.0170, chk=0.1958
ANFIS model 10: II tires-road Load Car speed --> trn=0.0093, chk=2.9324
ANFIS model 11: Slippage Wear Pressure --> trn=0.0450, chk=5.9244
ANFIS model 12: Slippage Wear Load --> trn=0.0375, chk=6.8834
ANFIS model 13: Slippage Wear Car speed --> trn=0.0514, chk=11.9645
ANFIS model 14: Slippage Pressure Load --> trn=0.0471, chk=1.9230
ANFIS model 15: Slippage Pressure Car speed --> trn=0.0744, chk=5.5988
ANFIS model 16: Slippage Load Car speed --> trn=0.0300, chk=5.3062
ANFIS model 17: Wear Pressure Load --> trn=0.0417, chk=1.4851
ANFIS model 18: Wear Pressure Car speed --> trn=0.0518, chk=1.2816
ANFIS model 19: Wear Load Car speed --> trn=0.0282, chk=2.5148
ANFIS model 20: Pressure Load Car speed --> trn=0.0355, chk=1.5984

% *Figure 3:* All three input variable combinations and their influence
% on adhesion factor

%%
% The plot shows the result of selecting three inputs, in which 'II tires-road',
% 'Slippage', and 'Wear' are selected as the best combination of three input
% variables. However, the minimal training (and checking) error do not
% reduce significantly from that of the best 2-input model, which indicates
% that the newly added attribute 'Wear' does not improve the prediction
% much. For better generalization, we always prefer a model with a simple
% structure. Therefore we will stick to the two-input ANFIS for further
% exploration.
%
% We then extract the selected input attributes from the original training
% and checking datasets.

close all;
new_trn_data = trn_data(:, [input_index, size(trn_data,2)]);
new_chk_data = chk_data(:, [input_index, size(chk_data,2)]);

%% Training ANFIS Model
% The function |exhsrch| only trains each ANFIS for a single epoch in order
% to be able to quickly find the right inputs. Now that the inputs are
% fixed, we can spend more time on ANFIS training (100 epochs).
%
```

```

% The |genfis1| function generates a initial FIS from the training data,
% which is then finetuned by ANFIS to generate the final model.

in_fismat = genfis1(new_trn_data, 2, 'gbellmf');
[trn_out_fismat, trn_error, step_size, chk_out_fismat, chk_error] = ...
    anfis(new_trn_data, in_fismat, [100 nan 0.01 0.5 1.5], [0,0,0,0],
new_chk_data, 1);

%%
% ANFIS returns the error with respect to training data and checking data
% in the list of its output parameters. The plot of the errors provides
% useful information about the training process.

[a, b] = min(chk_error);
plot(1:100, trn_error, 'g-', 1:100, chk_error, 'r-', b, a, 'ko');
title('Training (green) and checking (red) error curve','fontsize',10);
xlabel('Epoch numbers','fontsize',10);
ylabel('RMS errors','fontsize',10);

%%
% *Figure 4:* ANFIS training and checking errors

%%
% The plot above shows the error curves for 100 epochs of ANFIS training.
% The green curve gives the training errors and the red curve gives the
% checking errors. The minimal checking error occurs at about epoch 78,
% which is indicated by a circle. Notice that the checking error curve
% goes up after 80 epochs, indicating that further training overfits the
% data and produces worse generalization

%% ANFIS vs Linear Regression
% A good exercise at this point would be to check the performance of the
% ANFIS model with a linear regression model.
%
% The ANFIS prediction can be compared against a linear regression model by
% comparing their respective RMSE (Root mean square) values against
% checking data.

% Performing Linear Regression
N = size(trn_data,1);
A = [trn_data(:,1:6) ones(N,1)];
B = trn_data(:,7);
coef = A\B; % Solving for regression parameters from training data

Nc = size(chk_data,1);
A_ck = [chk_data(:,1:6) ones(Nc,1)];
B_ck = chk_data(:,7);
lr_rmse = norm(A_ck*coef-B_ck)/sqrt(Nc);
% Printing results
fprintf('\nRMSE against checking data\nANFIS : %1.3f\tLinear Regression :
%1.3f\n', a, lr_rmse);

RMSE against checking data
ANFIS : 0.020      Linear Regression : 0.030

%%
% It can be seen that the ANFIS model outperforms the linear regression
% model.
%
%% Analyzing ANFIS Model

```

```

% The variable |chk_out_fismat| represents the snapshot of the ANFIS model
% at the minimal checking error during the training process. The
% input-output surface of the model is shown in the plot below.

chk_out_fismat = setfis(chk_out_fismat, 'input', 1, 'name', 'II tires-road');
chk_out_fismat = setfis(chk_out_fismat, 'input', 2, 'name', 'Slippage');
chk_out_fismat = setfis(chk_out_fismat, 'output', 1, 'name', 'AF');

% Generating the FIS output surface plot
gensurf(chk_out_fismat);
%%
% *Figure 5:* Input-Output surface for trained FIS

%%
% The input-output surface shown above is a nonlinear and monotonic surface
% and illustrates how the ANFIS model will respond to varying values of
% 'II tires-road' and 'Slippage'.

%% Limitations and Cautions
% We can see some spurious effects at the far-end corner of the surface.
% The elevated corner says that the smallest tires slippage is, the more
% adhesion factor it will be. This is not quite true, and it is a
% direct result from lack of data.

plot(new_trn_data(:,1), new_trn_data(:, 2), 'bo', ...
     new_chk_data(:,1), new_chk_data(:, 2), 'rx');
xlabel('II tires-road','fontsize',10);
ylabel('Slippage','fontsize',10);
title('Training (o) and checking (x) data','fontsize',10);

%%
% *Figure 6:* II tires-road vs Slippage plot showing lack of data in the upper-
left corner

%%
% This plot above shows the data distribution. The lack of training data at
% the upper left corner causes the spurious ANFIS surface mentioned
% earlier. Therefore the prediction by ANFIS should always be interpreted
% with the data distribution in mind.

```


Додаток Г (довідниковий)

Скріншоти виконання програми та візуалізації результатів моделювання
величини коефіцієнта зчеплення в обчислювальному середовищі Matlab

