


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ  
УНІВЕРСИТЕТ

**КАШКАНОВ АНДРІЙ АЛЬБЕРТОВИЧ**



УДК 629.016

**КОНЦЕПЦІЯ ОЦІНЮВАННЯ І ЗМЕНШЕННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ  
В ЗАДАЧАХ АВТОТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ  
ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД**

Спеціальність 05.22.02 – автомобілі та трактори

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Харків – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті Міністерства освіти і науки України.

**Науковий консультант:** доктор технічних наук, доцент  
**Сараєв Олексій Вікторович,**  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, декан автомобільного факультету.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, доцент,  
**Бондаренко Анатолій Ігорович,**  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»,  
професор кафедри автомобіле- та тракторобудування

доктор технічних наук, професор,  
**Гецович Євгеній Мойсейович,**  
Сумський національний аграрний університет,  
професор кафедри тракторів, сільськогосподарських машин та транспортних технологій

доктор технічних наук, професор,  
**Грицук Ігор Валерійович,**  
Херсонська державна морська академія,  
професор кафедри експлуатації суднових енергетичних установок

Захист відбудеться «16» вересня 2020 р. о 12<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.059.02 при Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті за адресою: 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за адресою: 61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Автореферат розісланий « 12 » серпня 2020 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



О.П. Смирнов

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Рух автомобіля по дорозі чи іншій місцевості можна розглядати як функціонування системи «водій-автомобіль-дорога-середовище» (ВАДС). Порушення в роботі кожного з компонентів системи ВАДС призводить до зниження її ефективності (зменшення швидкості руху, немотивованих зупинок, збільшення витрати палива) або до аварії (ДТП). Великим резервом у вирішенні проблеми аварійності на автомобільному транспорті є підвищення точності методів аналізу ДТП, виявлення причинно-наслідкових зв'язків.

При вирішенні задач автотехнічної експертизи (АТЕ) ДТП прийняття рішень відбувається в умовах композиційної невизначеності. Основним недоліком сучасних методів проведення експертних досліджень та розрахунків є застосування детерміністичного підходу до використання і тлумачення результатів вимірювання та формування висновків, який не враховує, що в процесі прийняття рішень виникають різні види невизначеності, яка може мати стохастичну або нечітку природу відповідних процесів, характеристик, параметрів і коефіцієнтів. Крім того, підвищення точності й об'єктивності експертного оцінювання механізму аварійних ситуацій неможливе без забезпечення якості АТЕ ДТП. При цьому, обов'язковою є реалізація таких моментів як визначення проблем і пріоритетів АТЕ; формування специфічних для області аналізу проблем критеріїв якості (встановлення стандартів) та визначення цілей; ретроспективний та поточний аналіз ситуації, документів та збір інформації; аналіз встановлених проблем і підготовка рекомендацій для прийняття рішень; впровадження рекомендацій на практиці; оцінювання досягнутих результатів. Потрібно підкреслити, що реалізація перерахованих моментів в процесі роботи і досліджень потребує організації відповідних програм забезпечення якості. Ці програми дозволяють гарантувати певний рівень точності й об'єктивності АТЕ, систематичне його оцінення за узгодженими і заздалегідь встановленими стандартами. Таким чином, розробка концепції оцінювання і зменшення невизначеності в задачах АТЕ ДТП є актуальною науковою проблемою, вирішення якої підвищить якість та зменшить суб'єктивність розслідування ДТП і створить передумови забезпечення високої ефективності та безпеки використання ТЗ в умовах експлуатації.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана відповідно до Закону України «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки» № 2623-14 від 05.12.2012 р.; постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Державної цільової програми підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2020 року» № 435 від 25.04.2018 р.; розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року» № 430-р. від 30.05.2018 р. Тема дисертаційної роботи була складовою частиною науково-дослідницьких робіт Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (ХНАДУ) та Вінницького національного технічного університету (ВНТУ): «Розробка концепції розвитку пасажирського автомобільного транспорту з метою оптимізації маршрутної мережі у м. Вінниця» (шифр 1802, держ. реєстр. № 0107U012444); «Концепція підвищення ефективності автотехнічної експертизи ДТП» (шифр 18К3, належить до основних

наукових напрямків кафедри «Автомобілі та транспортний менеджмент» і виконувалась відповідно до плану науково-дослідних робіт ВНТУ на 2011-2018 рр.); науково-технічних експертиз та автотехнічних досліджень в межах договірних робіт ХНАДУ (договори № 27-30-10/005 ЕК від 2.04.2012 р., № 27-33-12/02 ЕК від 22.05.2012 р., № 27-33-12/03 від 10.10.2012 р., № 27-33-12/04 від 29.10.2012 р.).

**Мета та завдання дослідження.** Метою дослідження є підвищення об'єктивності експертизи дорожньо-транспортних пригод за рахунок зменшення невизначеності в задачах автотехнічної експертизи ДТП шляхом створення нових методів, моделей і алгоритмів.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- розробити концептуальні засади оцінювання та вибору способів зменшення невизначеності в задачах АТЕ ДТП на основі певних науково-методичних проблем забезпечення точності та об'єктивності експертних досліджень;
- розробити моделі та алгоритми підвищення об'єктивності експертних досліджень дорожньо-транспортних пригод;
- провести експериментальні дослідження параметрів руху транспортних засобів для підтвердження адекватності запропонованих наукових гіпотез та математичних моделей;
- проілюструвати ефективність застосування нових методів, моделей і алгоритмів в структурі аналізу ДТП;
- розробити рекомендації щодо використання результатів дослідження та впровадження розробленої концепції оцінювання і зменшення невизначеності в задачах автотехнічної експертизи ДТП.

**Об'єкт дослідження** – процес функціонування системи «водій – автомобіль – дорога – середовище» під час розслідування дорожньо-транспортних пригод.

**Предмет дослідження** – зменшення невизначеності в задачах автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод.

**Методи дослідження.** Методичною основою дисертаційної роботи є використання системного підходу. При визначенні наукової проблеми на основі вивчення робіт попередніх дослідників використано методи аналізу та синтезу. Для підвищення точності та достовірності результатів автотехнічної експертизи ДТП використано методи обробки результатів вимірювань та обчислення похибок вихідних матеріалів, методи зменшення невизначеності довідкових та розрахункових параметрів. Для оцінювання якості розслідування та проведення автотехнічних експертиз ДТП використано методи системного аналізу та теорії прийняття рішень. При розробці математичних моделей оцінювання коефіцієнта зчеплення коліс автомобіля з дорожнім покриттям та відстані видимості об'єктів при русі автомобіля в темну пору доби застосовано методи теорії нечітких множин та нейронних мереж. При розробці математичних моделей оцінювання часу сенсомоторної реакції водія та емпіричних моделей оцінювання ефективності гальмування ТЗ використано методи математичної статистики, теорії імовірності та регресійного аналізу. Для розробки та вирішення детермінованих математичних моделей з оцінювання параметрів руху ТЗ використано методи диференціального та інтегрального числення. Для дослідження математичних моделей складних видів ДТП застосовано аналітичний метод. При розробці моделі оцінювання надійності і безпеки функціонування ТЗ в

системі ВАДС застосовано метод нечітких когнітивних карт. Для отримання нових наукових даних та підтвердження адекватності розроблених математичних моделей використано експериментальні методи, теорію похибок та теорію невизначеності вимірювань. Для порівняльного аналізу теоретичних та експериментальних даних застосовано метод комп'ютерного моделювання.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в узагальненні, розвитку і удосконаленні існуючих та створенні нових методів оцінювання і зменшення невизначеності в задачах автотехнічної експертизи ДТП. При цьому:

*вперше:*

- створено загальну концепцію оцінювання і зменшення невизначеності в задачах автотехнічної експертизи ДТП на основі застосування методів теорії нечітких множин та нейронних мереж, морфологічного методу та модульної технології синтезу, яка, на відміну від існуючих, забезпечує високу гнучкість системи автотехнічної експертизи при зміні умов її функціонування та сприяє зменшенню невизначеності експертного оцінювання механізму ДТП;

- розроблено метод та побудовано інформаційну модель оцінювання якості розслідування і проведення автотехнічних експертиз дорожньо-транспортних пригод, на основі якої вироблено алгоритми процесів прийняття адаптивних рішень з детермінованими та імовірнісними характеристиками і обґрунтовано технологію вибору оптимальної альтернативи в умовах невизначеності;

*удосконалено:*

- метод оцінювання коефіцієнта зчеплення коліс автомобіля з дорожнім покриттям, який, на відміну від існуючих, дає змогу більш точно визначати значення коефіцієнта зчеплення для широкого спектра сучасних автомобілів, що, так само, підвищує якість та зменшує суб'єктивність встановлення технічної можливості уникнення дорожньо-транспортної пригоди;

- метод оцінювання відстані видимості об'єктів при русі автомобіля в темну пору доби, який, на відміну від існуючих, дозволяє спростити трудомісткі процедури дослідження безпечних режимів руху автомобілів в темну пору доби, зменшити час, який витрачається експертом-автотехніком для поглибленого аналізу ДТП, підвищити точність та об'єктивність експертних висновків;

*отримали подальший розвиток:*

- методи оцінювання гальмівного та зупинного шляху автомобіля, шляхом врахування впливу конструкції гальмівної системи та психології керування ТЗ на показники екстреного гальмування при дослідженні ДТП;

- методи аналізу маневрування автомобіля шляхом врахування нерівномірності руху (маневрування з гальмуванням).

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблені в дисертаційному дослідженні методологічні основи та концептуальні засади оцінювання і вибору способу зменшення невизначеності в задачах АТЕ ДТП дали можливість отримати наукові результати, які мають високий ступінь готовності до впровадження. До результатів, які мають найбільшу практичну значимість, можна віднести:

- методику удосконалення технологій експертного аналізу обставин ДТП;
- методику формування сучасних інструментальних засобів збору, обробки, зберігання та передачі даних з місця дорожньо-транспортних пригод;

- методику оцінювання якості розслідування та проведення АТЕ ДТП;
- методику оцінювання невизначеності прийнятої системи автотехнічної експертизи ДТП за показниками нормалізованої ентропії;
- рекомендації щодо впровадження розробленої концепції оцінювання та зменшення невизначеності в задачах автотехнічної експертизи ДТП.

Результати дисертаційного дослідження отримали впровадження:

- для використання в практиці АТЕ ДТП в Харківському науково-дослідному експертно-криміналістичному центрі (НДЕКЦ) МВС України; Вінницькому НДЕКЦ МВС України; Житомирському НДЕКЦ МВС України;
- при проведенні індивідуальних та групових занять, інструктажів, нарад, семінарів щодо попередження аварійності, розборів обставин і причин виникнення ДТП в Службі безпеки дорожнього руху Управління озброєння та техніки логістики Національної гвардії України; в Департаменті енергетики, транспорту та зв'язку Вінницької міської ради; в департаменті з організації внутрішніх та міжнародних пасажирських перевезень АТ «Укрзалізниця»; в Управлінні транспорту Технічного департаменту ПрАТ «Акціонерна компанія «Київводоканал»;
- в навчальному процесі підготовки бакалаврів та магістрів за спеціальностями 274 «Автомобільний транспорт» та 275 «Транспортні технології» у Вінницькому національному технічному університеті.

**Особистий внесок здобувача.** Положення та результати, що виносяться на захист дисертаційної роботи, отримано автором самостійно та викладено в роботах [1-69]. Роботи [1, 7, 23, 24, 26, 27, 29, 32, 33, 37, 39, 40, 45, 46, 49-53, 55, 57-60, 62-64] опубліковано без співавторів. В колективній монографії [2] автору належить постановка задачі та загальне наукове керівництво дослідженнями, підрозділи 1.5 та 3.1, а також взято участь у написанні підрозділів 1.4, 2.4, 3.2, 3.3, 4.2, 5.1–5.3; в монографії [3] автору належить допомога у формуванні нечіткої моделі визначення коефіцієнта зчеплення та її оптимізації (розділи 2, 3) та підготовка підрозділів 1.3, 1.4. У спільних працях [6, 14, 30, 65-69] автору належить визначення взаємозв'язку між параметрами безпеки автотранспортних засобів; [22] – обґрунтування вибору критеріїв оцінювання якості розслідування ДТП; [5, 10, 16, 28, 31, 48] – обґрунтування вибору математичного апарата для оцінювання та вибору способу зменшення невизначеності в задачах АТЕ ДТП; [17] – математична модель коефіцієнта зчеплення коліс автомобіля з дорожнім покриттям; [4, 8, 9, 11-13, 15, 34, 47] – постановка задачі ідентифікації відстані видимості об'єктів у світлі автомобільних фар, модель управління швидкістю автомобіля в умовах недостатньої видимості та її застосування в експертизі ДТП; [21, 25, 35] – визначення впливу невизначеності даних на результати експертизи ДТП; [18-20, 38, 41, 42, 44, 61] – технологія оцінювання експлуатаційних гальмових властивостей автомобілів при експертизі ДТП в умовах невизначеності вхідних даних; [36, 54, 56] – обґрунтування складу сучасних інструментальних засобів отримання об'єктивної доказової інформації при розслідуванні ДТП на основі застосування інтелектуальних інформаційних технологій; [43] – структурна ідентифікація моделі оцінювання надійності і безпеки функціонування ТЗ в системі ВАДС та її інформаційне забезпечення.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та отримали позитивну оцінку на: міжнародній

науково-технічній конференції «Перспективні напрямки розвитку конструкції автомобіля» (Харків, ХНАДУ, 2001); V-XVI міжнародних науково-технічних конференціях «Автомобільний транспорт: проблеми і перспективи» (Севастополь, СвНТУ, 2002-2013); міжнародній науково-технічній конференції «Автомобільний транспорт у XXI столітті» (Харків, ХНАДУ, 2003); I-XII міжнародних науково-практичних конференціях «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (Житомир, ЖДТУ, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018; Вінниця, ВНТУ, 2009, 2011, 2013, 2015, 2017, 2019); I-VI міжнародних науково-технічних конференціях «Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузі» (Луцьк, ЛНТУ, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018, 2020); III-IV міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики» (Євпаторія, ВНУ ім. В. Даля, 2012-2013); XI міжнародній науково-практичній конференції «Прогресивні технології в транспортних системах» (Росія, Оренбург, 2013); I-VIII міжнародних науково-практичних інтернет-конференціях «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (Вінниця, ВНТУ, 2013-2020); міжнародній науково-методичній конференції «Проблеми підготовки кадрів автомобільної галузі та шляхи їх вирішення» (Харків, ХНАДУ, 2013); міжнародній науково-практичній конференції «Новітні технології розвитку конструкції, виробництва, експлуатації, ремонту та експертизи автомобіля» (Харків, ХНАДУ, 2014); міжнародній науково-практичній конференції «Новітні технології в автомобілебудівництві та транспорті» (Харків, ХНАДУ, 2015); VIII всеукраїнській науково-практичній конференції студентів та аспірантів «Підвищення надійності машин і обладнання» (Кіровоград, КНТУ, 2014); всеукраїнській науково-практичній конференції «Новітні шляхи створення, технічної експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів» (Одеса, Військова академія, 2015); всеукраїнській науково-методичній конференції «Шляхи забезпечення якості підготовки фахівців транспортної галузі» (Харків, ХНАДУ, 2015); XXX-XLVIII науково-технічних конференціях підрозділів ВНТУ (Вінниця, ВНТУ, 2001-2019); міжнародній науково-практичній та науково-методичній конференції «Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті і при підготовці фахівців» (Харків, ХНАДУ, 2016); міжнародній науково-практичній конференції «Синергетика, мехатроніка, телематика дорожніх машин і систем у навчальному процесі та науці» (Харків, ХНАДУ, 2017); всеукраїнській науково-технічній конференції «Актуальні проблеми проектування, виготовлення і експлуатації озброєння та військової техніки» (Вінниця, ВНТУ, 2017); міжнародній науково-практичній конференції «Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології і методи підготовки фахівців» (Харків, ХНАДУ, 2017); The international research and practical conference «The development of technical sciences: problems and solutions» (Brno, the Czech Republic, 2018); The international scientific and practical conference «Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects» (Rome, Italy, 2018); Міжнародній науково-практичній конференції «Новітні технології розвитку автомобільного транспорту» (Харків, ХНАДУ, 2018 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту» (Вінниця, ВНТУ, 2019); Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології на автомобільному транспорті та машинобудуванні» (Харків, ХНАДУ, 2019);

IV міжнародній науково-практичній конференції «Безпека на транспорті – основа ефективної інфраструктури: проблеми та перспективи» (Харків, ХНАДУ, 2019).

Дисертаційна робота в повному обсязі доповідалась, обговорювалась і отримала позитивну оцінку на сумісному науковому семінарі кафедри автомобілів ім. А.Б. Гредескула, кафедри технології машинобудування та ремонту машин, кафедри технічної експлуатації та сервісу автомобілів ім. М.Я. Говорущенко і кафедри автомобільної електроніки ХНАДУ (м. Харків, ХНАДУ, 9 червня 2020 р.).

**Публікації.** Основні положення дисертаційної роботи опубліковані у 69 наукових роботах, зокрема: 3 монографії; 39 статей в професійних виданнях, що входять до переліку МОН України; 6 публікацій в закордонних виданнях, із них 3 статті у періодичних виданнях, які внесені до наукометричних баз, рекомендованих МОН, зокрема Scopus та Web of Science Core Collection; 19 публікацій у збірниках праць на наукових конференціях.

**Структура й обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації становить 609 сторінок, з яких основний текст займає 308 сторінок і 27 сторінок, площа яких повністю зайнята рисунками та таблицями. Робота ілюстрована 139 рисунками, наведено 52 таблиці. Список використаних джерел становить 389 найменувань на 39 сторінках. Додатків 11 на 206 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** наведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено об'єкт та предмет дослідження, описано застосовані методи дослідження та зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, надано інформацію про апробацію та публікацію результатів досліджень.

**У першому розділі** розкрито характеристики об'єкта та предмета дослідження, проведено аналіз проблемних питань науково-методичного забезпечення АТЕ ДТП, рівня впровадження інформаційних технологій в практику розв'язування задач АТЕ, розкрито переваги та недоліки математичних методів, які використовуються в експертній практиці, проведено аналіз невизначеності вимірювань, довідкових і експертних даних та її впливу на результати розслідування ДТП.

Оскільки оцінення параметрів руху ТЗ є базовим елементом аналізу аварійних ситуацій, основні методи сучасної АТЕ ґрунтуються на теорії експлуатаційних властивостей автомобіля, яку свого часу у різних напрямках розвивали: М. Є. Жуковський, Я. М. Певзнер, Е. А. Чудаков, Н. А. Бухарін, Г. В. Зимелев, Б. С. Фалькевич, А. Б. Гредескул, В. Г. Розанов, Ю. А. Долматовський, М. Леру, Е. Бена, І. Госковец, І. Штикер, В. А. Бекасов, Д. Коллінз, Д. Морріс, Н. М. Крісті, І. С. Джонс, В. А. Іларіонов, Я. Х. Закін, А. С. Литвинов, А. Ф. Нефедов, Л. Н. Височін, А. А. Хачатуров, Л. В. Гуревич, Р. А. Меламуд, Ю. Мацкерле, Б. Є. Боровський, М. Danner, J. Halm, А. С. Федосов, А. А. Мартинюк, Дж. Вонг, В. С. Шупляков, Я. Е. Фаробін, Д. А. Антонов, А. І. Гришкевич, В. П. Сахно, М. Burckhardt, J. C. Dixon, А. М. Туренко, Н. Я. Говорущенко, М. А. Подригало, В. І. Клименко,



М. М. Альокса, J. Reimpell, В. О. Богомолов, Є. М. Гецович, J. W. Betzler, Н. В. Расејка, В. К. Вахламов, R. N. Jazar, G. Genta, L. Morello, В. П. Волков, А. П. Солтус, С. Я. Ходирев, С. М. Шуклінов, О. В. Сараєв, С. Й. Ломака, Л. О. Рижих, О. В. Лукошявичене, С. G. Russell, M. Brach, Ю. Б. Суворов, Н. Franck, Н. Steffan, В. А. Пучкин, С. А. Євтюков, Я. В. Васильєв, D. Struble та багато інших.

З метою підвищення якості розслідування обставин ДТП Міністерством юстиції України затверджено науково-методичні рекомендації з питань підготовки та призначення судових експертиз і експертних досліджень, які передбачають перелік основних питань АТЕ. Відповіді на ці питання визначаються за формулами, відомими з теорії експлуатаційних властивостей ТЗ. При цьому розрахунок параметрів руху ТЗ в АТЕ виконується без оцінювання похибки отримуваних результатів, що не відповідає вимогам Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність», та визначає актуальність удосконалення методів АТЕ ДТП.

У відомих джерелах недостатньо досліджено технології оптимізації вибору початкових даних та методик інженерного розрахунку параметрів руху учасників ДТП з метою мінімізації впливу невизначеності на результати АТЕ. Потребують уточнення параметри і коефіцієнти, які використовуються експертом в дослідженнях, розрахунках та набувають статусу доказів. Існуюча в Україні система АТЕ ДТП має, з погляду системних вимог і вимог автоматизації, велику кількість недоліків: позасистемний розвиток діючих методик аналізу, його математичного, інформаційного і інших видів забезпечення; відсутність необхідної наукової теорії аналізу складно формалізованих видів ДТП, пов'язаних з рухом ТЗ в екстремальних умовах; відставання рівня автоматизації діючої системи АТЕ від рівня розвитку обчислювальної техніки; недоліки кваліфікаційної підготовки фахівців, в частині її орієнтації на системне сприйняття ДТП на усіх етапах їх дослідження. Універсальним засобом усунення вказаних недоліків є методологія системного аналізу.

Аналіз використання математичних методів в практиці АТЕ ДТП показав необхідність подальших досліджень можливостей зменшення невизначеності експертизи ДТП на основі методик застосування традиційних математичних методів в поєднанні з використанням неперервних (неперервнозначних) логік для моделювання обставин виникнення аварійних ситуацій в умовах невизначеності (рис. 1).



Рисунок 1 – Формування невизначеності в структурі рішення задач АТЕ ДТП

Відповідно до діючих Правил дорожнього руху (ПДР), основними способами попередження ДТП є гальмування та маневрування. Результати оцінювання впливу невизначеності вимірювань, довідкових і експертних даних на ці параметри подано на рисунках 2 і 3.

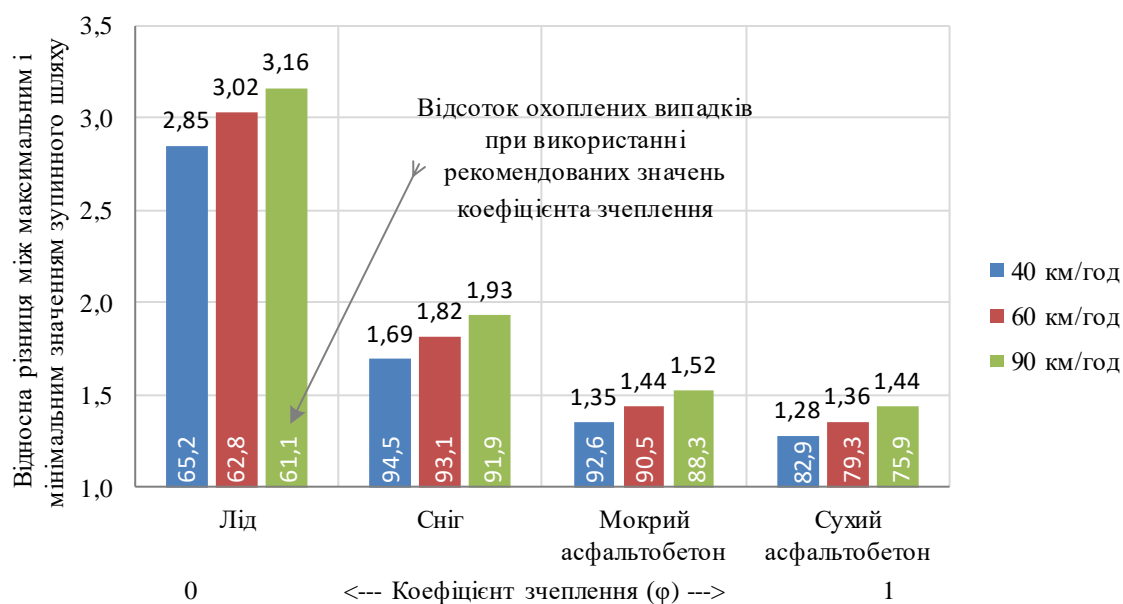


Рисунок 2 – Зміна похибки розрахунку зупинного шляху ТЗ

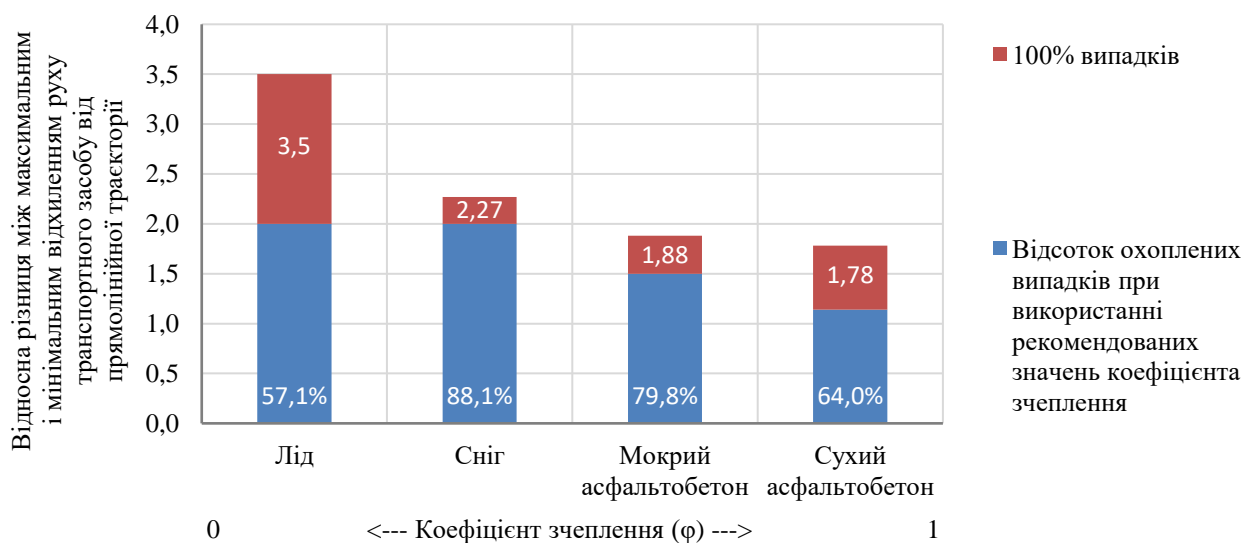


Рисунок 3 – Зміна похибки розрахунку відхилення ТЗ від напрямку руху

Отже, мінімізація невизначеності даних, дозволить підвищити об'єктивність висновків АТЕ ДТП та сприятиме формуванню заходів з покращення безпеки руху.

У другому розділі розкрито методологічні основи розробки концептуальних засад оцінювання та вибору способів зменшення невизначеності в задачах автотехнічної експертизи ДТП, проведено обґрунтування вибору методів зменшення невизначеності довідкових та розрахункових параметрів, технології вибору оптимальної альтернативи в умовах невизначеності, подано моделі процесу прийняття адаптивних рішень, розроблені на основі теорії нечітких множин та нейронних мереж, досліджено особливості управління процесами оцінювання та зменшення

невизначеності АТЕ ДТП на основі визначених критеріїв оптимальності, створено метод оцінювання якості розслідування та проведення АТЕ ДТП.

Концепція дисертаційного дослідження полягає у тому, що процес прийняття рішень в АТЕ ДТП потрібно 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. Етапи наукового дослідження подано на рисунку 4.

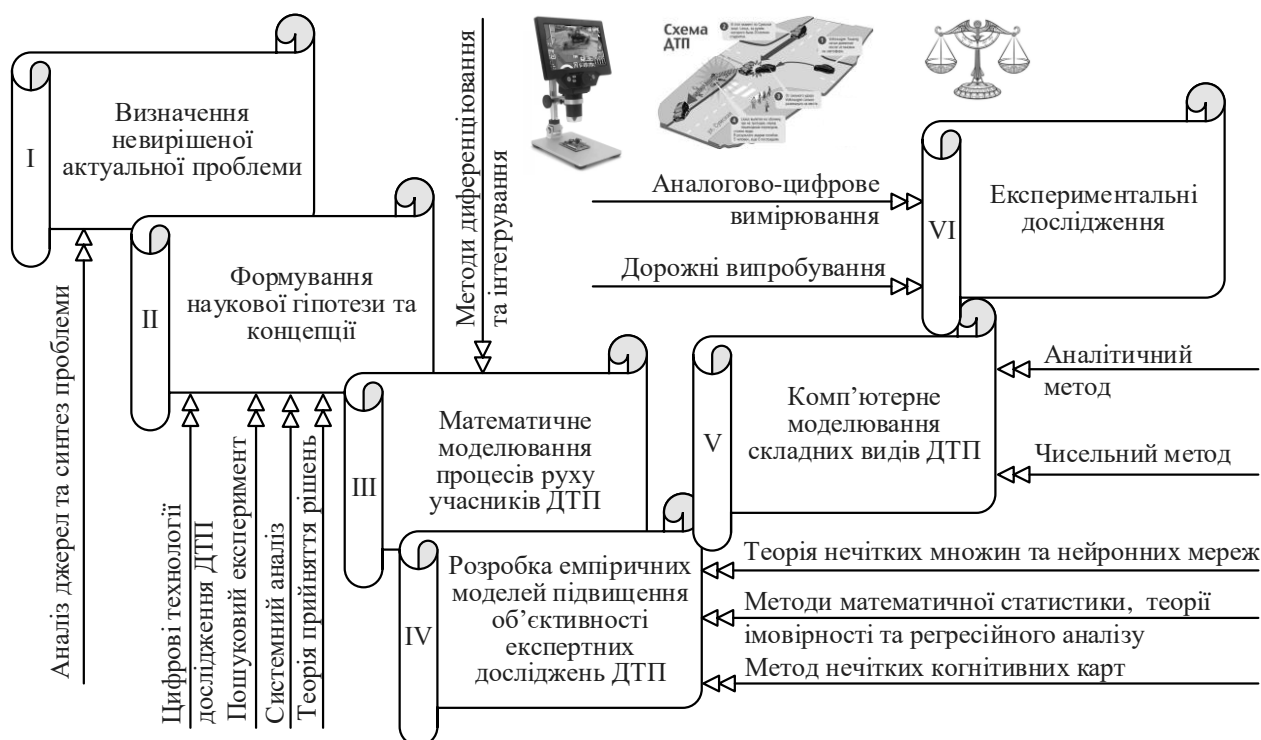


Рисунок 4 – Етапи наукового дослідження

Точність встановлення обставин ДТП залежить від прийнятого діапазону значень параметрів, які описують певну дорожньо-транспортну ситуацію (ДТС). Якщо не враховувати помилки в оціненні параметрів, то з набором даних  $VD$  (різні множини вхідних даних можуть існувати для цієї ДТС, наприклад,  $VD_1, VD_2, \dots, VDN_v$ ) та обраною експертом розрахунковою моделлю ДТП  $RM$  можна отримати експертизу  $VE_j$  (рис. 5).

Експертний висновок може змінюватись, залежно від прийнятого набору даних  $VD$  та застосованого методу аналізу  $RM$ . Врахування невизначеності значень вихідних даних призводить до розширення діапазону початкових параметрів  $\Delta VD$  та перетворення розрахункового кола результатів експертизи  $VE(\Delta VD)$  у величезний (але обмежений) діапазон результатів. Він може бути поданий у вигляді діапазону рішень, адекватного використаному методу аналізу та діапазону вихідних параметрів. Для технічної точності найбільш важливим діапазоном рішень може бути підмножина суми діапазонів рішення, визначена на основі дорогих та трудомістких експериментів. З погляду суду, з припущенням про рівноправне ставлення до всіх експертних питань: найбільш достовірним діапазоном рішень (DDR) може бути перетин усіх діапазонів.

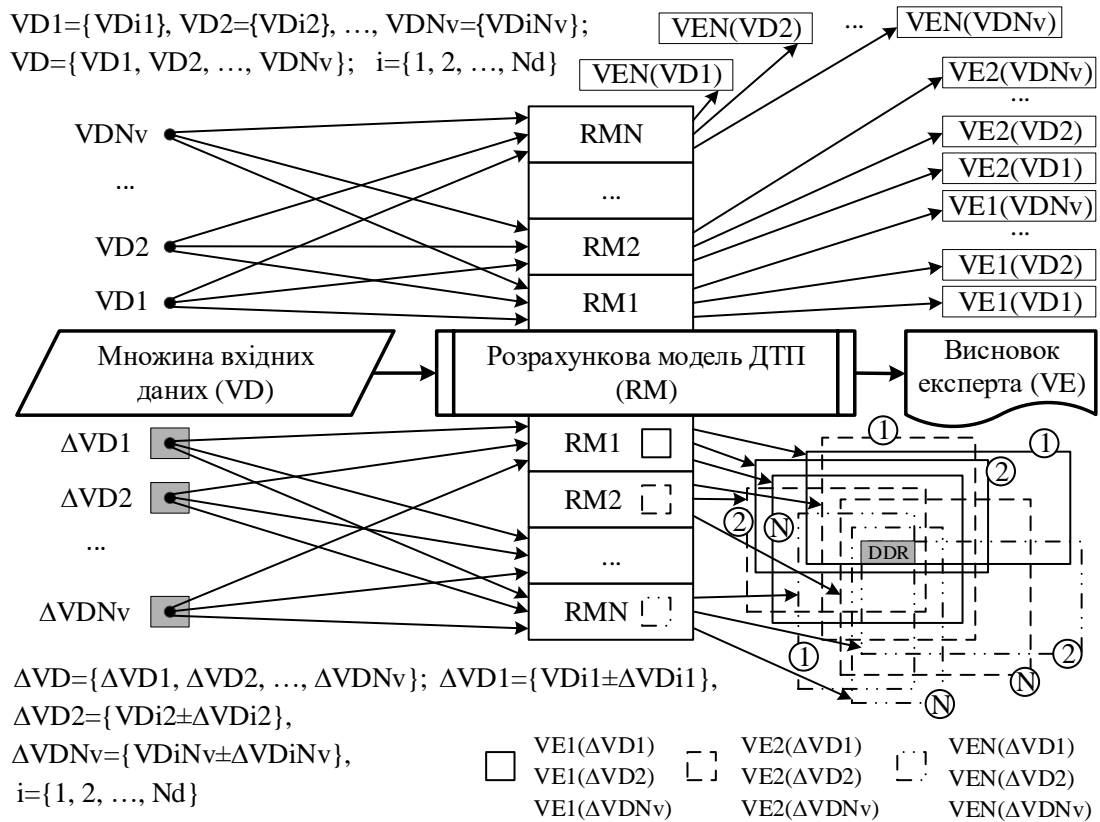


Рисунок 5 – Залежність варіацій результатів встановлення обставин ДТП від врахування невизначеності аналізованих даних

Задачу аналізу обставин ДТП можна подати так. Нехай задано множину можливих варіантів проведення конкретної АТЕ  $X: X = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\}$ . Кожний варіант характеризується множиною параметрів оцінювання якості  $Y: Y = \{y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_m\}$ . Між кожним членом множини  $X$  і кожним членом множини  $Y$  має місце нечітке відношення, позначене через  $\mu_{ij}$  або  $\mu_{ij}$ . Іншими словами,  $\mu_{ij}$  відображає рівень відповідності  $i$ -го варіанта експертизи вимогам за  $j$ -м параметром ( $\mu_{ij} \in [0,1]; i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$ ). Якщо узяти разом всі нечіткі відношення  $\mu_{ij}$  та  $y_j$ , то отримаємо матрицю нечітких відношень  $R$  розміром  $nm$ :  $R = \{\mu_{ij} | i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m\}$ . Необхідно обрати кращий варіант  $x^*$  із множини  $X$

$$x^* = \text{opt}(X, Y, R, M), \quad (1)$$

де  $M$  – модель рішення задачі, обрана особою, що приймає рішення.

Залежно від моделі  $M$  результати вирішення поставленої задачі можуть бути різними при однакових вихідних даних. Отже, якість процесу розробки рішень залежить від повноти врахування всіх факторів, які впливають на наслідки прийнятих рішень. Невизначеність можна усунути повністю чи частково поглибленим вивченням наявної інформації або набуттям інформації, якої не вистачає.

Однією з сучасних тенденцій розвитку АТЕ є застосування інноваційних технологій на всіх етапах дослідження ДТП. Це обумовлено вимогами ефективності виробництва та використання ресурсів при провадженні досліджень з розслідування аварійних ситуацій. Комплексне використання спеціалізованих комп'ютерних програм для розрахунку механізму ДТП та автоматизованих систем виміру і

доекспертного розрахунку вихідних даних (комплекси лазерного сканування місця ДТП; реєстратори даних про події, які дозволяють фіксувати параметри руху ТЗ до та після ДТП; спеціальна цифрова апаратура) можна розглядати як набір модулів, складених із множин стандартних модулів інтегрованої системи АТЕ ДТП. Кожний модуль, виконуючи свої функції, забезпечує досягнення загальної мети системи. Завдяки модульності, інтегрована система забезпечує високу якість проведення експертизи: комплексність дослідження; високу гнучкість для адаптації до різних умов; економічність за рахунок скорочення витрат; ефективність через можливість автоматизації операцій однотипного характеру.

Модель інтегрованої системи АТЕ ДТП можна подати так

$$DS = \{X, F, D, t\}, \quad (2)$$

де  $X$  – множина множин стандартних модулів,  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ ;  $X_1$  – множина стандартних модулів, здатних виконати завдання  $y_1$ ,  $X_1 = \{x_{i1} \mid x_{i1} \in X_1; i = 1, \dots, m_1\}$ ;  $x_{i1}$  – стан модуля  $x_{i1}$  множини  $X_1$  (змінюється у часі);  $m_1$  – кількість модулів в множині  $X_1$ ;  $X_2, \dots, X_n$  – відповідно множини стандартних модулів, здатних виконати завдання  $y_2, \dots, y_n$ ;  $n$  – кількість множин стандартних модулів (кількість видів завдань);  $F$  – цільова функція інтегрованої системи;  $D$  – множина вимог до системи  $D = \{Y, Z\}$ ,  $Y$  – множина вимог щодо виконуваних завдань (вид, обсяг робіт, час, місце),  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$ ;  $Z$  – множина вимог щодо якості системи АТЕ ДТП в цілому (своєчасність, надійність, гнучкість, ефективність тощо);  $t$  – момент проектування системи.

Рішення задачі (2) або набір обраних модулів

$$\begin{cases} X^* = \{x_{i1}^1, x_{i2}^2, \dots, x_{in}^n\}, \\ F(X^*, t) \rightarrow \max, \\ D(X^*, t) \geq 0. \end{cases} \quad (3)$$

Генерація варіантів для розв'язування задачі формування інтегрованої системи АТЕ ДТП здійснюється методами морфологічного аналізу і синтезу на основі обраних критеріїв оцінювання якості синтезованої системи (рис. 6).

Оцінювання якості рішення задачі (1) виконується за алгоритмом багатокритеріального оцінювання, суть якого полягає в побудові еталонного варіанта виконання АТЕ ДТП  $x_0$ . Параметри цього варіанта набувають мінімальних допустимих значень  $\mu_0, j = 1, \dots, m$ . Кожний варіант множини  $X$  порівнюється з еталоном  $x_0$ .

Математичний запис моделі:

$$\begin{cases} X^* = \{x_k \mid x_k \in X; \mu_{kj} \geq \mu_{0j} \forall j = 1, \dots, m; f_k = f_i \mid f_i \in F; i = 1, \dots, m\}; \\ f_i = \sum_{j=1}^m (\mu_{ij} - \mu_{0j}) \cdot w_j. \end{cases} \quad (4)$$

Якщо якість у варіанта  $x_i$  не гірша ніж у еталона  $x_0$  за всіма параметрами, то варіант  $x_i$  вноситься до множини рішень і для нього розраховують інтегральний

параметр якості  $f_i$ . Для еталонного варіанта інтегральний параметр набуває нульове значення  $f_0 = 0$ . Оптимальне рішення – варіант з максимальним значенням інтегрального параметра  $f_{max}$ . Варіант  $x_k$  є рішенням задачі (4).



Рисунок 6 – Типи критеріїв оцінювання якості синтезованої системи

У третьому розділі подано моделі підвищення об'єктивності експертних досліджень ДТП. Вибір актуального переліку моделей здійснювався на основі результатів аналізу проблемних питань АТЕ (розділ 1) та регламентованих способів попередження ДТП діючими ПДР.

Для підвищення об'єктивності АТЕ в темну пору доби було побудовано адаптивну систему оцінювання відстані видимості дорожніх об'єктів, яка розроблялась на основі метода ідентифікації нелінійних об'єктів нечіткими базами знань в нейро-нечіткому редакторі Anfis пакета Fuzzy Logic Toolbox обчислювального середовища Matlab. Система будувалась в два етапи (рис. 7): перший – структурна ідентифікація; другий – параметрична ідентифікація.

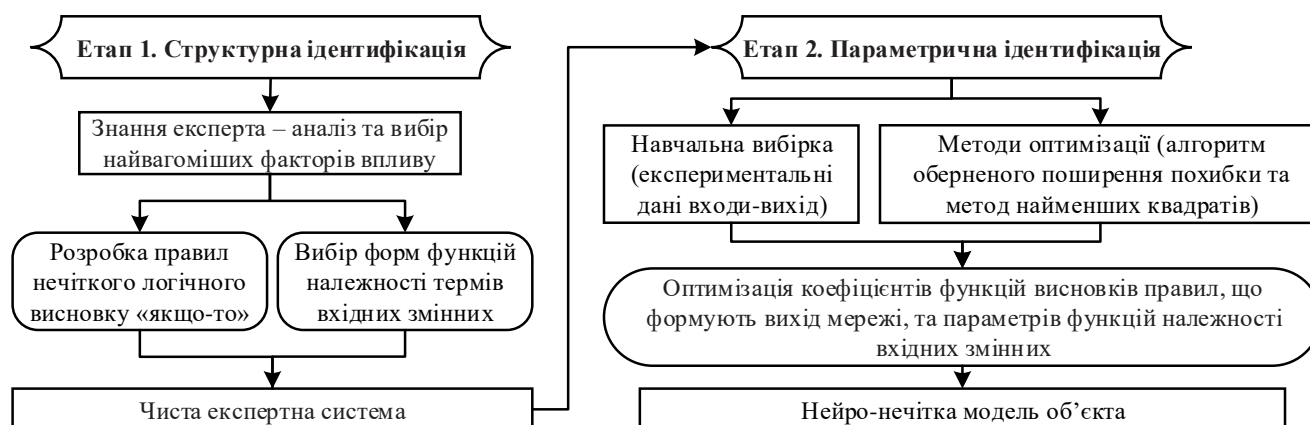


Рисунок 7 – Етапи налаштування системи оцінювання відстані видимості

На етапі структурної ідентифікації було побудовано структуру залежності відстані видимості від факторів впливу (рис. 8) на основі правил «якщо-то».

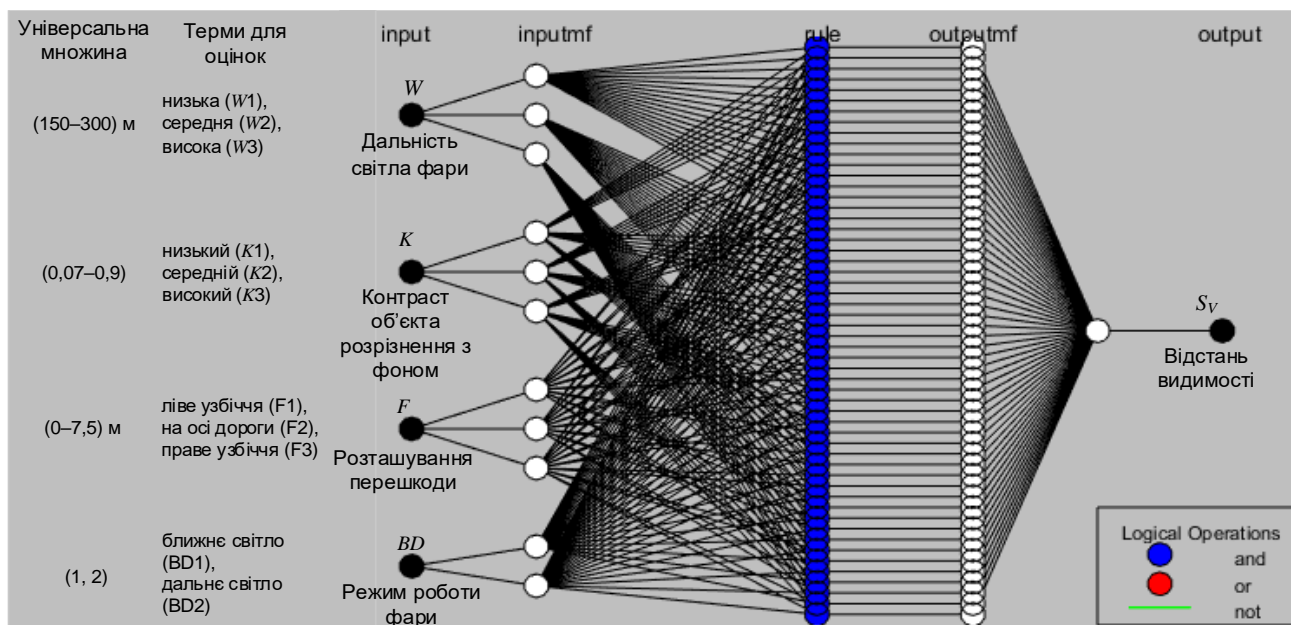


Рисунок 8 – Структура системи оцінювання відстані видимості

Всі фактори впливу на відстань видимості розглядаються як лінгвістичні змінні, що задані на універсальних множинах і оцінюються нечіткими термами. Параметрична ідентифікація забезпечила підбір таких параметрів бази знань, які дають максимальну наближеність результатів моделювання та експериментальних даних.

Нейро-нечітка мережа системи складається з п'яти шарів. Кожен вузол першого шару являє собою один терм з гауссовою функцією належності

$$\mu_j(x_i) = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x_i - c_{ij}}{\sigma_{ij}}\right)^2\right), \quad (5)$$

де  $\mu_j(x_i)$  – функція належності нечіткої множини  $a_{ij}$ ;  $c_{ij}$  та  $\sigma_{ij}$  – координата максимуму та коефіцієнт концентрації – параметри функції належності.

Кількість вузлів другого шару дорівнює кількості правил нечіткої бази знань Сугено (для цього випадку, як видно з рис. 8, кількість правил складає  $m = 3*3*3*2 = 54$ ). Кожен вузол другого шару з'єднаний з тими вузлами першого шару, які формують антецеденти відповідного правила. Виходом вузла є ступінь виконання вкладеного в нього правила  $\tau_r$ , що дорівнює добутку вхідних сигналів.

Усі п'ятдесят чотири вузла третього шару визначають відносну ступінь виконання відповідного нечіткого правила  $\tau_r^*$ . У вузлах четвертого шару визначаються вклади нечітких правил у вихід мережі  $S_V$ .

$$S_{Vr} = \tau_r^* \cdot (b_{0,r} + b_{1,r} \cdot W + b_{2,r} \cdot K + b_{3,r} \cdot F + b_{4,r} \cdot BD), \quad \tau_r^* = \tau_r / \sum_{j=1,m} \tau_j, \quad (6)$$

де  $b_{q,r}$  – коефіцієнти консеквентів  $r$ -го правила ( $r = 1, 2, \dots, 54$ ;  $q = 0, 1, 2, 3, 4$ ). Єдиний вузол п'ятого шару агрегує вклади всіх правил

$$S_V = S_{V1} + \dots + S_{Vr} + \dots + S_{Vm}. \quad (7)$$

Рекомендації з оцінення контрасту об'єкта розрізнення з фоном  $K$  надано в [2].

Правила нечіткого логічного висновку «якщо-то» було сформовано в нейро-нечіткому редакторі Anfis середовища Matlab в автоматичному режимі.



Під час проведення експерименту в дорожніх умовах з метою створення навчальної та тестової вибірок для параметричної ідентифікації нейро-нечіткої системи фіксувались значення факторів впливу на відстань видимості дорожніх об'єктів в темну пору доби та сама відстань видимості. В результаті була отримана експериментальна база даних, фрагмент якої подано в таблиці 1. З отриманої бази даних було сформовано навчальну (Н) та тестову (Т) вибірки.

Таблиця 1 – Експериментальна база даних (фрагмент)

<i>W</i>	151	182	223	285	225	164	256	195	179
<i>K</i>	0,07	0,2	0,5	0,7	0,25	0,84	0,08	0,84	0,2
<i>F</i>	2	7,5	3	7	5	5	1	1	3,75
<i>BD</i>	1	1	2	2	2	1	1	2	2
<i>S<sub>V</sub>, м</i>	37,1	51,8	155,6	250,8	129,7	75,6	50,9	160,7	94,5

Процес навчання адаптивної нейро-нечіткої системи ідентифікації відстані видимості за вибіркою експериментальних даних відбувався в Anfis Editor Matlab. Порівняння похибки прогнозування відстані видимості дорожніх об'єктів в світлі автомобільних фар різними методами подано в таблиці 2.

Таблиця 2 – Похибка прогнозування відстані видимості дорожніх об'єктів

Параметр	Нейро-нечітка модель	Існуюча нечітка модель [2]	Лінійна модель	Нелінійна модель
RMSE	2.0079	3.1506	18.9018	4.0818
Середня відносна похибка	1.31%	4.16%	34.92%	23.76%
Максимальна відносна похибка	4.69%	10.4%	1014.41%	107.55%
Кількість пар даних Н та Т вибірок	700	78	700	700

Нелінійна модель прогнозування відстані видимості (табл. 2) має вигляд

$$\begin{aligned}
 S_V = & 62.7768 - 0.4504 \cdot W - 69.2353 \cdot K - 5.7786 \cdot F + 0.012 \cdot BD - \\
 & - 0.0002 \cdot W^2 - 36.7703 \cdot K^2 + 0.1491 \cdot F^2 - 25.6635 \cdot BD^2 + \\
 & + 0.3414 \cdot W \cdot K + 0.0088 \cdot W \cdot F + 0.5129 \cdot W \cdot BD + 1.6619 \cdot K \cdot F + \\
 & + 73.2922 \cdot K \cdot BD - 0.0001 \cdot F \cdot BD.
 \end{aligned} \tag{8}$$

Лінійна модель прогнозування відстані видимості (табл. 2) має вигляд

$$S_V = -166.4264 + 0.4449 \cdot W + 87.202 \cdot K + 2.1607 \cdot F + 85.7719 \cdot BD. \tag{9}$$

З таблиці 2 видно, що створена адаптивна нейро-нечітка система ідентифікації відстані видимості об'єктів є найбільш точною і може бути рекомендована до використання при АТЕ ДТП, що сталися в темну пору доби.

Модель оцінювання коефіцієнта зчеплення (рис. 9) будувалась аналогічно попередній моделі. Її структурна ідентифікація здійснювалась на основі аналізу сил, що діють в колі тертя шини (колі Камма). Кількість правил нечіткої бази знань Суґено для цього випадку становить  $m = 5 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 3 = 225$ .



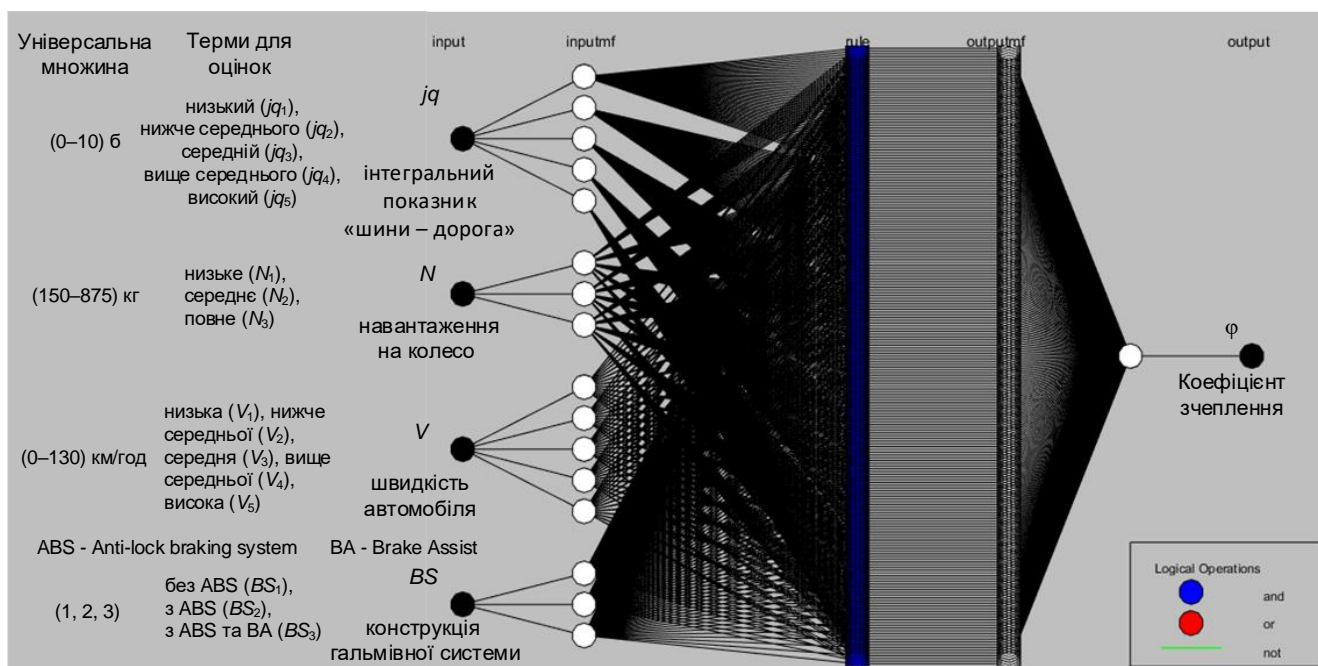


Рисунок 9 – Структура системи оцінювання коефіцієнта зчеплення

Результати збору експериментальних даних з динаміки гальмування ТЗ категорії M1, N1, опубліковані в роботі [42], було використано для забезпечення процесу параметричної ідентифікації нейро-нечіткої системи (див. рис. 7). На основі експериментальної бази даних було сформовано навчальну (3400 пар даних входивихід) та тестову вибірки (2270 пар даних входивихід). Навчання завершилось на 46 епосі і в подальшому похибка прогнозування практично не змінювалась. Порівняння похибки прогнозування величини коефіцієнта зчеплення коліс автомобіля з дорожнім покриттям різними методами подано в таблиці 3.

Таблиця 3 – Похибка прогнозування величини коефіцієнта зчеплення

Параметр	Гібридна нейро-нечітка модель	Існуюча нечітка модель [3]	Лінійна модель	Нелінійна модель
RMSE	0,0035	0,0089	0,0291	0,0101
Середня відносна похибка	1,79%	3,97%	15,35%	14,76%
Максимальна відносна похибка	3,09%	8,12%	62,03%	40,22%
Кількість пар даних Н та Т вибірок	5670	64	5670	5670

Нелінійна модель коефіцієнта зчеплення (табл. 3) має вигляд

$$\begin{aligned}
 \phi = & -0.0316 + 0.0823 \cdot jq + 0.00001 \cdot N + 0.0001 \cdot V + 0.0272 \cdot BS + \\
 & + 0.00001 \cdot jq^2 + 0.00001 \cdot N^2 - 0.00001 \cdot V^2 - 0.0041 \cdot BS^2 - \\
 & - 0.00001 \cdot jq \cdot N - 0.0001 \cdot jq \cdot V + 0.008 \cdot jq \cdot BS + 0.00001 \cdot N \cdot V - \\
 & - 0.00001 \cdot N \cdot BS - 0.0001 \cdot V \cdot BS.
 \end{aligned} \tag{10}$$

Лінійна модель коефіцієнта зчеплення (табл. 3) має вигляд

$$\varphi = 0.0164 + 0.0789 \cdot jq - 0.0001 \cdot N - 0.0004 \cdot V + 0.0392 \cdot BS. \quad (11)$$

З таблиці 3 видно, що створена адаптивна нейро-нечітка система ідентифікації величини коефіцієнта зчеплення є найбільш точною і може бути рекомендована до використання в АТЕ ДТІ.

Модель оцінювання часу сенсомоторної реакції водія (12) було створено на основі аналізу основних факторів, що впливають на нього в системі ВАДС, результатів досліджень різних авторів і використання методів математичної статистики, теорії імовірності та регресійного аналізу.

$$t_1 = t_0 + \Delta t_{mk}(RV) + \Delta t(V_a, B) + \Delta t(T_H, I_a), \quad (12)$$

де  $t_0$  – час виявлення, впізнання, прийняття рішення тощо, с (діюча методика, затверджена Міністерством юстиції України);  $\Delta t_{mk}(RV)$  – час моторного компонента реакції водія при гальмуванні, який залежить від різниці висот площадок важелів акселератора і гальма автомобіля ( $RV$ , мм),  $\Delta t_{mk}(RV) = -0,003RV + 0,0002RV^2$ , с та  $\Delta t(V_a, B)$  – приріст фаз часу реакції водія залежно від швидкості автомобіля в момент виявлення небезпеки для руху ( $V_a$ , км/год) та віку водія ( $B$ , років),  $\Delta t(V_a, B) = 0,1 \cdot \lg((1 + 0,005V_a)0,04B)$ , с (визначаються за методикою авторів С.А. Євтюкова та Я.В. Васильєва);  $\Delta t(T_H, I_a)$  – приріст фаз часу реакції водія залежно від тривалості його роботи ( $T_H$ , год) та інтенсивності руху ( $I_a$ , авт/год) в момент виявлення небезпеки, с.

Для встановлення величини  $\Delta t(T_H, I_a)$  на основі експериментів, результати яких надано авторами понад 40 проаналізованих робіт, було сформовано множини даних, що характеризують залежність часу реакції водія від тривалості його роботи та інтенсивності руху, та підібрано рівняння регресії, які подано виразами:

– при вільному русі ( $0 < I_a < 50$ )

$$\Delta t(T_H, I_a) = -0,0002 \cdot (T_H)^3 + 0,0097 \cdot (T_H)^2 - 0,0808 \cdot T_H; \quad (13)$$

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

$$\Delta t(T_H, I_a) = -0,0002 \cdot (T_H)^3 + 0,0106 \cdot (T_H)^2 - 0,0842 \cdot T_H; \quad (14)$$

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

$$\Delta t(T_H, I_a) = -0,0004 \cdot (T_H)^3 + 0,0147 \cdot (T_H)^2 - 0,0946 \cdot T_H. \quad (15)$$

Оцінення часу реакції  $t_1$  за виразом (12) засобами Microsoft Excel дозволяє зробити висновок, що запропонований вираз, порівняно з діючою методикою, зменшує імовірність появи помилок I роду на 19% та помилок II роду на 32%.

Розроблені моделі оцінювання пройденого шляху автомобіля зменшують невизначеність оцінювання динаміки екстреного гальмування автомобіля та його траєкторії руху, визначення зупинного та гальмівного шляху автомобіля з урахуванням впливу конструкції гальмівної системи, оцінювання параметрів

маневрування автомобіля з гальмуванням, оцінювання відстані від автомобіля до місця ДТП в момент виникнення небезпеки для руху.

Оцінювання динаміки екстреного гальмування автомобіля та його траєкторії руху здійснюється на основі аналізу сил та моментів, що діють на ТЗ (рис. 10) та розв'язання системи диференціальних рівнянь рівноваги, складених на основі фундаментальних законів класичної механіки.

$$\begin{cases} \frac{G_a}{g} \frac{dV_x}{dt} = -R_{x1} - R_{x2} - P_{wx} - P_f \pm G_a \sin \alpha, \\ \frac{G_a}{g} \frac{dV_y}{dt} = -R_{y1} + R_{y2}, \\ I_z \frac{d\omega}{dt} = M_1 + M_2 - R_{y1} \cdot a - R_{y2} \cdot b, \end{cases} \quad (16)$$

де  $\frac{G_a}{g} \frac{dV_x}{dt} = P_{ix}$ ,  $\frac{G_a}{g} \frac{dV_y}{dt} = P_{iy}$  – проекції сили інерції на осі  $x$  та  $y$ ;  $\frac{dV_x}{dt}$ ,  $\frac{dV_y}{dt}$  –

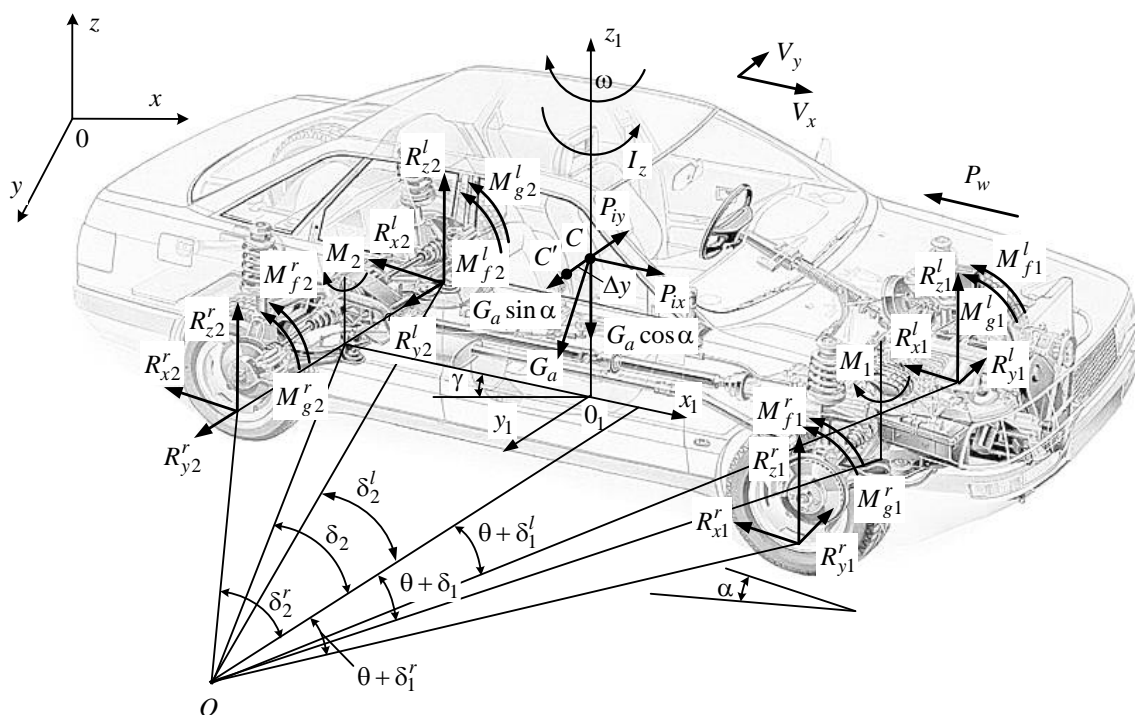
прискорення центра мас автомобіля в напрямку осей  $x$  та  $y$ ;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $R_{x1} = R_{x1}^l + R_{x1}^r$ ,  $R_{x2} = R_{x2}^l + R_{x2}^r$ ;  $R_{y1} = R_{y1}^l + R_{y1}^r$ ,  $R_{y2} = R_{y2}^l + R_{y2}^r$ ;  $M_1 = (0.5B - \Delta y) \cdot R_{x1}^r - (0.5B + \Delta y) \cdot R_{x1}^l$ ;  $M_2 = (0.5B - \Delta y) \cdot R_{x2}^r - (0.5B + \Delta y) \cdot R_{x2}^l$ ;  $a$ ,  $b$ ,  $B$ ,  $L$  – конструктивні параметри автомобіля;  $\frac{d\omega}{dt}$  – кутове прискорення автомо-

біля відносно осі  $z$ ;  $P_{wx} = 0.5 \cdot c_x \cdot \rho \cdot F_w \cdot V_x^2$  – проекція сили опору повітря на вісь  $x$ ;  $c_x$  – коефіцієнт обтічності автомобіля;  $\rho$  – густина повітря;  $F_w$  – площа міделевого перерізу;  $P_f = f \cdot G_a \cdot \cos \alpha$  – опір коченню коліс;  $f$  – коефіцієнт опору кочення;  $P_\alpha = G_a \cdot \sin \alpha$  – опір підйому (береться додатним під час руху автомобіля на підйом та від'ємним – під час руху на спуск).

Параметри, що характеризують траєкторію руху автомобіля при гальмуванні, можна визначити із системи рівнянь рівноваги (16) на основі встановлених законів зміни сил і моментів, поданих як функції швидкостей руху автомобіля відносно осей  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Після інтегрування перетвореної системи отримаємо функціональні залежності зміни швидкостей руху автомобіля  $V_x$ ,  $V_y$ ,  $\omega$  при гальмуванні за часом. Повторне інтегрування отриманих залежностей з метою отримання траєкторії руху центра мас автомобіля ( $x$ ,  $y$ ) і розвороту його поздовжньої осі  $\gamma$  необхідно здійснювати відповідно до виразів

$$x = \int_0^t (V_x \cos \gamma + V_y \sin \gamma) dt, \quad y = \int_0^t (V_x \sin \gamma - V_y \cos \gamma) dt, \quad \gamma = \int_0^t \omega dt. \quad (17)$$

Перевірка розроблених теоретичних положень здійснювалась на основі натурних експериментів (розділ 4) та моделювання в PC-Crash і Mathcad (розділ 5).



$P_{ix}, P_{iy}$  – поздовжня та поперечна складові сили інерції автомобіля  $P$ ;  $P_w$  – сила опору повітря;  $G_a$  – вага автомобіля;  $\alpha$  – кут ухилу дороги,  $R_{x1}^l, R_{x1}^r, R_{x2}^l, R_{x2}^r$  – поздовжні реакції, що діють в контакті коліс з поверхнею дороги;  $R_{y1}^l, R_{y1}^r, R_{y2}^l, R_{y2}^r$  – бічні реакції, що діють в контакті коліс з поверхнею дороги;  $R_{z1}^l, R_{z1}^r, R_{z2}^l, R_{z2}^r$  – нормальні (вертикальні) реакції, що діють в контакті коліс з поверхнею дороги;  $M_{f1}^l, M_{f1}^r, M_{f2}^l, M_{f2}^r$  – моменти опору кочення коліс;  $M_{g1}^l, M_{g1}^r, M_{g2}^l, M_{g2}^r$  – гальмівні моменти, прикладені до коліс;  $\Delta y$  – бічне зміщення центра мас автомобіля;  $M_1, M_2$  – моменти, що повертають автомобіль;  $I_z$  – момент інерції автомобіля відносно вертикальної осі, яка проходить через його центр мас;  $\omega$  – 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;  $h_g$  – висота центра мас;  $\delta_1$  і  $\delta_2$  – кути зсуву (бічного відведення) коліс передньої та задньої осей;  $\theta$  – кут, що характеризує зміну напрямку руху передньої осі автомобіля за рахунок нахилу коліс при крені кузова; індекси 1 і 2 позначають передню і задню осі, а індекси  $l$  і  $r$  – ліві та праві колеса

Рисунок 10 – Схема сил та моментів, що діють на ТЗ при гальмуванні

Процес гальмування ТЗ з електронною системою гальмування можна відобразити за допомогою гальмівної діаграми (рис. 11), де криві 1, 2 та 5 відображають процес гальмування ТЗ у класичному вигляді, коли дія сил опору руху (опір коченню коліс, опір повітря та опір підйому) може бути врахована лише протягом часу  $t'_4$ .

На практиці сили опору руху чинять вплив на процес гальмування протягом усього часу, необхідного для зупинки ТЗ. Такому поданню процесу гальмування відповідають криві 3, 4 та 6. При цьому для ТЗ з електронними гальмівними системами ділянки зупинного шляху відповідають інтервалам часу  $t_1, t_2, t_3, t_4$  та  $t_5$ , а функція сповільнення за часом має вигляд

$$j(t) = \begin{cases} j_{OR}, & \text{якщо } 0 < t \leq (t_1 + t_2), \\ k \cdot t + m, & \text{якщо } 0 < t \leq t_3, \\ j_{ABS(BA)}, & \text{якщо } 0 < t \leq t_4, \\ j_S, & \text{якщо } 0 < t \leq t_5. \end{cases}, \quad (18)$$

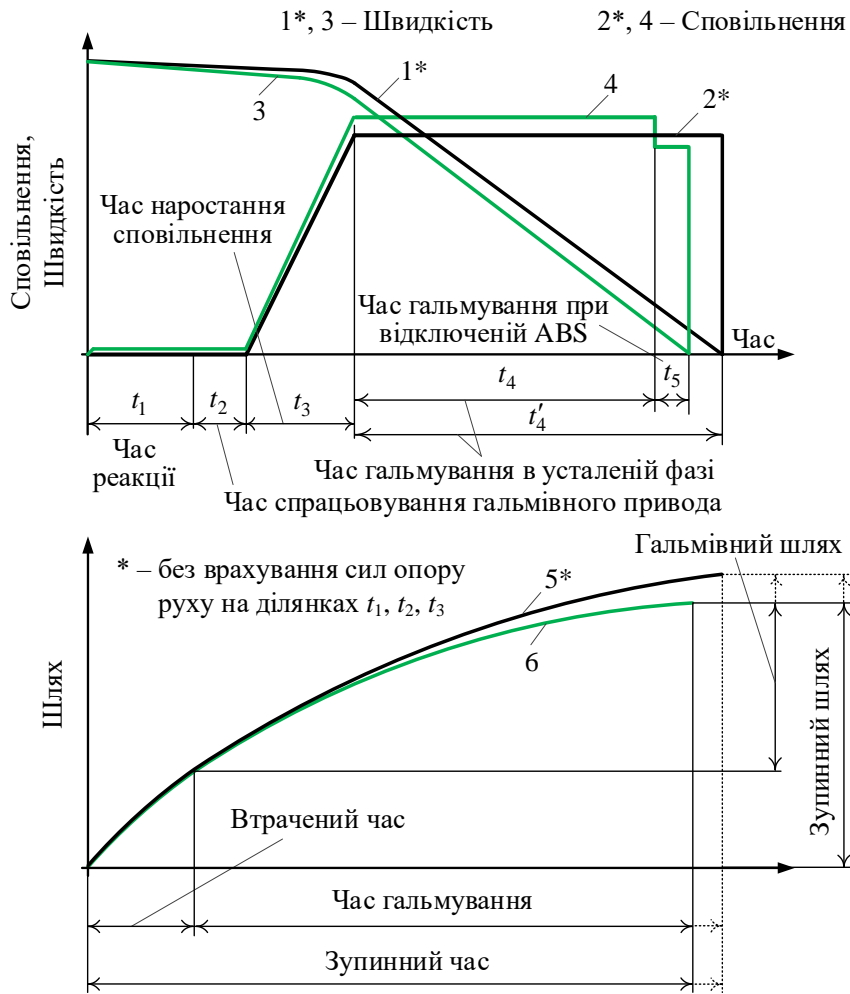


Рисунок 11 – Параметри процесу гальмування ТЗ

Остаточний вираз для визначення зупинного шляху

$$S_0 = (t_1 + t_2 + 0.5t_3) \cdot V_a + \frac{V_a^2 - V_S^2}{2j_{ABS(BA)}} + \frac{V_S^2}{2j_S} - S_{OR}, \quad (19)$$

де  $S_{OR}$  – відстань, на яку зменшується зупинний шлях ТЗ за рахунок дії сил опору руху за час  $t_1, t_2$  і  $t_3$ ;  $V_S$  – швидкість, коли відключається ABS (15 км/год).

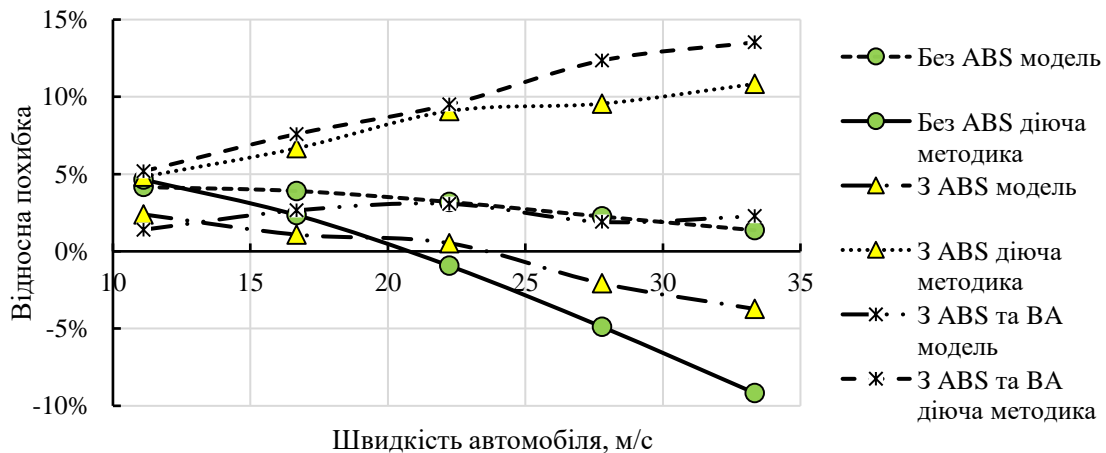


Рисунок 12 – Похибка оцінювання гальмівного шляху ТЗ категорії М1

Результати оцінювання гальмівного шляху ТЗ категорії М1 на сухому асфальтобетоні за виразом (19) та діючою методикою подано на рисунку 12, з якого видно, що діючу методику доцільно застосовувати для автомобілів без ABS в діапазоні швидкостей від 45 до 85 км/год.

Конструкція сучасних ТЗ дозволяє застосовувати одночасно маневрування та гальмування. На основі аналізу схеми повороту автомобіля (рис. 13), базуючись на методичному підході В.А. Іларіонова та А.С. Крука і результатах експериментальних досліджень (розділ 4) було отримано залежності, які дозволяють визначити параметри маневрування автомобіля при одночасному застосуванні гальмування для різних видів маневру.

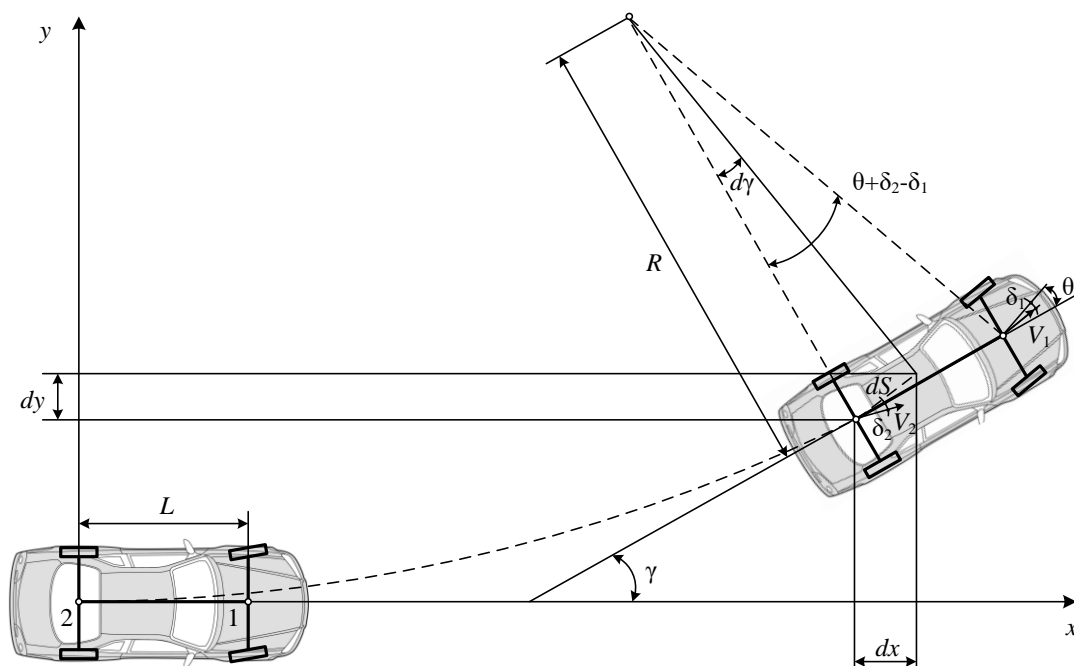


Рисунок 13 – Схема до розрахунку параметрів маневрування автомобіля

«Вхід в поворот»

$$\gamma_M = \gamma_0 + 3.375 \cdot g \cdot \varphi_y \cdot \frac{j}{V_0^3} \cdot t_M^2 \cdot (0.5 \cdot V_0 - 0.167 \cdot j \cdot t_M), \quad (20)$$

$$x_M = V_0 \cdot t_M - 0.25 \cdot j \cdot t_M^2, \quad (21)$$

$$y_M = y_0 + 0.5625 \cdot g \cdot \varphi_y \cdot \frac{j}{V_0^3} \cdot t_M^3 \cdot (V_0^2 - 0.625 \cdot V_0 \cdot j \cdot t_M + 0.2 \cdot j^2 \cdot t_M^2); \quad (22)$$

«Вхід – вихід»

$$\gamma_M = \gamma_0 + 0.07 \cdot g \cdot \varphi_y \cdot \frac{j}{V_0^3} \cdot t_M^2 \cdot (6 \cdot V_0 - j \cdot t_M), \quad (23)$$

$$x_M = 0.5 \cdot V_0 \cdot t_M - 0.125 \cdot j \cdot t_M^2, \quad (24)$$

$$y_M = y_0 + 0.07 \cdot g \cdot \varphi_y \cdot \frac{j}{V_0^3} \cdot t_M^3 \cdot (V_0^2 - 0.3125 \cdot V_0 \cdot j \cdot t_M + 0.05 \cdot j^2 \cdot t_M^2); \quad (25)$$

«Зміна смуги руху»

$$\gamma_M = 0, \quad (26)$$

$$x_M = 0.25 \cdot V_0 \cdot t_M - 0.0625 j \cdot t_M^2, \quad (27)$$

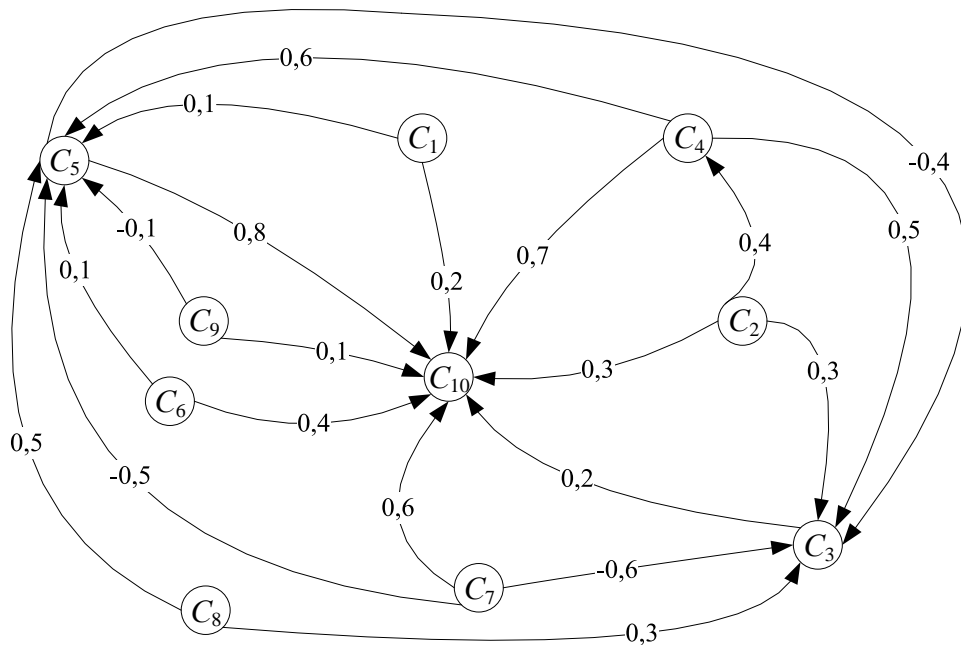
$$y_M = y_0 + 0.0088 \cdot g \cdot \varphi_y \cdot \frac{j}{V_0^3} \cdot t_M^3 \cdot \left( V_0^2 - 0.1562 \cdot V_0 \cdot j \cdot t_M + 0.0125 \cdot j^2 \cdot t_M^2 \right), \quad (28)$$

де  $\gamma_0$ ,  $y_0$  – значення параметрів при  $j = 0$  м/с<sup>2</sup> (діюча методика).

Формули (20)-(28) отримано з урахуванням того, що час, необхідний для повороту передніх керованих коліс на максимальний кут при маневруванні, залежить від типу маневру (при «вході в поворот» цей час дорівнює усьому часу маневрування, при «вході-виході» – його половині, при «зміні смуги руху» – його четвертій частині). Вони придатні до застосування у діючій методиці за необхідності аналізу маневрування з гальмуванням ТЗ, обладнаних ABS та ВА.

Для оцінювання надійності і безпеки функціонування ТЗ в системі ВАДС пропонується метод ранжування взаємодіючих факторів, що впливають на надійність людино-машинної системи (ЛМС), на основі нечіткої когнітивної карти (НКК) – нового засобу моделювання, що почав отримувати поширення в теорії надійності. НКК введені Коско Б. як узагальнення бінарних когнітивних карт Аксельрода Р., призначених для моделювання динаміки причинно-наслідкових зв'язків. У цих моделях вхідні змінні впливають на вихід і один на одного.

НКК є орієнтований граф зі зваженими дугами, приклад якого для системи ВАДС показаний на рис. 14.



$C_1$  – кваліфікація водія,  $C_2$  – дорожні умови,  $C_3$  – питомі витрати на експлуатацію,  $C_4$  – умови експлуатації,  $C_5$  – періодичність технічного обслуговування,  $C_6$  – якість технічного обслуговування та ремонту,  $C_7$  – якість конструкції автомобіля,  $C_8$  – якість експлуатаційних матеріалів та запасних частин,  $C_9$  – умови зберігання,  $C_{10}$  – надійність та безпека автомобіля.

Рисунок 14 – Нечітка когнітивна карта системи ВАДС

Вершини графа  $C_i$ , звані концептами, відповідають вхідним і вихідним змінним, які враховуються в моделі. Зважені дуги графа відображають силу впливу  $w_{ij}$  зміни однієї змінної  $C_i$  на зміну іншої  $C_j$ . З точки зору теорії ідентифікації, яка займається відновленням закономірностей за експериментальними даними, НКК – це апроксиматор залежності «входи-вихід» із взаємодіючими входами. Як і будь-який апроксиматор, наприклад, регресія, нечіткі правила, нейронна мережа тощо, НКК містить параметри, що підлягають налаштуванню, які мають оцінюватися шляхом мінімізації нев'язки між модельними і експериментальними значеннями виходу. Якщо експериментальні дані «входи-вихід» відсутні, то якість моделі цілком залежить від кваліфікації експерта. Кожний концепт  $C_i \in C$  вважається лінгвістичною змінною, яка оцінюється величиною  $x_i$  на універсальній множині  $[\underline{x}_i, \bar{x}_i]$ , де  $\underline{x}_i$ , ( $\bar{x}_i$ ) – нижня (верхня) границя. Оцінюється концепт  $C_i \in C$  нечітким термом «перфектність концепту  $C_i$ », який позначається  $PC_i$  і являє собою нечітку множину

$$PC_i = \int_{[\underline{x}_i, \bar{x}_i]} \pi(x_i) / x_i, \quad (29)$$

де  $\pi(x_i)$  – функція належності змінної  $x_i$  до поняття «перфектність  $C_i$ ».

Динаміка зміни величини концептів в НКК визначається співвідношенням

$$A_i^{k+1} = f \left( \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n A_j^k w_{ij} + c A_i^k \right), \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (30)$$

де  $A_i^{k+1}$  – величина концепту  $C_i$  на кроці  $k + 1$ ;  $A_i^k$  та  $A_j^k$  – величини концептів  $C_i$  та  $C_j$  на кроці  $k$ , відповідно;  $w_{ij}$  – сила впливу концепту  $C_j$  на концепт  $C_i$ ,  $c$  – параметр, що враховує передісторію, тобто внесок значення концепту на попередньому кроці,  $c \in [0, 1]$ ;  $f$  – порогова функція, завдяки якій величина концепту не перевищує одиницю.

В множині концептів  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ ,  $C_n$  – це концепт-цільова функція, тобто надійність системи, яка оцінюється рівнем  $A_n \in [0, 1]$ ,  $C_1, C_2, \dots, C_{n-1}$  – це концепти-фактори впливу, які взаємодіють один з одним та оцінюються рівнями  $A_i \in [0, 1]$ ,  $i = 1, \dots, n - 1$ . Залежність надійності системи від факторів впливу позначається як

$$A_n^l = F(A_1^0, A_2^0, \dots, A_{n-1}^0), \quad (31)$$

де  $A_1^0, A_2^0, \dots, A_{n-1}^0$  – значення концептів-факторів на кроці  $l = 0$ ;  $A_n^l$  – значення концепту-цілі в стаціонарному режимі, тобто на такому кроці, коли  $A_n^l$  близьке до  $A_n^{l-1}$ . Значення  $A_n^l$  пов'язане з імовірнісним показником надійності системи співвідношенням  $A_n^{l-1} = \pi(p)$ , де  $\pi(p)$  – функція належності імовірності ( $p$ ), безпомилкового функціонування системи до поняття «перфектно».

За аналогією з індексом важливості Бірнбаума, індекс важливості концепта  $C_j$  відповідає градієнту функції (32) у напрямку  $A_j^0 \in [0, 1]$ , тобто



$$I(C_j) = \frac{\partial A_n^l}{\partial A_j} = \frac{F(A_1^0 = 0, \dots, A_j^0 = 1, \dots, A_{n-1}^0 = 0) - F(A_1^0 = 0, \dots, A_j^0 = 1, \dots, A_{n-1}^0 = 0)}{1 - 0} =$$

$$= FF(A_1^0 = 0, \dots, A_j^0 = 1, \dots, A_{n-1}^0 = 0).$$
(32)

Результати моделювання у вигляді діаграми індексів важливості концептів показано на рис. 15.

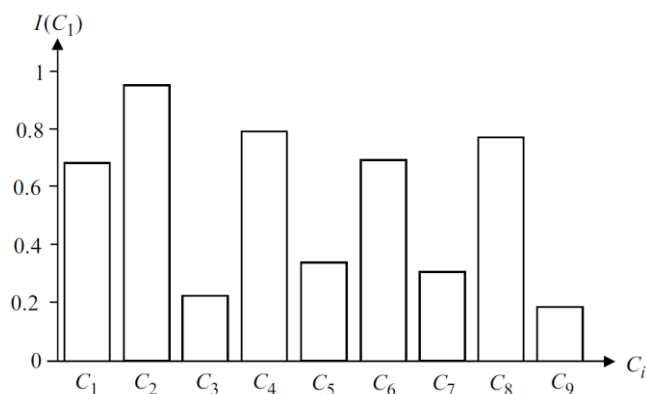


Рисунок 15 – Діаграма індексів важливості факторів

Запропонована модель оцінювання надійності і безпеки функціонування ТЗ в системі ВАДС дозволяє врахувати взаємний вплив факторів, які визначають надійність системи людина-машина, та на основі їх ранжування розробити заходи з підвищення безпеки руху. Можливими сферами застосування методу є людино-машинні системи з безперервним характером діяльності людини (до них відноситься система ВАДС), в яких відсутні чіткі межі між виконуваними операціями, що ускладнює збір статистики за імовірностями їх правильного виконання.

**В четвертому розділі** подано програму та результати виконаних експериментальних досліджень та реєстраційно-вимірну апаратуру.

Експерименти з визначення відстані видимості дорожніх об'єктів в темну пору доби здійснювалися з 2003 року, зокрема з виїздом на місце ДТП або в дорожніх умовах, наближених до ДТП. При цьому, врахуванню підлягали усі фактори, що можуть вплинути на видимість дороги та об'єктів на ній: погодні умови (дощ, туман, сніг); дорожні умови (тип і стан покриття, його колір, ухили дорожнього полотна, наявність розмітки, інших засобів організації дорожнього руху); транспортні умови (склад потоку, наявність та розташування можливих перешкод, присутня кольорова гама), освітленість дороги та об'єктів дорожньої обстановки (штучне і природне освітлення, наявність дії фар інших ТЗ). Видимість дороги та об'єктів дорожньої обстановки оцінювали спостерігачі з гостротою зору 0.9 ... 1.0. Крім того, були залучені допоміжні засоби: люксметр Voltcraft MS-1300, люксметр Ю116, лазерний дальномір SNDWAY SW-T100, 20-ти метрова рулетка, жилет з світловідбивальними елементами, світловідбивач, крейда для розмітки проїжджої частини, пронумеровані фішки, ліхтар.

У випробуваннях брали участь шістдесят вісім ТЗ категорії М1 1991-2015 року випуску, в фарах головного освітлення яких встановлено галогенні лампи Н1, Н4 та Н7 з європейським світлорозподілом (Audi A6, Skoda Octavia, Opel Vectra,

Opel Astra, Wolkswagen Caddy, Mitsubishi Pajero, Mercedes Vito, Renault Megane, Peugeot 301, Chery Amulet, Daewoo – Lanos, Sens, ВАЗ – 11183, 11193, 21093, 21099, 2110, 2111, 2112, 2113, 2114, 2115, 2121, 2170 та ЗАЗ – 110207, 110307, 110557). Усі ТЗ знаходились в технічно справному стані. За результатами виконаних натурних експериментів отримано залежності відстані видимості від характеристик об'єкта розрізнення для фар різних автомобілів, приклад яких подано на рис. 16, та сформовано вибірку для навчання нейро-нечіткої моделі.

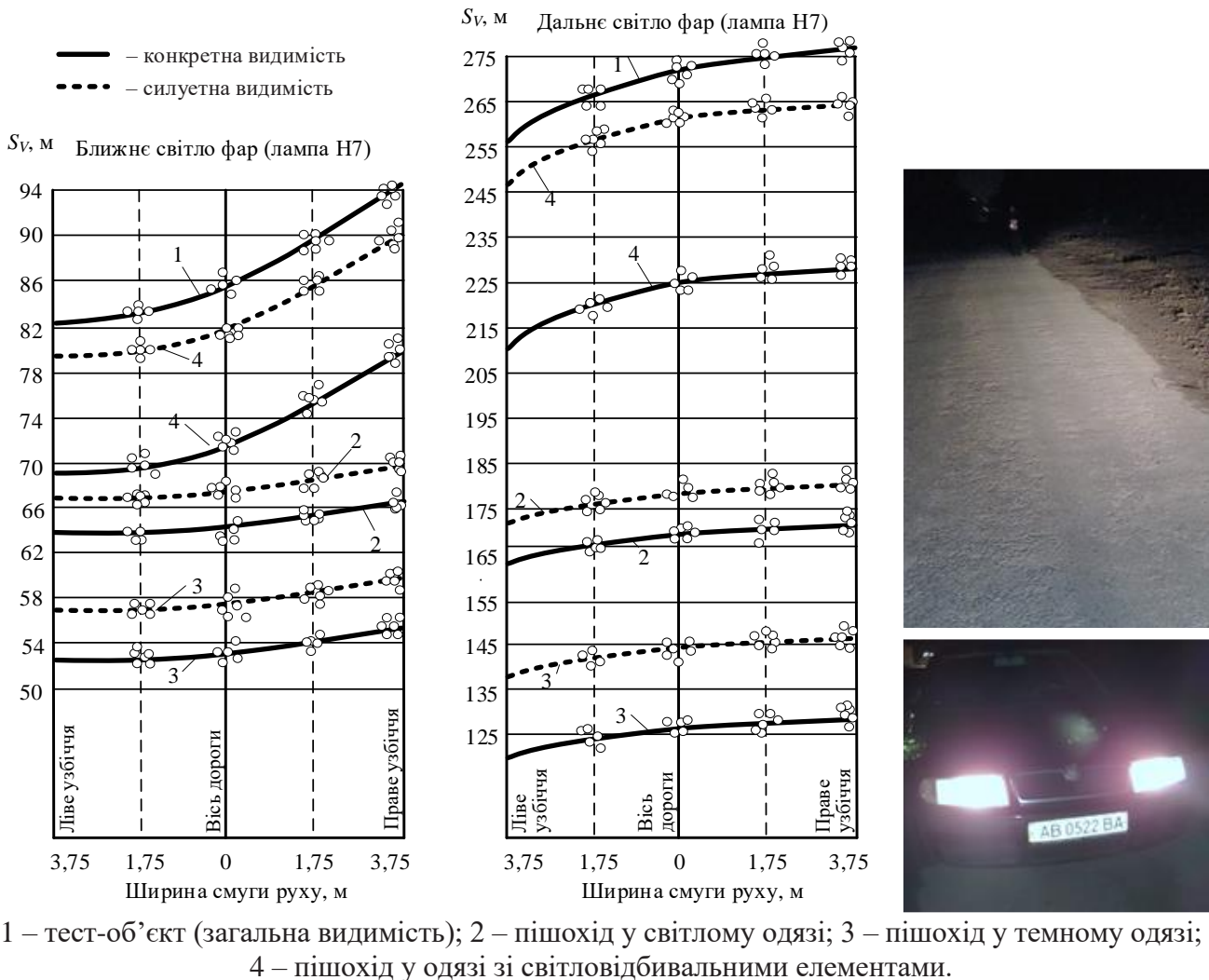


Рисунок 16 – Експериментальна залежність відстані видимості від характеристик об'єкта розрізнення для фар з лампами H7 (Skoda Octavia)

Узагальнені експериментальні дані з визначення відстані видимості об'єкта на дорозі при світлі фар зустрічного транспортного засобу, отримані для 95% рівня довіри, показали, що з моменту зближення автомобілів на відстань  $S_a = 200-250$  м під дією сліпучої блискучості фар починається процес скорочення відстані видимості об'єктів. На ділянці 0,2 км водії тією чи іншою мірою втрачають видимість, при  $S_a = 110$  м видимість зменшується на 15 %, при  $S_a = 70$  м – на 23 %. Подальше зближення автомобілів практично не впливає на зміну видимості. Також було встановлено, що необхідна для розрізнення об'єкта освітленість зростає зі збільшенням відстані до нього, тобто вважати значення освітленості постійним неправильно. Чим вища освітленість, що створюється в характерних точках, віддалених від

автомобіля на однаковій відстані, тим ефективніша система освітлення. Чим менша освітленість, достатня для виявлення об'єкта, тим досконаліший світлорозподіл.

Експериментальні дослідження з оцінення ефективності гальмування ТЗ здійснювалися з 2006 року переважно з виїздом на місце ДТП або в дорожніх умовах, наближених до ДТП. При цьому використовувалися сертифіковані спеціальні прилади МАНА VZM-100, МАНА VZM-300. Приклади протоколів вимірювання ефективності гальмівних систем подано на рис. 17.

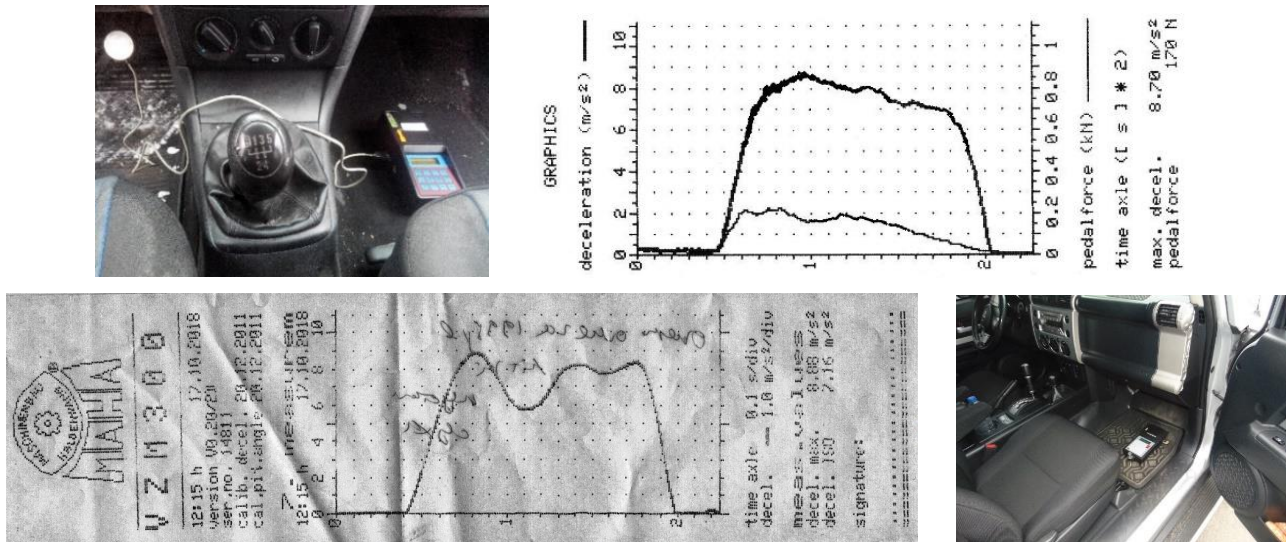


Рисунок 17 – Приклади протоколів вимірювання ефективності гальмування ТЗ

Отримані результати вимірювання сповільнення ТЗ при екстремому гальмуванні разом з експериментальними даними Вінницького та Житомирського НДЕКЦ за період з 1.09.2016 по 5.05.2019 було об'єднано в одну базу. Узагальнення виконаних досліджень для сухого асфальтобетону подано на рисунку 18.

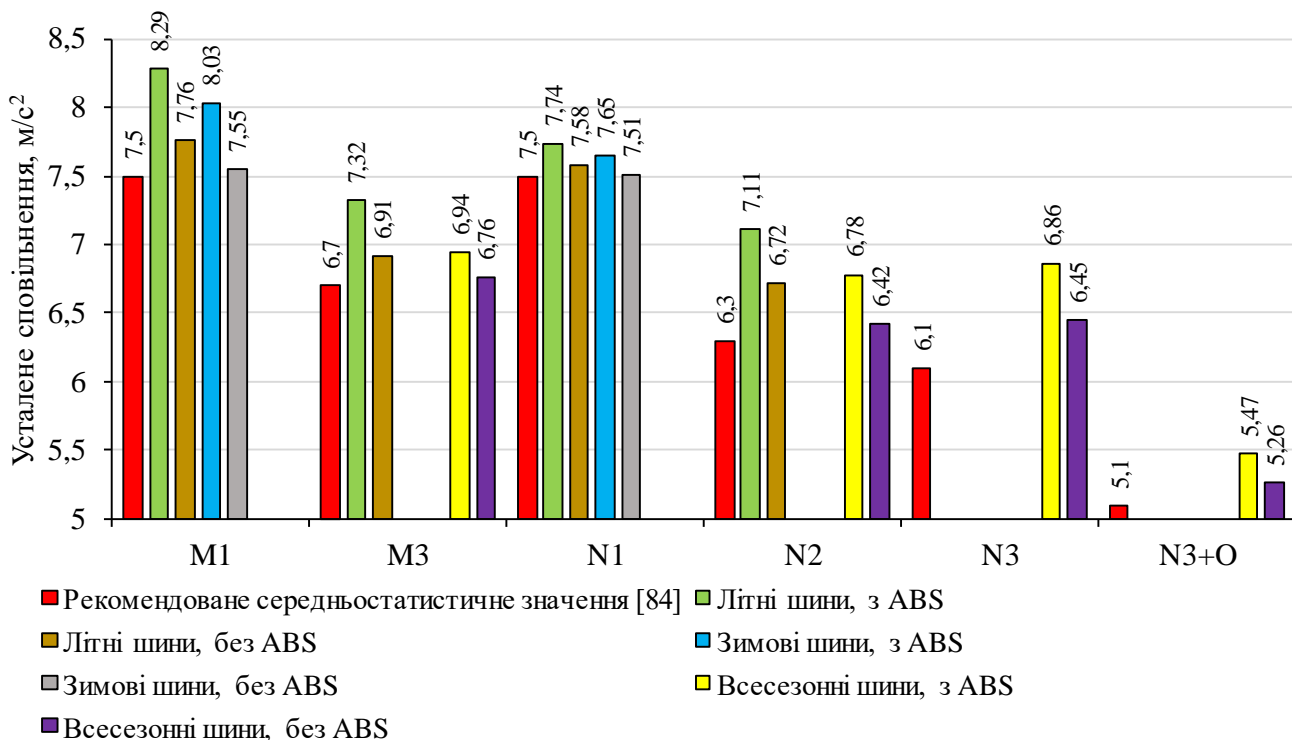


Рисунок 18 – Показники усталеного сповільнення на сухому асфальтобетоні

З метою встановлення впливу конструкції гальмівної системи ТЗ (наявність ABS, ВА) та типу використовуваних шин на ефективність екстреного гальмування було проаналізовано протоколи випробувань 162 ТЗ категорії М1. Результати узагальнення експериментальних даних у середовищі MS Excel, отримані для 95% рівня довіри, подано у таблиці 4 та на рисунку 19.

Таблиця 4 – Узагальнені показники усталеного сповільнення в  $\text{m/s}^2$  зі швидкості 40 км/год

Тип шин, робота ABS, ВА	Літні шини			Зимові шини			Рекомендоване (діюча методика)
	без ABS	з ABS	з ABS, ВА	без ABS	з ABS	з ABS, ВА	
Дорожнє покриття							
Сухий асфальтобетон <sup>1</sup>	7,76	8,29	9,36	7,55	8,03	9,18	7,5
Мокрий асфальтобетон <sup>1</sup> (плівка 0,2мм)	5,86	6,71	7,16	6,14	6,83	7,21	5
Укочений сніг <sup>2</sup>	–	–	–	2,98	3,11	3,28	2,5
Ожеледиця <sup>2</sup>	–	–	–	1,65	1,8	1,9	1,5

1 – при температурі навколишнього середовища (НС) 6-15°C; 2 – при температурі НС 0°C і нижче.

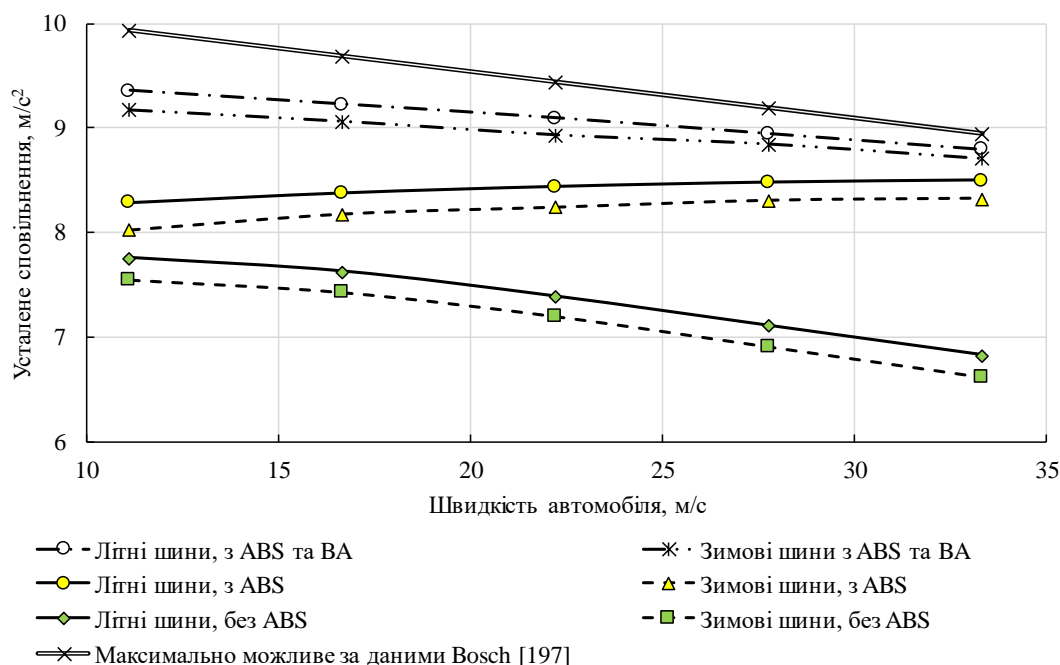


Рисунок 19 – Усталене сповільнення ТЗ категорії М1 для сухого асфальтобетону

З таблиці 4 видно, що узагальнені експериментальні значення усталеного сповільнення відрізняються від рекомендованих значень для експертизи ДТП від 0,7 до 44,2%. Це суттєво для формування експертних висновків щодо конкретної ДТП. З метою підвищення об'єктивності АТЕ аварійних ситуацій потрібно враховувати особливості конструкції гальмівної системи ТЗ (роботу ABS, ВА тощо) та тип шин.

Експериментальне оцінювання траєкторії руху ТЗ при екстреному гальмуванні проводилося з автомобілями Skoda Octavia та BMW 520i на ділянці асфальтобетонного покриття горизонтального профілю. Стан покриття: сухе, мокре, покрите брудом. Досліджувався вплив нерівномірності розподілу гальмівних сил і коефіцієнта зчеплення між колесами автомобіля при відключеній ABS. Приклади отриманих експериментальних кривих руху загальмованого автомобіля та результати моделювання за запропонованою і діючою методикою зображено на рис. 20, 21.





Рисунок 20 – Траєкторія руху центра мас загальмованого автомобіля Skoda Octavia при нерівномірній дії гальмівних моментів

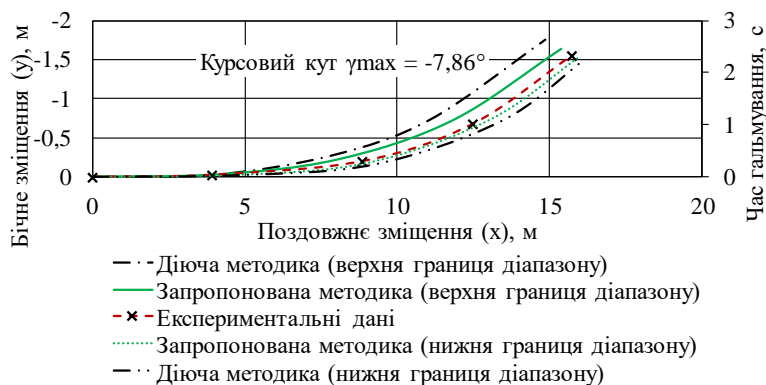


Рисунок 21 – Траєкторія руху центра мас загальмованого автомобіля BMW 520i при нерівномірному розподілі коефіцієнтів зчеплення по бортах

Як видно з рис. 20, 21, запропонована методика дозволяє звузити діапазони можливих рішень порівняно з діючою. Середня відносна похибка моделювання становить 4,58%, максимальна похибка не перевищує 7,82 %.

Експериментальні дослідження параметрів руху ТЗ при маневруванні з гальмуванням проводились 16-17 травня 2018 року на околиці м. Харків за допомогою вимірювально-реєстраційного комплексу ВДВММ 4-001. На рис. 22 показано загальний вигляд автомобілів, що брали участь у випробуваннях, місце встановлення вимірювального устаткування та його налаштування.

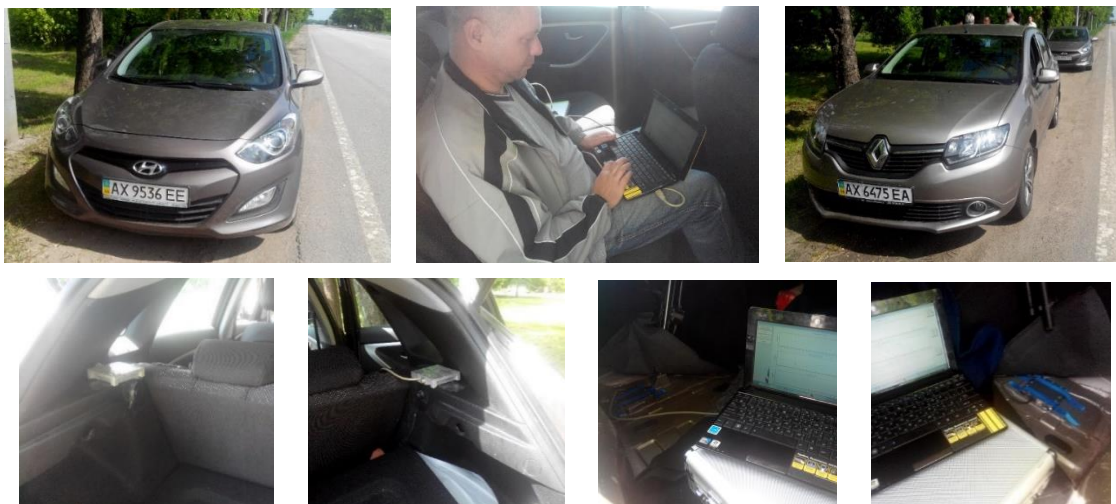


Рисунок 22 – Налаштування реєстраційно-вимірювального комплексу

Переважає більшість ДТП відбувається на швидкостях до 90 км/год, тому швидкість ТЗ, на якій виконувалось маневрування з гальмуванням при проведенні експериментів, набувала значень: в діапазоні від 40 до 90 км/год. Досліджувані види маневрів: «вхід в поворот», «вхід – вихід», «зміна смуги руху». Обробка результатів експериментальних досліджень проводилась відповідно до методики, розробленої науковцями ХНАДУ. Результати вимірювань сповільнення (прискорення) при маневруванні подано у табл. 5 та на рис. 23, 24.

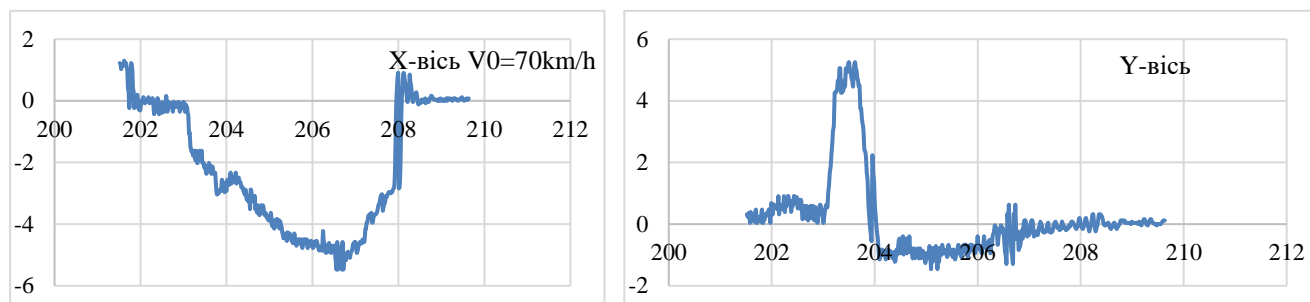


Рисунок 23 – Приклад діаграми вимірювання прискорень та сповільнень, що розвивались автомобілем Reno Logan при об'їзді перешкоди

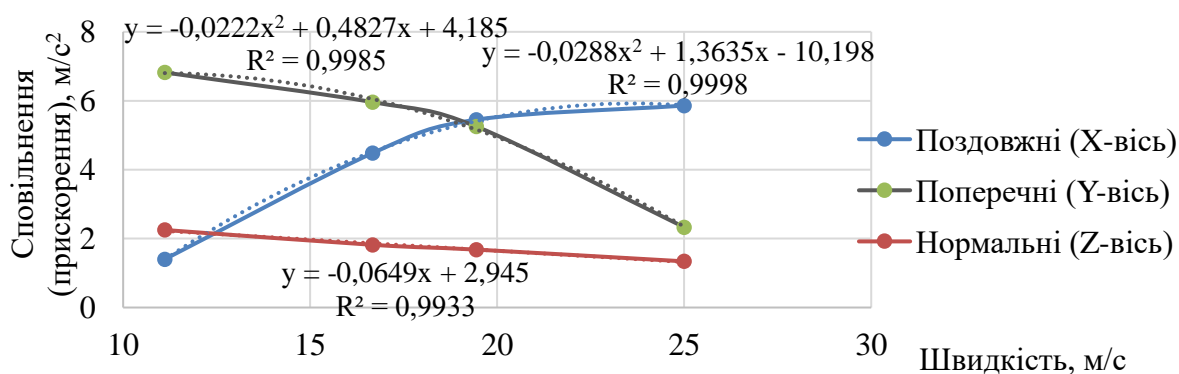


Рисунок 24 – Розподіл сповільнень (прискорень) за швидкістю

Таблиця 5 – Поздовжні сповільнення випробуваних автомобілів (X-вісь), реалізовані при маневруванні, м/с<sup>2</sup>

ТЗ / Вид маневру	Вхід в поворот	Вхід – вихід	Зміна смуги руху
Hyundai i30	0-3,38	0-4,81	0-5,78
Reno Logan	0-3,43	0-4,93	0-5,86

Аналіз графіків (рис. 24) показує, що при маневруванні ТЗ категорії М1 з гальмуванням величина реалізованих сповільнень (прискорень) змінюється різнонаправлено. Поздовжні сповільнення збільшуються зі збільшенням лінійної швидкості початку маневрування за поліноміальною залежністю другого ступеня, що можна пояснити особливістю роботи гальмівних систем з електронним керуванням та психологією керування людиною-оператором при гальмуванні. При маневруванні з гальмуванням вони можуть досягати 50-55% значень усталеного сповільнення при екстремому гальмуванні. Реалізовані прискорення в поперечному напрямку також підпорядковуються поліноміальній залежності другого ступеня, але зменшуються зі зростанням лінійної швидкості початку маневрування, що пояснюється безпекою виконання маневру. Прискорення у вертикальній площині

змінюються за лінійним законом, і переважно пов'язані зі зміною чутливості до нерівностей дороги.

**В п'ятому розділі** розкрито методику застосування розроблених моделей підвищення об'єктивності експертних досліджень в структурі аналізу ДТП.

Аналіз результатів розрахунків за даними з реальних ДТП 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 при врахуванні стохастичної й нечіткої невизначеності сприяє звуженню діапазонів можливих рішень до 49,4%. Імовірність появи помилок I роду скорочується на 1,75-18,5%, а помилок II роду – на 43,1-67,8%.

Дослідження наїзду автомобіля на пішохода в темну пору доби показує, що завдяки врахуванню особливостей конструкції та роботи систем головного освітлення автомобілів імовірність появи помилок I роду скорочується на 6-48%, а помилок II роду – на 6-42%, що підвищує об'єктивність експертних рішень.

Маневрування, як засіб попередження ДТП, рекомендовано ПДР у разі виникнення перешкоди для руху з метою її безпечного об'їзду. Застосування одночасно маневрування та гальмування стало можливим за рахунок впровадження ABS, які, як правило, є частиною більш складної електронної системи гальмування. Такий вид руху було досліджено в експериментальній частині цієї роботи, на основі результатів якої отримано залежності мінімального часу маневрування від швидкості початку маневру (рис. 25), які підтверджують припущення В. А. Іларіонова, що час, необхідний для повороту передніх керованих коліс на максимальний кут при маневруванні, залежить від типу маневру (при «вході в поворот» цей час дорівнює усьому часу маневрування, при «вході-виході» – його половині, при «зміні смуги руху» – його четвертій частині).

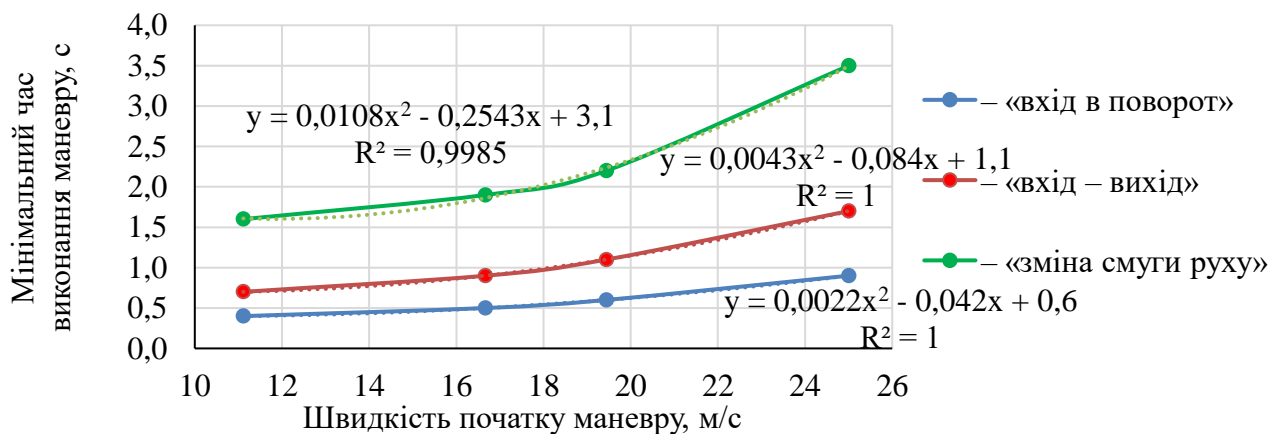


Рисунок 25 – Мінімальний час маневрування за умов забезпечення стійкого руху

Аналіз отриманих залежностей (20)-(28) показує, що наявність сучасних систем безпеки (ABS, EBD, BA, ESP тощо) в конструкції ТЗ дозволяє розширити діапазон можливих бокових зміщень  $Y_M$  на 44,6-65%, зміни курсового кута  $\gamma_M$  на 73,7-81,5% та скоротити необхідну поздовжню відстань для виконання маневру  $X_M$  на 6,6-25,2% при забезпеченні стійкості руху. Це дозволяє рекомендувати запропонований підхід як додатковий інструментарій для аналізу параметрів маневрування сучасних ТЗ з електронними системами безпеки руху.

Дослідження стійкості руху автомобіля при екстремому гальмуванні на основі розв'язання системи диференціальних рівнянь рівноваги (16) у середовищі Mathcad та порівняння результатів моделювання з результатами розв'язування такого роду задач в прикладному програмному забезпеченні PC-Crash (рис. 26), рекомендованому до використання в Європейській мережі криміналістичних установ, членом якої є Експертна служба Міністерства внутрішніх справ України, показує, що траєкторії коліс, отримані різними способами, повністю збігаються.

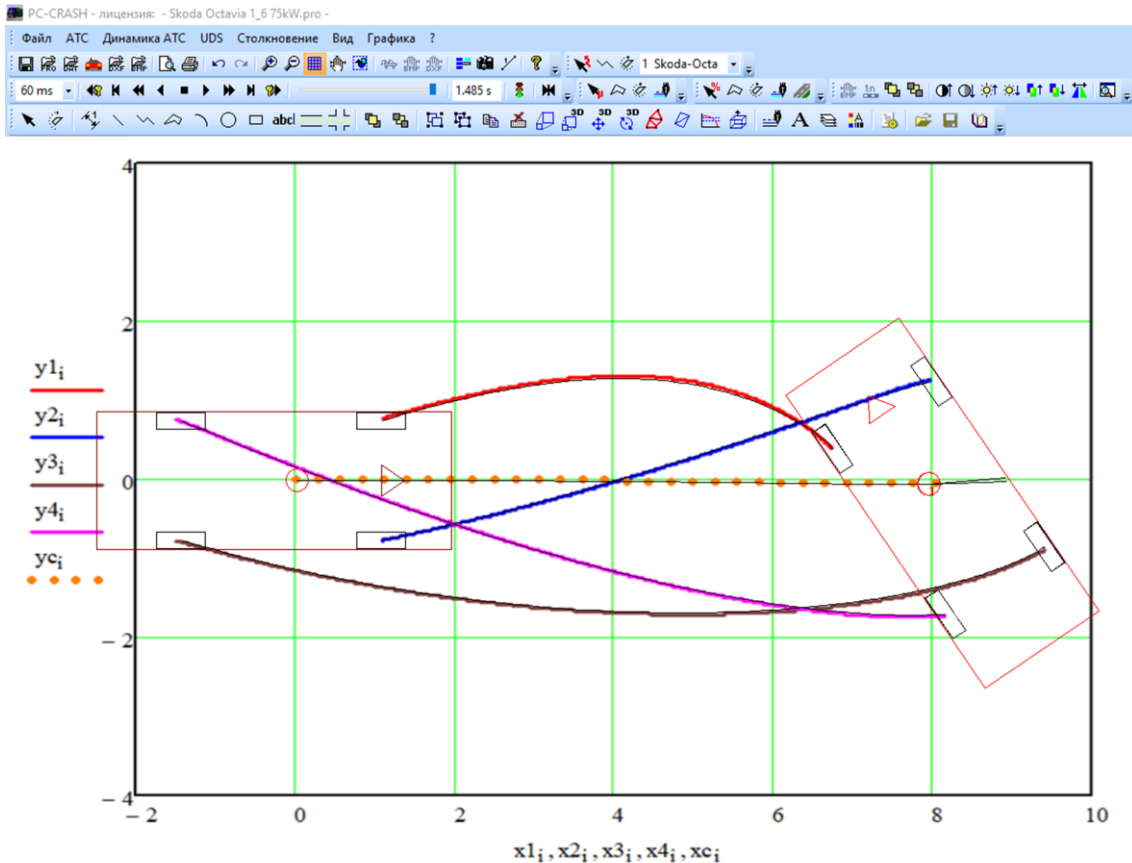


Рисунок 26 – Порівняння результатів моделювання у середовищі Mathcad з рішенням цієї ж задачі в програмі PC-Crash

Отже, наведений в дисертаційному дослідженні метод розрахунку стійкості руху ТЗ при екстремому гальмуванні розкриває зміст алгоритму аналогічного розрахунку у спеціалізованих комп'ютерних програмах експертизи ДТП (зокрема PC-Crash) і може застосовуватись у разі відсутності спеціалізованого програмного забезпечення у розпорядженні експерта. Виконання такого роду розрахунків є актуальним, коли необхідно врахувати певні обставини та особливості, які не можуть бути враховані при моделюванні у спеціалізованому програмному забезпеченні (наприклад, коли положення коліс ТЗ після удару суттєво відрізняються від їх положення до удару, у разі відриву одного з коліс, коли одно чи декілька коліс були спущені або заклинені деформованими частинами ТЗ, під час аналізу руху загальмованого ТЗ з нерівномірним розподілом сил зчеплення тощо).

**В шостому розділі** подано узагальнену методику використання результатів дослідження та впровадження розробленої концепції оцінювання та зменшення невизначеності в задачах АТЕ ДТП.



Залежно від використовуваної моделі вирішення задачі АТЕ ДТП результати можуть бути різними при одних і тих самих вихідних даних. Під час пошуку оптимального рішення задачі АТЕ ДТП можуть використовуватись шість груп моделей: математичні, імітаційні, інформаційні, ситуаційні, лінгвістичні та фізичні. Ранжування цих груп моделей за властивостями стійкості, складності, повноти, абстрактності та точності (рис. 27) показує, що із зміною мови опису об'єкта від математичної до лінгвістичної відбувається зростання стійкості, складності та повноти і спадання точності та абстрактності. При цьому потрібно пам'ятати, що границі між різними методами побудови моделей динамічні та умовні.

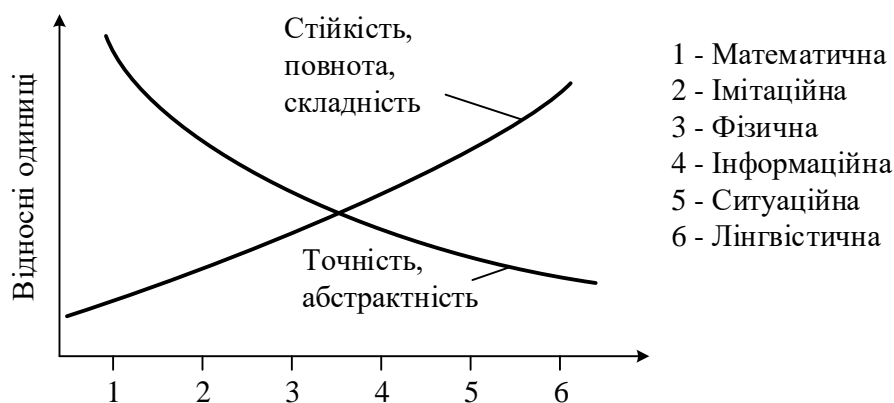


Рисунок 27 – Графік зміни властивостей моделі залежно від мови опису

Загальноприйняті методики аналізу і реконструкції обставин ДТП, які використовують в світовій практиці, базуються на математичних моделях, що описують два основних процеси, які відбуваються в ДТП з автомобілями – процес руху і процес удару. Обидва процеси описують моделями, побудованими на науковій основі з використанням відомих законів механіки та базованими на тих чи інших експериментальних даних. Для забезпечення точності розрахунків та категоричності висновків експерта необхідно, щоб отримані таким чином математичні моделі теж були наукові. Науковість використовуваних моделей можна оцінити шляхом застосування поняття інтерполяційної та екстраполяційної моделі. Найбільш точними є інтерполяційні моделі, які визначають величину реакції об'єкта в межах області визначення. Екстраполяційні та імовірнісні моделі можуть успішно застосовуватись як джерела версій ДТП. Для подання категоричного висновку з використанням екстраполяційних моделей необхідно довести неможливість інших обставин без посилання на гіпотези, що лежать в основі цих моделей.

В процесі створення методичного забезпечення концепції дисертаційного дослідження було синтезовано детерміновані, імовірнісні, регресійні та нейро-нечіткі моделі підвищення об'єктивності експертних досліджень дорожньо-транспортних пригод. Ці моделі різні за своєю природою побудови та опису реальних об'єктів і потребують різних підходів щодо оцінювання невизначеності показників, отриманих в результаті моделювання. В роботі розроблено метод оцінювання невизначеності прийнятої системи АТЕ ДТП за показниками узагальненої нормалізованої ентропії, який, на відміну від існуючих, дозволяє врахувати стохастичну та нечітку природу невизначеності. Можливість визначення ентропії нечітких величин забезпечується застосуванням методу перехресної ентропії, розробленого

у 1997 році Р. Рубінштейном, оскільки в цьому випадку існує необхідність врахування двох різних розподілів: імовірності та можливості. Нормалізована ентропія системи АТЕ ДТП визначається так

$$\eta\left(\sum H_S^{TA}\right) = \sum_{k=1}^n \frac{P(x_k) \log_b \frac{1}{P(x_k)}}{\log_b(n)} + \sum_{l=1}^m \frac{p(x_l) \log_b \frac{\sum_{i=x}^{\bar{x}} \mu(x_i)}{\mu(x_l)}}{\log_b(m)}, \quad (33)$$

де  $P(x_k)$  та  $p(x_l)$  – статистичний розподіл імовірностей інформаційної ентропії для значень параметрів, які мають стохастичну (доданок 1) та нечітку невизначеності (доданок 2).

Оцінити ефективність запровадження нового методу встановлення того чи іншого параметра в автотехнічній експертизі ДТП можливо на основі визначення різниці невизначеності системи в двох станах А і В (А – стан системи, коли використовується діюча методика, В – запропонована). При цьому критеріями ефективності можуть бути: відносна різниця нормалізованих ентропій у стані А та В, відносна величина зменшення діапазону розсіювання шуканого параметра, відносна величина скорочення імовірності виникнення помилок I-го та II-го роду.

Порівняльний аналіз результатів розрахунку невизначеності зупинного шляху автомобіля з результатами дослідження, отриманими спеціалістами SAE Інтернешнл, Інституту судових експертиз в Кракові та науковцями Варшавського технологічного університету, підтвердив адекватність запропонованого методу (табл. 6). Його застосування показує, що врахування стохастичної та нечіткої невизначеності підвищує об'єктивність прийнятих рішень на 20% порівняно з ситуацією, коли враховуються лише стохастичні процеси. При порівнянні з детермінованим підходом, врахування стохастичної та нечіткої невизначеності приводить до покращення об'єктивності результатів експертизи на 46-48%.

Таблиця 6 – Порівняння невизначеності рішень під час оцінювання довжини зупинного шляху (м), отриманої різними методами

Метод	Похибка оцінювання		Можливий діапазон	
	$\Delta S_g$	$\Delta S_g / S_g$	$S_{g \min}$	$S_{g \max}$
Екстремальних значень:				
аналітична модель (діюча методика)	13.53	0.185	59.40	86.45
прикладна програма Auto.PC3 <sup>1</sup>	12.70	0.179	58.30	83.80
прикладна програма ZL3DSYM <sup>1</sup>	12.64	0.178	58.36	83.64
прикладна програма PC-CRASH <sup>1</sup>	13.27	0.184	58.83	85.37
Різниць <sup>2</sup>	13.49	0.187	58.66	85.63
Гаусса <sup>2,3</sup>	7.58	0.105	64.57	79.72
Опису стохастичних процесів <sup>2,3</sup>	7.50	0.104	64.59	79.61
Монте-Карло <sup>2</sup>	11.03	0.153	61.07	83.13
Нормалізованої ентропії А <sup>2,4,6</sup>	9.08	0.126	63.02	81.18
Нормалізованої ентропії В <sup>2,5,6</sup>	6.85	0.095	65.25	78.95

1 – Для імітаційної математичної моделі; 2 – Для аналітичної математичної моделі (діюча методика); 3 – Рівень довіри 99,7% [280]; 4 – Нормалізована ентропія А враховує стохастичну невизначеність; 5 – Нормалізована ентропія В враховує стохастичну та нечітку невизначеність; 6 – Запропонований метод.

Розроблена концепція удосконалення технологій експертного аналізу обставин ДТП має реалізовуватись в декілька етапів, на короткострокову (2-3 роки), середньострокову (5-7 років) та довгострокову перспективу (10-12 років) з урахуванням діючого законодавства України, програм з підвищення рівня безпеки на транспорті, які діють в рамках Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року та за умови належного фінансування:

1. Покращення існуючих методів експертизи ДТП за рахунок застосування нової вимірювальної апаратури та автоматизації процесів збору вихідних даних для формування інформаційної моделі ДТП, широкого використання спеціалізованого комп'ютерного забезпечення для моделювання та аналізу механізму ДТП, візуалізації його моделі (короткострокова перспектива).

2. Удосконалення існуючих експертних методик дослідження обставин ДТП з урахуванням можливостей автоматизації процесів фіксування механізму і місця ДТП на основі інформації з EDR-модулів автомобілів (середньострокова перспектива). Для України практика отримання даних з модулів EDR має забезпечуватись шляхом затвердження стандартів, які визначають вимоги до форматів даних EDR, та законодавства, що визначає порядок використання даних з модулів органами поліції, прокуратури, експертами або співробітниками страхових компаній.

3. Розробка нових методів експертизи ДТП, запровадження інтегрованої (комплексної інформаційної) системи АТЕ ДТП та системи багатокритеріального оцінювання якості варіанта її реалізації, запропонованих в розділі 2 цієї дисертаційної роботи (довгострокова перспектива).

## ВИСНОВКИ

1. Концепція дисертаційного дослідження полягає у тому, що процес прийняття рішень в автотехнічній експертизі ДТП потрібно 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. Вирішення задачі оцінювання якості варіанта проведення автотехнічної експертизи на основі моделі еталонного порівняння в поєднанні з моделями абсолютного та компромісного рішення відображає весь спектр взаємодії учасників цього процесу та дозволяє врахувати необхідні компоненти системи забезпечення якості: компонент аналізу й оцінювання діяльності (audit) та компонент стандартів чи еталонної системи показників (standards).

2. Виконані експериментальні дослідження з оцінювання видимості дороги та об'єктів дорожньої обстановки в темну пору доби дозволили сформуувати експериментальну базу (700 пар даних входи-вихід), провести навчання адаптивної нейро-нечіткої системи ідентифікації відстані видимості дорожніх об'єктів в темну пору доби та мінімізувати середню відносну похибку моделювання до 1,31% (максимальну відносну похибку до 4,69%), що звужує діапазон можливих рішень порівняно з існуючою методикою у 2,21-3,17 раза. Створена адаптивна система здатна до самонавчання при поповненні експериментальної бази та може бути ефективною альтернативою існуючій методиці при експертизі ДТП, оскільки використання

запропонованого підходу дозволяє значно зменшити час, який витрачається на виконання автотехнічної експертизи ДТП: уточнення обставин ДТП, поглиблений аналіз ситуації та проведення натурального слідчого експерименту. Дослідження аварійних ситуацій, пов'язаних з погіршенням видимості в темну пору доби за запропонованою методикою показує наявність потенціалу звуження діапазону можливих рішень до 68 %. Врахування особливостей систем головного освітлення автомобілів при моделюванні скорочує імовірність появи помилок I роду на 6-48 %, а помилок II роду – на 6-42 %, що підвищує об'єктивність експертних рішень.

3. Проведені випробування з оцінювання взаємодії автомобільних шин з дорогою при екстремому гальмуванні ТЗ дозволили сформувати експериментальну базу (5670 пар даних входи-вихід) та створити адаптивну нейро-нечітку експертну систему оцінювання коефіцієнта зчеплення коліс автомобіля з дорожнім покриттям, здатну до самонавчання, яка додатково враховує конструкцію гальмівної системи ТЗ (роботу ABS і ВА), тип і стан використовуваних шин, і завдяки новому підходу мінімізує середню відносну похибку моделювання до 1,79%, максимальну відносну похибку до 3,09% та звужує діапазон можливих рішень у 2,2-2,6 рази. Це дозволяє рекомендувати запропонований підхід як альтернативу існуючій методиці для підвищення об'єктивності експертних висновків.

4. Використовуючи методи диференціального та інтегрального числення, розроблено математичну модель для визначення зупинного та гальмівного шляху автомобіля при екстремому гальмуванні з урахуванням впливу конструкції гальмівної системи. Використання створеної моделі дозволяє мінімізувати похибку моделювання показників ефективності екстремого гальмування сучасних автомобілів категорії М1 в межах 5-23%. Діюча методика виявилася точнішою лише для автомобілів без ABS в діапазоні швидкостей від 45 км/год до 85 км/год. Визначення ефективності гальмування автомобіля в процесі дослідження дорожньо-транспортної пригоди на основі розробленої моделі показало, що врахування стохастичної та нечіткої невизначеності сприяє звуженню діапазонів можливих рішень до 50 %, при цьому імовірність появи помилок I роду скорочується на 2-19 %, а помилок II роду – на 43-68 %.

5. Розроблена на основі фундаментальних законів класичної механіки математична модель для оцінювання динаміки екстремого гальмування автомобіля та його траєкторії руху дозволяє врахувати стохастичну та нечітку невизначеності при встановленні параметрів гальмування, що звужує діапазон можливої похибки моделювання до 39%. Виконане дослідження стійкості руху автомобіля при екстремому гальмуванні за допомогою розробленої математичної моделі в програмному середовищі Mathcad розкриває зміст алгоритму аналогічного розрахунку у спеціалізованих комп'ютерних програмах експертизи ДТП (зокрема PC-Crash) і може застосовуватись у разі відсутності спеціалізованого програмного забезпечення у розпорядженні експерта. Виконання такого роду розрахунків є актуальним під час аналізу реальних аварійних ситуацій, коли необхідно врахувати певні обставини та особливості, які не можуть бути враховані при моделюванні у спеціалізованому програмному забезпеченні (наприклад, коли положення коліс ТЗ після удару суттєво відрізняються від їх положення до удару, у разі відриву одного з коліс, коли одно чи декілька коліс були спущені або заклинені деформованими

частинами ТЗ, під час аналізу руху загальмованого ТЗ з нерівномірним розподілом сил зчеплення тощо). Порівняння результатів моделювання за запропонованою методикою та експериментальних даних показало середню відносну похибку 4,58%, максимальна похибка не перевищувала 7,82 %.

6. В роботі запропоновано математичні моделі оцінювання параметрів маневрування автомобіля, придатні до застосування у діючій методиці за необхідності аналізу маневрування з гальмуванням ТЗ. Наявність сучасних систем безпеки (ABS, EBD, BA, ESP тощо) в конструкції ТЗ дозволяє розширити діапазон можливих бокових зміщень  $Y_M$  до 65 %, зміни курсового кута до 82 % та скоротити необхідну поздовжню відстань для виконання маневру  $X_M$  до 25 % при забезпеченні стійкості руху. Це дозволяє рекомендувати запропонований підхід як додатковий інструментарій для аналізу параметрів маневрування сучасних ТЗ з електронними системами безпеки руху.

7. На основі методу нечітких когнітивних карт запропоновано модель оцінювання надійності і безпеки функціонування транспортного засобу в системі ВАДС, яка дозволяє врахувати взаємний вплив факторів, що визначають надійність ЛМС, провести їх ранжування та розробити заходи з підвищення безпеки руху. Можливими сферами застосування методу є людино-машинні системи з безперервним характером діяльності людини (до них відноситься система ВАДС), в яких відсутні чіткі межі між виконуваними операціями, що ускладнює збір статистики за імовірностями їх правильного виконання.

8. Оцінити ефективність запровадження нового методу встановлення того чи іншого параметра в автотехнічній експертизі ДТП можливо на основі визначення різниці невизначеності системи в двох станах А і В (А – стан системи, коли використовується діюча методика, В – запропонована). При цьому критеріями ефективності можуть бути: відносна різниця нормалізованих ентропій у стані А та В, відносна величина зменшення діапазону розсіювання шуканого параметра, відносна величина скорочення імовірності виникнення помилок I-го та II-го роду. Застосування запропонованого методу нормалізованої ентропії, показує що врахування стохастичної та нечіткої невизначеності підвищує об'єктивність прийнятих рішень на 20% порівняно з ситуацією, коли враховуються лише стохастичні процеси. При порівнянні з детермінованим підходом, врахування стохастичної та нечіткої невизначеності приводить до покращення об'єктивності результатів експертизи до 48%.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Наукові праці, в яких опубліковано основні наукові результати дисертації:*

1. Кашканов А. А. Технології підвищення ефективності автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод : монографія. Вінниця: *ВНТУ*, 2018. 160 с.
2. Кужель В. П., Кашканов А. А., Кашканов В. А. Методика зменшення невизначеності в задачах автотехнічної експертизи ДТП при ідентифікації дальності видимості дорожніх об'єктів в темну пору доби : монографія. Вінниця: *ВНТУ*, 2010. 200 с.
3. Кашканов В. А., Ребедаило В. М., Кашканов А. А., Кужель В. П. Інтелектуальна технологія ідентифікації коефіцієнта зчеплення при автотехнічній експертизі ДТП : монографія. Вінниця: *ВНТУ*, 2011. 128 с.

4. Кашканов А. А., Ребедайло В. М. Вплив фактора видимості на вибір безпечної швидкості руху автомобіля вночі. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2002. №17. С. 62-66.

5. Кашканов А. А., Кужель В. П. Принципи та моделі оцінки ефективності автомобільних фар. *Вимірвальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2002. № 2. С. 139-143.

6. Кашканов А. А., Крещенецький В. Л., Біліченко В. В. Конструкція і стан автотранспортних засобів в проблемі забезпечення безпеки дорожнього руху. *Системні методи керування, технології організації виробництва, ремонту і експлуатації автомобілів*. 2003. Вип. 17. С. 62-65.

7. Кашканов А. А. Застосування нечіткої логіки в автомобільній автоматичній. *Автомобільний транспорт*. 2003. № 13. С. 58-61.

8. Кашканов А. А., Кужель В. П. Вплив засліпленості водія на вибір безпечних режимів руху. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2003. № 5. С. 63-66.

9. Кашканов А. А., Кужель В. П. Аналіз методів і засобів діагностування автомобільних фар. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2004. №7(77). Ч. 1. С. 25-29.

10. Кашканов А. А., Кужель В. П. Математична модель кута повороту автомобільної поворотної фари. *Автомобільний транспорт*. 2005. № 16. С. 207-209.

11. Кашканов А. А., Кужель В. П., Грисюк О. Г. Структурна ідентифікація дальності видимості дорожніх об'єктів в світлі автомобільних фар. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2005. №6(88). С. 261-265.

12. Кашканов А. А., Кужель В. П. Дослідження зміни видимості дорожніх об'єктів в світлі автомобільних фар. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2006. №7. С. 108-110.

13. Кашканов А. А., Кужель В. П. Аналіз ефективності автомобільних фар під час розрізнення тест-об'єктів на дорозі в темну пору доби. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2007. №6(112). С. 138-141.

14. Кашканов А. А., Кужель В. П. Вплив ефективності світлових систем автомобілів на видимість дорожніх об'єктів та безпечні швидкості руху. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2008. №7(125). Ч. 2. С. 209-213.

15. Кашканов А. А., Кужель В. П. Методика зменшення невизначеності в задачах автотехнічної експертизи ДТП, які сталися в темну пору доби. *Вісті автомобільно-дорожнього інституту*. 2009. №2(9). С. 102-106.

16. Кашканов А. А., Кашканов В. А., Кукурудзяк Ю. Ю., Варчук В. В., Севостьянов С. М. Аналіз використання під час експертизи дорожньо-транспортних пригод методики визначення відстані між автомобілем та перешкодою в момент виникнення небезпечної ситуації. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2010. № 1. С. 68-72.

17. Кашканов А. А., Кужель В. П., Крещенецький В. Л. Обґрунтування вибору математичного апарату для визначення дальності видимості дорожніх об'єктів при

експертизі ДТП. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Технічні науки*. 2010. № 2(53). С. 58-64.

18. Кашканов В. А., Кашканов А. А., Кужель В. П. Удосконалення методу оцінки коефіцієнта зчеплення при експертизі ДТП. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2010. №7(149). С. 87-91.

19. Кашканов А. А., Кужель В. П., Грисюк О. Г. Комплексна програма оцінювання експлуатаційних гальмових властивостей автомобілів при експертизі ДТП. *Вісник СевНТУ. Серія «Машиноприладобудування та транспорт»*. 2011. Вип. 121. С. 54-57.

20. Кашканов А. А., Кашканов В. А., Грисюк О. Г. Математична модель гальмівного шляху автомобіля при екстремому гальмуванні з АБС. *Наукові нотатки*. 2012. Вип. 36. С. 131-136.

21. Кашканов А. А., Гуцалюк О. В. Вплив невизначеності даних на результати оцінювання гальмових властивостей автомобілів при експертизі ДТП. *Наукові нотатки*. 2012. Вип. 37. С. 134-139.

22. Кашканов А. А., Грисюк О. Г. Критерії оцінювання якості розслідування та проведення автотехнічних експертиз ДТП. *Вісник СевНТУ. Серія «Машиноприладобудування та транспорт»*. 2012. Вип. 134. С. 117-121.

23. Кашканов А. А. Проблеми невизначеності даних в задачах автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2012. № 9(180) Ч. 1. С. 11–17.

24. Кашканов А. А. Методика багатокритеріального оцінювання якості розслідування та проведення автотехнічних експертиз дорожньо-транспортних пригод. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Технічні науки*. 2012. № 3(62). С. 68–73.

25. Кашканов А. А., Грисюк О. Г. Мінімізація невизначеності експертного аналізу вихідних даних при автотехнічній експертизі дорожньо-транспортних пригод. *Вісник СевНТУ. Серія «Машиноприладобудування та транспорт»*. 2013. Вип. 142. С. 65-68.

26. Кашканов А. А. Мінімізація суб'єктивності експертного оцінювання в задачах автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (серія: Автомобіле- та тракторобудування)*. 2013. № 29 (1002). С. 120-125.

27. Кашканов А. А. Методика зменшення невизначеності довідкових та розрахункових параметрів в задачах автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2013. № 5 (194). Ч. 2. С. 67-72.

28. Кашканов А. А., Грисюк О. Г., Грисюк О. О. Обґрунтування вибору оптимальної альтернативи в умовах композиційної невизначеності при розв'язку задач автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2013. №15 (204), Ч. 2. С. 204-207.

29. Кашканов А. А. Оцінювання невизначеності значень коефіцієнта зчеплення та її вплив на результати автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних

пригод. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (серія: Автомобіле- та тракторобудування)*. 2014. №8(1051). С. 61-66.

30. Кашканов А. А., Тишківський І. Р. Дослідження впливу антиблокувальної системи на величину гальмівного шляху легкового автомобіля. *Наукові нотатки*. 2014. №46. С. 106-111.

31. Кашканов А. А., Грисюк О. Г., Яровенко А. О. Модульний принцип синтезу системи автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод. *Наукові нотатки*. 2014. №45. С. 245-250.

32. Кашканов А. А. Морфологічний метод синтезу системи автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Технічні науки*. 2014. №2 (69). С. 102-108.

33. Кашканов А. А. Концептуальні засади підвищення ефективності автотехнічної експертизи ДТП. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (серія: Автомобіле- та тракторобудування)*. 2015. № 8 (1117). С. 89–95.

34. Кужель В. П., Кашканов А. А., Кашканов В. А., Кукурудзяк Ю. Ю. Теоретичні основи оптимізації функціонування автомобільних систем адаптивного освітлення. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2015. №1(3). С. 103-110.

35. Кашканов А. А., Кашканова Г. Г., Грисюк О. Г. Оцінювання невизначеності вимірювання швидкості автомобіля при автотехнічній експертизі дорожньо-транспортних пригод. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Технічні науки*. 2016. №2 (77). С. 85-93.

36. Кашканов А. А., Кашканов В. А., Грисюк О. Г. Автоматизовані системи повідомлення про ДТП та перспективи їх використання. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2016. №1(5). С. 78-82.

37. Кашканов А. А. Проблеми забезпечення точності розрахунків та категоричності висновків автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2018. №1(242). С. 55-59.

38. Кашканов А. А., Кашканова А. А., Грисюк О. Г. Оцінювання часу реакції водія при експертизі дорожньо-транспортних пригод. *Наукові нотатки*. 2018. №62. С. 131-137.

39. Кашканов А. А. Невизначеність вихідних даних та її вплив на результати дослідження параметрів руху учасників ДТП. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2018. №2(8). С. 35-44.

40. Кашканов А. А. Математичні методи обґрунтування рішень в автотехнічній експертизі дорожньо-транспортних пригод. *Автомобільний транспорт*. 2018. №43. С. 78-89. DOI: 10.30977/AT.2219-8342.2018.43.0.78.

41. Kashkanov A. A., Diorditsa V. M., Kucheruk V. Yu., Karabekova D. Zh., Khassenov A. K., Sharzadin A. M. Inertial evaluation of the tyre-road interaction during emergency braking. *Bulletin of the Karaganda University. «Physics» series*. 2019. № 2(94). P. 82-91. DOI: 10.31489/2019Ph2/82-91 (Web of Science Core Collection).



42. Кашканов А. А., Кашканов В. А., Кашканова А. А. Моделювання траєкторії руху автомобіля при дослідженні ДТП. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2019. №1(9). С. 53-65. DOI: 10.31649/2413-4503-2019-9-1-53-65.

43. Rotshtein A., Katielnikov D. & Kashkanov A. A fuzzy cognitive approach to ranking of factors affecting the reliability of man-machine systems. *Cybernetics and Systems Analysis*. Vol. 55, No. 6, November, 2019. P. 958-966. DOI: 10.1007/s10559-019-00206-8 (Scopus).

44. 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. (Web of Science Core Collection).

45. 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.

*Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:*

46. Кашканов А. А. Новітні автоматизовані технології дослідження ДТП. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2015. №2. С. 29-35.

47. Кашканов А. А., Кужель В. П. Дослідження впливу відстані між зустрічними автомобілями на зміну дальності видимості об'єкта в темну пору доби. *Автомобільний транспорт: проблеми і перспективи*: матеріали VI-ой міжнародної науково-технічної конференції, 15-20 вересня 2003 р. Севастополь: СевНТУ, 2003. С. 109-112.

48. Кашканов А. А., Кашканов В. А., Кужель В. П. Использование нечеткой логики в практике расследования дорожно-транспортных происшествий. *Прогрессивные технологии в транспортных системах*: материалы XI международной научно-практической конференции, 24-26 апреля 2013 г., Оренбург. гос. ун-т. Оренбург: ОГУ, ООО «НОРМА», 2013. С. 233-236.

49. Кашканов А. А. Методика зменшення невизначеності в задачах автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод. *Проблеми розвитку транспортних систем і логістики*: матеріали IV-ої міжнародної науково-практичної конференції, м. Євпаторія, 14-16 травня 2013р. Луганськ: СЛУ ім. В. Даля, 2013. С. 184-185.

50. Кашканов А. А. Методологічне забезпечення підвищення ефективності автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод. *Новітні технології розвитку конструкції, виробництва, експлуатації, ремонту та експертизи автомобіля*: тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції, 15-16 жовтня 2014 р. Харків: ХНАДУ, 2014. С. 278-279.

51. Кашканов А. А. Вплив невизначеності даних на результати розслідування ДТП. *Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали III міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, 14-16 квітня 2015 р. Вінниця: ВНТУ, 2015. С. 84-88.

52. Кашканов А. А. Дослідження ДТП, пов'язаних зі зміною траєкторії руху автомобіля при гальмуванні. *Сучасні технології та перспективи розвитку*

*автомобільного транспорту*: матеріали VIII міжнародної науково-практичної конференції, 19-21 жовтня 2015 р. Вінниця: ВНТУ, 2015. С. 99-101.

53. Кашканов А. А. Експертне оцінювання в розслідуванні та експертизі ДТП. *Новітні технології в автомобілебудівництві та транспорті*: наукові праці міжнародної науково-практичної конференції, 15-16 жовтня 2015 року. Харків: ХНАДУ, 2015. Том 2. С. 32-33.

54. Кашканов А. А., Грисюк О. Г. Використання комп'ютерних технологій в автотехнічній експертизі дорожньо-транспортних пригод. *Новітні шляхи створення, технічної експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів*: збірник тез доповідей всеукраїнської науково-практичної конференції, 8-11 вересня 2015 р. Одеса: Військова академія, 2015. С. 92-94.

55. Кашканов А. А. Вплив невизначеності даних на результати моделювання руху учасників ДТП при гальмуванні. *Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті і при підготовці фахівців*: наукові праці міжнародної науково-практичної та науково-методичної конференції, 20-21 жовтня 2016 р. Харків: ХНАДУ, 2016. С. 89-90.

56. Кашканов А. А., Кашканова А. А. Формування сучасних інструментальних засобів збору, обробки, зберігання та передачі даних з місця ДТП. *Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології і методи підготовки фахівців*: матеріали міжнародної науково-практичної конференції, 19-20 жовтня 2017 р. Харків: ХНАДУ, 2017. С. 283-284.

57. Кашканов А. А. Деякі аспекти моделювання параметрів аналізу і реконструкції обставин ДТП. *Синергетика, мехатроніка, телематика дорожніх машин і систем у навчальному процесі та науці*: збірник наукових праць за матеріалами міжнародної науково-практичної конференції, 16 березня 2017 р. Харків, ХНАДУ, 2017. С. 119-122.

58. Kashkanov A. Integrated information systems for improving the efficiency of expert road traffic accident research. *The development of technical sciences: problems and solutions*: Conference Proceedings, April 27-28, 2018. Brno: Baltija Publishing. Vol. 2 (metallurgy, mechanical engineering, construction, transport, architecture). P. 129-133.

59. Kashkanov A. The influence of the choice of methods of emergency situations analysis on the categorical conclusions of auto-technician expert. *Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects*: thesis of International scientific and practical conference, April 28 – May 5, 2018, Rome, Italy. Severodonetsk: V. Dahl EUNU. P. 44-47.

60. Кашканов А. А. Оцінювання невизначеності в задачах автотехнічної експертизи ДТП. *Новітні технології розвитку автомобільного транспорту*: наукові праці міжнародної науково-практичної конференції, 16-19 жовтня 2018 р. Харків, ХНАДУ, 2018. С. 382-385.

61. Кашканов А. А., Сараєв О. В., Рейко С. Л., Кашканов В. А. Вплив конструкції гальмівної системи автомобіля на реалізацію зчпної здатності дороги і шини при екстреному гальмуванні. *Перспективи розвитку машинобудування та транспорту – 2019*: збірник тез міжнародної науково-технічної конференції, 13-15 травня 2019 р. Вінниця: ПП «ТД Едельвейс і К», 2019. С. 166-168.

62. Кашканов А. А. Проблемні питання науково-методичного забезпечення експертних досліджень дорожньо-транспортних пригод. *Сучасні технології на автомобільному транспорті та машинобудуванні*: наукові праці міжнародної науково-практичної конференції, 15-18 жовтня 2019 р. Харків, ХНАДУ, 2019. С. 259-262.

63. Кашканов А. А. Формування та оцінювання невизначеності в структурі дослідження механізму виникнення аварійних ситуацій. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали XII міжнародної науково-практичної конференції, 21-23 жовтня 2019 р. Вінниця: ВНТУ, 2019. С. 84-87.

64. Кашканов А. А. Проблеми невизначеності даних в автотехнічній експертизі дорожньо-транспортних пригод. *Безпека на транспорті – основа ефективної інфраструктури: проблеми та перспективи*: матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції, 26-27 листопада 2019 р. Харків, ХНАДУ, 2019. С. 161-165.

*Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:*

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

66. Буренніков Ю. А., Кашканов А. А., Ребедайло В. М. Автомобілі: робочі процеси та основи розрахунку : навчальний посібник МОНМС України. Вінниця: ВНТУ, 2013. 283 с.

67. Кашканов А. А., Грисюк О. Г., Гуменюк І. І. Безпека дорожнього руху: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2017. 90 с.

68. Кашканов А. А., Кужель В. П. Організація дорожнього руху : навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2017. 125 с.

69. Кашканов А. А., Кашканов В. А., Кужель В. П. Транспортно-експлуатаційні якості автомобільних доріг та міських вулиць : навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2018. 113 с.

## АНОТАЦІЯ

**Кашканов А. А.** Концепція оцінювання і зменшення невизначеності в задачах автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.02 – автомобілі та трактори (274 – Автомобільний транспорт). – Харківський національний автомобільно-дорожній університет Міністерства освіти і науки України, Харків, 2020.

Дисертаційне дослідження присвячено вирішенню проблеми оцінювання і зменшення невизначеності в задачах автотехнічної експертизи ДТП. Методичною основою дисертаційної роботи є послідовне застосування системного підходу, аналітичних та експериментальних методів досліджень, сучасних науково-технічних засобів на всіх етапах реконструкції ДТП. Концепція дисертаційного дослідження полягає у тому, що процес прийняття рішень в АТЕ ДТП потрібно розглядати як

стохастичний та нечіткий процес, який потребує застосування синтезу детермінованих, імовірнісних, регресійних та нейро-нечітких моделей для врахування факторів, що впливають на зменшення невизначеності при формуванні експертних висновків.

В роботі розроблено моделі та алгоритми підвищення об'єктивності експертних досліджень ДТП, проведено експериментальні дослідження параметрів руху ТЗ для підтвердження адекватності запропонованих наукових гіпотез та математичних моделей, проілюстровано ефективність застосування нових методів, моделей і алгоритмів в структурі аналізу ДТП. Для оцінювання ефективності використовуваних моделей в АТЕ ДТП запропоновано метод нормалізованої ентропії. Порівняно з детермінованим підходом врахування стохастичної невизначеності звужує діапазон можливих рішень на 26-28%, додаткове врахування нечіткої невизначеності, дозволяє покращити результати ще на 20%.

**Ключові слова:** система водій-автомобіль-дорога-середовище, мінімізація невизначеності параметрів, підвищення об'єктивності рішень, транспортні засоби, безпека дорожнього руху, експертиза дорожньо-транспортних пригод.

## АННОТАЦИЯ

**Кашканов А. А.** Концепция оценки и уменьшения неопределенности в задачах автотехнической экспертизы дорожно-транспортных происшествий. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.02 – автомобили и тракторы. – Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет МОН Украины. – Харьков, 2020.

Диссертационное исследование посвящено решению проблемы оценки и уменьшения неопределенности в задачах автотехнической экспертизы (АТЭ) ДТП. Методической основой диссертационной работы является последовательное применение системного подхода, аналитических и экспериментальных методов исследований, современных научно-технических средств на всех этапах реконструкции ДТП. Концепция диссертационного исследования заключается в том, что процесс принятия решений в АТЭ ДТП следует рассматривать как стохастический и нечеткий процесс, требующий применения синтеза детерминированных, вероятностных, регрессионных и нейро-нечетких моделей для учета факторов, которые влияют на уменьшение неопределенности при формировании экспертных заключений.

В работе разработаны модели и алгоритмы повышения объективности экспертных исследований дорожно-транспортных происшествий, проведены экспериментальные исследования параметров движения ТС для подтверждения адекватности предложенных научных гипотез и математических моделей, проиллюстрирована эффективность применения новых методов, моделей и алгоритмов в структуре анализа ДТП. Для оценки эффективности используемых моделей в АТЕ ДТП предложен метод нормализованной энтропии. По сравнению с детерминированным подходом учет стохастической неопределенности сужает диапазон возможных решений на 26-28%, дополнительный учет нечеткой неопределенности, позволяет улучшить результаты еще на 20%.

**Ключевые слова:** система водитель-автомобиль-дорога-среда, минимизация неопределенности параметров, повышение объективности решений, транспортные средства, безопасность дорожного движения, экспертиза дорожно-транспортных происшествий.

## ABSTRACT

**Kashkanov Andrii.** The concept of assessing and reducing uncertainty in the tasks of automotive technical expertise of road accidents. – Qualification scientific paper, manuscript.

Thesis for a Doctoral Degree in Engineering in specialty 05.22.02 – Automobiles and tractors. – Kharkiv National Automobile and Highway University, Ministry of Education and Science of Ukraine. – Kharkiv, 2020.

The dissertation research deals with solving the problem of assessing and reducing uncertainty in the problems of automotive technical expertise of road accidents. The methodological basis of the thesis is the consistent application of a systematic approach, analytical and experimental research methods, modern scientific and technical means at all stages of the reconstruction of a road transport accident. The concept of the dissertation research is that the decision-making process in the automotive technical expertise of road accidents should be considered not only as deterministic, but also as a stochastic and uncertain process that requires the application of synthesis of deterministic, probabilistic, regression and neuro-fuzzy models for taking into account most of the factors that affect the reducing uncertainty in the formation of expert opinions.

A general concept for assessing and reducing uncertainty in the problems of automotive technical expertise of road accidents based on the application of the methods of the theory of fuzzy sets and neural networks, the morphological method and modular synthesis technology has been created. The high flexibility of the automotive technical expertise system is provided when its operating conditions change. A method has been developed and an information model has been built for assessing the quality of investigations and conducting automotive technical expertise of road traffic accidents, on the basis of which algorithms for adaptive decision-making processes with deterministic and probabilistic characteristics are synthesized and the technology of choosing the optimal alternative under uncertainty is substantiated.

The application of the methods of the theory of fuzzy sets, neural networks and experimental research methods has improved the method for estimating the coefficient of adhesion of car wheels with a road surface, which, unlike existing ones, allows to determine the value of the coefficient of adhesion for a wide range of modern cars more accurately, which, in turn, improves the quality and reduces the subjectivity of establishing the technical ability to avoid a traffic accident; a method for assessing the distance of visibility of objects when driving a car in the dark, which, unlike the existing ones, makes it possible to simplify the time-consuming procedures for studying safe modes of car movement in the dark, reduce the time spent by an automotive expert for an in-depth analysis of road accidents, increase accuracy and expert opinions objectivity. Based on the methods of differential and integral calculus, mathematical statistics, probability theory and regression analysis, methods for assessing the distance traveled by a car have been further developed, which take into account the influence of the design

of the braking system and the psychology of driving a vehicle on emergency braking indicators in the investigation of road accidents; methods for analyzing car maneuvering by taking into account uneven movement (maneuvering with braking). Based on the method of fuzzy cognitive maps, it was proposed the model for assessing the reliability and safety of a vehicle in the driver-car-road-environment system (DCRE), which allows for taking into account the mutual influence of factors determining the reliability of a man-machine system, rank them and develop measures for improving traffic safety. Possible areas of application of the method are human-machine systems with a continuous nature of human activity (the DCRE system belongs to them), in which there are no clear boundaries between the operations performed, which makes it difficult to collect statistics on the probabilities of their correct execution.

To evaluate the effectiveness of introducing a new method for establishing a particular parameter in the technical expertise of road accidents is possible basing on determining the difference in the uncertainty of the system in two states A and B (A is the state of the system when the current method is used, B is the proposed one). In this case, the efficiency criteria can be: the relative difference between the normalized entropies in states A and B, the relative value of the decrease in the dispersion range of the desired parameter, the relative value of the reduction in the probability of errors of the first and second kind. The proposed approach to assessing the uncertainty of the methodological support of automotive technical expertise can increase the objectivity of the formation of expert conclusions in the process of determining the circumstances of emergencies. Compared to the deterministic approach, accounting for stochastic uncertainty narrows the range of possible solutions by 26-28%, additional accounting for fuzzy uncertainty allows improving results by another 20%.

The main effect of the implementation of the developed measures will allow us to optimize the accident investigation process and approach solving the problem of reducing accident rate in road transport by introducing modern requirements and technologies that systematically cover all key aspects of road safety, in particular human behavior (human factor), road infrastructure, structural safety of vehicles, and at the same time are considered at the stage of accident prevention, during accidents and thereafter in accordance with the approaches generally accepted in the world to the formulation and implementation of road safety policy.

**Key words:** driver-car-road-environment system, minimizing the uncertainty of parameters, increasing the objectivity of decisions, vehicles, road safety, expertise of road traffic accidents.

---

Автор висловлює подяку д.т.н., проф. Ротштейну О.П. за цінні зауваження і поради, що сприяли поліпшенню моделей, заснованих на використанні теорії нечітких множин, нейронних мереж та нечітких когнітивних карт, а також за допомогу при їх оптимізації.