

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Міністерства освіти і науки України

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Міністерства освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

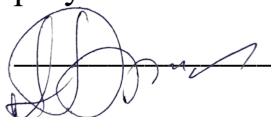
КАШКАНОВ АНДРІЙ АЛЬБЕРТОВИЧ

УДК 629.016

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

Спеціальність 05.22.02 – Автомобілі та трактори
Галузь знань – 27 Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 А. А. Кашканов

Науковий консультант Сараєв Олексій Вікторович, доктор технічних наук,
доцент

Харків – 2020

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 дорожньо-транспортних пригод (ДТП). Встановлення обставин ДТП є мультидисциплінарним завданням, призначеним для реконструкції причин аварії та її перебігу. Це вимагає, крім широких знань з різних технічних напрямків, застосування навичок аналізу результатів досліджень з інших галузей природничих наук (медицини, психології, токсикології, судової генетики, тощо) та прийняття рішень в умовах неповноти інформації, тобто в умовах невизначеності. Відсутність єдиного методичного підходу до оцінювання та мінімізації впливу невизначеності на висновки автотехнічної експертизи аварійних ситуацій може призводити до значної похибки визначення досліджуваних параметрів (так відносна різниця між максимальними та мінімальними значеннями показників гальмування і маневрування знаходиться в межах 0,2-3,16, а рівень охоплення можливих випадків при застосуванні діючих методик складає 57-88%).

Методичною основою дисертаційної роботи є послідовне застосування системного підходу, аналітичних та експериментальних методів досліджень, сучасних науково-технічних засобів на усіх етапах встановлення обставин дорожньо-транспортної пригоди. Концепція дисертаційного дослідження полягає у тому, що процес напрацювання рішень в автотехнічній експертизі ДТП потрібно розглядати як детермінований, стохастичний та нечіткий

процес. Отже, для зменшення невизначеності при формуванні експертних висновків слід застосовувати синтез нейро-нечітких, регресійних, детермінованих та імовірнісних моделей для врахування більшості факторів впливу. Розв'язання задачі оцінювання якості варіанта проведення автотехнічної експертизи на основі моделей еталонного порівняння, абсолютного та компромісного рішення відображає весь спектр взаємодії учасників цього процесу та дозволяє врахувати необхідні компоненти системи забезпечення якості: компонент аналізу та оцінки діяльності, компонент стандартів (еталонної системи показників).

На основі проведеного теоретичного аналізу 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, забезпечено високу гнучкість системи автотехнічної експертизи при зміні умов її функціонування та створено умови для зменшення невизначеності експертного оцінювання механізму аварійних ситуацій; розроблено метод та побудовано інформаційну модель оцінювання якості встановлення обставин дорожньо-транспортних пригод, на основі якої вироблено алгоритми процесів прийняття адаптивних рішень з детермінованими та імовірнісними характеристиками та обґрунтовано технологію вибору оптимальної альтернативи в умовах невизначеності.

Застосування методів теорії нечітких множин, нейронних мереж та експериментальних методів досліджень дозволило удосконалити метод оцінювання коефіцієнта зчеплення коліс автомобіля з дорожнім покриттям, який, на відміну від існуючих, дає змогу більш точно визначати значення коефіцієнта зчеплення для широкого спектру сучасних автомобілів, що, в свою чергу, 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 знизити трудомісткість дослідження безпечних

режимів руху транспортних засобів в темну пору доби, мінімізувати час, необхідний експерту-автотехніку для поглибленого аналізу ДТП, підвищити точність та об'єктивність експертних висновків.

На основі методів диференціального та інтегрального числення, математичної статистики, теорії імовірності та регресійного аналізу отримали подальший розвиток методи оцінювання пройденого шляху автомобіля, які враховують вплив 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).

Запропоновані заходи з оцінювання і вибору способів зменшення невизначеності сучасних методик експертного аналізу обставин ДТП (їх основних видів) дозволяють підвищити об'єктивність експертних висновків, зокрема:

- при дослідженні аварійних ситуацій, пов'язаних з погіршенням видимості в темну пору доби потенціал звуження діапазону можливих рішень складає 68 %, врахування особливостей конструкції та роботи систем головного освітлення автомобілів при моделюванні скорочує імовірність появи помилок I роду на 6-48 %, а помилок II роду – на 6-42 %;

- при оцінюванні взаємодії автомобільних шин з дорогою при екстреному гальмуванні ТЗ діапазон можливих рішень звужується у 2,2-2,6 рази;

- під час оцінювання сенсомоторної фази реакції водія зменшується імовірність появи помилок I-го роду на 19 % та помилок II-го роду – на 32 %;

- при визначенні ефективності гальмування автомобіля в процесі дослідження дорожньо-транспортної пригоди звужується діапазон можливих рішень до 50 %, при цьому імовірність появи помилок I роду скорочується на 2-19 %, а помилок II роду – на 43-68 %;

- під час аналізу наїзду автомобіля на пішохода діапазон можливих оцінок звужується до 63 %;

- при оцінюванні динаміки екстреного гальмування автомобіля та його траєкторії руху діапазон можливої похибки моделювання звужується на 39%;
- при необхідності аналізу маневрування з гальмуванням ТЗ з сучасними системами безпеки (ABS, EBD, BA, ESP тощо), які дозволяють 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.

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 системи людина-машина, провести їх ранжування та розробити заходи з підвищення безпеки руху. Можливими областями 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.

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 призводить до покращення об'єктивності результатів експертизи на 46-48%.

Запропонована теорія та концепція оцінювання і зменшення невизначеності в задачах автотехнічної експертизи ДТП, що наведені в роботі, створюють методологію, яка згідно експериментальних даних дозволяє підвищити точність та об'єктивність розслідування механізму аварійних ситуацій. Основні результати дисертації можуть використовуватися для підвищення ефективності діючої системи проведення та експертного аналізу ДТП в Україні.

Запропоновані в дисертаційному дослідженні основні наукові положення, розробки і рекомендації отримали впровадження:

- для використання в практиці автотехнічної експертизи 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 (на автомобільному транспорті)» у Вінницькому національному технічному університеті.

Основний ефект від впровадження розроблених заходів дозволить оптимізувати процес розслідування ДТП та наблизитися до розв'язання проблеми зменшення аварійності на автомобільному транспорті шляхом впровадження сучасних вимог і технологій, які дозволяють системно охопити ключові аспекти забезпечення безпеки дорожнього руху: безпеку конструкцій

ТЗ, якість дорожньої інфраструктури та поведінку людини. Ці аспекти повинні одночасно розглядатися на етапі запобігання ДТП, під час ДТП та після її скоєння відповідно до загальноприйнятих у світі підходів, що дозволить сформулювати та реалізувати заходи з підвищення безпеки дорожнього руху.

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

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані 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., Ребедайло 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. *Вимірювальна 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 автоматизації. *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. Кушель 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/АТ.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-ої 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: СНУ 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 екстремому 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.

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. Establishing the circumstances of the road accident is a multidisciplinary task designed to reconstruct the causes of the accident and its course. This requires,

in addition to extensive knowledge in various technical fields, the application of skills of analysis of research results from other fields of natural sciences (medicine, psychology, toxicology, forensic genetics, etc.) and decision-making in conditions of incomplete information, i.e. in conditions of uncertainty.

The lack of a unified methodological approach to assessing and minimizing the impact of uncertainty on the results of automotive technical expertise of a road accident can lead to a significant error in determining the studied parameters (so the relative difference between maximum and minimum values of braking and maneuvering is in the range of 0.2-3.16, and coverage level of possible cases with the use of current techniques is 57-88%). 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.

Solving the problem of quality assessment of the variant of auto technical examination conducting based on the model of reference comparison in combination with models of absolute and compromise solution reflects the full range of interaction of participants in this process and allows to take into account the necessary components of quality assurance system: component of analysis and evaluation of activities (audit) and component of standards or reference system of indicators (standards).

Based on the theoretical analysis for the first time 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 and conditions to reduce the uncertainty of expert assessment of the mechanism of emergencies have been created; 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).

The proposed measures for assessment and selection ways to reduce the uncertainty of modern methods of expert analysis of the circumstances of the accident (their main types) can increase the objectivity of expert opinions, in particular:

– in case of emergency situations, due to visibility reduction in the dark, the potential of the narrowing range of possible solutions is 68%, taking into account the design features and operation of car headlights in modeling reduces the probability of errors of the first kind by 6-48%, and errors of the second kind - by 6-42%;

– when assessing the interaction of car tires with the road surface during emergency braking of vehicles, the range of possible solutions is narrowed by 2.2-2.6 times;

– during the assessment of the sensorimotor phase of the driver's reaction, the probability of occurrence of type I errors decreases by 19% and type II errors - by 32%;

– when determining the effectiveness of car braking in the process of investigating a traffic accident the range of possible solutions narrows to 50%, while the probability of errors of the first kind is reduced by 2-19%, and errors of the second kind - by 43-68%;

– when analyzing the car hitting to a pedestrian, the range of possible estimates is narrowed to 63%;

– when assessing the dynamics of emergency braking of the car and its trajectory, the range of possible modeling error is narrowed by 39%;

– if necessary, the analysis of maneuvering with braking vehicles with modern safety systems (ABS, EBD, BA, ESP, etc.), which allow to expand the range of possible lateral displacements Y_M to 65%, change the course angle to 82% and reduce the required longitudinal distance for performing maneuver CM to 25% while ensuring movement stability.

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 application of the proposed method of normalized entropy shows that taking into account stochastic and fuzzy uncertainty increases the objectivity of decisions by 20% compared to the situation when only stochastic processes are taken into account. Compared to the deterministic approach accounting for stochastic uncertainty leads to an improvement in the objectivity of the examination results by 46-48%.

The proposed theory and concept of estimating and reducing uncertainty in the tasks of auto technical examination of road accidents, presented in the work, create a methodology that, according to experimental data, allows increasing the accuracy and objectivity of the investigation of the mechanism of car accidents. The main results of the thesis can be used to increase the efficiency of the current system of conducting and expert analysis of road accidents in Ukraine.

The main scientific provisions, developments and recommendations offered in the thesis are implemented:

- for using in practice of auto technical expertise of road accidents in the Kharkiv Research Forensic Center of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine; Vinnytsia Research Forensic Center of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine; Zhytomyr Research Forensic Center of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine;

- when conducting individual and group classes, briefings, meetings, seminars on accident prevention, analysis of circumstances and causes of accidents in the

Road Safety Service of the Department of Armaments and Logistics of the National Guard of Ukraine; in the Department of Energy, Transport and Communications of Vinnytsia City Council; in the department for organization of domestic and international passenger traffic of JSC "Ukrzaliznytsia"; in the Transport Department of the Technical Department of PJSC Joint-Stock Company "Kyivvodokanal";

– in the educational process of training of bachelors and masters in specialties 274 "Road Transport" and 275 "Transport Technologies (in autotransport)" at Vinnytsia National Technical University.

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.

LIST OF PUBLISHED WORKS ON THE THESIS SUBJECT

Published academic papers containing the main scientific results of the thesis:

1. Kashkanov A. A. Technologies for increasing the efficiency of automotive technical expertise in road traffic accidents: monograph. Vinnytsia : VNTU, 2018. 160 p.

2. Kuzhel V. P., Kashkanov A. A., Kashkanov V. A. Methodology for reducing uncertainty in the tasks of automotive technical expertise of road traffic accidents in identifying the visibility range of road objects in the nighttime: monograph. Vinnytsia : VNTU, 2010. 200 p.

3. Kashkanov V. A., Rebedailo V. M., Kashkanov A. A., Kuzhel V. P. Intelligent technology for identification the adhesion factor at examination traffic accident: monograph. Vinnytsia : VNTU, 2011. 128 p.
4. Kashkanov A. A., Rebedailo V. M. The influence of visibility factor on the choice of safe speed of a vehicles during the night. *Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University*. 2002. №17. P. 62-66.
5. Kashkanov A. A., Kuzhel V. P. Principles and models of automobile headlights efficiency estimation. *Measuring and Computing Devices in Technological Processes*. 2002. № 2. P. 139-143.
6. Kashkanov A. A., Kreshchenetskyi V. L., Bilichenko V. V. Design and state of vehicle in problem of provide the road safety. *System control methods, technology and organization of production, repair and operation of cars*. 2003. Vol. 17. P. 62-65.
7. Kashkanov A. A. Application of fuzzy logic in automobile automatic. *Automobile Transport*. 2003. № 13. P. 58-61.
8. Kashkanov A. A., Kuzhel V. P. Influence of driver blindness on the choice of safe driving modes. *Visnyk of Vinnytsia Polytechnical Institute*. 2003. № 5. P. 63-66.
9. Kashkanov A. A., Kuzhel V. P. The methods and means of automobile headlights diagnosis analysis. *Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*. 2004. №7(77). Part. 1. P. 25-29.
10. Kashkanov A. A., Kuzhel V. P. The turning corner mathematical model of automobile cornering headlamp. *Automobile Transport*. 2005. № 16. P. 207-209.
11. Kashkanov A. A., Kuzhel V. P., Hrysiuk O. H. The structure identification of road objects distance visibility in the light of automobile headlights. *Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*. 2005. №6(88). P. 261-265.
12. Kashkanov A. A., Kuzhel V. P. Investigation of changes in the visibility of road objects in the light of car headlights. *Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*. 2006. №7(101). P. 108-110.

13. Kashkanov A. A., Kuzhel V. P. Analysis of the effectiveness of car headlights when distinguishing test objects on the road in the nighttime. *Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*. 2007. №6(112). P. 138-141.
14. Kashkanov A. A., Kuzhel V. P. The impact of the efficiency of car lighting systems on the visibility of road objects and safe speeds. *Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*. 2008. №7(125). Part 2. P. 209-213.
15. Kashkanov A. A., Kuzhel V. P. Uncertainty Reduction Technique in the Technical Examination Tasks of the Traffic Accidents Taken Place During Nighttime. *Bulletin of the Automobile and Highway Institute*. 2009. №2(9). P. 102-106.
16. Kashkanov A. A., Kuzhel V. P., Kreshchenetskyi V. L. Ground of choice of mathematical tool for determination of road objects visibility distance at traffic accidents examination. *The Journal of Zhytomyr State Technological University / Engineering*. 2010. № 2(53). P. 58-64.
17. Kashkanov V. A., Kashkanov A. A., Kuzhel V. P. Improving the method of evaluating the adhesion factor in the examination of traffic accidents. *Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*. 2010. №7(149). P. 87-91.
18. Kashkanov A.A., Kashkanov V. A., Kukurudziak Yu. Yu., Varchuk V. V., Sevostianov S. M. Analysis of using distance-finding method between car and obstacle at the moment of origin of dangerous situation at examination of road traffic accidents. *Visnyk of Vinnytsia Polytechnical Institute*. 2010. № 1. P. 68-72.
19. Kashkanov A. A., Kuzhel V. P., Grisyuk O. G. A comprehensive program for assessing the operational braking properties of cars in the examination of road traffic accidents. *Bulletin of SevNTU. Series: Mashynopryladobuduvannya and transport*. 2011. Vol. 121. P. 54-57.
20. Kashkanov A. A., Kashkanov V. A., Grisyuk O.G. Mathematical model of the braking distance of a car during emergency braking with ABS. *Scientific notes*. 2012. Vol. 36. P. 131-136.

21. Kashkanov A. A., Gutsalyuk O.V. Influence of data uncertainty on results of estimation of brake properties of cars at examination of road accident. *Scientific notes*. 2012. Vol. 37. P. 134-139.
22. Kashkanov A. A., Grisyuk O. G. Criteria for assessing the quality of investigation and conduct of automotive technical examinations of road accidents. *Bulletin of SevNTU. Series: Mashynopryladobuduvannya and transport*. 2012. Vol. 134. P. 117-121.
23. Kashkanov A. A. Problems of data uncertainty in the tasks of automotive technical examination of road accidents. *Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*. 2012. № 9(180) Part 1. P. 11-17.
24. Kashkanov A. A. Methods of multicriterion quality evaluation of investigation and realization of motor-vehicle examinations of traffic accidents adventures. *The Journal of Zhytomyr State Technological University / Engineering*. 2012. Part 2. № 3(62). P. 68-73.
25. Kashkanov A. A., Grisyuk O.G. Minimization of uncertainty of the expert analysis of initial data at autotechnical examination of road accidents. *Bulletin of SevNTU. Series: Mashynopryladobuduvannya and transport*. 2013. Vol. 142. P. 65-68.
26. Kashkanov A. A. Minimization of the subjectivity of expert assessment in the tasks of auto technical examination of road accidents. *Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series: Automobile and tractor construction*. 2013. № 29 (1002). P. 120-125.
27. Kashkanov A. A. Methods for reducing the uncertainty of reference and calculation parameters in the tasks of auto technical examination of road accidents. *Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*. 2013. № 5 (194). Part 2. P. 67-72.
28. Kashkanov A. A., Grisyuk O. G., Grisyuk O. O. Substantiation of the choice of the optimal alternative in the conditions of compositional uncertainty at the decision of problems of autotechnical examination of road accidents. *Visnik of*

the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. 2013. №15 (204), Part 2. P. 204-207.

29. Kashkanov A. A. Evaluation of uncertainty values of the adhesion factor and its impact on the results of the examination autotechnical accidents. *Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series: Automobile and tractor construction*. 2014. №8(1051). P. 61-66.

30. Kashkanov A. A., Tyshkivsky I. R. Investigation of the influence of the anti-lock braking system on the braking distance of a car. *Scientific notes*. 2014. №46. P. 106-111.

31. Kashkanov A. A., Grisyuk O. G., Yarovenko A. A. Modular principle of synthesis of system of autotechnical examination of road accidents. *Scientific notes*. 2014. №45. P. 245-250.

32. Kashkanov A. A. Morphological method of the system synthesis of motor-vehicle examination of road traffic accidents. *The Journal of Zhytomyr State Technological University / Engineering*. 2014. №2 (69). P. 102-108.

33. Kashkanov A. A. Conceptual bases of increase of efficiency of automotive technical expertise of road accident. *Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series: Automobile and tractor construction*. 2015. № 8 (1117). P. 89-95.

34. Kuzhel V. P., Kashkanov A. A., Kashkanov V. A., Kukurudziak Yu. Yu. Theoretical bases of functioning optimization of car adaptive headlights systems. *Advances in mechanical engineering and transport*. 2015. №1(3). P. 103-110.

35. Kashkanov A. A., Kashkanova G. G., Grisyuk O. G. Evaluation of uncertainty of vehicle speed when autotechnical examination of traffic accidents. *The Journal of Zhytomyr State Technological University / Engineering*. 2016. №2 (77). P. 85-93.

36. Kashkanov A. A., Kashkanov V. A., Grysyuk O. G. Automated notification of car accidents and the prospects for their use. *Advances in mechanical engineering and transport*. 2016. №1(5). P. 78-82.

37. Kashkanov A. A. Problems of ensuring the accuracy of calculations and categorical conclusions of the automotive technical expertise of road accidents.

Visnik of the Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. 2018. №1(242). P. 55-59.

38. Kashkanov A. A., Kashkanova A. A., Grisyuk O. G. Estimation of reaction time of the driver at examination of road accidents. *Scientific notes*. 2018. №62. P. 131-137.

39. Kashkanov A. A. The uncertainty of the original data and its impact on the results of the study parameters of the movement of participants in an accident. *Journal of Mechanical Engineering and Transport*. 2018. №2(8). P. 35-44.

40. Kashkanov A. Mathematical methods of decision making in autotechnical expertise of traffic accidents. *Automobile Transport*. 2018. № 43. P. 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. Kashkanov A. A., Kashkanov V. A., Kashkanova A. A. Modeling the trajectory of the car in the study of traffic accidents. *Journal of Mechanical Engineering and Transport*. 2019. №1(9). P. 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: <https://doi.org/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. Kashkanov A. A. Methods for estimating and reducing uncertainty in the tasks of automotive technical expertise of road accidents. *Journal of Mechanical*

Engineering and Transport. 2020. №1(11). P. 71-78. DOI: 10.31649/2413-4503-2020-11-1-71-78.

Scientific works certifying the approbation of the dissertation materials:

46. Kashkanov A. A. Newest computer-aided technologies of traffic accident research. *Journal of Mechanical Engineering and Transport*. 2015. №2. P. 29-35.

47. Kashkanov A. A., Kuzhel V. P. Investigation of the influence of the distance between oncoming cars on the change in the visibility range of an object in the dark. *Road Transport: Problems and Prospects: materials of the VIth Int. scientific and technical Conf.*, September 15-20, 2003 Sevastopol: Publishing House of SevNTU, 2003. P. 109-112.

48. Kashkanov A. A., Kashkanov V. A., Kuzhel V. P. The use of fuzzy logic in the practice of investigating traffic accidents. *Advanced Technologies in Transport Systems: proceedings of the Eleventh International Scientific and Practical Conference*, April 24-26, 2013, Orenburg. state un-t Orenburg: OSU, LLC "NORMA", 2013. P. 233-236.

49. Kashkanov A. A. Methods of reducing uncertainty in the tasks of auto technical examination of road accidents. *Problems of Development of Transport Systems and Logistics: proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference*, Evpatoria, May 14-16, 2013. Luhansk: Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 2013. P. 184-185.

50. Kashkanov A. A. Methodological support for improving the efficiency of auto technical examination of road accidents. *The newest technologies of development of a design, production, operation, repair and examination of the car: abstracts of reports of the International scientific-practical conference*, October 15-16, 2014. Kharkiv: KhNADU, 2014. P. 278-279.

51. Kashkanov A. A. Influence of data uncertainty on the results of road accident investigation. *Problems and prospects of automobile transport: materials of III-th international scientific practical internet-conference*, April 14-16, 2015. Vinnytsia: VNTU, 2015. P. 84-88.

52. Kashkanov A. A. Investigation of accidents related to changes in the trajectory of the car during braking. *Modern Technologies and Prospects for the Development of Road Transport: proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference*, October 19-21, 2015. Vinnytsia: VNTU, 2015. P. 99-101.

53. Kashkanov A. A. Expert assessment in the investigation and examination of road accidents. *The latest technologies in automotive and transport: scientific papers of the International scientific-practical conference*, October 15-16, 2015. Kharkiv: KhNADU, 2015. Vol. 2. P. 32-33.

54. Kashkanov A. A., Grisyuk O. G. The use of computer technology in the automotive examination of road accidents. *The newest ways of creation, technical operation, repair and service of cars: collection of abstracts of reports of the All-Ukrainian scientific and practical conference*, September 8-11, 2015. Odessa: Military Academy, 2015. P. 92-94.

55. Kashkanov A. A. Influence of data uncertainty on the results of modeling the movement of road accident participants during braking. *The latest technologies in automotive, transport and training: scientific works of the international scientific-practical and scientific-methodical conference*, October 20-21, 2016, Kharkiv: KhNADU, 2016. P. 89-90.

56. Kashkanov A. A., Kashkanova A. A. Formation of modern tools for collecting, processing, storing and transmitting data from the scene of an accident. *Road transport and automotive. The latest technologies and methods of training: proceedings of the international scientific-practical conference*, October 19-20, 2017. Kharkiv: KhNADU, 2017. P. 283-284.

57. Kashkanov A. A. Some aspects of modeling the parameters of analysis and reconstruction of the circumstances of the accident. *Synergetics, mechatronics, telematics of road machines and systems in the educational process and science: collection of scientific works based on the materials of the international scientific-practical conference*. Kharkiv, KhNADU, 2017. P. 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, May 2018, Rome, Italy. Executive editor: Chernetska-Biletska N. Severodonetsk: Volodymyr Dahl East Ukrainian National University. P. 44-47.

60. Kashkanov A. A. Estimation of uncertainty in the tasks of auto technical examination of road accidents. *The newest technologies of development of motor transport*: scientific works of the International scientific-practical conference, October 16-19, 2018 Kharkiv, KhNADU, 2018. P. 382-385.

61. Kashkanov A. A., Saraiev O. V., Reiko S. L., Kashkanov V. A. Influence of a design of brake system of the car on realization of coupling ability of the road and the tire at emergency braking. *Prospects for the development of mechanical engineering and transport – 2019*: international scientific and technical conference, collection of scientific papers. Vinnytsia: PE «TD Edelweiss and K», 2019. P. 166-168.

62. Kashkanov A. A. Problematic issues of scientific and methodological support of expert research of road accidents. *Modern technologies in road transport and mechanical engineering*: scientific papers of the International scientific-practical conference, October 15-18, 2019. Kharkiv, KhNADU, 2019. P. 259-262.

63. Kashkanov A. A. Formation and assessment of uncertainty in the structure of the study of the mechanism of emergencies. *Modern technologies and prospects of development of motor transport*: materials XII international scientific practical conference, October 21-23, 2019: a collection of scientific papers. Vinnytsia: VNTU, 2019. P. 84-87.

64. Kashkanov A. A. Problems of data uncertainty in auto technical examination of road accidents. *Transport Safety - the basis of effective*

infrastructure: problems and prospects: proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference, November 26-27, 2019. Kharkiv, KhNADU, 2019. P. 161-165.

Scientific works which additionally reflect the scientific results of the dissertation:

65. Kashkanov A. A., Kuzhel V. P., Grisyuk O. G. Information Computer system of road transport: textbook. Vinnytsia: *VNTU*, 2010. 230 p.

66. Buriennikov Yu. A., Kashkanov A. A., Rebedailo V. M. Cars: working processes and basics of calculation: textbook of the Ministry of Education and Science of Ukraine. Vinnytsia: *VNTU*, 2013. 283 p.

67. Kashkanov A. A., Grisyuk O. G., Humeniuk I. I. Road safety: textbook. Vinnytsia: *VNTU*, 2017. 90 p.

68. Kashkanov A. A., Kuzhel V. P. Traffic organization: textbook. Vinnytsia: *VNTU*, 2017. 125 p.

69. Kashkanov A. A., Kashkanov V. A., Kuzhel V. P. Transport and operational qualities of roads and city streets: a textbook. Vinnytsia: *VNTU*, 2018. 113 p.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	35
ВСТУП	36
РОЗДІЛ 1 ПРОБЛЕМИ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ДАНИХ В АВТОТЕХНІЧНІЙ ЕКСПЕРТИЗИ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД	45
1.1 Стан безпеки дорожнього руху в Україні, його вплив на формування задач автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод	45
1.2 Проблемні питання науково-методичного забезпечення експертних досліджень дорожньо-транспортних пригод	52
1.3 Рівень впровадження інформаційних технологій в практику розв'язування задач автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод	63
1.4 Аналіз використання математичних методів в практиці автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод	69
1.5 Невизначеність вимірювань, довідкових і експертних даних та її вплив на результати розслідування дорожньо-транспортних пригод	82
Висновки до розділу 1	94
РОЗДІЛ 2 КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ОЦІНЮВАННЯ ТА ВИБОРУ СПОСОБУ ЗМЕНШЕННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ В ЗАДАЧАХ АВТОТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД	97
2.1 Методологічні основи досліджень	97
2.2 Методи зменшення невизначеності довідкових та розрахункових параметрів, що використовуються в задачах автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод	105
2.3 Технологія вибору оптимальної альтернативи в умовах невизначеності	115

2.4	Моделі процесу прийняття адаптивних рішень з детермінованими та імовірнісними характеристиками	126
2.5	Стратегія управління процесами оцінювання та зменшення невизначеності експертних досліджень дорожньо-транспортних пригод ...	137
2.6	Оцінювання якості провадження автотехнічних експертиз дорожньо-транспортних пригод	154
	Висновки до розділу 2	170
РОЗДІЛ 3 МОДЕЛІ ПІДВИЩЕННЯ ОБ'ЄКТИВНОСТІ ЕКСПЕРТНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД		
3.1	Моделі оцінювання відстані видимості об'єктів при русі автомобіля в темну пору доби	172
3.2	Моделі оцінювання коефіцієнта зчеплення коліс автомобіля з дорожнім покриттям	185
3.3	Моделі оцінювання часу сенсомоторної реакції водія	199
3.4	Моделі оцінювання пройденого шляху автомобіля	204
3.5	Моделі оцінювання надійності і безпеки функціонування транспортного засобу в системі ВАДС	243
	Висновки до розділу 3	257
РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ		
4.1	Програма експериментальних досліджень та реєстраційно-вимірювальна апаратура	260
4.2	Визначення відстані видимості дорожніх об'єктів в темну пору доби	267
4.3	Інерційне оцінювання взаємодії автомобільних шин з дорогою при екстремому гальмуванні	280
4.4	Оцінювання траєкторії руху транспортних засобів при екстремому гальмуванні	286
4.5	Дослідження параметрів руху транспортних засобів при маневруванні з гальмуванням	289
	Висновки до розділу 4	295

РОЗДІЛ 5 ЗАСТОСУВАННЯ РОЗРОБЛЕНИХ МОДЕЛЕЙ ПІДВИЩЕННЯ ОБ'ЄКТИВНОСТІ ЕКСПЕРТНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В СТРУКТУРІ АНАЛІЗУ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД	297
5.1 Визначення ефективності гальмування автомобіля в процесі дослідження дорожньо-транспортної пригоди	297
5.2 Дослідження наїзду автомобіля на пішохода	302
5.3 Аналіз аварійних ситуацій, пов'язаних з погіршенням видимості в темну пору доби	308
5.4 Дослідження руху транспортних засобів при маневруванні	312
5.5 Дослідження стійкості руху автомобіля при екстремому гальмуванні	317
Висновки до розділу 5	328
РОЗДІЛ 6 УЗАГАЛЬНЕНА МЕТОДИКА ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ КОНЦЕПЦІЇ ОЦІНЮВАННЯ ТА ЗМЕНШЕННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ В ЗАДАЧАХ АВТОТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ ДОРОЖНЬО- ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД	330
6.1 Вплив вибору методики аналізу та реконструкції обставин ДТП на точність розрахунків та категоричність висновків експерта	330
6.2 Особливості оцінювання інформаційної невизначеності методичного забезпечення автотехнічної експертизи ДТП	334
6.3 Концептуальні засади удосконалення технологій експертного аналізу обставин дорожньо-транспортних пригод	339
6.4 Обґрунтування сучасних засобів збору, обробки, збереження та передавання даних з місця дорожньо-транспортної пригоди	345
6.5 Інтегровані інформаційні системи покращення технологій експертних досліджень ДТП	356
Висновки до розділу 6	359
ВИСНОВКИ	361
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	365

	34
Додаток А Статистичні дані про дорожньо-транспортні пригоди	404
Додаток Б Результати аналізу невизначеності вхідних величин, що використовуються при розслідуванні ДТП	410
Додаток В Методи обробки результатів вимірювань та обчислення похибок вихідних матеріалів для автотехнічної експертизи	446
Додаток Г Параметри розроблених адаптивних систем нейро-нечіткого висновку, що пропонуються до використання при моделюванні механізму дорожньо-транспортних пригод	472
Додаток Д Моделі оцінювання стохастичної невизначеності результатів розрахунку параметрів руху учасників ДТП	496
Додаток Е Експериментальні дані з оцінювання відстані видимості об'єктів при русі автомобіля в темну пору доби	510
Додаток Ж Експериментальні дані з інерційного оцінювання ефективності гальмування транспортних засобів	535
Додаток И Експериментальні дані з оцінювання параметрів руху транспортних засобів при маневруванні	548
Додаток К Науково-технічні експертизи складних випадків дорожньо-транспортних пригод	564
Додаток Л Акти впровадження результатів дисертаційної роботи	588
Додаток М Публікації здобувача за темою дисертації, відомості про апробацію дисертаційних досліджень	598

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- БДР – Безпека дорожнього руху
- ВАДС – система «водій-автомобіль-дорога-середовище»
- ВООЗ – Всесвітня організація охорони здоров'я;
- ДТП – дорожньо-транспортна пригода;
- ДТС – дорожньо-транспортна ситуація;
- МВН – момент виникнення небезпеки для руху;
- НКК – нечітка когнітивна карта;
- ООН – Організація Об'єднаних Націй
- ПДР – Правила дорожнього руху;
- САТЕ – судова автотехнічна експертиза;
- ТЗ – транспортний засіб (дорожній);
- ABS – Anti-lock braking system (антиблокувальна система гальм);
- ACN – Automated Crash Notification (автоматизовані системи повідомлення про ДТП);
- ASR – Automatic Slip Regulation (система запобігання буксуванню);
- BA, BAS – Brake Assist (асистент гальмування);
- EBD, EBV – Electronic Brake Distribution, Elektronische Bremskraft Verteilung (електронний розподільник гальмівних сил);
- EDR – Event Data Recorder (бортовий реєстратор даних про події);
- EDS – Electronic differential lock system (система електронного блокування диференціала);
- ESP – Electronic Stability Program (система курсової стійкості руху автомобіля);
- GPS – Global Positioning System (система глобального позиціонування);
- RMSE – Root Mean Square Error (квадратний корінь із середньоквадратичної помилки моделі).

ВСТУП

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 й об'єктивності 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 автотехнічної експертизи 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 оцінення 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 автотехнічної експертизи 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 дорожньо-транспортних пригод;

– методику формування сучасних інструментальних засобів збору, обробки, зберігання та передачі даних з місця дорожньо-транспортних пригод;

- методику оцінювання якості розслідування та проведення автотехнічних експертиз дорожньо-транспортних пригод;
- 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.

Запропоновані в дисертації основні наукові положення, розробки і рекомендації впроваджені:

- для використання в практиці автотехнічної експертизи 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 (на автомобільному транспорті)» 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 під-розділів 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.

РОЗДІЛ 1

ПРОБЛЕМИ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ДАНИХ В АВТОТЕХНІЧНІЙ ЕКСПЕРТИЗІ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД

1.1 Стан безпеки дорожнього руху в Україні та його вплив на формування задач автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод

Безпека дорожнього руху – це комплекс та система правил, заходів і засобів, які спрямовані на захист і збереження життя і здоров'я учасникам дорожнього руху, а також, захист і збереження довкілля та майна. Серед множини факторів, які визначають БДР можна виділити: створення надійних в експлуатації ТЗ, які мають високий рівень активної і пасивної безпеки; своєчасне і якісне обслуговування цих ТЗ; рівень професійної підготовки водіїв, їх психофізіологічні властивості; стан та якість проїзної частини; якість дорожньої інфраструктури та організацію дорожнього руху; нагляд за дорожнім рухом; правове та юридичне забезпечення учасників дорожнього руху; статистичний аналіз та дослідження для постійного вдосконалення системи з підтримування безпеки дорожнього руху на належному рівні.

Розширення обсягів та сфери застосування ТЗ підвищує імовірність збільшення матеріальних втрат, травматизму та смертності на дорогах країни. За даними ВООЗ, у світі щороку на дорогах гине близько 1,25 млн. людей, а кількість травмованих складає близько 50 млн. [70]. Ця ж організація прогнозує, що у 2030 році дорожньо-транспортні пригоди будуть на третьому місці у світі серед причин, які призводять до втрати здоров'я після тяжких депресій та серцево-судинних захворювань.

Статистика свідчить, що за 2010–2019 роки в Україні зареєстровано близько 1 млн. 702 тис. ДТП, у яких загинуло 42 тис. та травмовано 348 тис. осіб [71-73] (рис. 1.1; табл. А1, рис. А1-А2 Додатку А). Рівень смертності та травматизму внаслідок дорожньо-транспортних пригод в Україні є одним з найвищих в Європі, при цьому, рівень організації БДР залишається вкрай

низьким, на що у своїх звітах неодноразово звертали увагу експерти Світового банку, Всесвітньої організації охорони здоров'я та інших міжнародних організацій. Велике занепокоєння викликає рівень дитячого травматизму на дорогах України. Так за останній шестирічний період в нашій країні загинуло 1400 дітей віком до 18 років. ДТП в Україні є головною причиною смерті молодих людей віком від 15 до 24 років, а смертність дітей від ДТП віком від 5 до 14 років є другою причиною за поширеністю [74].

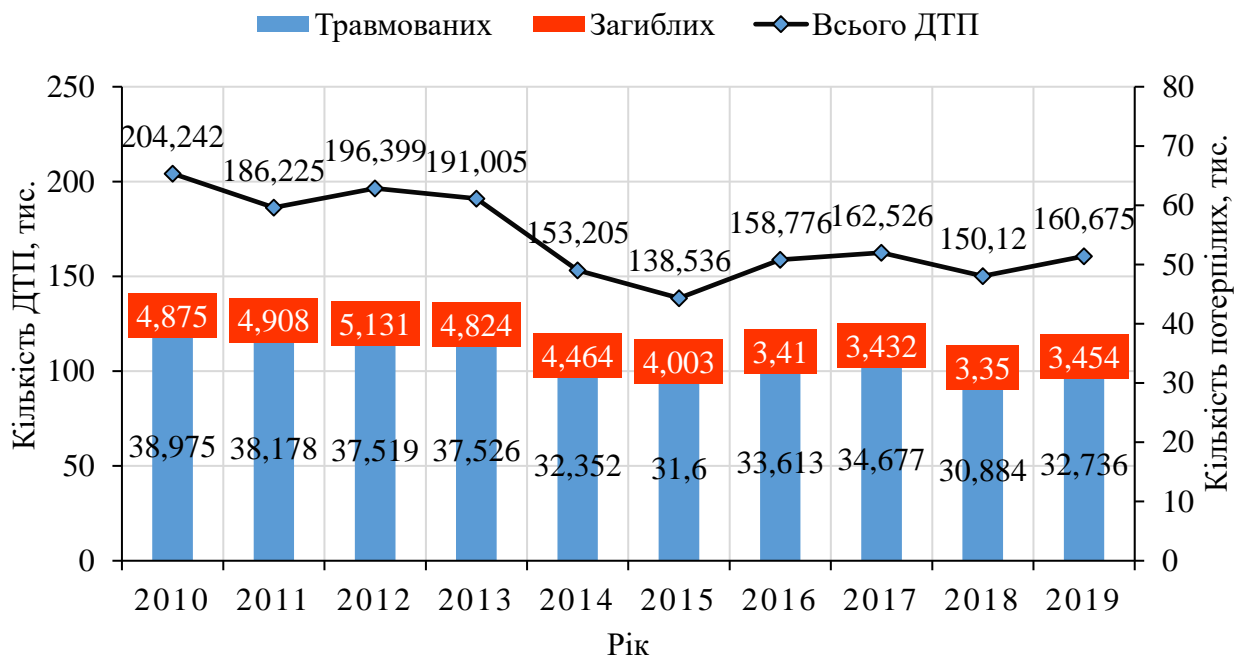


Рисунок 1.1 – Динаміка ДТП в Україні за 2010–2019 рр.

За питомими показниками аварійності та наслідків ДТП Україна також є одним з лідерів серед європейських країн. За даними Організації економічного співробітництва та розвитку (англ. Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) та Управління безпеки дорожнього руху Департаменту превентивної діяльності Національної поліції України у 2015 році Україна входила в ТОП-10 країн світу за смертністю на дорозі в результаті ДТП на 1 млн. населення [75] (рис. А3 Додатку А) та займала перше місце по кількості загиблих від ДТП в розрахунку на 1 млн транспортних засобів [76] (рис. А4 Додатку А).

Внаслідок занепокоєння зростанням рівня травматизму і смертності на автошляхах світу, Генеральна Асамблея ООН проголосила 2011-2020 роки Десятиліттям дій з БДР. Метою запланованих заходів є скорочення втрат життя людей від аварійності на транспорті шляхом активізації дій на різних рівнях: регіональному, національному і глобальному. Транспортна стратегія України, затверджена Кабінетом Міністрів України на період до 2020 року та Стратегія підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2020 року є відповідями на ініціативи міжнародного співтовариства, метою яких є забезпечення ефективного та стабільного функціонування транспорту в країні, зниження рівня смертності внаслідок ДТП щонайменше на 30 відсотків, ступеня тяжкості наслідків ДТП для учасників дорожнього руху, мінімізації соціально-економічних втрат від травматизму в ДТП, запровадження ефективної системи управління БДР для забезпечення захисту здоров'я та життя населення.

Незважаючи на запровадження програм, спрямованих на підвищення рівня безпеки дорожнього руху, та деякі покращення в статистиці, яких досягла Україна за останні роки (див. рис. 1.1), проблема ДТП є критичною, адже за результатами 2017 року в країні за добу відбувається близько 445 ДТП, в яких 95 людей травмується, а гине щонайменше 9 людей [73], і за останні роки ці показники майже не змінилися. Це вимагає від України запровадження цілого комплексу завдань, спрямованих на підвищення БДР.

Причинами високого рівня аварійності на автошляхах країни (рис. А6 Додатку А) є:

- недостатній рівень правової культури учасників дорожнього руху внаслідок відсутності ефективного контролю з боку поліції та неналагодженості роботи систем автофіксації порушень;
- недотримання елементарних вимог безпеки (перехід пішоходами дороги за межами облаштованих переходів; користування мобільними телефонами за кермом автомобіля; нехтування ременями безпеки; перевезення

маршрутними ТЗ кількості пасажирів більшої, ніж наявність посадкових місць тощо);

- безкарність осіб, які спричинили правопорушення на транспорті;
- стан автомобільних доріг (особливо у весняний період);
- технічний стан транспортних засобів;
- відсутність єдиних правил обліку ДТП, неякісна робота структур, що збирають дорожню статистику, вивчають причини ДТП і на основі отриманих результатів досліджень створюють плани та рекомендації для практичних рішень з метою запобігання ДТП у майбутньому.

Дослідження аспектів транспортного процесу та дорожньо-транспортних пригод засновано на аналізі складної картини взаємодії ланок системи ВАДС. ДТП можна охарактеризувати як «розлагодження» взаємодії системи ВАДС [1]. Найчастіше, пригоди розвиваються за декілька секунд або за долі секунди. Переважна більшість дорожньо-транспортних пригод спричиняється декількома причинами (рис. 1.2). Ці обставини значно ускладнюють аналіз ДТП, головною метою якого є виявлення умов, що сприяли пригоді, та визначення дій її учасників.

Аналіз причинно-наслідкових зв'язків механізму ДТП (рис. 1.2) дозволяє виділити три основні групи причин виникнення аварійних ситуацій:

- 1 група – недотримання учасниками руху діючих ПДР та помилки водіїв в управлінні ТЗ;
- 2 група – порушення правил експлуатації ТЗ та їх несправність;
- 3 група – незадовільний стан дорожнього покриття та низький рівень організації дорожнього руху.

Переважає більшість ДТП за офіційними статистичними даними [71-73] спричиняється причинами, що формують першу групу. Діючі Правила дорожнього руху [77] виділяють такі основні обставини з виникнення аварійної ситуації: небезпека для руху та перешкода для руху. При виникненні небезпеки для руху (наприклад, у разі перетину смуги руху транспортного засобу якимось-небудь об'єктом, іншим ТЗ або пішоходом) ПДР дозволяють

водію використовувати тільки гальмування. У разі виникненні перешкоди для руху (наприклад, коли об'єкт перешкоди нерухомий або рухається в зустрічному чи попутному напрямі) ПДР дозволяють водію використовувати як гальмування, так і маневр в рівній мірі. Маневрування з технічної точки зору виконати важче і небезпечніше ніж екстрено загальмувати ТЗ, тому близько 16 % ДТП є наслідком порушення маневру ТЗ (табл. А2 Додатку А), а в усіх інших випадках водій повинен був застосовувати екстрене гальмування.



Рисунок 1.2 – Причинно-наслідкові зв'язки механізму ДТП

Друга група причин ДТП, пов'язана з порушенням правил експлуатації ТЗ та їх несправністю. За інформацією Міністерства інфраструктури України автомобільна транспортна система країни має близько 9,2 млн. транспортних засобів, у тому числі: близько 6,9 млн. легкових автомобілів, 250 тис. автобусів, 1,3 млн. вантажних ТЗ, 840 тис. мототранспорту [78]. Термін служби ТЗ в середньому розрахований на 8–10 років експлуатації. Згідно з даними статистики середній вік автомобільного парку України становить близько 20 років (друге місце в світі – після Куби) і має тенденцію до збільшення (рис. А6 Додатку А) [79].

Старіння автомобіля супроводжується порушенням його працездатності – виникненням відмов і несправностей. Аналіз ДТП спричинених відмовами і несправностями ТЗ (табл. А3 Додатку А) показує, що їх переважна більшість (близько 90%) спостерігається в таких елементах як гальмівна система, рульове керування, шини, прилади освітлення і сигналізації, ходова частина. Згідно з вимогами ПДР, заборонено експлуатувати ТЗ з несправностями, які впливають на БДР: з несправностями рульового керування, гальмівної системи, зовнішніх світлових приладів, склоочисників і склообмивачів вітрового скла, коліс і шин, двигуна, інших елементів конструкції [77].

Третя група причин дорожньо-транспортних пригод пов'язана з незадовільними дорожніми умовами та неналежною організацією дорожнього руху. Дорожні умови визначаються сукупністю чинників, що характеризують стан дороги і видимість, та є залежними від атмосферних явищ. Вони визначають якість зчеплення коліс автомобілів з дорогою, величину зупинного шляху, можливості маневрування і безпечного проїзду та враховуються при вивченні обставин дорожньо-транспортних пригод [80, 81]. Недоліки в організації дорожнього руху (погана видимість дорожньої розмітки та знаків, відсутність світлофорного регулювання, тощо) можуть стати супутньою причиною виникнення ДТП.

Отже проблемні питання дослідження дорожньо-транспортних пригод властиві як нашій країні, так і міжнародному суспільству в цілому. Це

багатостороння проблема, рішення якої залежить від багатьох факторів, починаючи з політики в галузі безпеки руху і закінчуючи дослідженням обставин та механізму ДТП. Очевидно, що для покращення дорожньої безпеки в Україні слід звернутись до позитивного досвіту інших країн.

Одні з кращих показників з динаміки зростання дорожньої безпеки показала Німеччина. Її заходи та програми підвищення безпеки руху стали основою для створення єдиної європейської програми «Нульової смертності на дорогах», яка далі поширилася на Австралію та США. Заходи єдиної європейської програми дозволили знизити смертність на дорогах в період з 2001 по 2010 рік на 50%, потім, від 2010 до 2020 року – ще на 50% (рис. А7 Додатку А) при тому, що розміри автопарків у всіх країнах ЄС постійно збільшуються (рис. А8 Додатку А) [82].

Розв'язання проблеми підвищення безпеки руху слід здійснювати із застосуванням системного підходу, впровадженням сучасних вимог і технологій, які містять усі ключові аспекти БДР: поведінку людини, дорожню інфраструктуру, безпеку конструкцій ТЗ, та одночасно розглядаються на етапі попередження ДТП, під час ДТП та після ДТП відповідно до загальноприйнятих у світі підходів.

Важливим є дослідження причин окремого ДТП, в якому є постраждалі чи загиблі, оскільки володіючи точною та детальною інформацією про кожну таку аварію можна вживати практичні контрзаходи щодо зниження негативних показників. Для місць концентрації ДТП можна розробляти плани реконструкції небезпечних ділянок, споруджувати розв'язки, встановлювати світлофори, знаки, додаткове освітлення над пішохідним переходом. Розуміючи головні причини ДТП можна визначити шляхи їх подолання: зміною програм підготовки водіїв, посиленням контролю та регулюванням відповідальності за окремі порушення, підвищенням якості конструкції ТЗ. Саме тому одними з основних напрямів впровадження Стратегії підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2020 року є [74]:

– удосконалення та введення в дію методики, системи збору та обробки даних щодо ДТП (збільшення кількості критеріїв аналізу причинно-наслідкових зв'язків, ведення бази даних ДТП) для проведення системного наукового дослідження ризиків, причин і тенденцій аварійності для подальшого напрацювання рекомендацій та моніторингу ефективності їх впровадження;

– удосконалення схеми дослідження ДТП (у тому числі розслідування ДТП з тяжкими наслідками).

Отже, сучасний стан аварійності потребує створення рекомендацій та формування заходів щодо підвищення БДР, поглибленого вивчення умов та причин дорожньо-транспортних пригод, з врахуванням затвердженого переліку завдань автотехнічної експертизи [80, 81]:

1. Установлення несправностей транспортних засобів, які загрожували БДР, часу їх виникнення та причин утворення; дефініція механізму впливу несправності на виникнення та розвиток аварійної ситуації.

2. Визначення механізму виникнення аварійної ситуації та її елементів: траєкторії руху, швидкості руху за слідами гальмування чи пошкодженнями, відстані, подоланої транспортними засобами за певні проміжки часу, зупинного та гальмового шляхів, інших просторово-динамічних характеристик пригоди.

3. Встановлення відповідності дій водія транспортного засобу в даній ДТП технічним вимогам ПДР, наявності у водія технічної можливості запобігти пригоді, а також визначення причинно-наслідкового зв'язку між діями водія та обставинами дорожньо-транспортної пригоди.

1.2 Проблемні питання науково-методичного забезпечення експертних досліджень дорожньо-транспортних пригод

Сучасна САТЕ є експертним дослідженням, метою якого є визначення механізму і обставин ДТП на основі психофізіологічних характеристик її

учасників, показників якості та технічного стану ТЗ, параметрів дороги, інших факторів (рис. 1.3) [83-89].



Рисунок 1.3 – Узагальнений перелік завдань САТЕ

Чинний закон України «Про судову експертизу» [90], визначає правові, організаційні і фінансові засади судово-експертної діяльності. Його метою є забезпечення правосуддя України кваліфікованою, об'єктивною та незалежною експертизою, яка орієнтована на широке використання досягнень науки і техніки. З нього стає зрозумілим, що проведення САТЕ при її проведенні вимагає наявності та застосування спеціальних знань в галузі психофізіології, метрології, механіки. Ці знання повинні відповідати сучасному рівню розвитку цих наук. Експерт повинен володіти знаннями теорії та практики водіння автомобіля, знати та вміти використовувати сучасну нормативно-технічну базу – стандарти, норми, правила.

Оскільки оцінення параметрів руху ТЗ є базовим елементом аналізу аварійних ситуацій, основні методи сучасної САТЕ ґрунтуються на теорії експлуатаційних властивостей автомобіля, яку свого часу розвивали: М. Є. Жуковський [91], Я. М. Певзнер [92], Е. А. Чудаков [93], Н. А. Бухарін [94], Г. В. Зимелев [95], Б. С. Фалькевич [96], А. Б. Гредескул [97], В. Г. Розанов [98], В. А. Іларіонов [99], Я. Х. Закін [100], А. С. Литвинов [101, 102], А. Ф. Нефедов та Л. Н. Височін [103], А. А. Хачатуров та В. Л. Афанасьєв [104], Л. В. Гуревич та Р. А. Меламуд [105], Ю. Мацкерле [106], А. С. Федосов [107], А. А. Мартинюк, Л. Г. Лобас та Н. В. Нікітіна [108], Дж. Вонг [109], Я. Е. Фаробін та В. С. Шупляков [111], Д. А. Антонов [111], А. І. Гришкевич [112], М. М. Альокса [113], В. П. Сахно та М. Ю. Основенко [114], М. Burckhardt [115], J. C. Dixon [116], А. М. Туренко [117, 118, 119], М. А. Подригало [120, 121, 122], В. І. Клименко [123], J. Reimpell, J. W. Betzler [124], Н. В. Расаєжа [125], В. К. Вахламов [126], R. N. Jazar [127], G. Genta, L. Morello [128, 129], В. П. Волков [120, 121, 130], А. П. Солтус [131], С. Я. Ходирєв [117], С. М. Шуклінов [119], О. В. Сараєв [123, 132, 133], С. Й. Ломака, Л. О. Рижих, Д. М. Леонтєв [118] та багато інших.

З точки зору безпеки руху та експертизи аварійних ситуацій теорію експлуатаційних властивостей автомобіля розглядали Ю. А. Долматовський [134], М. Леру [135], Е. Бена, І. Госковец, І. Штикер [136], В. А. Бекасов [137], Д. Коллінз та Д. Морріс [138], Н. М. Крісті [139, 140], І. С. Джонс [141], В. А. Іларіонов [86, 142], Р. Байетт та Р. Уоттс [143], Б. Є. Боровський [144], M. Danner, J. Halm [145], П. В. Галаса [146], О. В. Лукошявичене [147], С. G. Russell [148], Ф. Х. Єрмаков [149], Ю. Б. Суворов [85], С. А. Смирнова [83], Е. Р. Домке [150], М. Brach, R. Brach [151], Н. Я. Говорущенко, В. П. Волков, І. К. Шаша [152], І. І. Чава [153], О. М. Сумець [154], Н. Franck, D. Franck [155], Н. Steffan [156], В. А. Пучкин [157], С. А. Євтюков, Я. В. Васильєв [158], А. М. Туренко, В. І. Клименко, О. В. Сараєв, С. В. Данець [84], D. Struble [88], Н. Burg, A. Moser [159] та багато інших.

Діючі методики оцінки параметрів руху ТЗ та дослідження певних видів ДТП містяться в переліку робіт, які рекомендовані Міністерством Юстиції України [160]. Крім того існує перелік рекомендованих робіт, які використовуються в експертній практиці Європейської мережі криміналістичних установ [89], до якої входить Державний науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України та його підрозділи в обласних центрах.

Протягом останніх десятирічч почали з'являтися нові монографії, науково-методичні та дисертаційні роботи, присвячені проблемам розвитку автотехнічної експертизи ДТП [161–187]. Актуальними є роботи присвячені впровадженню в експертну практику сучасних цифрових засобів дослідження аварійних ситуацій та спеціальних програмних продуктів [46, 54, 56, 188–196]. Окремим перспективним напрямом є використання інформації з електронних систем керування, безпеки і комфорту ТЗ для встановлення обставин ДТП. Це стало можливим завдяки розвитку технологій фіксації руху ТЗ в процесі ДТП: системи GPS позиціонування місцезнаходження ТЗ, системи EDR – реєстрація даних про події, ACN – Automated Crash Notification (автоматизовані системи повідомлення про о ДТП) [36, 197–205]. Автоматизовані системи реєстрації параметрів руху забезпечують високу достовірність вихідних даних для встановлення механізму виникнення окремих аварійних ситуацій на основі фундаментальних законів руху [1, 197, 206].

З метою підвищення якості розслідування обставин ДТП та досягнення об'єктивного висновку під час слідства і суду Міністерством юстиції України затверджені науково-методичні рекомендації щодо підготовки та призначення експертних досліджень та судових експертиз, які передбачають перелік основних питань з автотехнічної експертизи (табл. 1.1) [81]. Крім питань з рекомендованого переліку слідчим та судом можуть бути задані інші питання, що не виходять за межі компетенції експерта автотехніка.

Таблиця 1.1 – Затверджений перелік основних питань автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод

Питання автотехнічної експертизи	Залежності, що описують взаємозв'язки вхідних та вихідних змінних [83-89, 144, 146, 157]	Вхідні параметри, що мають елементи невизначеності
1	2	3
1. Якою була швидкість ТЗ у різні моменти розвитку ДТП?	$V_a = 1.8 \cdot j_a \cdot t_3 + \sqrt{26 \cdot S_u \cdot j_a} \quad (1.1)$ $V_a = \sqrt{26 \cdot S_b \cdot j_a} \quad (1.2)$	j_a, t_3, S_u, S_b
2. Яка була швидкість транспортного засобу з урахуванням пошкоджень, отриманих при зіткненні?	$\frac{m_1 \cdot v_{a1}^2}{2} + \frac{m_2 \cdot v_{a2}^2}{2} + \frac{J_1 \cdot \omega_{a1}^2}{2} + \frac{J_2 \cdot \omega_{a2}^2}{2} = \frac{m_1 \cdot V_{a1}^2}{2} + \frac{m_2 \cdot V_{a2}^2}{2} + \frac{J_1 \cdot \Omega_{a1}^2}{2} + \frac{J_2 \cdot \Omega_{a2}^2}{2} + A_d \quad (1.3)$	V_a, A_d, ω, Ω
3. Яка максимально припустима швидкість транспортного засобу для даної видимості дороги?	$V_v = 3,6 \cdot j_a \cdot T \cdot \left[\sqrt{\frac{2 \cdot S_v}{j_a \cdot T^2} + 1} - 1 \right] \quad (1.4)$ $T = t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3 \quad (1.5)$	S_v, j_a, t_1, t_2, t_3
4. Яка максимально припустима швидкість транспортного засобу на закругленні дороги даного радіуса?	$V_k = \sqrt{127 \cdot R \cdot \varphi'} \quad (1.6)$ $\varphi' = 0,8 \cdot \varphi \quad (1.7)$ $V_k = \sqrt{127 \cdot R \cdot \frac{\varphi' \pm tg\beta}{1 \mp \varphi' \cdot tg\beta}} \quad (1.8)$ $V_k = \eta_k \cdot \sqrt{127 \cdot R \cdot \frac{B \pm 2 \cdot h \cdot tg\beta}{2 \cdot h \mp B \cdot tg\beta}} \quad (1.9)$	φ, R
5. Який зупинний та (або) гальмовий шлях транспортного засобу в умовах даної дорожньої обстановки за певної швидкості його руху?	$S_b = (t_2 + 0,5 \cdot t_3) \cdot \frac{V_a}{3,6} + \frac{V_a^2}{26 \cdot j_a} \quad (1.10)$ $S_0 = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3) \cdot \frac{V_a}{3,6} + \frac{V_a^2}{26 \cdot j_a} \quad (1.11)$	$t_1, t_2, t_3, V_a, j_a(\varphi)$
6. Яка відстань необхідна для безпечного обгону попутного транспортного засобу в умовах даної дорожньої обстановки?	$S_M = V_a \cdot (t_1 + t_{2r}) - L_{pg} + x_{Mn} + t_n \cdot V_n \cdot \cos \alpha \quad (1.12)$ $x_{Mn} = x_M + L_{pg} \cdot \cos(\gamma_M \cdot 180 / \pi) \quad (1.13)$ $(V_a \cdot t_\theta) / 1,11 = 0,25 \cdot V_a \sqrt{y_M / \varphi'} \quad (1.14)$ $S_M \leq S_a \quad (1.15)$	$t_1, t_{2r}, V_a, t_n, t_\theta$

Продовження табл. 1.1

1	2	3
7. Яка найменша безпечна дистанція між ТЗ в умовах даної дорожньої обстановки?	$S_{bd} = S_0 - S_b \quad (1.16)$	$t_1, t_2, t_3, V_a, j_a(\varphi)$
8. Чи мав водій технічну можливість з моменту виникнення небезпеки для руху шляхом екстреного гальмування зупинити ТЗ не доїжджаючи до перешкоди або пішохода (указується момент виникнення небезпеки)?	$S_0 < S_a \quad (1.17)$ $S_a = V_a \cdot t_n \quad (1.18)$	$t_1, t_2, t_3,$ $V_a, j_a(\varphi), t_n$
9. Чи мав водій технічну можливість уникнути наїзду з моменту виявлення перешкоди для руху або з моменту виникнення небезпеки для руху?	$S_0 < S_a$ $S_M < S_a \quad (1.19)$	$t_1, t_2, t_3,$ $V_a, j_a(\varphi), t_n$
10. З якою швидкістю рухався ТЗ? У разі перевищення дозволеної швидкості (зазначається, які саме обмеження), то чи мав водій технічну можливість запобігти контакту з перешкодою, якщо б ця швидкість не перевищувала припустиму (зазначається, якою саме була перешкода)?	Логічний висновок на основі співставлення результатів розрахунку параметрів руху ТЗ та вимог ПДР	j_a, t_3, S_u, S_b
11. Як повинен був діяти водій згідно з технічними вимогами Правил дорожнього руху у даній дорожній обстановці?	Логічний висновок на основі співставлення результатів розрахунку параметрів руху ТЗ та вимог Правил дорожнього руху	—
12. Чи відповідали дії водія вимогам Правил дорожнього руху?	Логічний висновок на основі співставлення результатів розрахунку параметрів руху ТЗ та вимог Правил дорожнього руху	—

Продовження табл. 1.1

1	2	3
13. Чи були дії водія ТЗ з технічної точки зору в причинному зв'язку з виникненням ДТП?	Логічний висновок на основі співставлення результатів розрахунку параметрів руху ТЗ та вимог Правил дорожнього руху	–
V_a – швидкість ТЗ, км/год (м/с); j_a – усталене сповільнення ТЗ, м/с ² ; t_1 – час реакції водія, с; t_2 – час спрацьовування гальмівного приводу, с; t_{2r} – час спрацьовування рульового керування, с; t_3 – час наростання сповільнення, с; S_u – довжина слідів гальмування (юзу), м; S_b – відстань, яку подолав ТЗ в режимі гальмування, м; φ – коефіцієнт зчеплення в поздовжньому напрямку; φ' – коефіцієнт зчеплення в поперечному напрямку; R – радіус повороту дороги, м; S_v – відстань видимості дорожніх об'єктів, м; V_v – безпечна швидкість ТЗ за умов видимості, км/год (м/с); v_i – швидкість i -го ТЗ до удара; V_i – швидкість i -го ТЗ після удара; J_i – момент інерції i -го ТЗ; ω_i – кутова швидкість обертання i -го ТЗ до удара навколо вертикальної осі; Ω_i – кутова швидкість обертання i -го ТЗ після удара навколо вертикальної осі; V_n – швидкість руху перешкоди, м/с; t_n – час існування перешкоди, с; t_θ – час повороту передніх коліс на кут θ , с; S_a – відстань від перешкоди до транспортного засобу в момент виникнення небезпеки для руху, м; S_M – відстань, необхідна для здійснення маневру, м		

Для відповіді на питання, що наведені вище, експерту достатньо визначити ті чи інші параметри за формулами, відомими з теорії експлуатаційних властивостей автомобіля. Однак отримання достовірних результатів розрахунків можливе у разі підстановки достовірних чисельних значень вихідних розрахункових даних в формули: результатів вимірювань, параметрів та коефіцієнтів. Даний підхід є принциповим, оскільки лише у випадку достовірності вихідних даних можна гарантувати обґрунтованість, достовірність та об'єктивність висновків експерта, забезпечити можливість їхнього використання в якості доказів. В процесі виконання САТЕ виникає ряд парадоксальних ситуацій [83-85, 154, 177-180, 207].

Ситуація 1. Коефіцієнти та параметри, які набувають статусу доказів та використовуються експертом в розрахунках і дослідженнях, приймаються прокурором, слідчим і судом на віру та не піддаються оцінюванню обґрунтованості їх вибору і перевірці, як це вимагає КПК України [208].

Причинами такого стану є:

- недостатній рівень спеціальних знань у представників суду, обвинувачення і дізнання;
- впевненість представників правосуддя в непогрішимості експерта, тому що за законом експерт несе особисту відповідальність за свій висновок, у відповідності до закону він не обмежений у виборі та використанні довідкових даних.

Ситуація 2. Коефіцієнти і параметри, які експерт приймає за довідковими таблицями, є по суті результатами вимірювань, що не вкладаються у вимоги Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [209].

Достовірні значення деяких вихідних даних можна отримати за допомогою якісних приладів шляхом прямого вимірювання параметрів на місці ДТП. Проте це не завжди можливо з об'єктивних причин, і експерти вимушені користуватись даними протоколів патрульної служби, довідкової літератури або спеціальних довідкових таблиць. В цьому випадку, слід розуміти, що довідкові дані є усередненими значеннями множини вимірювань відповідних показників у репрезентативної групи однотипних автомобілів в заданих контрольованих умовах, отриманими в результаті статистичної обробки. Отже, індивідуальні показники конкретних об'єктів будуть мати відхилення від довідкового середнього значення, тобто буде присутнє розсіювання (невизначеність). Одна справа, якщо експерт буде знати, що відхилення індивідуальних показників від довідкового значення для любого об'єкта не перевищують, наприклад одного відсотка. А, якщо розсіювання складає десятки відсотків? Це зовсім інша справа. То саме відноситься і до довідкових даних спеціальної технічної літератури.

Іншими словами, потрібно пам'ятати, що любі виміри, проведені в інтересах правоохоронних органів, поширюються вимоги Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність». Закон визначає правові засади забезпечення єдності вимірювань в Україні, захищає громадян і національну економіку від наслідків недостовірних результатів вимірювань та врегульовує

суспільні відносини у сфері метрологічної діяльності. Даний закон поширюється на місцеві та центральні органи виконавчої влади, органи місцевого самоврядування, установи, організації та підприємства, що діють на території України, незалежно від виду діяльності та форм власності.

За законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність» є обов'язковою вказівка меж похибки результату любого вимірювання та імовірності того, що невизначеність вимірювання (похибка вимірювання) не виходить за певні межі.

Ситуація 3. Визначення параметрів руху транспортних засобів при САТЕ виконується без оцінювання похибки одержуваних результатів. Це також є невідповідністю щодо вимог Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність».

Практично всі розрахунки, виконувані за формулами, використовують величини, отримані з відповідних довідкових таблиць чи експериментально, є типовим випадком непрямих вимірювань. Тобто таких, результат виміру яких визначається за формулою, а величини, які входять в формулу, знаходять шляхом вимірювань [210-214]. Відповідно, розрахункові значення повинні містити оцінку похибки результату у відповідності до вимог вище згаданого Закону [209].

Врахування невизначеності розрахункових значень змінює характер результатів розрахунку. Детерміновані значення перетворюються у імовірнісні, оскільки всі довідкові коефіцієнти та параметри, що визначаються дослідним шляхом, оцінюються з деякими похибками. Ні теоретично, ні практично, абсолютно точних вимірювань не буває. В заданих умовах кожний довідковий коефіцієнт або параметр є середньостатистичним значенням певного показника генеральної сукупності однотипних об'єктів. Однакові показники навіть двох автомобілів будуть мати різницю. Це обумовлено експлуатаційними та технологічними причинами. Отже потрібно пам'ятати, що фактичне значення показника може приймати любе значення в межах можливого розсіювання. Якщо невідома величина цього розсіювання

(невідомо оцінка невизначеності довідкового коефіцієнта чи показника), то ні експерт, ні слідчий, ні суддя чи адвокат не зможуть оцінити достовірність довідкових даних, а значить і об'єктивність результатів автотехнічної експертизи отриманих за їх використання [207, 211, 214].

Термін «невизначеність», що використовується в багатьох галузях науки, сформульовано у діючій редакції міжнародного словника загальних та основних термінів в галузі метрології [210] – це параметр, який пов'язаний з результатом вимірювань та характеризує розкид значень, що з достатньо обґрунтовано можуть бути приписані вимірюваній величині. Таким параметром може бути, наприклад, стандартне відхилення, ширина надійного інтервалу. В загальному випадку невизначеність вимірювань містить багато складових. Окремі складові невизначеності можна оцінити за допомогою статистичного розподілу результатів ряду спостережень та описати своїми стандартними відхиленнями [103, 212-214]. Інші складові, що можуть також бути виражені у вигляді стандартних відхилень, визначають на підставі очікуваних розподілів ймовірностей, на основі досвіду чи іншої інформації [215, 216]. Обидва випадки характеризують як оцінення типу А і типу В відповідно [210, 211].

Невизначеність вимірювання не свідчить про недостовірність вимірювання, навпаки, знання невизначеності сприяє збільшенню ступеня достовірності [211]. Об'єктивність висновків, отриманих в результаті виконання автотехнічної експертизи ДТП великою мірою залежить від прийняття значень вхідних величин та достовірності результатів вимірювань, вибору методики проведення досліджень [1-3, 21, 23, 29, 51, 86, 158, 163, 207, 217, 218].

Моделювання руху учасників ДТП є широко поширеною прикладною задачею. На даний час створено велику кількість математичних моделей, що різняться за ступенем складності і точності [1-3, 40-43, 83-89, 101-133, 142-159, 161-174, 197, 217-221], але в фактичних умовах проведення експертиз ці математичні моделі не завжди широко застосовуються через наявну специфіку використання вхідних або вихідних даних. Наприклад, врахування більшої

кількості факторів, діючих на автомобіль, при побудові математичної моделі руху автомобіля, підвищує точність математичної моделі. Однак при моделюванні руху автомобіля, параметри якого точно невідомі, по поверхні дороги, зі змінними в певних межах властивостями, ситуація може бути протилежною [86, 173, 207].

Традиційний детерміністський підхід в експертних розрахунках має обмеженість, на що вказував В. А. Іларіонов – визнаний авторитет в області автотехнічної експертизи. В своєму підручнику, виданому в 1989 р., він писав про неминуче розсіяння довідкових коефіцієнтів і параметрів відносно їх табличних значень та необхідність застосування статистичних методів для розрахунків параметрів гальмівної ефективності автомобіля. Він наголошував, що широкому використанню статистичних методів заважає їх складність і відсутність експериментальних даних, за якими можна встановити розкид величин та закони розподілу імовірності довідкових значень. Враховуючи загальні тенденції розвитку науки, він вважав, що впровадження статистичних методів в майбутньому є неминучим.

Впродовж останніх тридцяти років сталися не значні позитивні зрушення в практиці автотехнічної експертизи. В технічній літературі майже не зустрічаються описи результатів реальних досліджень, присвячених проблемам невизначеності експериментальних та розрахункових даних. В довідкових таблицях як і раніше приводяться фіксовані дискретні значення коефіцієнтів і параметрів, що створює ілюзію їх достовірності за рахунок високої диференціації. Безумовно, вказані В. А. Іларіоновим перешкоди щодо використання статистичних методів існують, але складність методів не є вирішальною причиною такого стану речей. Важливішим є те, що, певно, внаслідок недооцінки можливостей сучасних математичних та статистичних методів для юридичної практики або недостатньої спеціальної технічної підготовки, працівниками слідства, експертами, корпусом суддів та адвокатами, ці методи залишаються так і не затребуваними. Лише потреба в них забезпечить проведення відповідних досліджень.

Отже, при проведенні автотехнічної експертизи та використанні вихідних даних потрібно вказати джерело інформації, усереднене значення показника та щільність розподілу ймовірності відхилення значень даного показника від усередненого значення. Відповідь на питання, поставлене перед експертами, повинна надаватись із вказанням ймовірності такої події. Звісно, що у більшості випадків ймовірнісні відповіді не можуть бути задовільними, оскільки однозначно не доводять наявності тієї чи іншої події. З огляду на це, наприклад, при визначенні зупинного шляху автомобіля необхідно визначити два можливих параметри: мінімальний та максимальний зупинний шлях транспортного засобу. Це надає можливість сформулювати три варіанта відповіді:

1) у випадку якщо мінімально можливий зупинний шлях більший відстані на якій водій міг встановити небезпеку для руху, то приходять до висновку про технічну неможливість запобігти ДТП;

2) якщо максимально можливий зупинний шлях менший відстані на якій водій міг встановити небезпеку для руху, то приходять до висновку про наявність технічної можливості запобігти ДТП;

3) якщо відстань на якій водій міг встановити небезпеку для руху знаходиться в діапазоні величин мінімально можливого зупинного шляху та максимально можливого зупинного шляху, то приходять до висновку про неможливість надати однозначну відповідь на поставлене питання. Тому, розробка аналітичних методів, які сприяють зменшенню невизначеності оцінення показників руху учасників ДТП є актуальною науковою проблемою.

1.3 Рівень впровадження інформаційних технологій в практику розв'язування задач автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод

За останні роки інформаційні технології знайшли широке застосування під час виконання експертних досліджень, що характерні у розслідуванні самих різних злочинів. Виокремилися такі основні шляхи безпосереднього

застосування комп'ютерної техніки в судовій експертизі [83, 84, 88, 89, 145, 148, 151, 155, 159]: математизація окремих ланок експертного дослідження; повна автоматизація аналізу речових доказів; створення діалогових систем. Для потреб автотехнічної експертизи розроблені комп'ютеризовані методики дослідження механізму ДТП, визначення місця зіткнення автомобілів, комплексного оцінення ДТС тощо. Початком впровадження інформаційних технологій в практику автотехнічної експертизи стало моделювання ДТП, створення комплексних програмних продуктів (рис. 1.4), окремого програмного забезпечення для виконання допоміжних розрахунків та формування експертних висновків. Переваги нововведень: виконується значно більший об'єм розрахунків; зменшується імовірність арифметичних помилок; з'являється можливість візуалізації результатів досліджень.

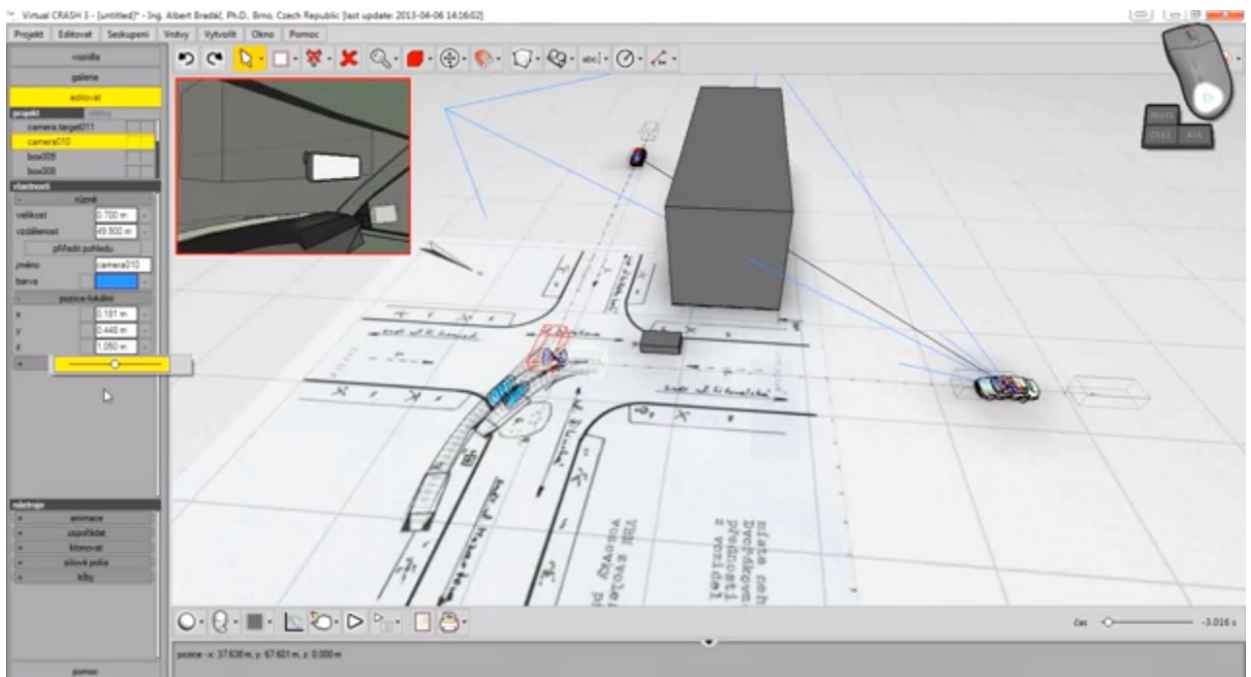


Рисунок 1.4 – Приклад дослідження ДТП на основі слідової інформації з місця ДТП у програмі Virtual Crash 3.0

Сучасні інформаційні технології дослідження ДТП (рис. 1.5) можна класифікувати за призначенням, адекватністю результатів реконструкції,

використовуваним математичним апаратом, вимогами до продуктивності електронно-обчислювальних машин та необхідним рівнем підготовки фахівців.



Рисунок 1.5 – Класифікація інформаційних технологій експертизи ДТП

Усі комп'ютерні програми, що використовуються для потреб автотехнічної експертизи, можна поділити за такими напрямками застосування:

– фотограмметричні програми: PC-Rect [222], PhotoModeler Pro [223], Photorect [224], їх завданням є корекція перспективи тобто трансформація звичайних фотографій в зображення в ортогональній проекції, що використовуються для виконання усіх видів масштабних вимірювань розташування об'єктів на місці ДТП;

– програми просторово-часового аналізу руху ТЗ та пішоходів в умовах ДТП: Sybid Titan [225], Cyborg Idea SLIBAR+ [226];

– графічні редактори, що дозволяють будувати масштабні схеми ДТП: AutoCAD [227], Auto-Graf [228], Sybid Plan [229], MapScenes [230], пакет програм «Cad Zone» [192];

– програми визначення параметрів руху учасників ДТП в заданих умовах: AR Pro [231], Analyzer Pro [232], WinKol (Kollision) [233], Crash [188], Rec-Tec [234], MonDiaFor «HADI-15» + Road Accident [235], та інші (в тому числі розроблені за участі автора – комплексна програма для автотехнічної експертизи аварійних ситуацій, які мали місце в темну пору доби [2, 15]; програма для оцінювання гальмових властивостей автомобілів в умовах експлуатації [19, 175]);

– системи візуального моделювання дорожньо-транспортної ситуації: SMAC [236], Sybid eSURV [237], CARAT [191], Sybid V-Sim [193], PC-Crash [189], «Експертиза ДТП» [238] та інші.

На думку авторів [84, 88, 156, 158, 159, 178, 186, 190, 194-196] розвиток автотехнічної експертизи ДТП не можливий без застосування автоматизованих цифрових систем виміру й розрахунку різних параметрів на всіх етапах дослідження обставин дорожньо-транспортних пригод:

– використання лазерного сканування місця ДТП, за результатами якого можливе автоматизоване складання цифрової масштабної схеми ДТП та встановлення усіх характерних розмірів [190, 194, 195];

– використання записів EDR (реєстраторів даних про події), які фіксують параметри руху транспортних засобів до та після виникнення аварійних

ситуацій і забезпечують об'єктивною інформацією слідство на етапі доекспертного розрахунку [158, 203-205];

– використання спеціальної цифрової апаратури для виконання слідчих експериментів та прикладних програмних продуктів для встановлення механізму ДТП [170, 181-193, 222-238].

Автоматизація експертних досліджень є основою забезпечення стабільної та високої якості автотехнічних експертиз ДТП, підвищення продуктивності праці експертів, суттєвого скорочення термінів виконання експертиз [84, 88, 157, 159].

Не зважаючи на те, що кожна сучасна методика експертного дослідження аварійних ситуацій, заснована на використанні комп'ютерів, має свою специфіку та зорієнтована на вирішення конкретної задачі під час аналізу різних об'єктів [89, 151, 160, 168, 179, 207], вони мають ряд загальних властивостей.

1. В основі цих методик лежить принцип системної організованості об'єкту пізнання, принцип використання математичного апарату та кількісної визначеності, алгоритмічний та функціональний підхід щодо процесу пізнання об'єкту.

2. Ланкою, що передує формуванню і застосуванню певної методики дослідження, її методологічною передумовою є математичне моделювання об'єкту та всебічне вивчення алгоритму процесу його пізнання. В даному контексті моделювання допускає створення моделі порівняльного аналізу ознак чи моделі об'єкту аналізу, а не лише побудову моделі рішення задачі.

3. У структурі кожної з методик можна виокремити характерні для них елементи: визначення мети та постановка завдання дослідження; поділ завдання на окремі підзадачі; дефініція конкретних прийомів та засобів їх реалізації; практична діяльність, що складається з визначеного комплексу операцій; отримання результату і його оцінення; прийняття рішення.

4. Ні одна методика, що базується на використанні комп'ютерів, не містить усього процесу рішення експертної задачі. Їх застосування загалом

автоматизує та підвищує об'єктивність лише певної операції (групи операцій), яка може відноситися як до оцінення отриманих результатів, так і до самого процесу пізнання. Отже використання інформаційних технологій ні в якому разі не виключає використання якісного підходу до об'єкту пізнання.

На даний час система автотехнічної експертизи ДТП має, з погляду вимог автоматизації та системних вимог, багато недоліків, фундаментальними причинами яких є:

1. Несистемний розвиток діючих методик експертного дослідження, його інформаційного, математичного та інших видів забезпечення. Це призводить до неможливості формування експертом системного розуміння об'єкта дослідження – ДТП що передувала ДТП, дослідження усіх сторін функціонування об'єктів ДТП – водіїв, пішоходів, ТЗ, ділянки дороги, що унеможлиблює системне оцінення впливу відхилень від норм показників функціонування цих об'єктів на результати ДТП та існування технічної можливості у водія запобігти виникнення аварійної ситуації.

2. Відсутність відповідної наукової теорії дослідження різних видів ДТП, застосовної для розв'язання фактичних питань аналізу ДТП, зазвичай складно формалізованих, пов'язаних з ударним процесом взаємодії об'єктів ДТП та рухом ТЗ в екстремальних умовах. Це призводить до якісних помилок та низького рівня точності початкових параметрів руху ТЗ перед ДТП, недостатньої достовірності сформованих експертних висновків.

3. Відставання рівня автоматизації існуючої системи автотехнічної експертизи від рівня розвитку електронно-обчислювальної техніки, ускладнює здійснення ітераційних досліджень властивостей застосовуваних математичних моделей. Це призводить до значного збільшення часу та зниження результативності виконання експертом досліджень.

4. Недостатня якість кваліфікаційної підготовки фахівців щодо системного сприйняття ДТП на усіх стадіях їх дослідження. Це призводить до виникнення проблем обґрунтування змісту інформаційного поля аналізу ДТП, проблем

збереження низького рівня довіри до результатів роботи в колі учасників дослідження ДТП, проблем їх системної взаємодії.

Універсальним способом усунення вказаних недоліків є методологія системного аналізу, заснована на принципах необхідності та достатності комплексу функціональних елементів. Вона визначає границі досліджуваної системи; прозорість структури міжелементних зв'язків та кожного елементу, форми перетворюваної інформації; фізичну суть загальносистемних критеріїв якості функціонування і масиву часткових критеріїв тощо [1, 31-33, 58, 59].

1.4 Аналіз використання математичних методів в практиці автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод

Один з фундаментальних принципів сучасної науки зводиться до того, що явище не можна визнати добре зрозумілим доти воно не описано шляхом використання кількісних характеристик. Тому більшість з того, що складає зміст наукового знання, можна розглядати як комплекс принципів і методів, необхідних для конструювання математичних моделей різних систем, які дозволяють отримувати кількісну інформацію про їх поведінку [239].

Під час аналізу ДТП виконується складне науково-технічне дослідження усіх особливостей кожної пригоди окремо. Кожна аварійна ситуація має певні особливості, крім того, в більшості ДТП одночасно діють кілька видів причинно-наслідкових зв'язків. Ці обставини ускладнюють експертні дослідження та зумовлюють необхідність шляхом інженерного аналізу визначати частинні причинно-наслідкові, функціональні, технічні, часові та інші зв'язки, які мали місце в процесі пригоди.

Будь-яка з задач під час аналізу ДТП може розглядатися як пошук взаємозв'язку

$$X = (X_1, X_2, \dots, X_n) \rightarrow Y_j \in Y = (\underline{y}, \bar{y}), \quad (1.20)$$

де Y – множина значень певної вихідної величини,

X – множина вхідних даних (факторів впливу) для певної задачі.

Основні труднощі рішення такого роду задач зумовлені таким [1-3, 83-88, 145-159]:

1. Для обґрунтування об'єктивного рішення про причини ДТП слід враховувати багато факторів. Більшість аварійних ситуацій характеризується одночасною дією кількох видів причинно-наслідкових зв'язків.

2. Використання точних методів вимагає великих затрат часу і ресурсів.

3. Немає можливості набрати статистичний матеріал, щоб скористатись теорією імовірностей.

4. Існують великі труднощі при застосуванні відомих аналітичних залежностей між причинами (факторами впливу) та відповідним наслідком або їх немає взагалі, оскільки ці фактори різноманітні за характером тобто можуть бути якісними (тип і стан дорожнього покриття, тип шин) та кількісними (маса вантажу, швидкість руху автомобіля). Крім того, інформація про кількісні величини нерідко подається у лінгвістичній формі.

Попри велику кількість публікацій щодо інтелектуальних систем прийняття рішень, а також теорії та застосування експертних систем [239-244], на даний час відсутні зручні інструментальні засоби, що уможливають створення подібних систем та їх застосування в практиці автотехнічної експертизи ДТП. Це спричинено недостатньою ефективністю математичних методів, які зазвичай використовуються в теорії автомобіля для моделювання впливу вхідних факторів (причин) на вихідну величину (наслідок) [102, 113, 115, 125, 127, 151, 155, 207, 217, 218].

Оскільки при вирішенні задач САТЕ прийняття рішень здійснюється в умовах невизначеності, для вирішення проблеми автоматизації цього виду діяльності можуть використовуватися багато з формальних методів (рис. 1.6), які розроблені в рамках кібернетичної науки [239, 241, 244-249]. Отже, неповнота інформації призводить до появи задач прийняття рішень в умовах невизначеності [250-260].

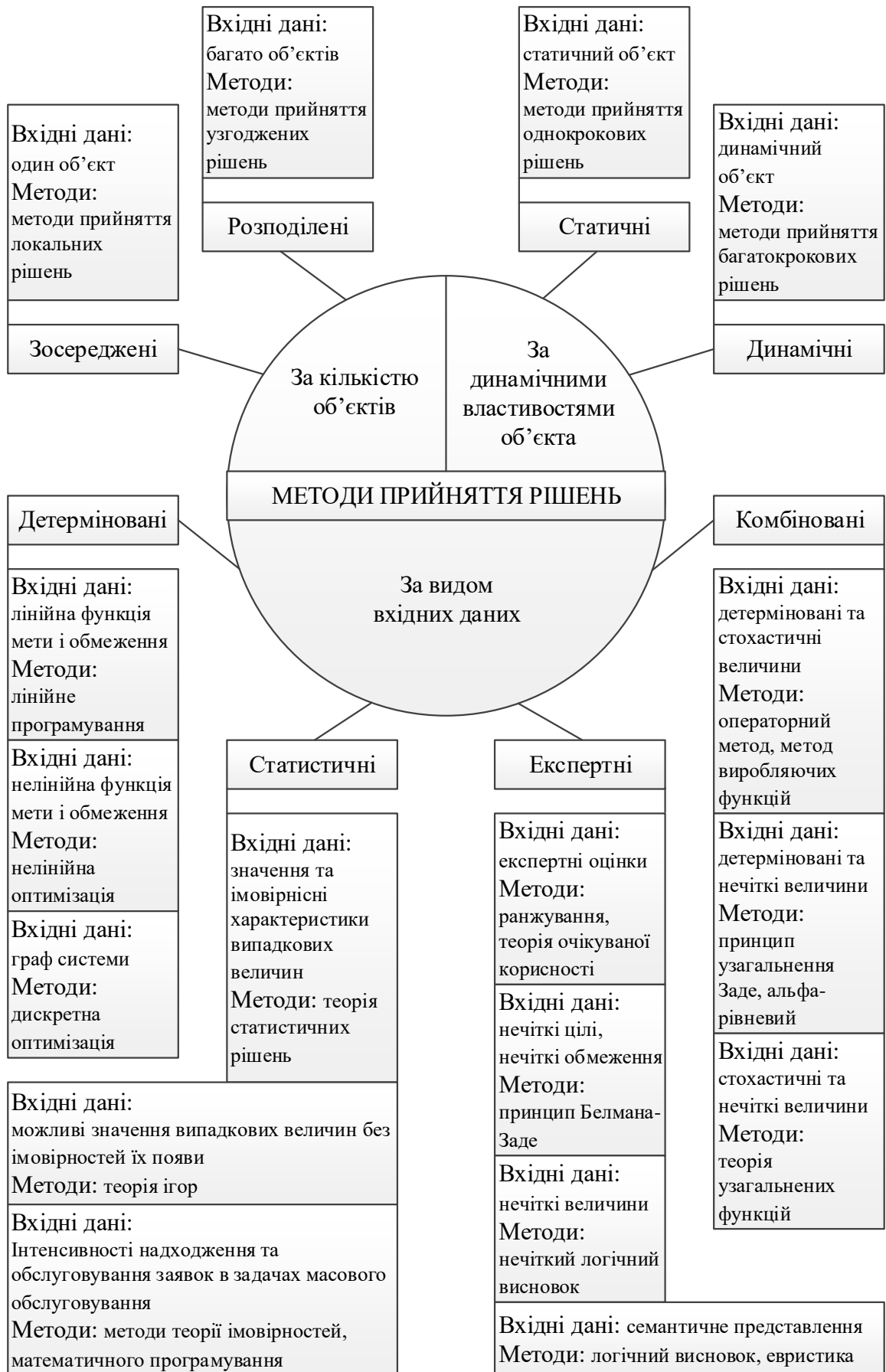


Рисунок 1.6 – Методи прийняття рішень в умовах невизначеності

Судячи зі спеціальних публікацій з теорії та розрахунку автомобіля [91-133], які є теоретичною основою для проведення АТЕ, та з експертизи ДТП [1-3, 83-89, 137-159], найбільше поширення отримали: логічний висновок, регресійний аналіз, імовірісно-статистичний підхід, метод фазового інтервалу, енергетичні методи реконструкції ДТП та теорія нечітких множин.

Імовірісно-статистичний підхід [207, 215, 216, 221, 259] переважно застосовується для оцінення достовірності кількісних показників, значення яких можуть набувати неперервного ряду значень, і переважно полягає у визначенні похибки (надійного інтервалу) при заданій надійній імовірності.

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

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}. \quad (1.21)$$

Певно, що \bar{x} не обов'язково відповідає істинному значенню оцінюваного параметра x і зазвичай присутня відмінна від нуля різниця величин \bar{x} й x : $0 \leq |\bar{x} - x| < \delta$.

Позитивне значення δ задає похибку і визначає достовірність вимірюваного параметра. Зазвичай, справедливості нерівності $|\bar{x} - x| < \delta$ встановлюється лише з деякою імовірністю γ , що має назву «надійна імовірність». Надійну імовірність приймають рівною 0,95, 0,99 або 0,999 і за її відомим значенням визначають похибку δ .

При нормальному законі розподілу x_1, x_2, \dots, x_n похибка параметра δ обчислюється за формулою

$$\delta = t_\gamma (S\sqrt{n}), \quad (1.22)$$

де n – обсяг вибірки (число вимірювань значення x);

t_γ – коефіцієнт Стюдента, який знаходять з таблиць;

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

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

Усім модифікаціям імовірнісно-статистичного підходу, що знайшов застосування при автотехнічній експертизі, властиві такі обмеження:

1. Інформація, яка необхідна для використання імовірнісно-статистичних методів, зазвичай відсутня. Процес її отримання, оброблення та зберігання супроводжується обчислювальними і організаційними труднощами.

2. Статистичні методи не дозволяють рішуче стверджувати, що нерівність $|\bar{x} - x| < \delta$ буде вірною в усіх випадках, незалежно від величини значення похибки δ .

3. Чималу трудність являє внесення до моделі нової інформації. Це зумовлено потребою переустановлення усіх статистичних оцінок параметрів.

Регресійний аналіз даних [103, 115, 141, 207, 216, 261-263]. Нехай q – певний вихідний показник (наприклад, прискорення автомобіля), значення якого потрібно визначити, і q залежить від вектора початкових параметрів $X = (X_1, X_2, \dots, X_n)$. Тоді, на основі методів теорії планування експерименту, можна отримати рівняння лінійної регресії

$$q = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \dots + a_n \cdot x_n, \quad (1.23)$$

де a_0, a_1, \dots, a_n – коефіцієнти, які знаходять на основі методу найменших квадратів.

У разі потреби врахування парних взаємодій параметрів, рівняння регресії стає складнішим та набуває нелінійного характеру.

Головні обмеження цього підходу:

1. За допомогою регресійного аналізу вирішуються тільки ті задачі, в яких фактори впливу і вихідна величина (розв'язок) є детермінованими (носять кількісний характер).

2. Значення вихідного показника q , яке визначається на основі регресійної моделі, сильно залежить від умов експерименту, в яких вираховувались коефіцієнти a_0, a_1, \dots, a_n . Отже регресійні моделі, одержані для одних умов (стан автомобіля, стан дороги і т. п.), не завжди можна застосовувати в інших умовах.

3. Статистично значимі коефіцієнти регресійних рівнянь отримуються шляхом обробки великого експериментального матеріалу.

В основу різних модифікацій методу фазового інтервалу [40, 87, 175, 242, 252, 264, 265] покладено ідею віднесення деякої ситуації до певного випадку шляхом визначення відстані між двома точками у фазовому просторі. Досліджується n -вимірний простір, координати $x_i, i = \overline{1, n}$ якого відповідають вхідним факторам. Точка (x_1, x_2, \dots, x_n) фазового простору описує деякий випадок $d_j, j = \overline{1, m}$.

На основі вивчення досвіду експертів та матеріалів раніше розслідуваних ДТП, в фазовому просторі визначаються множини точок D_1, D_2, \dots, D_m , що відповідають випадкам d_1, d_2, \dots, d_m . Точки C_1, C_2, \dots, C_m позначають середини цих областей.

Якщо прийняти, що X^* – це точка у фазовому просторі, яка позначає певну ситуацію, $R(X^*, C_j)$ – це проміжок між точками X^* та $C_j, j = \overline{1, m}$, то випадок d_j^* , який описується вектором параметрів $X^* = (X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*)$, визначається точкою C_j або областю D_j , для якої

$$R(X^*, C_j) = \min_{j=1, m} \{R(X^*, C_j)\}. \quad (1.24)$$

З метою визначення проміжку $R(A, B)$ між точками $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ та $B = (b_1, b_2, \dots, b_n)$, у n -мірному просторі застосовується одна з метрик рядів даних: відстань Хеммінга

$$R(A, B) = \sum_{i=1}^n |a_i - b_i|, \quad (1.25)$$

чи відстань Евклідова

$$R(A, B) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (a_i - b_i)^2}. \quad (1.26)$$

Якщо порівняти метод фазового інтервалу з регресійним аналізом та імовірно-статистичним підходом, то його перевагою є відсутність потреби у трудомісткій обробці і накопиченні великого статистичного матеріалу. Застосування цього методу обмежено лише бінарними або детермінованими факторами впливу.

В технічній літературі також описані і інші методи, які базуються на ідеях теорії ймовірностей та фазового інтервалу. Однак усі вони є технічними реалізаціями або модифікаціями методів, розглянутих вище.

Логічний висновок реалізований в мові логічного програмування Пролог [266-271], широко використовується в експертних системах [242, 244, 256].

Теоретичною базою мови Пролог є апарат логіки предикатів. Він дозволяє здійснювати автоматичне доведення теорем [246]. Згідно з цією методологією, рішення d_j^* можливе для ситуації, яка описана вектором параметрів $(X_1^*, X_2^*, \dots, X_n^*)$, у разі існування в експертній базі знань ланцюжка міркувань для доведення справедливості вислову **ЯКЩО** $x_1^* \wedge x_2^* \wedge \dots \wedge x_n^*$, **ТО** d_j^* .

Пролог забезпечує зручність пошуку ланцюга правил, які ведуть від цілі (d_j^*) до фактів (x_i^*) або від фактів, які вибрані з бази знань, до цілі. Це дозволяє приймати рішення та пояснювати його причини. Однак, існує багато знань, які мають імовірнісну та нечітку природу. Наприклад, в області експертизи аварійних ситуацій це знання типу: «ЯКЩО транспортний засіб при гальмуванні змінює напрямок руху, ТО можливо існує істотна різниця між якістю зчеплення коліс з дорогою з лівої і правої сторони», або «ЯКЩО педаль гальма провалюється, ТО в системі є повітря».

Подібні знання оцінюють за допомогою коефіцієнта впевненості, який приймає значення від 1 до -1 (від достовірних знань до ненадійних знань). Цей спосіб відрізняється простотою та в якійсь мірі суб'єктивністю. Крім того, коефіцієнт впевненості оцінює усе правило, і невідомо що робити з такими поняттями як провалюється не до кінця, істотна різниця тощо.

З метою реалізації дедуктивного логічного висновку в Пролозі потрібна операція пошуку за зразком. Тобто, для формування висновку на основі правила «якщо $x \in A$, то $y \in B$ » потрібно насамперед перевірити існування в базі знань факту « $x \in A$ ». В точках типу « x є величина наближена до A » (проміжних точках) можливість логічного висновку Пролог не забезпечує. Тому існує необхідність збереження інформації в базі знань про всі допустимі значення показника x . Ця обставина є причиною надмірної завантаженості обчислювальної техніки та значної потреби у часі на логічний висновок.

Основою строгої математичної обробки лінгвістичної (нечислової) інформації є теорія нечітких множин і лінгвістичних змінних [250, 252-257]. Вона запропонована у 1965 році американським математиком і логіком Л. Заде. Незадоволеність математичними методами класичної теорії систем призвела до створення концепції нечіткої множини. Дана концепція дозволяє не застосовувати процедури забезпечення штучної точності, в багатьох системах реального світу, які включають людей [251]. Головні поняття теорії нечітких множин є такими.

Якщо позначити універсальну множину, яка охоплює всю проблемну область через U , то нечітку підмножину F множини U можна визначити на основі функції належності $\mu_F(u)$, де u – є елементом множини ($u \in U$). Ступінь належності кожного елемента $u \in U$ до нечіткої множини $F \subset U$ відображається функцією належності на множину чисел в інтервалі $[0, 1]$. У тому разі, коли універсальна підмножина U має кінцеве число елементів (або множин) u_1, u_2, \dots, u_n , нечітка множина F відображається у вигляді $F = \sum_{i=1}^n \mu_F(u_i) / u_i$. Якщо має місце неперервна множина U , то використовується позначення $F = \int_U \mu_F(u) / u$. Знаки інтегралу та суми в цих виразах означають сукупність пар $\mu(u) / u$.

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

1. Перетин нечітких множин $F \cap G = \sum_{i=1}^n \{ \mu_F(u_i) \wedge \mu_G(u_i) \} / u_i$,

$\mu_{F \cap G}(u) = \mu_F(u) \wedge \mu_G(u)$, де \wedge – це операція взяття мінімуму.

2. Об'єднання нечітких множин $F \cup G = \sum_{i=1}^n \{ \mu_F(u_i) \vee \mu_G(u_i) \} / u_i$,

$\mu_{F \cup G}(u) = \mu_F(u) \vee \mu_G(u)$, де \vee – це операція взяття максимуму.

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

Необхідність знати нечіткі відношення виникає при виконанні нечітких висновків. Наприклад, при існуванні правила типу «якщо F , то G », яке застосовує нечіткі множини $F \subset G$ і $G \subset V$, що задані на універсальних множинах $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ та $U = \{x_1, x_2, \dots, x_l\}$, відповідно до [252, 253, 257], нечітке відношення множин $F \subset G$ та $G \subset V$ позначається матрицею виду

$$R = F \times G = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \left\{ \mu_F(u_i) \wedge \mu_G(v_j) \right\} / (u_i, v_j), \quad (1.27)$$

в якій елемент, розташований на перетині v -стовпчика та u -рядка визначається

$$\mu_R(u, v) = \mu_F(u) \wedge \mu_G(v). \quad (1.28)$$

Форма запису нечіткого логічного висновку має вигляд: $F \rightarrow G, F'/G'$. Запис означає те, що факт G' випливає з факту F' якщо факт G випливає з факту F , де F', F, G', G – нечіткі множини. Для встановлення висновку G' використовується вираз

$$G' = F' \circ R = F' \circ (F \times G), \quad (1.29)$$

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

$$G' = \sum_{i=1}^m \vee_{u_i \subset U} \left\{ \mu_F(u_i) \wedge \mu_R(u_i, v_j) \right\} / v_j, \quad F, F' \subset U; \quad G, G' \subset V. \quad (1.30)$$

Нечітка логіка порівняно з методом фазового інтервалу не потребує застосування лише кількісних чи бінарних факторів впливу. Відсутня необхідність накопичення великого статистичного матеріалу та його трудомісткої обробки порівняно з імовірісно-статистичним підходом та регресійним аналізом. Її перевагами є:

- можливість оперувати вхідними даними, заданими нечітко: значення, що безупинно змінюються в часі; значення, що неможливо задати однозначно;
- можливість нечіткої формалізації критеріїв оцінення і порівняння;
- можливість оперувати ступенем імовірності даних та її розподілом;

– можливість проведення порівняльного аналізу з певним ступенем точності та швидкого моделювання складних динамічних систем.

Принципи еквівалентності кількості кінетичної енергії ТЗ до аварійної ситуації та кількості потенціальної енергії руйнування та деформації, яка залишилась в дорожніх спорудах та пошкодженому автомобілі використовують енергетичні методи реконструкції дорожньо-транспортних пригод [83, 151, 164, 167, 169].

Аналіз схеми зіткнення двох рухомих об'єктів можна виконати на основі рівняння балансу енергії системи [167]

$$\frac{m_1 V_1^2}{2} + \frac{m_2 V_2^2}{2} = \frac{(m_1 + m_2) V_0^2}{2} + \int_0^{S_1} F_1 dS_1 + \int_0^{S_2} F_2 dS_2, \quad (1.31)$$

де m_1 та m_2 – маси об'єктів зіткнення;

F_1 та F_2 – сила деформації першого та другого об'єкта;

V_1 та V_2 – швидкості руху об'єктів до удару (зіткнення);

V_0 – спільна швидкість руху об'єктів після удару (зіткнення);

S_1 та S_2 – деформації, що виникли в результаті удару (зіткнення).

Залежність усередненого значення сповільнення від відносної швидкості руху об'єктів можна отримати з виразу (1.31). На підставі аналітичних результатів можна оцінювати деформацію тих чи інших вузлів, моделювати різні типи зіткнення автомобілів та робити висновок про безпеку транспортного засобу за такими показниками як деформація салона та деформація всього ТЗ.

Під час зіткнення автомобілів доля енергії, що витрачається на пружну деформацію, надто мала. Здебільшого вся енергія витрачається на утворення пластичної деформації. Сумою деформацій окремих елементів визначається загальна деформація, а також енергія, що поглинається при цьому автомобілем. Один з методів встановлення загальних деформацій та енергії, що поглинається, припускає поділ кузова ТЗ на окремі жорсткі маси, які

взаємодіють між собою при деформації кузова [164]. Тобто, під час зіткнення автомобіля з перешкодою його кінетична енергія поглинається автомобілем, перетворюючись в енергію пружної та пластичної деформації й кінетичну енергію окремих його частин

$$\Delta E = 0,5mV_0^2 = \sum \frac{M_i V_i^2}{2} + \sum \left(\frac{c_i}{2} f_i^2 + \frac{l_i}{2} F_i \right), \quad (1.32)$$

де m – маса автомобіля;

V_0 – швидкість автомобіля під час удару (зіткнення);

M_i – маса окремих елементів ТЗ;

V_i – початкова швидкість руху окремих елементів ТЗ;

c_i – жорсткість пружного елемента ТЗ;

f_i – деформація окремих елементів ТЗ;

F_i – сила деформації, що діє на окремі елементи.

Проблемні питання розвитку енергетичних методів аналізу аварійних ситуацій можна успішно вирішити шляхом забезпечення необхідними приладами та застосування останніх досягнень інформаційних технологій.

Труднощі застосування методів, розглянутих вище, подані в табл. 1.2 (А – імовірісно-статистичний підхід; Б – регресійний аналіз даних; В – метод фазового інтервалу; Г – логічний висновок; Д – теорія нечітких множин; Е – Енергетичні методи аналізу дорожньо-транспортних пригод; + (–) – наявність (відсутність) труднощів).

Як видно з таблиці 1.2, розглянуті методи, за виключенням теорії нечітких множин, не придатні для роботи з нечіткими (якісними) знаннями, що задаються на природній мові. Однак, саме з такими інтуїтивними або евристичними знаннями часто працюють експерти при дослідженні ДТП. Тобто, на основі досвіду кваліфікованих експертів-автотехніків можна побудувати нечіткі математичні моделі та використовувати їх в аналізі аварійних ситуацій.

Таблиця 1.2 – Обмеження математичних методів при автотехнічній експертизі ДТП

Обмеження (труднощі)	Методи					
	А	Б	В	Г	Д	Е
1. Збирання та оброблення статистичної інформації	+	+	-	-	-	+
2. Поповнення бази знань	+	+	-	-	-	+
3. Забезпечення стійкості моделі до вхідних факторів	+	+	-	-	-	+
4. Роботи з якісними параметрами	+	+	+	+	-	+
5. Врахування нечітких знань	+	+	+	+	-	+

Теорія нечітких множин донедавна розвивалася, в основному, в математичному аспекті [253]. Останнім часом появились публікації щодо застосування цієї теорії в задачах проектування та управління, які є традиційними для складних систем [240-244, 252-257]. Одна з областей, в яких нечітка логіка є загальноприйнятою технологією проектування – автомобілебудування [272, 273]. Результати аналізу математичних методів обґрунтування рішень (табл. 1.2), які зазвичай використовуються для рішення задач автотехнічної експертизи ДТП та узагальнення досвіду, накопиченого автором при розв'язанні практичних задач [1-3, 39, 48, 176] дозволяють рекомендувати до застосування логічні методи (теорію нечітких множин та лінгвістичних змінних) при дослідженні механізму виникнення аварійних ситуацій у разі відсутності способів застосування традиційних математичних методів, заснованих на визначенні точних кількісних взаємозв'язків. Даний висновок обґрунтовується ще й тим, що більшість оцінюваних (вимірюваних) параметрів носять неперервний характер. Об'єкти, що мають параметрами з такими характерними рисами, природно вивчати засобами неперервнозначних логік. В такому випадку формальний апарат та об'єкт вивчення є найбільш адекватними один одному. Отже, для аналізу аварійних ситуацій в умовах невизначеності доцільно використовувати наближені методи моделювання, засновані на неперервних (нечітких) логіках.

1.5 Невизначеність вимірювань, довідкових і експертних даних та її вплив на результати розслідування дорожньо-транспортних пригод

Прийняття рішень під час розв’язування задач автотехнічної експертизи здійснюється в умовах неповноти інформації, інакше кажучи в умовах невизначеності [86, 177-180, 185, 187, 207, 217, 218, 274-281].

В залежності від причин появи невизначеність поділяють на такі види (рис. 1.7).

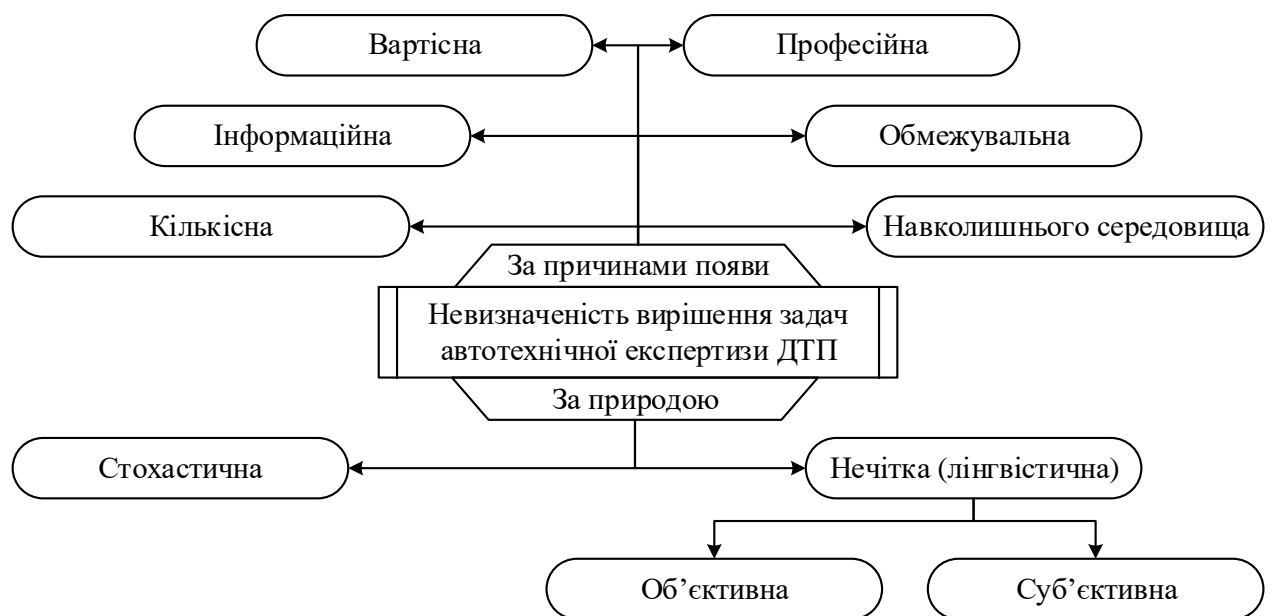


Рисунок 1.7 – Види невизначеності

Зокрема розрізняють невизначеність [214, 239-242, 244, 255, 260, 265, 270]:

- кількісну, спричинену великою кількістю елементів ситуації;
- інформаційну, спричинену неточністю інформації або її недостатністю внаслідок дії соціальних, технічних чи інших причин;
- професійну, викликану недостатнім професіоналізмом особи, що приймає рішення;
- обмежувальну, причиною якої є наявність обмежень при прийнятті рішень, наприклад обмеження в засобах, коштах, часі тощо;

- вартісну через надто дорогу чи недоступну плату за визначеність;
- зовнішнього середовища, причиною якої є реакція середовища на процес прийняття рішення.

Заразом, невизначеність може мати нечітку або стохастичну природу. В процесі прийняття рішень стохастична невизначеність з'являється під час користування даними, які мають не точні значення, а їх статистичні оцінки. Крім того, будь-якій ситуації експертного оцінювання властива нечітка невизначеність, яка може бути об'єктивною, характерною для всіх реальних величин [210-215] або суб'єктивною, характерною для природи людей в цілому, та пов'язаною зі спроможністю людини оцінювати інформацію. Суб'єктивна невизначеність спричиняється [241, 243, 251, 253, 256-259]:

- неповнотою знань експерта про властивості об'єктів;
- недостатньою впевненістю експерта в правильності своїх оцінок;
- суперечливістю знань експерта;
- нечіткістю представлення вихідної інформації;
- неоднозначністю природної мови та можливою недовизначеністю понять і термінів;
- особливостями об'єднання індивідуальних експертних оцінок тощо.

Встановлення обставин ДТП є мультидисциплінарним завданням, призначеним для реконструкції причин аварії та її перебігу. Це вимагає, крім широких знань з різних технічних напрямків, застосування навичок аналізу результатів досліджень з інших галузей природничих наук (медицина, психологія, токсикологія, судова генетика, тощо).

Оцінюванню невизначеності результатів розрахунку при реконструкції ДТП присв'ячено багато науково-дослідних робіт. Зокрема, дослідники зосереджувались на таких питаннях, як:

- дослідження ефективності методів аналізу невизначеності [274-280];
- застосування детермінованих методів встановлення невизначеності: метод екстремальних значень [173, 218, 280]; метод різниць в різних його формах [282], [283];

- застосування імовірнісних методів визначення невизначеності: байєсівський аналіз та умовна імовірність невизначеності [284-286]; аналіз гіпотез за допомогою байєсівських мереж [278, 279, 287] та коефіцієнта імовірності [288]; спрощений (Гаусс) метод [275, 277, 289]; метод, заснований на описі стохастичних процесів [274, 290, 291]; метод Монте-Карло [292-295];
- параметрична чутливість до невизначеності [283, 292, 293];
- невизначеність вимірювань, виконаних на місці ДТП [296, 297];
- планування експериментів [298-300];
- сприйняття перешкод, час реакції водія та час до зіткнення [301-304];
- невизначеність обчислення швидкості [133, 151, 181, 187, 284];
- невизначеність обчислення гальмівного шляху [132, 161, 172, 185, 296];
- невизначеність формул аналізу маневрування ТЗ [305];
- верифікація програм моделювання динаміки руху ТЗ, включаючи часткові системи (наприклад, рульове управління, привід, підвіска, ABS, ESP) [306-309];
- моделювання невизначеності зіткнення [310-312];
- невизначеність перетворення даних, записаних EDR [313];
- аналіз ДТП з точки зору їх попередження та підвищення безпеки руху [314].

Враховуючи розглянуте вище та діючі науково-методичні рекомендації щодо питань підготовки та призначення судових експертиз [81], загальна невизначеність результатів автотехнічної експертизи ДТП буде формуватися за схемою, представленою на рис. 1.8.

Спеціалістами SAE Інтернешнл, Інституту судових експертиз в Кракові та науковцями Варшавського технологічного університету були проведені дослідження можливості застосування методів оцінювання невизначеності для математичних моделей, що використовуються для аналізу аварійних ситуацій (табл. 1.3). Як видно з цієї таблиці, найбільш універсальним і доцільним для застосування є метод екстремальних значень.

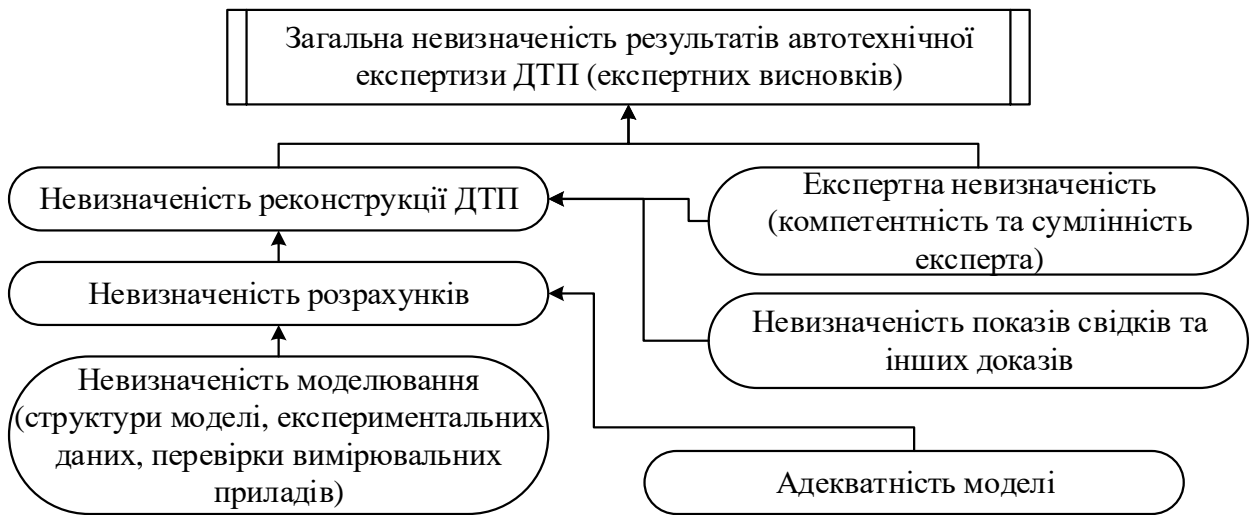


Рисунок 1.8 – Схема формування невизначеності в структурі рішення задач автотехнічної експертизи ДТП

Таблиця 1.3 – Можливості застосування методів оцінювання невизначеності при експертизі ДТП [274, 275, 277, 278, 280]

Методи		Вид математичної моделі	
		Аналітична	Імітаційна
Детерміновані	Екстремальних значень	+	+
	Різниць	+	–
Імовірнісні	Гаусса	+	–
	Опису стохастичних процесів	+/-	+/-
	Монте-Карло	+	+/-
«+» – легко застосувати; «+/-» – наявні труднощі; «-» – неможливо застосувати			

Відповідно до методу екстремальних значень [218, 277], похибку отриманих результатів (коефіцієнт величини розкиду значень розрахункового параметра), яка пов'язана з неможливістю у певному випадку визначити точну величину досліджуваного параметра, можна визначити виходячи з рівняння

$$kP = \frac{P_{\max}}{P_{\min}}, \quad (1.33)$$

де P_{\max} , P_{\min} – відповідно максимальне та мінімальне значення досліджуваного параметра в прийнятому діапазоні значень.

Тоді в якості критерію оцінювання невизначеності можна застосувати коефіцієнт, який характеризує зменшення розкиду значень досліджуваного параметра. Так, наприклад, ним може бути початкова швидкість руху автомобіля, величина його зупинного шляху, величина відхилення траєкторії автомобіля від початкового напрямку руху тощо) [173, 218]:

$$K_R = \frac{P_{\max}^1 \cdot P_{\min}^2}{P_{\min}^1 \cdot P_{\max}^2}, \quad (1.34)$$

де $P_{\max(\min)}^1$, $R_{\max(\min)}^2$ – відповідно максимальне та мінімальне значення досліджуваного параметра без врахування (1) та з врахуванням (2) додаткового фактору.

Усі методи, які застосовуються при аналізі аварійних ситуацій, можна поділити на дві основні групи [83, 89]:

- ті, що використовують математичні моделі системи ВАДС;
- ті, що встановлюють параметри руху ТЗ на основі записів бортових реєстраторів даних про події.

При використанні математичних моделей системи ВАДС невизначеність залежить від точності визначення вхідних параметрів та прийнятої структури моделі, яка є лише наближенням реальності. При використанні записів бортових реєстраторів даних про події, невизначеність може бути результатом помилок вимірювання значень, що характеризують рух автомобіля та помилок в результаті обробки записаних даних.

В даний час основним методом аналізу ДТП є аналіз за допомогою математичних моделей системи ВАДС [88, 151, 155, 159, 314]. При цьому застосовуються різні обчислювальні моделі: аналітичні та імітаційні, рівень складності яких може впливати на невизначеність результатів аналізу.

Вплив невизначеності вимірювань, довідкових і експертних даних (Додаток Б) на результати розслідування дорожньо-транспортних пригод розглянемо на конкретному прикладі.

В практиці експертизи ДТП визначення показників повороту та ефективності гальмування прийнято оцінювати за виразами [83-89, 173, 305]:

$$Y = \frac{\varphi \cdot g \cdot X^2}{6 \cdot k_m \cdot V_a^2}, \quad (1.35)$$

$$S_0 = (t_1 + t_2 + 0,5t_3)V_a + \frac{V_a^2}{2g\varphi}, \quad (1.36)$$

де V_a – швидкість руху автомобіля;

Y – переміщення автомобіля в бік, перпендикулярно напрямку руху;

X – переміщення автомобіля в напрямку початкового руху;

φ – коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою;

k_m – коефіцієнт корегування маневру;

g – прискорення вільного падіння;

S_0 – зупинний шлях автомобіля;

t_1 – час реакції водія на дорожню ситуацію;

t_2 – час спрацьовування гальмівної системи ТЗ;

t_3 – час наростання сповільнення ТЗ.

Проаналізуємо вплив невизначеності значень двох головних параметрів, які враховуються під час визначення ефективності гальмування автомобіля: коефіцієнта зчеплення коліс автомобіля з дорогою та часу реакції водія.

Час реакції водія є об'єктом вивчення психологів, фізіологів та інженерів. Існує проста і складна реакція людини [86, 115]. Відгук випробовуваного на одиничний сигнал (звуковий, світловий тощо) є простою реакцією, яка характеризує в основному швидкість передачі сигналів в його нервовій

системі. Оцінювання простої реакції, як правило, здійснюється з метою визначення професійної придатності людини – пілота літака, водія автомобіля тощо. Складна реакція супроводжується вибором людиною способу реагування як відповіді на наявну сукупність подразників та умов їх виникнення. Час складної реакції викликає інтерес при розслідуванні ДТП, оскільки він у певного водія не може бути постійним.

Час реакції визначається інтервалом часу, який починається з появою подразника у полі зору водія та закінчується початком дії на органи керування ТЗ (кермо, важелі зчеплення, гальма, газу). Цей час залежить від багатьох факторів, таких як досвід і професійна підготовка водія, його вік; швидкість руху ТЗ; умови руху ТЗ; інтенсивність інформаційного навантаження; індивідуальні особливості водія, тривалість робочої зміни тощо.

Розрізняють моторний та латентний періоди часу реакції [157, 159, 302]. Латентний період є прихованим. Він характеризує час, потрібний водієві для усвідомлення ДТП і прийняття рішення для початку моторної реакції. Моторний період зазвичай триває на порядок менше латентного. Він вимірюється з моменту закінчення латентного періоду і до початку дії на орган керування автомобілем. Тільки при мінімальних значеннях часу реакції моторний період може бути порівнянний з латентним. Наприклад, для ТЗ середнього класу моторний період складає $(0,16 + 0,08)$ с.

Вивчення робіт присвячених дослідженню часу реакції людини показує, що він змінюється в широких межах, однак під час вибору значень часу реакції для розрахунків ефективності гальмування ТЗ слідчий, експерт чи суддя використовують довідкові таблиці даних, які містять фіксовані значення, що відповідають певній ДТП [140, 145, 301-304]. Табличні дані містять діапазон часу реакції в інтервалі значень від 0,3 до 1,4 с. Наприклад, для ДТП, що свідчила про велику імовірність виникнення ДТП, в таблиці вказано час реакції 0,8 с; для ДТП, коли на дорозі несподівано з'являється пішохід – 1,2 с. В обох випадках ці значення реакції водія є середніми, вони не несуть інформацію про невизначеність часу реакції окремого водія чи усієї

сукупності водіїв. Для формування об'єктивного експертного висновку важливо оцінити величину невизначеності та її вплив на достовірність результатів дослідження. Якщо уявити собі, що для певної ДТС час реакції водія, що попав у ДТП, був вказаний не точно 1,2 с, а з врахуванням невизначеності – $(1,2 \pm 0,4)$ с. В цьому випадку при швидкості 25 м/с (90 км/год), враховуючи задані значення часу реакції, відстань, пройдену ТЗ в першому випадку було б оцінено в 30 м. Для другого випадку вона б складала (30 ± 10) м, тобто знаходилась би в діапазоні значень від 20 до 40 м.

В наведеному прикладі було прийнято розсіяння часу реакції в 33,3% ($\pm 0,4$ с). Виникає питання, чи може бути таким фактичне розсіяння? Для відповіді на поставлене питання, наведемо результати ряду експериментів з дослідження часу реакції людини.

Спортивними психологами були виконані дослідження, які показали, що час простої реакції у різних спортсменів, які займаються однаковим видом спорту, має суттєву різницю [207]. Так середній час реакції на світловий сигнал у 178 чоловіків віком 17-35 років складає 0,289 секунд. Найменше значення часу реакції дорівнювало 0,190 с, а найбільше – 0,476 с. Максимальне відхилення від середнього значення було рівним 65%. Результати виконаних багаторазових вимірювань часу реакції у двох спортсменів-професіоналів (майстрів спорту) в однакових умовах показали, що усереднені значення цього показника близькі між собою – 0,208 с та 0,193 с. Відмінність результатів окремих вимірювань від середнього показника у одного спортсмена складала майже 35%, а у іншого не перевищувала 20%. Аналіз впливу різних факторів на реакцію водіїв в реальному транспортному потоці при різній інтенсивності руху показав, що час реакції у водія знаходиться в залежності від його можливості прогнозування появи сигналів небезпеки. Він змінюється в широких межах (0,4-2,3 с для двосмугових доріг та 0,5-2,6 с для багатосмугових доріг). Вагомий вплив на здатність виявити сигнал небезпеки здійснює положення сигналу у полі зору водія, що пояснюється необхідністю фіксації водієм великої кількості об'єктів за допомогою периферійного зору.

При цьому здатність виявлення і пізнання об'єкту знаходиться в прямій залежності від колірних та світлових характеристик фону та об'єкту розрізнення. Наприклад, яскраве світло ліхтаря може сприйматися при відхиленні від центру поля зору по горизонталі до 50° . Об'єкти з малою контрастністю можуть бути не виявленими при відхиленні поля зору від центру всього на 30° . Було встановлено, що існує суттєва різниця у часі реакції на несподівані та очікувані сигнали: зменшується середнє значення часу реакції та його розсіяння.

Рух у колоні спричиняє підвищену напругу водія і намагання прогнозувати поведінку лідера. Це особливо проявляється в дуже щільних транспортних потоках, які сприяють малій відстані між ТЗ. Збільшення дистанції між ТЗ сприяє зменшенню напруженості роботи водія та збільшенню часу реакції і його розсіювання. Наприклад, у водія ТЗ, що слідує за лідером з дистанцією близько 15 м, час реакції складав $(0,6 + 0,2)$ с з імовірністю 0,95. При збільшенні дистанції до 70 м усереднені показники часу реакції та його розсіяння збільшувались до $(1,2 + 0,4)$ с, тобто удвічі.

Стомлення людини, що наростає впродовж робочого дня, істотно впливає на швидкість реакції та знижує працездатність. Існує два види стомлення: психологічне та фізіологічне. Психологічне стомлення обумовлене перевантаженістю нервової системи, фізіологічне є результатом впливу продуктів розкладання речовин в організмі на нервову систему людини. В результаті спільної дії обох видів стомлення час реакції змінюється. Спочатку роботи час реакції зменшується, далі спостерігається період стабілізації його показників, а потім із ростом стомлення зростають показники часу реакції та його розсіяння. Збільшення інтенсивності руху також сприяє появі стомлення та росту часу реакції водія. Підрахунки показують, що тільки за рахунок стомлення водія невизначеність часу його реакції зростає на 25-30%.

Отже, результати експериментальних досліджень показують велику мінливість групового та індивідуального часу реакції людей навіть в однакових умовах. Це викликає сумнів в достовірності прийнятого експертом

табличного значення часу реакції, тому що існує багато причин, які відхиляють дійсний час реакції від табличних значень.

Досить часто для розрахунку параметрів руху ТЗ використовуються дані прийняті в 70-80 роках ХХ століття [83-86, 135, 139, 142, 144] значення яких наведені в табл. 1.4. Заразом, в цій таблиці подані дані, отримані закордонними та вітчизняними спеціалістами за останні 20 років [84, 88, 89, 118, 125, 127, 128, 150, 151, 157-159, 172, 173, 184, 185, 187, 197]. Значення коефіцієнта зчеплення коліс ТЗ з дорожнім покриттям відповідають швидкості 11,1 м/с. Збільшення швидкості руху ТЗ на зношених шинах або по брудних покриттях, призводить до різкого зниження коефіцієнта зчеплення.

Таблиця 1.4 – Результати вимірювання значень коефіцієнтів зчеплення для різних умов експлуатації

Вид покриття		Сухий асфальт	Мокрий асфальт	Сніг	Лід
Тип шин					
Рекомендовані значення для визначення показників гальмування ТЗ		0.70-0.80	0.40-0.60	0.20-0.40	0.05-0.10
Літні	без АБС	0.65-0.88	0.51-0.75	0.22-0.34	0.06-0.08
	з АБС	0.78-1.07	0.56-0.85	0.26-0.37	0.07-0.1
Всесезонні	без АБС	0.65-0.80	0.46-0.71	0.29-0.41	0.08-0.12
	з АБС	0.68-0.89	0.52-0.77	0.33-0.45	0.09-0.14
Позашляхові	без АБС	0.59-0.78	0.53-0.72	0.18-0.42	0.07-0.15
	з АБС	0.72-0.86	0.57-0.82	0.20-0.45	0.09-0.20
Зимні без шипів	без АБС	0.60-0.86	0.48-0.65	0.33-0.46	0.09-0.19
	з АБС	0.67-0.95	0.51-0.90	0.33-0.50	0.12-0.21
Зимні з шипами	без АБС	0.56-0.83	0.45-0.57	0.22-0.50	0.10-0.26
	з АБС	0.52-0.74	0.60-0.97	0.36-0.54	0.10-0.28
Усі типи шин	без АБС	0.56-0.88	0.45-0.75	0.18-0.50	0.06-0.26
	з АБС	0.52-1.07	0.51-0.97	0.20-0.54	0.07-0.28

Наведені у табл. 1.4 показники свідчать про застарілість рекомендованих значень, оскільки за останні десятиліття дещо змістились та розширились можливі інтервали зміни значень коефіцієнта зчеплення. Виконані розрахунки показують, що імовірність попадання можливих значень коефіцієнта зчеплення в рекомендований раніше діапазон дорівнює 43%-86%.

Результати аналізу розрахункових даних з визначення похибки встановлення величини зупинного шляху в залежності від коефіцієнта зчеплення та швидкості руху ТЗ подані на рисунках 1.9, 1.10, а відносної різниці розрахунку значень відхилення ТЗ в напрямку перпендикулярному початковому напрямку руху на рисунку 1.11. З даних рисунків видно, що при розрахунку зупинного шляху за діючою методикою мінімальна різниця між найбільшим та найменшим значеннями складає 20%, а максимальна різниця для випадку екстреного гальмування на льоду складає 316%. Якщо прийняти рекомендовану залежність за еталонну можна виявити резерви підвищення точності моделювання при уточненні вихідних даних та самої класичної залежності.

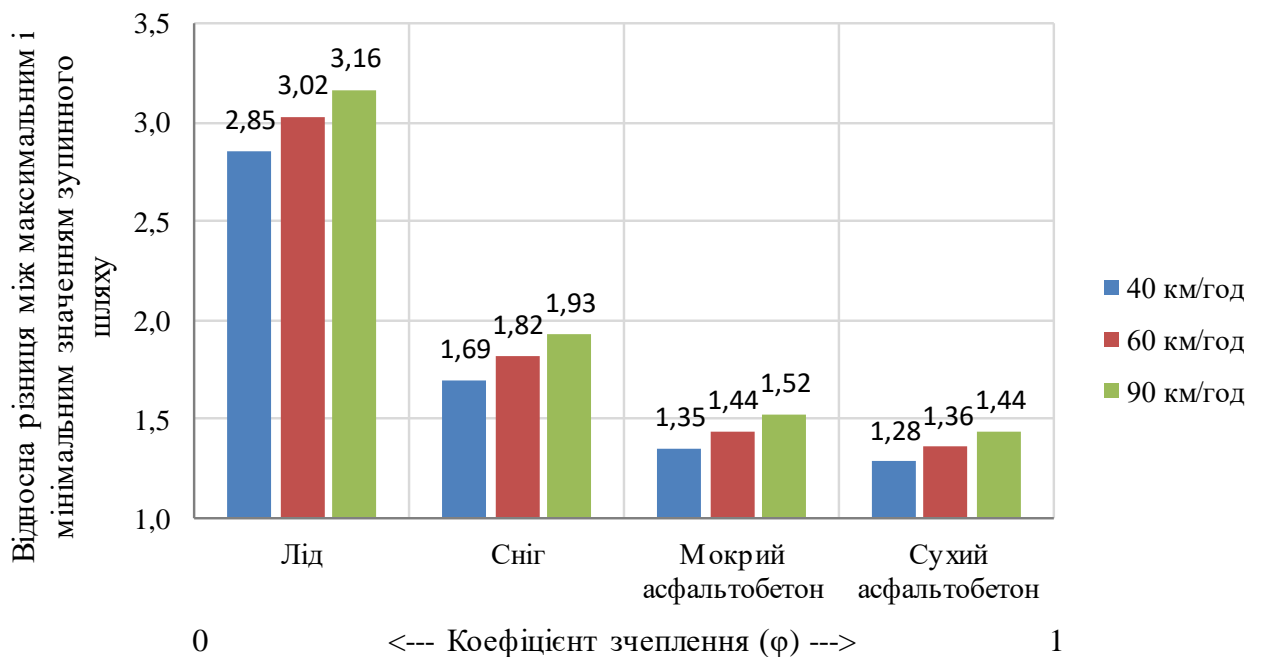


Рисунок 1.9 – Зміна похибки розрахунку зупинного шляху ТЗ

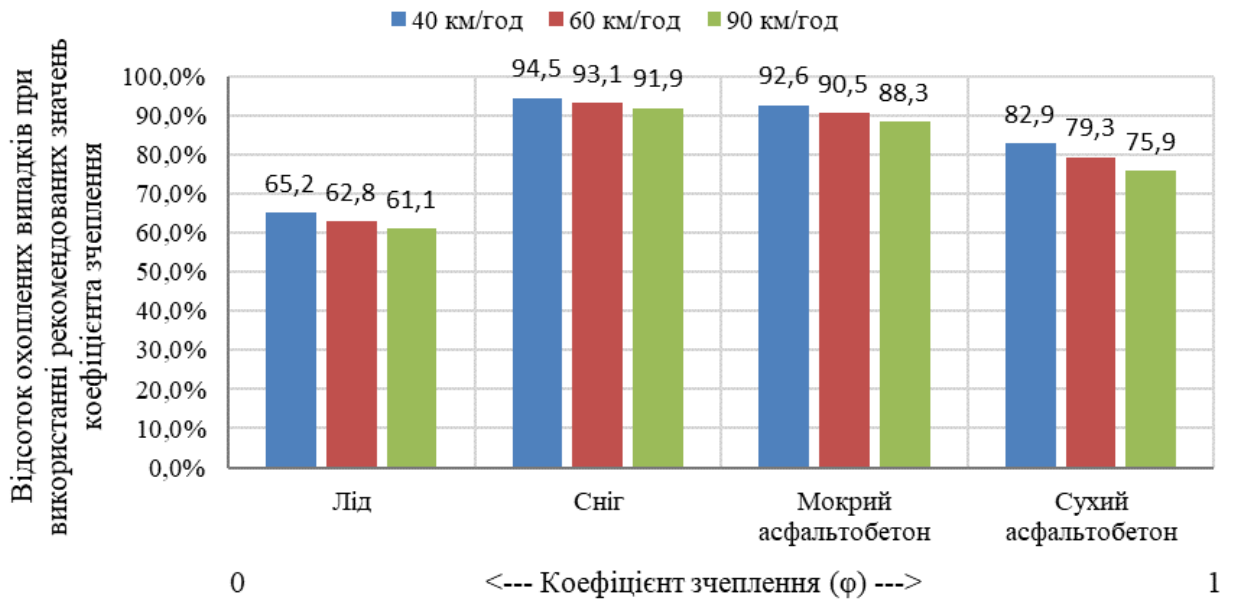


Рисунок 1.10 – Відсоток охоплених випадків при розрахунку зупиночного шляху ТЗ за рекомендованими значеннями коефіцієнта зчеплення

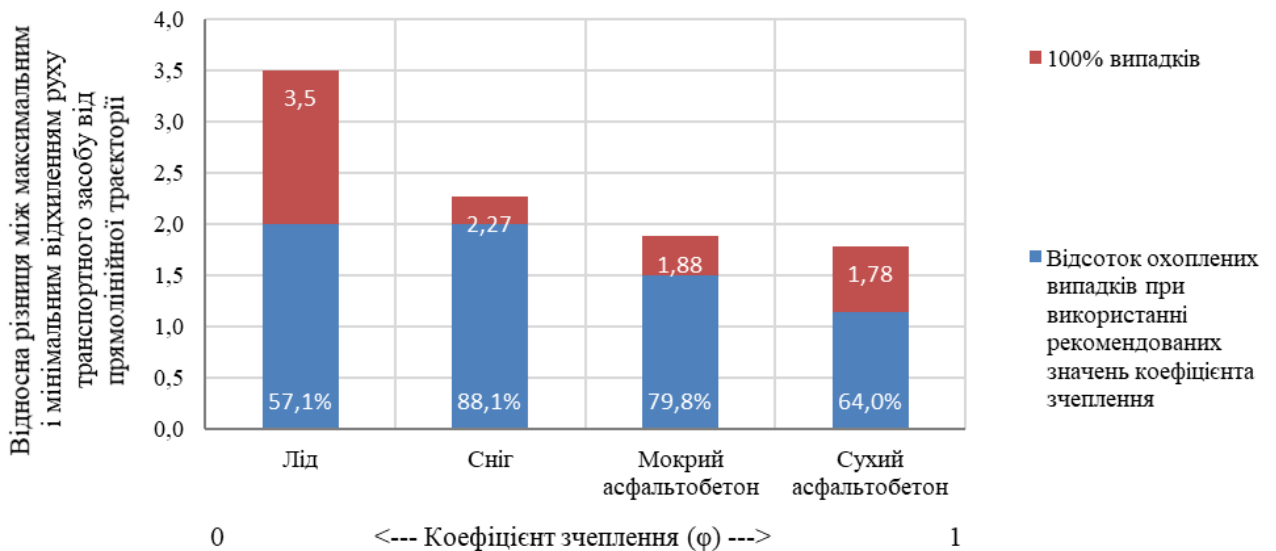


Рисунок 1.11 – Відносна різниця розрахунку значень відхилення ТЗ в напрямку перпендикулярному початковому напрямку руху

Так врахування наявності чи відсутності ABS на досліджуваному ТЗ дозволяє зменшити діапазон можливих значень величини зупинного шляху на 7-12%, а відхилення транспортного засобу в напрямку перпендикулярному

початковому напрямку руху на 12-21%. Врахування типу шин, встановлених на ТЗ, для випадку взаємодії із дорогою покритою ожеледицею або засніженою дорогою підвищує точність розрахунків зупинного шляху на 32-41%, а відхилення ТЗ в напрямку перпендикулярному початковому напрямку руху на 11-43%.

Слід відзначити суттєву залежність коефіцієнта зчеплення від швидкості руху транспортного засобу, бокового відведення коліс, температури та тиску в шинах, зношеності шин, товщини водяної плівки на поверхні дорожнього покриття, багатьох інших факторів. Так, в експериментальних дослідженнях зчіпних властивостей автомобільних шин на асфальтобетонному покритті коефіцієнт зчеплення при швидкості руху ТЗ 10 км/год дорівнював 0.65, а при швидкості руху ТЗ 100 км/год – 0.34 [207].

Отже, все сказане підтверджує припущення про ненадійність табличних довідкових даних та необхідність проведення поглиблених досліджень невизначеності вихідних даних, які використовуються для рішення задач автотехнічної експертизи ДТП.

Висновки до розділу 1

1. Високий рівень травматизму і смертності на дорогах є проблемою, яка притаманна міжнародному суспільству в цілому та Україні зокрема. Сучасний стан аварійності потребує створення рекомендацій та формування заходів щодо підвищення безпеки дорожнього руху, поглибленого вивчення умов та причин ДТП, з врахуванням затвердженого переліку завдань автотехнічної експертизи.

2. З метою підвищення якості розслідування обставин ДТП та досягнення об'єктивного висновку під час слідства і суду Міністерством юстиції України затверджені науково-методичні рекомендації щодо підготовки та призначення судових експертиз та виконання експертних досліджень, які передбачають перелік основних питань з автотехнічної експертизи. Відповіді на ці питання

визначаються за формулами, відомими з теорії експлуатаційних властивостей ТЗ. При цьому розрахунок параметрів руху транспортних засобів при автотехнічній експертизі виконується без оцінювання похибки одержуваних результатів, що не задовольняє вимоги Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність». Це визначає актуальність удосконалення методів розв'язування задач автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод.

3. У відомих джерелах недостатньо досліджені технології оптимізації вибору початкових даних та методик інженерного розрахунку параметрів руху учасників ДТП з метою мінімізації впливу невизначеності на результати автотехнічної експертизи. Потребують уточнення параметри і коефіцієнти, на основі яких експерт проводить дослідження, виконує розрахунки та формує експертний висновок.

4. На даний час система автотехнічної експертизи ДТП має, з погляду вимог автоматизації та системних вимог, багато недоліків: несистемний розвиток діючих методик експертного дослідження, його інформаційного, математичного та інших видів забезпечення; відсутність необхідної наукової теорії аналізу складно формалізованих видів ДТП, пов'язаних з рухом ТЗ в екстремальних умовах; відставання рівня автоматизації існуючої системи автотехнічної експертизи від рівня розвитку електронно-обчислювальної техніки; недостатня якість кваліфікаційної підготовки фахівців щодо системного сприйняття ДТП на усіх стадіях їх дослідження. Універсальним засобом усунення вказаних вище недоліків є методологія системного аналізу.

5. Аналіз використання математичних методів в практиці автотехнічної експертизи 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 і реконструкції обставин виникнення аварійних ситуацій в умовах невизначеності.

6. Прийняття рішень під час розв'язування задач автотехнічної експертизи здійснюється в умовах неповноти інформації, інакше кажучи в умовах невизначеності, яка має стохастичну та нечітку природу. Врахування невизначеності вимірювань, довідкових і експертних даних суттєво впливає на результати розслідування ДТП. Найбільш універсальним і простим для оцінювання невизначеності при експертизі ДТП є метод екстремальних значень.

Результати досліджень, наведені в розділі 1, опубліковані в роботах [1, 6, 7, 16, 23, 29, 36-40, 46, 48, 51, 54, 55, 62-64].

РОЗДІЛ 2

КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ОЦІНЮВАННЯ ТА ВИБОРУ СПОСОБУ ЗМЕНШЕННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ В ЗАДАЧАХ АВТОТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД

2.1 Методологічні основи досліджень

Дана робота базується на використанні теоретичного та емпіричного рівнів пізнання з метою отримання нових знань про предмет дослідження. Концепція, що розроблюється, містить способи оцінювання та зменшення невизначеності параметрів, які впливають на прийняття рішень при розслідуванні ДТП, визначені на основі систематизації та корегування отриманих і відомих знань. Для формування висновків використовуються емпіричні дані, встановлені шляхом спостереження та вимірювання. Фундаментальною основою виконаного наукового дослідження є пошуковий експеримент з оцінки процесів функціонування системи ВАДС в розслідуванні дорожньо-транспортних пригод. На основі сформованої наукової гіпотези та розроблених теоретичних положень було отримано математичні моделі предмета дослідження та висвітлено досліджувані процеси, визначені шляхи підвищення точності та об'єктивності автотехнічної експертизи ДТП і методи їх реалізації. Результати прогнозування, що базуються на систематизації отриманих даних, перевірялись багатофакторним експериментом.

Невіддільною частиною розробки концепції є виключення суб'єктивності пояснення результатів, що передбачає несприйняття на віру неперевіраних тверджень. Забезпечення належного ступеня адекватності (валідності) результатів досліджень здійснювалось шляхом документування виконаних вимірювань і спостережень, що створює умови для критичної оцінки та додаткового підтвердження (у разі необхідності) отриманих наукових положень (рис. 2.1).

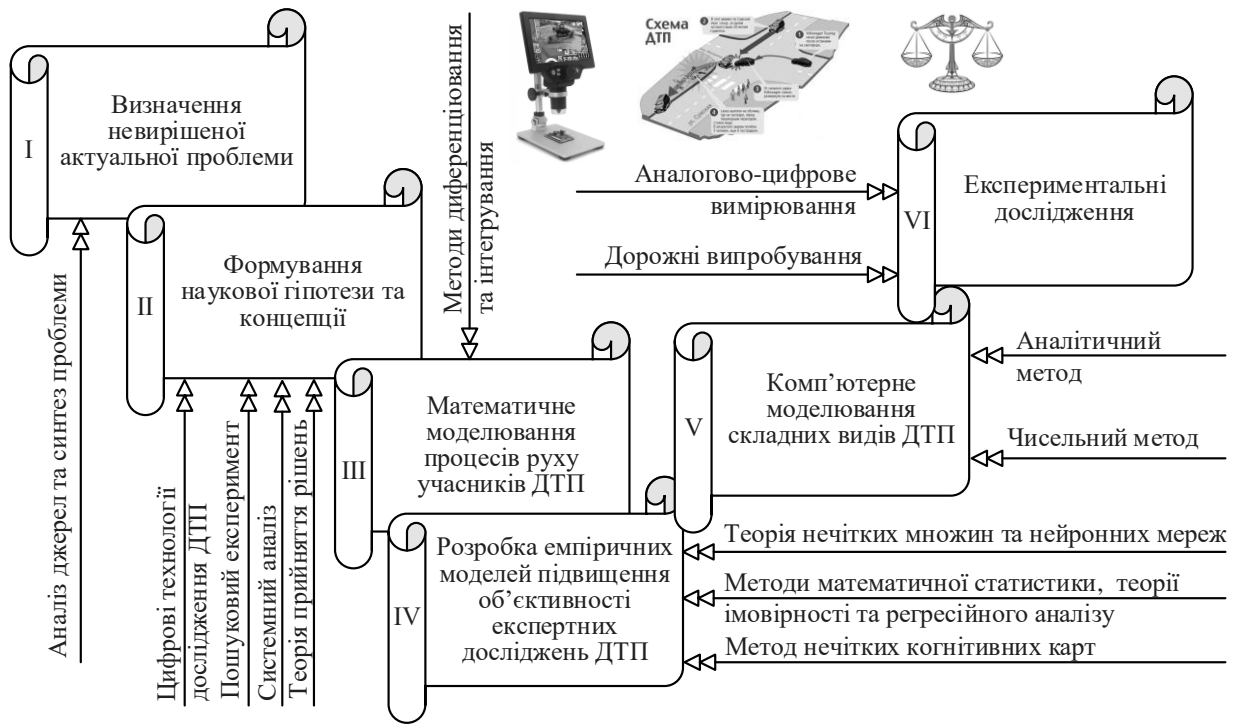


Рисунок 2.1 – Етапи наукового дослідження

Прийняття рішень в автотехнічній експертизі ДТП відбувається в умовах невизначеності, які характеризуються недостатньою кількістю інформації для раціональної організації дій. Якість процесу напрацювання рішень залежить від достатності врахування всіх факторів, які впливають на результат прийнятих рішень. Невизначеність можна ліквідувати повністю або частково такими шляхами: набуттям інформації, якої не вистачає; поглибленим вивченням наявної інформації.

Точність встановлення обставин ДТП залежить від прийнятого діапазону значень параметрів, які описують певну дорожньо-транспортну ситуацію. Зміни значень цих параметрів впливають на результати аналізу ДТП. Виникає питання, з якою точністю ми можемо визначити значення, важливі для встановлення обставин ДТП, і наскільки задані параметри є достовірними. Це питання схематично представлено на рисунку 2.2.

Якщо не враховувати помилки в оцінці параметрів, то з набором даних VD (різні множини вхідних даних можуть існувати для даної ДТС, наприклад,

VD_1, VD_2, \dots, VDN_v) та обраною експертом розрахунковою моделлю ДТП RM можна отримати експертизу VE_j . Експертний висновок може змінюватись, залежно від прийнятого набору даних VD та застосованого методу аналізу RM .

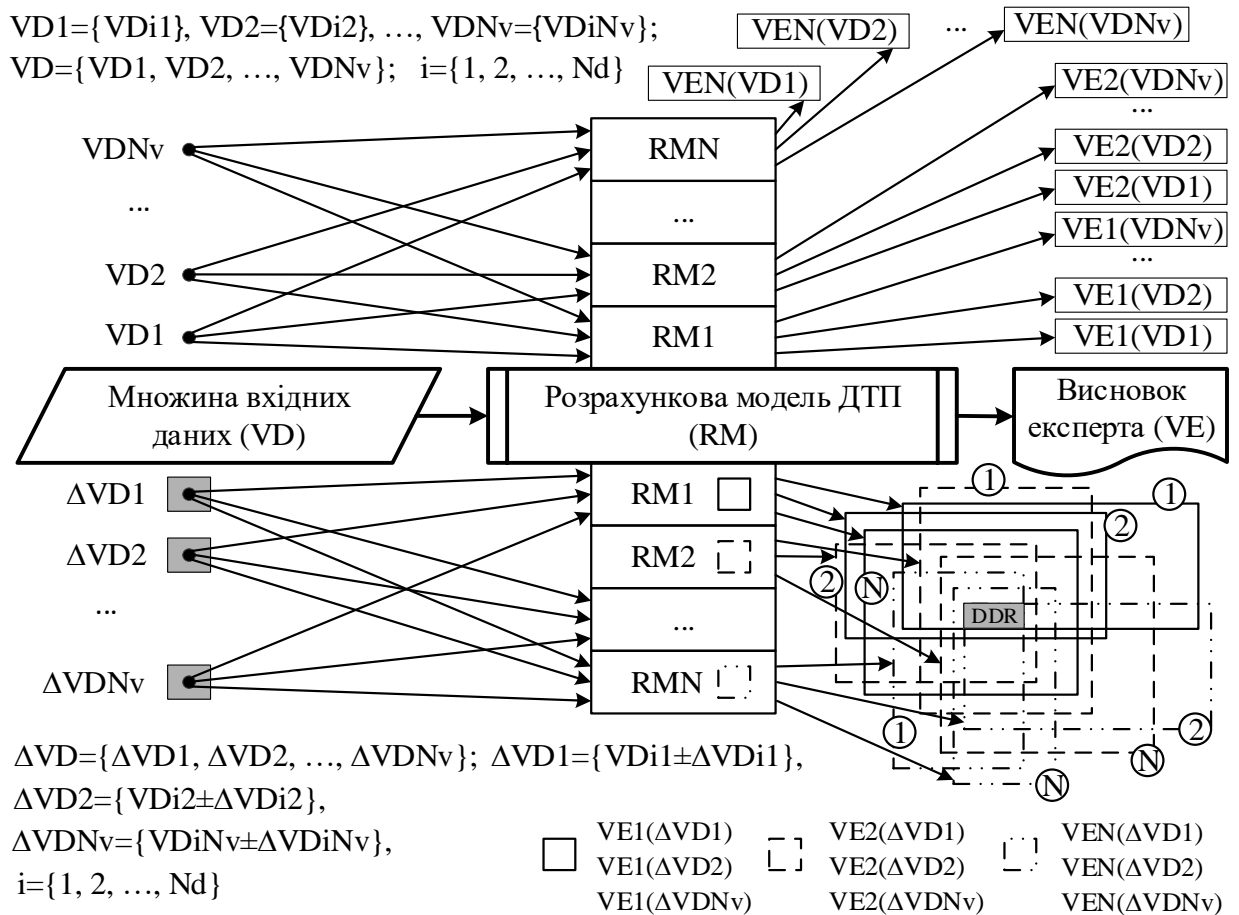


Рисунок 2.2 – Залежність варіацій результатів встановлення обставин ДТП від врахування невизначеності аналізованих даних

Врахування невизначеності значень вихідних даних призводить до розширення діапазону початкових параметрів ΔVD та перетворення розрахункового кола результатів експертизи $VE(\Delta VD)$ у величезний (але обмежений) діапазон результатів. Він може бути представлений 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 точки зору суду, з припущенням про рівноправне ставлення до всіх експертних питань: найбільш достовірним діапазоном рішень (DDR) може бути перетин усіх діапазонів рішень (див. рис. 2.2).

Аналіз методів прийняття рішень в практиці автотехнічної експертизи ДТП (п. 1.4) показав необхідність застосування методик заснованих на традиційних математичних методах в поєднанні з використанням неперервних (неперервнозначних) логік для моделювання і реконструкції обставин виникнення аварійних ситуацій та зменшення невизначеності результатів експертизи. Тому в роботі застосовуються декілька типів моделей підвищення об'єктивності експертних досліджень ДТП: детерміновані, нейро-нечіткі, стохастичні, синтез цих моделей.

Необхідність застосування теорії нечітких множин або теорії імовірності виникає при відсутності можливості описати детерміноване поведіння об'єкта. Виникає питання, які математичні моделі аналізу причинно-наслідкових зв'язків і в яких випадках правильно застосовувати?

Очевидно, що у випадку роботи лише з детермінованими величинами, які підлягають функціональним залежностям, доцільно використовувати детерміновані математичні моделі.

У разі існування джерел виникнення випадкових величин (статистичної невизначеності) – впливу великої кількості факторів на досліджуваний об'єкт, які не враховуються моделлю, або наявності похибки вимірювань детермінованої величини, виникає необхідність застосування стохастичних моделей. Випадковий характер параметрів об'єкта в стохастичних моделях враховується шляхом встановлення математичного сподівання цих параметрів, дисперсії і закону розподілу, на основі якого формується математична модель і перевіряється гіпотеза. Тип випадкової величини (дискретна чи неперервна) визначає можливі рішення статистичної задачі. Для дискретних випадкових величин основними законами розподілу є біноміальний (розподіл Бернуллі), розподіл Пуассона, геометричний та гіпергеометричний. Для неперервних випадкових величин основними

законами розподілу є нормальний (Гаусса), закон рівномірної щільності, показниковий (експоненційний) закон, закон розподілу Вейбулла. Можливі чотири випадки прийняття гіпотез щодо належності статистичних даних до певного імовірнісного закону розподілу: гіпотеза вірна і приймається; гіпотеза вірна, але помилково відхиляється (помилка першого роду, імовірність появи якої називають рівнем значущості); гіпотеза невірна і відхиляється; гіпотеза невірна, але помилково приймається (помилка другого роду). Перевірка гіпотез виконується шляхом аналізу статистичних даних і винесення попереднього судження про їх приналежність до конкретного імовірнісного закону та подальшого оцінювання правдоподібності винесеного судження.

У разі існування джерел виникнення нечіткої (лінгвістичної) невизначеності, що унеможливають чи викликають значні труднощі для застосування детермінованих і стохастичних моделей, виникає необхідність застосування теорії нечітких множин, яка описує процеси на основі законів розподілу можливостей. В сполученні з теорією нейронних мереж це дозволяє створювати нейро-нечіткі математичні моделі здатні до самонавчання на основі накопиченого досвіду (експериментальних даних). Нечіткі множини є узагальненням булевої алгебри. Побудова моделей на нечітких множинах базується на використанні метода ідентифікації нелінійних об'єктів нечіткими базами знань та принципів лінгвістичності розв'язку та факторів впливу, лінгвістичності та ієрархічності експертних знань. Етапи побудови моделей: 1) структурна ідентифікація; 2) параметрична ідентифікація. Структура моделі об'єкта дослідження формується на першому етапі. Базовою основою структурної ідентифікації є експертна інформація, задана у вигляді правил нечіткого логічного висновку «якщо–то». На цьому етапі також обирається форма функцій належності нечітких термів вхідних параметрів. На другому етапі виконується оптимізація нечіткої моделі на основі експериментальних даних «входи-вихід» (навчаючої вибірки). Керованими змінними, що підлягають оптимізації, є параметри форми функцій належності та коефіцієнти вагомості нечітких правил. Процес навчання (оптимізації) моделі забезпечує

максимальну наближеність результатів моделювання та експериментальних даних.

Стохастичні та нечіткі моделі дозволяють приймати рішення в умовах невизначеності, але мають різну природу побудови та опису реальних об'єктів. Функція належності (μ), яка формалізує невизначеність в теорії нечітких множин, не має нічого спільного із законом розподілу в теорії імовірності, оскільки висока ступінь можливості ніяк не означає таку ж високу ступінь імовірності. Але безперечно єдине: якщо подія неможлива, то вона також і неймовірна. Найбільш принциповою різницею між теорією імовірності і теорією можливості (табл. 2.1) є те, що в цих теоріях по-різному виконується аксіома доповнення. Це потребує обережності та акуратності у формалізації аналогій: математичне сподівання – «центр ваги» функції належності, дисперсія (надійний інтервал) – ступінь «розмитості» функції належності.

Таблиця 2.1 – Взаємовідносини між теоріями

Характеристика/Теорія	Булева алгебра	Імовірність	Можливість
Область дії	Логічні твердження	σ -алгебра	Універсум U
Діапазон значень належності	[0, 1]	[0, 1]	[0, 1] або $0 < \mu < \infty$
Спеціальні обмеження	–	$\sum_{\Omega} P(u) = 1$	–
Об'єднання (диз'юнкція)	max	Σ	max
Перетин (кон'юнкція)	min	Π	min
Доповнення	–	$P(A) + P(\bar{A}) = 1$	$\pi(A) + \pi(\bar{A}) \neq 1$

Концепція дисертаційного дослідження полягає у тому, що процес напрацювання рішень в автотехнічній експертизі ДТП потрібно розглядати не лише як детермінований, але і як нечіткий та стохастичний процес, який потребує застосування синтезованих детермінованих, імовірнісних, регресійних та нейро-нечітких моделей з метою врахування більшості

факторів, що впливають на величину невизначеності при формуванні експертних висновків.

Максимальну точність рішення будь-якої задачі забезпечує аналітичний метод. У разі неможливості застосувати цей метод при рішенні певної задачі, необхідно зробити припущення для спрощення процесу дослідження, або застосувати інші математичні методи: чисельні, асимптотичні, статистичні, бульові, нечітких множин, нейронних мереж тощо. Дослідження та підтвердження наукових гіпотез у дисертаційній роботі базувалось на використанні системного підходу. При визначенні наукової проблеми на основі вивчення робіт попередніх дослідників використано методи аналізу та синтезу. Достовірність та точність результатів автотехнічної експертизи ДТП підвищується шляхом використання методів обробки результатів вимірювань та обчислення похибок вихідних матеріалів, методів 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, відстані видимості об'єктів при русі автомобіля в темну пору доби та швидкості руху пішоходів застосовані методи теорії нечітких множин та нейронних мереж. При розробці математичних моделей оцінювання часу сенсомоторної реакції водія та емпіричних моделей оцінки ефективності гальмування ТЗ використано методи математичної статистики, теорії імовірності та регресійного аналізу. Для розробки та рішення детермінованих математичних моделей з оцінки 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.

Розвиток сучасних методів автотехнічних досліджень ДТП пов'язаний з використанням цифрових технологій на всіх етапах експертного дослідження (рис. 2.3).

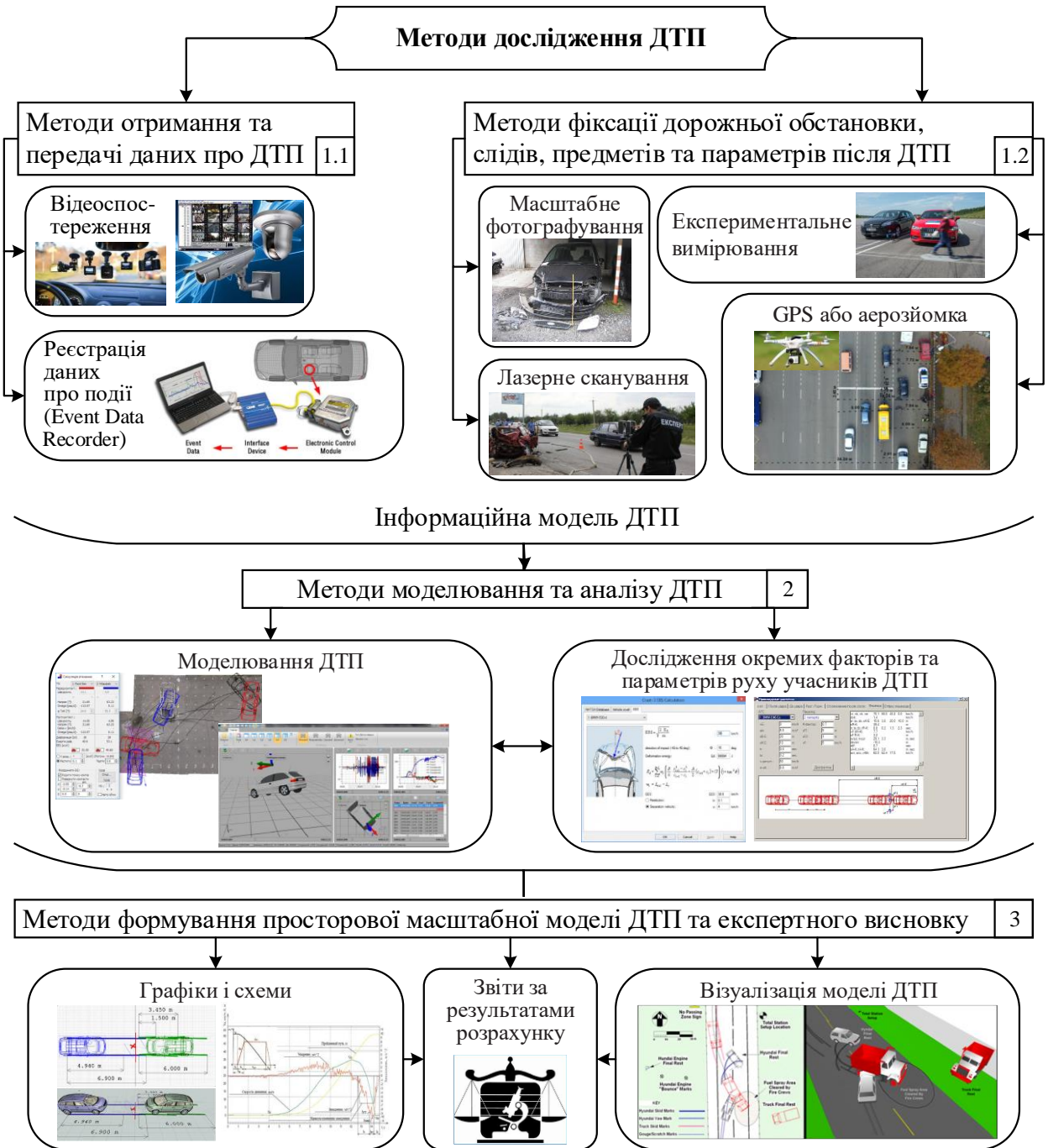


Рисунок 2.3 – Сучасні методи дослідження ДТП та порядок їх застосування

Отже, методологія оцінювання та зменшення невизначеності в задачах автотехнічної експертизи ДТП, яка запропонована у даній дисертаційній роботі, поєднує в собі теоретичні методи математичного моделювання, що спрямовані на підвищення точності визначення довідкових та розрахункових параметрів, та сучасні експериментальні методи дослідження ДТП, які передбачають використання новітніх цифрових технологій отримання та передачі інформації. Можливість застосування сучасних методів при дослідженні ДТП вивчалася за підтримки фахівців Харківського, Вінницького та Житомирського НДЕКЦ МВС України.

2.2 Методи зменшення невизначеності довідкових та розрахункових параметрів, що використовуються в задачах автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод

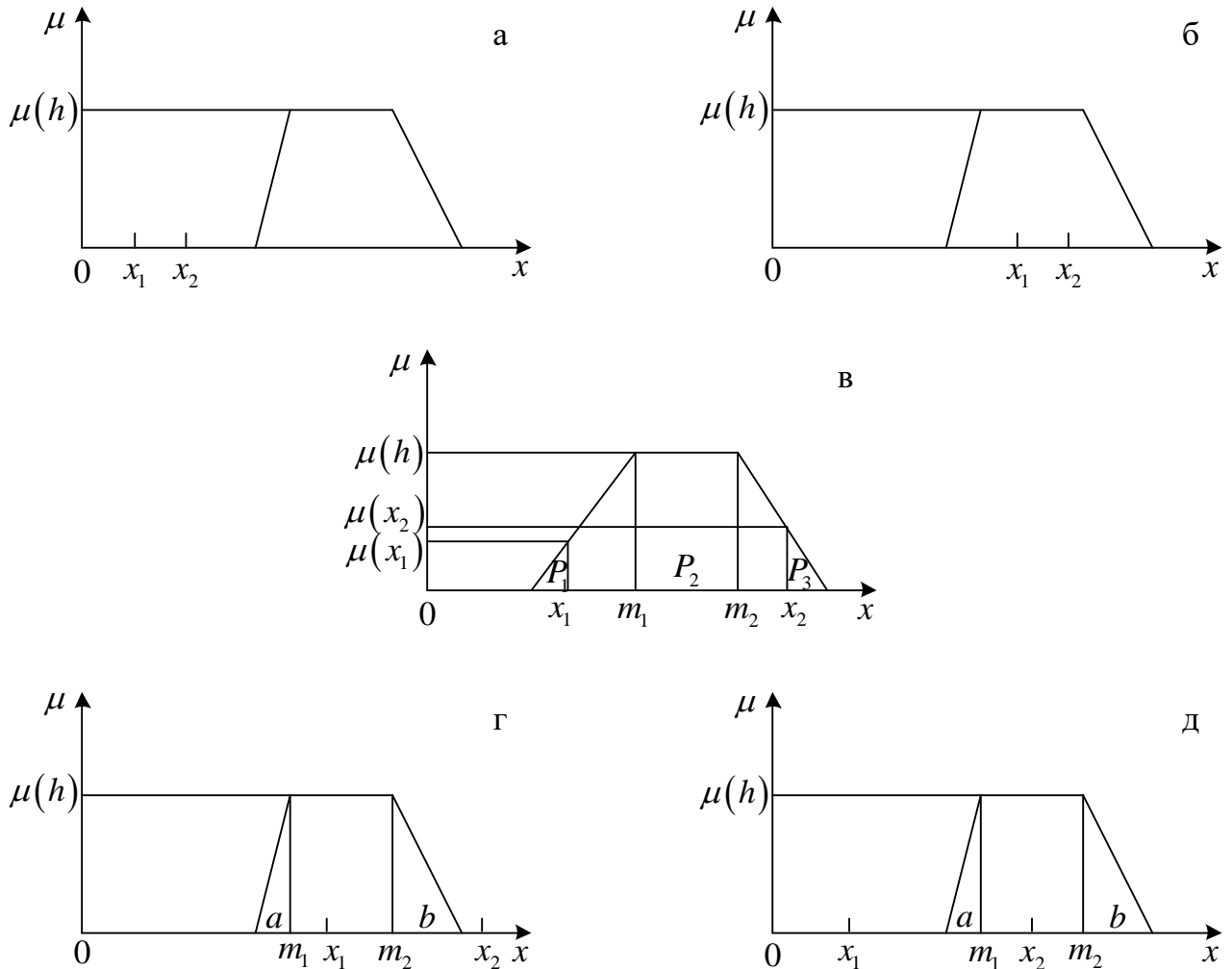
Найчастіше вибір вихідних даних в автотехнічній експертизі є своєрідною процедурою, коли потрібно прийняти рішення на основі суб'єктивних суджень експертів. Розглянемо приклад рішення однієї з таких задач [87, 84-89, 155-159, 207] на базі теорії невизначеності [211-214, 242, 250-255].

Припустимо, що відомі межі зміни деякого параметра $x - [x_1, x_2]$. У разі максимальної впевненості експерта у тому, що параметр має лише одне значення, функція належності може бути трикутною або гаусівською. У випадку утворення такими значеннями інтервалу функцію належності вибирають трапецієподібною.

Нехай в результаті експертного аналізу, опитування і усереднення було одержано одну з трапецієвидних функцій μ , подану на рис. 2.4. Потрібно визначити ступінь узгодження вимоги певного значення x з можливістю його набуття. Міру узгодженості позначимо Υ .

Випадки зображені на рис. 2.4, а та 2.4, б мають вироджений характер. Так, для рис. 2.4, а значення, запропоновані експертами та необхідне значення x , не співпадають ні в одній точці ні з яким рівнем надійності. Очевидно, що $\Upsilon = 0$.

Для рис. 2.4, б, навпаки, збіг повний і, якщо $\mu(h)=1$, то $\Upsilon=1$, інакше $\Upsilon=\mu(h)$.



а – повна неузгодженість запропонованого діапазону значень параметра та можливості його отримання ($\Upsilon = 0$); б – повний збіг, і якщо $\mu(h) = 1$, то $\Upsilon = 0$, інакше $\Upsilon = \mu(h)$;
в – діапазон значень параметра узгоджується певною мірою з можливістю його отримання; г – лівостороння асиметрія значень параметра та можливості його отримання;
д – правостороння асиметрія значень параметра та можливості його отримання

Рисунок 2.4 – Трапецієподібні функції належності параметра x

Припустимо, що $x_2 > x_1$ і відсутнє обмеження загальності $[m_1, m_2] \subset [x_1, x_2]$ (рис. 2.4, в), де m_1, m_2 – відповідно, ліве та праве модальне значення функції

належності. Потрібно визначити міру впевненості Υ в тому, що інтервалу $[x_1, x_2]$ належатиме значення x . Вважаючи значення площ P_1 і P_3 достатньо малими у порівнянні з P_2 маємо

$$\Upsilon = \frac{3\mu(h)(m_2 - m_1) + \mu(h)(x_2 - x_1) + \mu(x_1)(m_1 - x_1) + \mu(x_2)(x_2 - m_2)}{2(m_2 - m_1 + x_2 - x_1)}. \quad (2.1)$$

Якщо врахувати усі величини площ

$$P_1 = 0,5\mu^2(x_1)\frac{m_1 - x_1}{\mu(h) - \mu(x_1)}, \quad P_3 = 0,5\mu^2(x_2)\frac{x_2 - m_2}{\mu(h) - \mu(x_2)}, \quad (2.2)$$

$$P_2 = 0,5(\mu(h)(m_2 - m_1) + \mu(h)(x_2 - x_1) + (m_1 - x_1) + \mu(x_2)(x_2 - m_2)),$$

отримаємо консеквентне значення

$$\Upsilon = \frac{P_2}{P_1 + P_2 + P_3}. \quad (2.3)$$

Для випадку лівосторонньої асиметрії (див. рис. 2.4, г) отримаємо

$$\Upsilon = (1 - \Upsilon_2)\Upsilon_1, \quad (2.4)$$

де

$$\Upsilon_1 = \frac{\mu(h)(x_1 - m_1) + 0,25\mu(h)a}{x_1 - m_1 + 0,5a}, \quad (2.5)$$

$$\Upsilon_2 = \frac{\mu(h)(m_2 - x_1) + 0,25\mu(h)b}{m_2 - x_1 + 0,5b}, \quad x_1 \in (m_1, m_2). \quad (2.6)$$

Формули для випадку правосторонньої асиметрії (див. рис. 2.4, д) визначаються аналогічно (2.4)-(2.6).

Значення, розраховані за (2.1)-(2.6), не є остаточним аргументом при прийнятті рішень, але являються важливим інформативним фактором, що відображує думку експертів і вказує на їх впевненість щодо досягнення параметром x певних значень. Під час обчислення (2.1)-(2.6) рахувались відомими процедури зваженого усереднення, додавання і порівняння нечітких чисел [240, 253]. Запропонований підхід для обчислення ступеня впевненості в тому, що параметр набуватиме певних значень, може бути застосований в процедурах прийняття рішень, заснованих на суб'єктивних оцінках [243, 244, 247, 252].

Реальні величини, які оцінюються експертним шляхом, є наближеними. Існує ряд нечітких експертних факторів, які за винятком неточності вимірюваних величин [210-214], можна поділити на два види [239-243]:

- фактори, які проявляються в оцінках експертів у явному вигляді, відносяться до першого виду (неточність, невизначеність, недовизначеність, нечіткість);

- фактори, для виявлення яких слід застосовувати спеціальні алгоритми, відносяться до другого виду (протирічливість, немонотонність, неповнота, некоректність, ненормованість, недетермінованість). В подальшому зазначені характеристики будемо позначати як «розмитість».

Якщо позначити X – універсальну множину m -мірних об'єктів, яка відображає комплекс усіх можливих варіантів експертної вибірки, розмите поняття, що описує відповідний критерій вибору, подається нечіткою множиною. Міра належності μ є ступенем переконання експерта в тому, що об'єкт x , $x \in X$, належить множині A . Розмита функція належності розуміється як область неточності (нечутливості, невизначеності) експерта при певній функції належності елементів x , $x \in X$, до множини A . Величина діапазону, тобто «ступінь впевненості» експерта у своїй думці, є характеристикою кількісної міри цієї невизначеності. Формально ця неточність може бути

знайдена за допомогою «зернистості» [242, 253], яка віддзеркалює міру невизначеності параметра, що визначається, по відношенню до розміру «зерна». «Зерно» є неточною неподільною одиницею вимірювання цього параметра. В даному випадку таким параметром є сама функція належності, визначена на інтервалі $[0,1]$, мінімальна одиниця якого визначає максимальну зернистість шкали. Розмір зерна визначають з погляду «межі розрізнення» зерен для експерта. В залежності від умов задачі експертного оцінювання, використовуваних методів оцінення величини та інших обставин, розрізняють декілька способів представлення розмитої інформації.

Спосіб 1. «Рівномірно розподілена розмитість», має місце у разі рівноцінності усієї множини допустимих значень розмитої величини або у разі наявності відомостей лише про інтервал значень розмитої величини і при цьому відсутня можливість одержання більш детальної інформації про цей інтервал. Розмиту функцію належності для цього випадку можна задати так:

- із вказанням відносної неточності, $\mu_A(x) = \mu_A^0(x) \pm \varepsilon \mu_A^0(x)$, $\varepsilon \in (0,1]$.
- із вказанням абсолютної неточності, $\mu_A(x) = \mu_A^0(x) \pm \Delta \mu_A(x)$, де $\mu_A^0(x)$ – «найбільш можливе» значення функції належності параметра x до множини A , $\Delta \mu_A(x)$ – «максимальна наближеність до об'єктивних даних»;
- за допомогою діапазону, $\mu_A(x) \in [\mu_A^H(x), \mu_A^B(x)]$.

За допомогою поняття зернистості можна встановити «міру точності» експертної оцінки [243, 258, 271]. Якщо позначити цю міру через δ_1 , а розмір зерна через δ_2 , то в залежності від способу подання розмитої функції належності, міра δ_1 визначається за одним з виразів

$$\delta_1 = \delta_2 / (\mu_A^B(x) - \mu_A^H(x)); \quad \delta_1 = \delta_2 / \Delta \mu_A(x); \quad \delta_1 = \delta_2 / \delta_3 \mu_A(x), \quad (2.7)$$

де $\delta_3, \delta_3 \in [0,1]$ – ступінь впевненості експерта у своїй думці.

Спосіб 2. «Багатозначна розмитість», виникає у разі одержання результатів окремих вимірювань розмитої величини у виді точкових оцінок, які між собою не співпадають.

Спосіб 3. «Трьохточкова розмитість», виникає у разі коли відомі границі зміни розмитого показника, а також його найвірогідніше значення. Такий спосіб можна задати за допомогою трикутної функції належності.

Спосіб 4. «Нерівномірно розподілена розмитість», виникає у разі опису розмитого значення функції належності деякою функцією, яка не обов'язково є трапецієподібною чи трикутною.

Врахування суб'єктивного чинника при побудові функцій належності є засадничим, тому що значення функції належності є суб'єктивною вірогідністю. Слід обов'язково брати до уваги психологічні особливості експерта – його незалежність, реалістичність, схильність до ризику, правдивість тощо. Наприклад для одного експерта маємо

$$\mu_A(x) = \delta_4 \mu_A^H(x) + (1 - \delta_4) \mu_A^B(x), \quad (2.8)$$

де $\delta_4, \delta_4 \in [0,1]$ – ступінь «ризиковості» експерта.

При проведенні колективного експертного оцінювання використовується двоетапний процес скаляризації по експертній групі в цілому та по кожному експерту. В загальному випадку беруть до уваги коефіцієнти компетентності експертів $k_i \in [0,1], i \in L, \sum k_i = 1$.

Індивідуальну функцію належності, скаляризовану формулою (2.8), можна позначити як $\mu_A(x_j^i), i \in L, j \in I$. Найчастіше за найкраще вибирають значення, що має найбільшу міру належності до нечіткої множини [241, 250, 254, 257], тобто

$$\mu_A(x) = \max_{j \in I} \min_{i \in L} (k_i \mu_A(x_j^i)). \quad (2.9)$$

В [251, 255, 256] відзначається ефективність лінійної згортки при виконанні експертного оцінювання

$$\mu_A(x) = \max_{j \in I} \sum_{i \in L} k_i \mu_A(x_j^i). \quad (2.10)$$

Якщо коефіцієнти компетентності експертів вважати за розподіл імовірностей, то можна застосувати критерії Гурвіца або Байеса-Лапласа

$$\mu_A(x_i) = \max_{j \in I} \sum_{i \in L} k_i \mu_A(x_i^j) / n, \quad (2.11)$$

$$\mu_A(x_i) = \max_{j \in I} \left(\alpha \min_{i \in L} k_i \mu_A(x_i^j) + (1 - \alpha) \max_{i \in L} k_i \mu_A(x_i^j) \right), \quad (2.12)$$

де n – чисельність експертів.

Для формалізації індивідуальних розмитих функцій належності, які задаються експертами у вигляді діапазонів, до колективної функції належності, можна використовувати різні способи. Найбільш часто границі консеквентного інтервалу встановлюють як центри ваги множин $\mu_A^{*H}(x_i^j)$ та $\mu_A^{*B}(x_i^j)$, $i \in L, j \in I$, за виразами

$$\mu_A^{*H}(x_j) = \sum_{i \in L} k_i \mu_A^H(x_i^j) / n, \quad (2.13)$$

$$\mu_A^{*B}(x_j) = \sum_{i \in L} k_i \mu_A^B(x_i^j) / n. \quad (2.14)$$

У разі нерівномірності розподілу значень всередині індивідуальних інтервалів при встановленні консеквентних інтервалів, то це також

враховується відповідним чином. Повною мірою консеквентні інтервали функції належності визначаються шляхом вжиття до них певних критеріїв «міри неточності» оцінки, які базуються на співмірності визначеного діапазону із зернистістю масштабу результатів вимірювань. Консеквентні функції належності визначаються у вигляді інтервалу чи точки за принципом

$$\mu_A^*(x_i) = \begin{cases} 0,5(\mu_A^{*H}(x_i) + \mu_A^{*B}(x_i)), & \text{якщо } \mu_A^{*B}(x_i) - \mu_A^{*H}(x_i) \sim \delta_2, \\ [\mu_A^{*H}(x_i), \mu_A^{*B}(x_i)], & \text{якщо } \mu_A^{*B}(x_i) - \mu_A^{*H}(x_i) \gg \delta_2, i \in L. \end{cases} \quad (2.15)$$

На кінцевому етапі до консеквентних інтервалів можливих значень функцій належності для кожного об'єкта застосовують критерії (2.9)-(2.12).

Міра неповноти інформації про стан прийняття рішень може характеризуватись різними показниками. Варто використати ентропійний показник невизначеності, оскільки він є достатньо загальним як для експертних, так і для статистичних оцінок [242, 253]. Максимальне значення невизначеності характеризується апіорною ентропією $H_{анр}$, яка відповідає інтервальним оцінкам усіх умов прийняття рішення

$$H_{анр} = \sum_i \int_{y_{i\min}}^{y_{i\max}} \frac{1}{y_{i\max} - y_{i\min}} \log \frac{1}{y_{i\max} - y_{i\min}} dy_i. \quad (2.16)$$

Для виконання розрахунків з використанням стохастичних та нечітких даних можна застосувати систему узагальнюючих функцій [240], тому що дослідивши спільні та відмінні риси нечіткої та стохастичної невизначеності, а також результати, одержані в процесі створення методу узагальнюючих функцій невизначеності, можна прийти до висновку, про наявність переважно спільних рис відповідних методів прийняття рішень, які дозволяють об'єднання в одному підході. Така думка зумовлена міркуваннями:

– нечіткі оцінки експерта ґрунтуються на його досвіді, що є інтуїтивним (неформальним) усередненням попередніх обставин та подій, які зустрічались в професійній діяльності експерта;

– методи навчання нечітких систем, призначених для підтримки прийняття рішень, головним чином аналогічні методам накопичення статистичних даних, тому їх результати через певний час наближаються;

– максимінні композиції функцій належності та операції згортки імовірностей стохастичних даних являються узагальненням операцій над детермінованими даними, а тому вони мають спільну межу у разі наближення невизначеності до нуля.

Узагальнюючою є додатно визначена функція, яка задана на проміжку можливих значень аргументу та описує імовірність p чи можливість π прийняття аргументом значення з певного інтервалу $[x_1, x_2]$, $x_1 \in B$, $x_2 \in B$, за правилами [243, 244]

$$p = \frac{\int_{x_1}^{x_2} d[\beta(x)]}{\int_B d[\beta(x)]}, \quad (2.17)$$

$$\pi = \frac{\int_{x_1}^{x_2} d[\beta(x)]}{\max_B \int_{[x_{i-1}, x_i]} d[\beta(x)]}, \quad (2.18)$$

де $x_{i-1}, x_i \subset B$, $i = 1 \dots n$, n – кількість інтервалів розбиття B .

Узагальнююча функція $\beta(x)$ визначається таким чином.

Для чіткого x , значення якого визначається статистично похибкою Δx , збігається за властивостями із щільністю (диференціальним законом) розподілу імовірностей.

$$\beta(x) = f_x(x). \quad (2.19)$$

Для чіткого x , значення якого визначається точно

$$\beta(x) = \delta(x), \quad (2.20)$$

де $\delta(x)$ – дельта функція Дірака [240].

Для нечіткого x , значення якого задається функцією належності

$$\beta(x) = \mu_N(x), \quad (2.21)$$

де $\mu_N(x)$ – нормована функція належності

$$\mu_N(x) = \frac{\mu(x)}{\int_x \mu(x) dx}, \quad (2.22)$$

з операцією об'єднання (диз'юнкції)

$$\mu\left[\left(x_1 \in \{\underline{x}_1, \bar{x}_1\}\right) \cup \left(x_2 \in \{\underline{x}_2, \bar{x}_2\}\right)\right] = \mu\left(x_1 \in \{\underline{x}_1, \bar{x}_1\}\right) + \mu\left(x_2 \in \{\underline{x}_2, \bar{x}_2\}\right)$$

і операцією перетину (кон'юнкції)

$$\mu\left[\left(x_1 \in \{\underline{x}_1, \bar{x}_1\}\right) \cap \left(x_2 \in \{\underline{x}_2, \bar{x}_2\}\right)\right] = \mu\left(x_1 \in \{\underline{x}_1, \bar{x}_1\}\right) * \mu\left(x_2 \in \{\underline{x}_2, \bar{x}_2\}, \mu^R\right),$$

де μ^R – характеристика взаємозв'язку нечітких змінних x_1 та x_2 .

Аксиоматична основа системи узагальнюючих функцій базується на множині аксіом обробки числових даних, нечіткої логіки та теорії імовірностей:

- аксіоми бажаної корисності Неймана – Моргенштерна [315, 316];
- аксіоми системи узагальнення стохастичної та нечіткої невизначеності [317];
- аксіоми функціонального аналізу [318].

В якості критерію оптимальності приймається узагальнена ентропія. Вона є мірою невизначеності переваг від прийнятого рішення

$$H_y(y) = \int_{\Lambda} \beta(\lambda / y) \log \beta(\lambda / y) d\lambda, \quad (2.23)$$

де λ – функція невизначених параметрів задачі;

Λ – система узагальнюючих функцій, які характеризують втрат або переваги, що є наслідком прийняття певного рішення;

y – рішення.

2.3 Технологія вибору оптимальної альтернативи в умовах невизначеності

Сучасні умови проведення експертних досліджень, які виконуються з метою реконструкції механізму і обставин ДТП з врахуванням параметрів технічного стану ТЗ, дороги, психофізіологічних характеристик їх учасників, вимагають посилення фактора об'єктивності в оцінці подій, зменшення кількості обмежень суб'єктивного характеру на свободу вибору експерта [148, 151, 155-159].

Керуючись доцільністю та ефективністю, як основними чинниками вибору оптимального рішення, експерт найчастіше [83, 88, 159, 186, 239, 242]:

- не враховує фактори, які є запозиченими ззовні предметної області, але можуть суттєво ускладнити вирішення поставлених задач;
- не може співставити негативні та позитивні значення різних факторів, що призводить до перекосів і появи небажаних аспектів при формуванні експертного висновку;
- применшує вагу суб'єктивних факторів;
- не здатний порівняти альтернативні варіанти, у разі наявності як кількісних так і якісних характеристики.

Отже, актуальним є встановлення узагальненого критерію, за значенням якого можна напрацювати рішення про вибір найдоцільнішого варіанту в умовах композиційної невизначеності під час розв'язування завдань автотехнічної експертизи аварійних ситуацій.

Зміст задачі, що виникає перед екпертом, полягає у визначенні можливості композиції якісних та кількісних, суб'єктивних та об'єктивних факторів і розробці методу, який підходить для оцінення такої композиції. Базуватись при її розв'язку потрібно на визначенні міри, як сутнісної єдності кількісного і якісного, що внесе якісно-кількісну визначеність [240, 244, 247, 251].

Нехай S – деяка задача експертизи ДТП. В результаті прелімінарного аналізу такого роду задач встановлено, що характерні особливості S можна оцінити за множиною критеріїв суб'єктивної та об'єктивної природи $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\}$. Необхідно визначити узагальнений критерій, значення якого буде індикатором для прийняття рішення про вибір найкращого варіанту розв'язку задачі, та розробити процедуру його інтерпретації.

Проаналізуємо класифікацію часткових критеріїв. Позначимо можливі варіанти рішення певної задачі, що поставлена перед екпертом, як A_1, A_2, \dots, A_m . Кожний з цих варіантів не співпадає з іншим за переліком внутрішніх показників. Вони можуть мати різну елементно-модульну базу, структуру, різну вартість та відрізнятися організаційними процесами.

Варіанти мають множину $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_k\}$ системних характеристик, яка включає в себе характеристики S . Склад множини Z є однаковим для кожного варіанту. Оцінюють характеристики за критеріями, які можна класифікувати наступним чином:

1. Критерії якісного характеру, що вказують на відсутність чи наявність деякої характеристики варіанту:

$$y_l = \chi_{A_q}(z_p) = \begin{cases} 1, & A_q \text{ має властивість } z_p, \\ 0, & \text{в іншому випадку,} \end{cases} \quad (2.27)$$

$$l = 1, \dots, n, \quad q = 1, \dots, m, \quad p = 1, \dots, k.$$

2. Критерії якісного характеру, що вказують на вибір одного із способів реалізації характеристики та її наявність, ефективність кожного способу:

$$y_l = \rho_i \cdot \chi_{z_p}(z_p^i), \quad (2.28)$$

де ρ_i – ваговий коефіцієнт способу реалізації варіанту, $\rho_i \in (0,1)$, $\sum_{i=1}^d \rho_i = 1$;

d – кількість способів.

Вагові коефіцієнти залежать, у загальному випадку, нелінійно від внутрішніх параметрів, їх можна визначити в результаті експерименту чи моделювання [243, 246, 253].

3. Критерії якісного характеру, що вказують, на вибір декількох способів реалізації варіанту із множини та відміну від критеріїв другого типу:

$$y_l = \sum_{i \in I} \rho_i \cdot \chi_{z_p}(z_p^i), \quad (2.29)$$

де I – сукупність індексів, $I = \{1, 2, \dots, d\}$.

Проблемність визначення ρ_i поєднує в собі необхідність розв'язання задачі математичного програмування і комбінаторний аналіз при рівноефективних поєднаннях способів реалізації характеристики.

4. Кількісні критерії, значеннями яких є числова величина характеристик S . Оскільки значення критерію є величиною абсолютною і має мінімальну інформативність та характеризується значною ентропією, то використовують відому процедуру нормалізації з метою приведення його до єдиної шкали (відрізка $[0,1]$). Для цього потрібно знати числові екстремальні значення характеристики. Маємо:

$$y_l : X \rightarrow [0,1], \quad (2.30)$$

де $X = \{x_1, x_2, \dots, x_r\}$ – сукупність внутрішніх параметрів S .

5. Критерії якісного характеру, які засновані на оцінках експертів, їх інтуїції та досвіді. Досить часто вони мають прогностичний характер і базуються на досвіді експерта чи знанні процесу функціонування аналогів:

$$y_l : [a,b] \rightarrow [0,1], \quad (2.31)$$

де a – мінімальне числове значення системної характеристики,

b – максимальне числове значення системної характеристики,

$y_l(x)$ – критерій, що вказує наскільки значення x є оптимальним.

Отже, запропоновано систему з п'яти типів критеріїв, які мають універсальну множину значень – відрізок $[0,1]$. В роботах [242, 253] стверджується, що така система критеріїв є повною та існує можливість зведення усіх інших критеріїв, що мають іншу семантичну структуру до наведених вище.

Процедура об'єднання часткових критеріїв в інтегральний здійснюється за умови визначеності їх вагових значень. Така можливість виникає тільки у разі ортогональності системних характеристик.

Технологія визначення вагових коефіцієнтів часткових критеріїв значно ускладнюється, якщо їх значення невідомі і визначаються суб'єктивно. Нехай ξ експертів оцінили значення всіх часткових критеріїв для кожного варіанта. В результаті одержана матриця $(y_i^j)_{i=1, j=1}^{\xi}$. На основі аналізу цієї матриці особа, яка приймає рішення (ОПР), може визначити вагові коефіцієнти за формулою

$$\beta_i = \frac{\sum_{j=1}^{\xi} y_i^j}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{\xi} y_i^j}. \quad (2.32)$$

Припустимо, що на значення часткових критеріїв впливають випадкові обставини та кожен з експертів визначає можливі значення критеріїв разом з їх імовірностями, ряд значень дискретний та скінченний. Тоді для кожного експерта та кожного часткового критерію маємо ряд розподілу (табл. 2.2), де l – номер експерта, $l = 1, \dots, \xi$; j – номер часткового критерію, $j = 1, \dots, n$; q_{lj} – кількість можливих значень, запропонованих l -м експертом для j -го критерію;

$\sum_{i=1}^{q_{lj}} p_i^{lj} = 1$. В даному випадку відомо декілька підходів до визначення вагових коефіцієнтів [239, 241, 242, 247, 252, 265]. Перший підхід застосовується якщо вважати експертів рівно компетентними та полягає в мінімізації ризику визначення невірної коефіцієнта шляхом знаходження

$$\delta_{jl} = \sum_{i=1}^{q_{lj}} y_i^{lj} \cdot p_i^{lj}. \quad (2.33)$$

Тоді можна визначити вагові коефіцієнти за формулою

$$\beta_j = \frac{1}{\xi} \sum_{l=1}^{\xi} \delta_{jl}. \quad (2.34)$$

Таблиця 2.2 – Вихідний ряд розподілу

y_1^{jl}	y_2^{jl}	...	$y_{q_{l_j}}^{jl}$
p_1^{jl}	p_2^{jl}	...	$p_{q_{l_j}}^{jl}$

Інший підхід використовують з метою зменшення категоричності суджень у випадку, якщо експерти, не маючи належного досвіду, вказують на майже однакові ймовірності, чим викликають значну ентропію вибору, що унеможлиблює використання (2.33). Максимальною є ентропія при $p_i^{lj} = 1/q_{l_j}$ і дорівнює $H_{lj} = \log q_{l_j}$, $i = 1, \dots, q_{l_j}$. Тоді визначити вагові коефіцієнти можна за формулою

$$\beta_j = \sum_{i=1}^{q_{l_j}} y_i^{lj} \cdot p_i^{lj}, \quad (2.35)$$

де l – номер експерта, що запропонував дані з найменшою ентропією.

Такий підхід є раціональним лише у випадку $H_{lj} \ll H_{sj}$, $s, l = 1, \dots, \xi$, $s \neq l$. Можливим є також знаходження вагових коефіцієнтів за формулою

$$\beta_j = \frac{1}{\xi} \sum_{l=1}^{\xi} M_o^{lj}, \quad (2.36)$$

де M_o^{lj} – мода розподілу;

l_j – значення j -го критерію, встановленого l -м експертом.

У випадку, коли експертам невідомі статистичні дані, а є лише досвід, інтуїція та знання теорії, експерт передбачає мінімальне та максимальне

значення часткового критерію та виражає свою впевненість у тому чи іншому значенні за допомогою функцій належності, яка в загальному випадку має вид А на рис. 2.5.

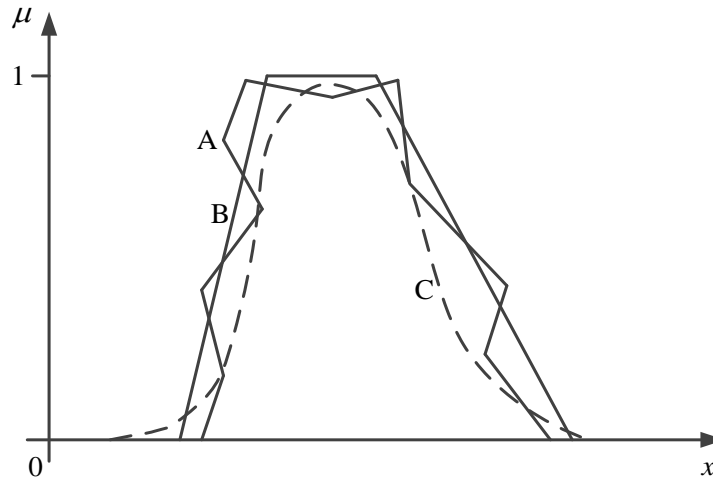


Рисунок 2.5 – Функція належності

Вважаючи, що експерт може висловити прогноз для досить великої кількості значень критерію, ламану лінію можна згладити дзвоноподібною функцією (С на рис. 2.5), яку легко ідентифікувати [161, 257]. Функції належності змінної x до довільного нечіткого терму j в такому представленні можна визначати за допомогою узагальненої моделі [162, 242, 253, 319]:

$$\mu^j(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2} \text{ або } \mu^j(x) = e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.37)$$

де c і σ – параметри настройки, які мають таку інтерпретацію: c – координата максимуму функції, $\mu^j(x) = 1$; σ – коефіцієнт концентрації-розтягування функції (рис. 2.6).

Також для практичних обчислень можна використовувати трапецію (В на рис. 2.5), параметри якої також формалізовані [251, 318] і можуть бути вказані експертами безпосередньо.

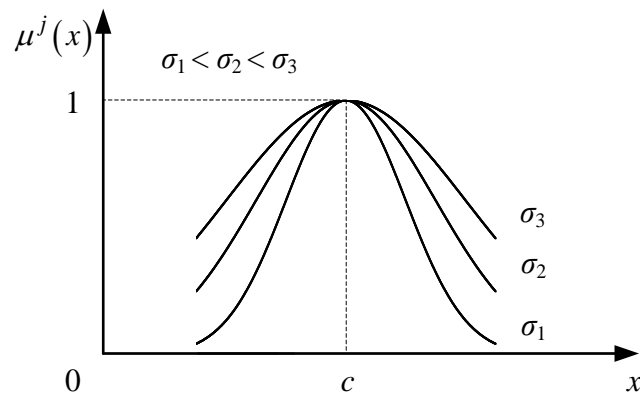


Рисунок 2.6 – Модель функцій належності

Кожний експерт для кожного критерію буде своєю функцією належності $\mu_l^j(x)$. Якщо $\exists l \in \{1, 2, \dots, \xi\}$ і

$$\text{supp}(\mu_l^j(x)) \cap \left(\bigcup_{\substack{i=1 \\ i \neq l}}^{\xi} \text{supp}(\mu_i^j(x)) \right) = \emptyset, \quad (2.38)$$

де $\text{supp} f(x)$ – носій функції $f(x)$, то l -й експерт або всі інші є некомпетентними і експерта потрібно вилучити або j -й критерій не враховувати при формуванні інтегрального критерію. У випадку, якщо

$$\bigcap_{l=1}^{\xi} \text{supp}(\mu_l^j(x)) \neq \emptyset, \quad (2.39)$$

метод мінімізації ризику визначення неправильного вагового коефіцієнта для j -го критерію полягає у визначенні області Φ із розв'язку задачі

$$\max_{\Phi} \bigcap_{l=1}^{\xi} (\text{supp} \mu_l^j \cap \Phi) \neq \emptyset, \quad (2.40)$$

Тоді в цій області знайдемо функцію

$$\mu_j(x) = \frac{1}{\xi} \sum_{l=1}^{\xi} \mu_l^j(x | x \in \Phi), \quad (2.41)$$

За побудовою $\mu_j(x)$ є неперервною в області Φ і має максимальне значення $\mu_{j_{\max}}(x)$. Точка, в якій це значення досягається, є значенням β_j . Якщо така точка не єдина, то необхідно провести додаткові дослідження або прийняти

$$\beta_j = \min_x \mu_{j_{\max}}(x). \quad (2.42)$$

Порогове значення між непереконливою та переконливою упевненостями вважається рівним 0,66 [242]. У випадку непереконливої впевненості у значенні β_j , розрахованому за (2.42), рекомендується ваговим коефіцієнтом вважати $M\beta_j$, $M = \mu_{j_{\max}}(x) < 0,66$.

Для формування інтегрального критерію та визначення його значення можна запропонувати декілька підходів:

1. Припустимо, що $y_{i_1} \wedge y_{i_2} = \min\{\beta_{i_1} \cdot y_{i_1}, \beta_{i_2} \cdot y_{i_2}\}$, де $\beta_i, i = 1, \dots, n$ – вагові коефіцієнти критеріїв, тоді інтегральний критерій є таким:

$$\text{ІК} = \bigwedge_{i=1}^n y_i. \quad (2.43)$$

ІК дорівнює найменшому добутку значення часткового критерію на його вагу. Потрібно зауважити, що можливі два випадки: перший, якщо критерій має невелику вагу в загальній сукупності критеріїв та другий, якщо значення критерію є нульовим чи достатньо малим, але вага критерію велика. В цих випадках рішення про можливість вилучення критерію приймається за результатами дослідження структури критеріальної функції.

2. Інтегральні критерії адитивного, або мультиплікативного вигляду

$$IK = \sum_{i=1}^n \beta_i y_i \text{ або } IK = \prod_{i=1}^n y_i^{\beta_i} . \quad (2.44)$$

Мультиплікативні критерії зручно використовувати, якщо існують часткові критерії, які визначені на множинах внутрішніх параметрів, що перетинаються. Оскільки такі критерії зводять до адитивних логарифмуванням на основі використання процесу тестування на мультиколінеарність та вилучення залежних критеріїв, доцільно розглядати лише адитивні критерії.

Процес агрегування часткових критеріїв в інтегральний суттєво ускладнюється, якщо значення вагових коефіцієнтів невідомі та встановлюються суб'єктивно на основі статистичних даних або професійного досвіду, інтуїції та знання теоретичних засад.

Використовуючи композицію детермінованого та імовірнісного підходів, а також методів теорії невизначеності, можна одержати інтегральний критерій, в якому враховується минуле (статистичні дані), теперішнє (параметри та характеристики фактичного стану предметної області) та майбутнє (результати прогнозування), а також суб'єктивне відношення експерта (рис. 2.7).

Процедура формування інтегрального критерію виконується на перетині предметних областей статистики, теорії баз даних та штучного інтелекту. Вона називається виявленням знань в базах даних (knowledge discovery in databases). Технологія добування знань із даних (data mining), на разі робить перші кроки в Україні. Це пов'язано з тим, що алгоритми та правила, за якими вона працює, неспроможні до швидкої адаптації.

Інтегральний критерій, що формується шляхом простого сполучення частинних критеріїв є зручним засобом для вибору можливих варіантів. Але дуже часто неможливо виявити складні залежності, використовуючи

формалізовані процедури. Заразом, існує велика кількість формальностей, за яких працює певний метод.

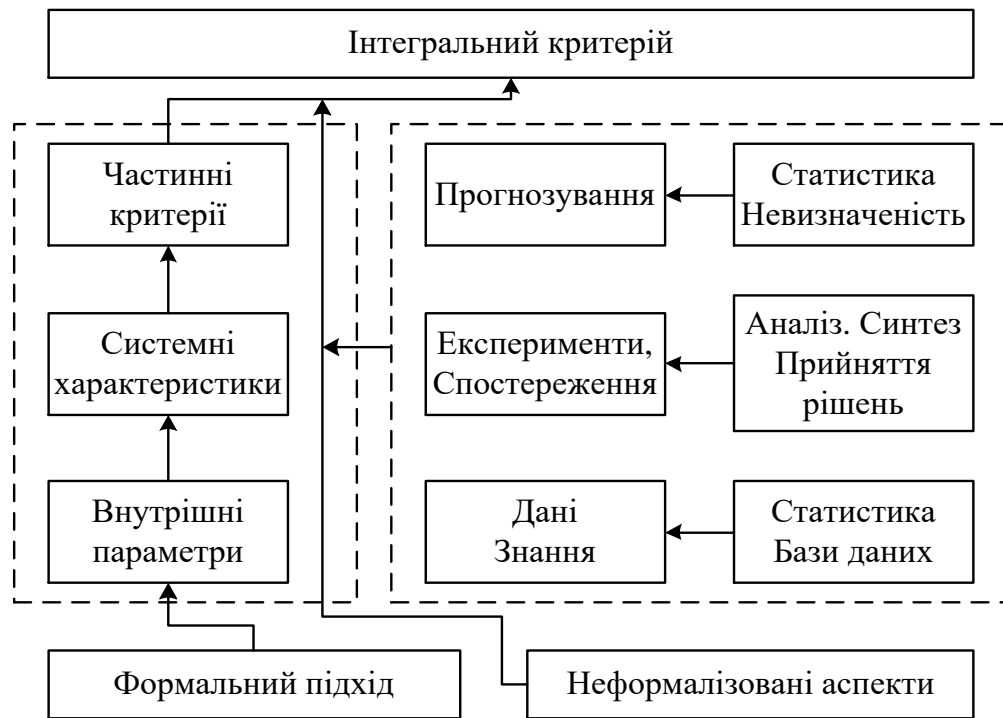


Рисунок 2.7 – Схема процесу формування інтегрального критерію

Питання, на які потрібно відповісти при формуванні ІК:

1. Як позбутися проблеми, викликані композицією гетероскедастичності, автокореляції та мультиколінеарності, якщо вагові коефіцієнти обчислюються на основі статистичних даних?

2. Якщо інтегральний критерій є поліекстримальною чи нелінійною функцією, як вибрати найкращий варіант?

3. Чи не викличе помилкового визначення оптимуму критерію включення надлишкової кількості членів в інтегральний критерій, де домінуючим є надлишковий критерій?

4. Як співставити виміряні значення експериментальних даних з суб'єктивними думками експертів та осіб, що приймають рішення.

Отже, при формуванні інтегрального критерію потрібно враховувати наявність взаємопов'язаних факторів, помилок вимірювань, інших завод та

випадкових факторів. Внесення поправок суб'єктивних думок необхідно здійснювати на основі неформалізованих процесів прийняття рішень.

2.4 Моделі процесу прийняття адаптивних рішень з детермінованими та імовірнісними характеристиками

На початкових стадіях створення складних технічних систем невизначеність вибору обумовлюється об'єктивними та суб'єктивними чинниками. До об'єктивних факторів належать неповнота множини початкових даних, відсутність кваліфікованих фахівців та обмежень, які встановлюються зовнішнім середовищем. Суб'єктивні фактори визначаються досвідом та інтуїцією експертів, їх відношенням та особистою зацікавленістю у варіантах вибору. Аналітичними методами визначити вплив таких причин на кінцевий вибір неможливо. Разом з тим, використовуючи апарат теорії нейромерж [240, 243, 320] та методи теорії нечітких множин [250, 252, 254, 256], таку невизначеність можна зменшити, що дасть можливість ОПР коригувати і уточнювати експертні висновки.

Складна система, яка проектується, реалізує перетворення

$$F : X \rightarrow Y, \quad (2.45)$$

де X – вхідні параметри;

Y – вихідні характеристики.

Доцільність створення системи переважно визначається існуючою необхідністю та її майбутньою ефективністю. Відомо, що критерій ефективності є функцією задач, які розв'язуються системою, стратегій управління та сукупністю процедур, які реалізовані системою [321]. Кожна з цих компонент безпосередньо впливає на результуючі показники. В умовах апіорної невизначеності експерти висувають припущення щодо їх значень.

Одержують матрицю $A = (a_{ij})_{i=1, j=1}^{n \times m}$, де елементи a_{ij} – є припущеннями j -го експерта про значення i -ї характеристики, $y_i \in Y$. Враховуючи схильність експертів до заниження або завищення значень окремих характеристик, необхідно отримати вектор A , елементи якого є уточненими значеннями характеристик Y . Розв’язання задачі уточнення експертних оцінок запропоновано в [322, 323].

Загальна ціль ζ створення системи декомпозується за рівнями на підцілі, на виході останнього рівня знаходяться підсумкові вихідні характеристики системи (рис. 2.8).

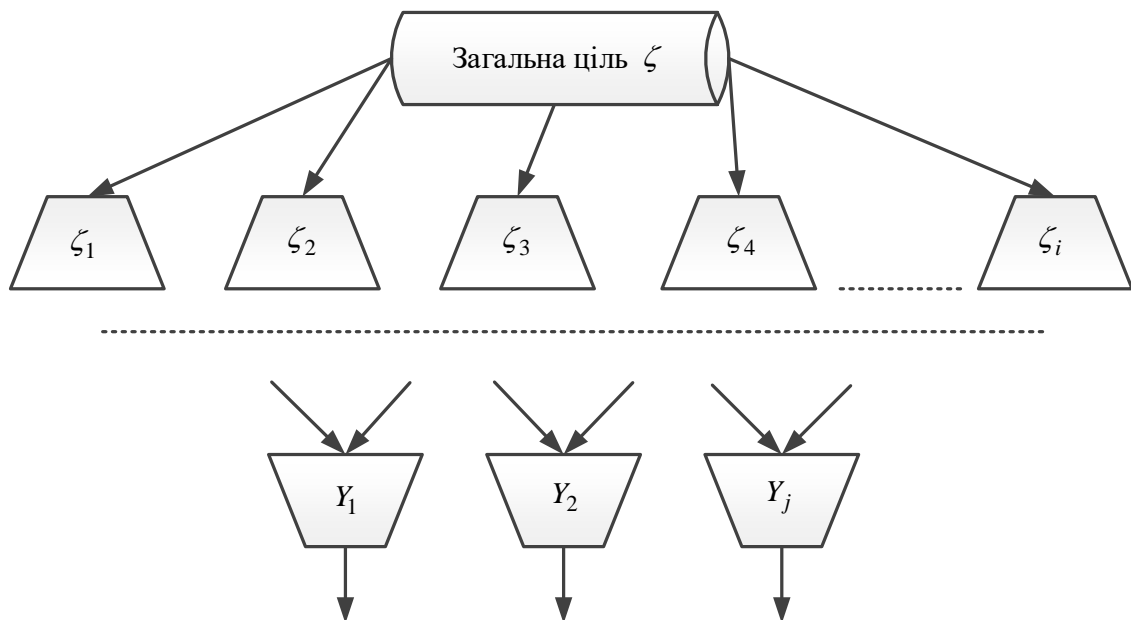


Рисунок 2.8 – Структура системи цілей

Значення підсумкових вихідних характеристик на момент вибору проектних варіантів є (рис. 2.9):

- детермінованими, які приймають лише одне значення;
- невідомими, але з відомим розподілом імовірностей у вигляді ряду розподілу для дискретного набору значень і функцією щільності розподілу для неперервних;
- невідомими, не імовірнісного характеру, але з урахуванням можливості побудови функцій належності.



Рисунок 2.9 – Підсумкові вихідні характеристики для адаптації

Розглянемо випадок, коли ОПР має точні значення деяких вихідних характеристик (навчальну послідовність) і не знає точних значень характеристик контрольної послідовності. Зробимо припущення, що вектор вихідних характеристик можна розділити на два вектора однакової розмірності: Y_c та Y_n , де Y_c – вектор характеристик, які сприяють досягненню системою цілі ζ , Y_n – вектор характеристик, зростання значень яких протидіє досягненню ζ . Очевидно, що експерт, який зацікавлений у виборі кращого варіанту, буде намагатись збільшити значення характеристик Y_c і зменшити значення Y_n , і навпаки діятиме незацікавлений експерт.

Вважатимемо, що в навчальній послідовності є інформація про n характеристик від m експертів. ОПР надає кожному припущенню експерта про значення характеристики деякий коефіцієнт γ_{ij} , $i=1, \dots, n$, $j=1, \dots, m$, який обчислюється за формулою

$$\gamma_{ij} = \frac{a_{ij}}{T_i}, \quad (2.46)$$

де T_i – відоме значення, $y_i \in Y$.

Розглянувши стовпчики коефіцієнтів γ_{ij} , які відповідають кожному експерту, реалізуємо такий алгоритм:

Крок 1. Знаходимо $\min_i \gamma_{ij}$ та $\max_i \gamma_{ij}$, $j = 1, \dots, m$.

Крок 2. Аналізуючи значення $d_i = \max_i \gamma_{ij} - \min_i \gamma_{ij}$, $j = 1, \dots, m$, розділимо на ξ_i проміжків інтервал $\left[\min_i \gamma_{ij}; \max_i \gamma_{ij} \right]$ і побудуємо багатокутник розподілу (декілька можливих варіантів наведено на рис. 2.10, а-г). Якщо він має піки близько до $\max_i \gamma_{ij}$ та $\min_i \gamma_{ij}$, а в інтервал $(1 - \varepsilon, 1 + \varepsilon)$, де ε – достатньо мале число, потрапляє незначна кількість точок (рис. 2.10, а), то це свідчить про значну зацікавленість або незацікавленість експерта у виборі вказаного варіанту.

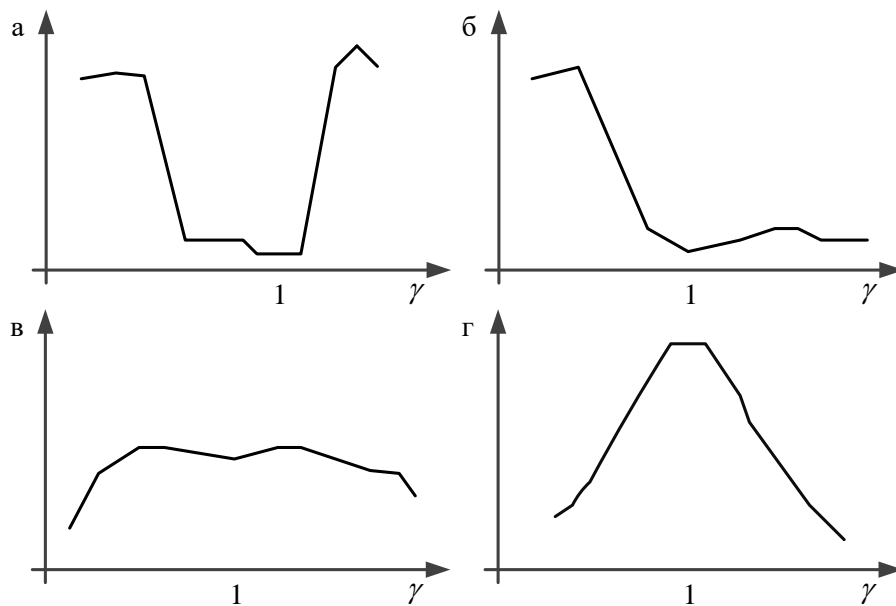


Рисунок 2.10 – Деякі можливі варіанти багатокутників розподілу характеристик

У разі значної зацікавленості експерта всі значення характеристик $y_i \in Y_c$ необхідно множити на $\delta_{ij} = \frac{2}{n} \sum_{\gamma_{ij} < 1} \gamma_{ij}$, а всі значення характеристик $y_i \in Y_n$ – на $\delta_{ij} = \frac{2}{n} \sum_{\gamma_{ij} \geq 1} \gamma_{ij}$, що дасть можливість нівелювати суб'єктивні впливи на прийняття рішень.

Якщо багатокутник розподілу має лівосторонній чи правосторонній пік (рис. 2.10, б), то це свідчить про байдужість і некомпетентність експерта і раціонально його виключити з команди експертів взагалі.

Якщо багатокутник піків немає (рис. 2.10, в), і нагадує трапецію з майже однаковими по довжині основами та центром нижньої основи в точці $\gamma = 1$, то експерт не має точного уявлення про значення характеристик і розв'язком цієї задачі з мінімальним ризиком є добуток значень характеристик на $\delta_{ij} = \frac{1}{n} \sum_i \gamma_{ij}$ для i -го експерта.

Якщо багатокутник розподілу має виражений пік над $\gamma = 1$ (рис. 2.10, г), це свідчить про компетентність експерта, для якого треба прийняти $\delta_{ij} = \gamma_{ij}$.

Усі інші випадки зводяться до попереднього.

З метою уникнення численних перерахунків під час аналізу, прогнозування та уточнення нових характеристик, необхідно навчити нейромережу, використовуючи ретроспективну інформацію, та користуватись нею надалі. Вважаючи, що некомпетентних експертів немає, навчальну вибірку для нейромережі подають у виді ряду даних (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Початкові дані для навчання нейромереж

b_{11}	b_{12}	...	b_{1m}	δ_{11}	δ_{12}	...	δ_{1m}
b_{21}	b_{22}	...	b_{2m}	δ_{21}	δ_{22}	...	δ_{2m}
...
b_{n1}	b_{n2}	...	b_{nm}	δ_{n1}	δ_{n2}	...	δ_{nm}

Значення b_{ij} обчислюємо за такою формулою

$$b_{ij} = \frac{a_{ij} - \min_i a_{ij}}{\max_i a_{ij} - \min_i a_{ij}}, \quad i=1, \dots, n, \quad j=1, \dots, m. \quad (2.47)$$

Після процесу навчання задаємо значення b_{n+1j} та отримуємо δ_{n+1j} , $j=1, \dots, m$, далі ОПР розраховує реальні значення $(n+1)$ -ї характеристики, знаючи початкові дані експертів та їх коефіцієнти. Процедуру прийняття рішень ОПР детально розглянуто в [239-241, 244, 246]. За даними табл. 2.3 навчаємо нейромережу за допомогою технології «backpropagation» [324, 325]. Мережа має структуру, представлену на рис. 2.11, вхідний і вихідний шари мають по m нейронів.

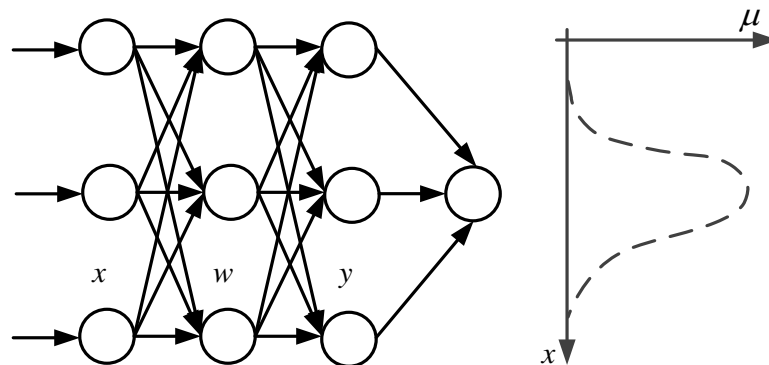


Рисунок 2.11 – Структура нейронної мережі

Для обчислення кількості нейронів прихованого шару використовуємо таку оцінку [324]:

$$\frac{N_y N_p}{1 + \log_2(N_p)} \leq N_w \leq N_y \left(\frac{N_p}{N_x} + 1 \right) (N_x + N_y + 1) + N_y, \quad (2.48)$$

де N_w – кількість синаптичних вагових коефіцієнтів;

N_x – розмірність вхідного сигналу;

N_p – кількість елементів навчальної послідовності;

N_y – розмірність вихідного сигналу.

Тоді кількість нейронів прихованого шару розраховуємо за такою залежністю [242]:

$$N = \frac{N_w}{N_x + N_y}. \quad (2.49)$$

У нашому випадку $N_x = N_y = m$. Якщо припустити, що кількість експертів 10, а кількість елементів навчальної послідовності 40, то кількість нейронів належатиме інтервалу $N \in (3; 53)$. Такий великий діапазон значень викликаний тим, що (2.48) є лише оцінкою, а не виразом для точних обчислень.

Якщо вважати, що ряди розподілу значень кожної дискретної характеристики (за умов достатньої кількості ретроспективних даних, використання закону великих чисел та критеріїв перевірки статистичних гіпотез) є відомими. Можливими будуть дві ситуації:

- ряди розподілів відомі лише для ОПР, але експертам відома множина можливих значень характеристик;
- ряди розподілів для експертів відомі.

Нехай задано матрицю D , де d_{ij}^s – j -е значення i -ї характеристики, $d_{ij}^p = P\{y_i = d_{ij}^s\}$, k – кількість значень характеристики, яка має найбільшу кількість значень, $\sum_j d_{ij}^p = 1, \forall i \in \{1, \dots, n\}$,

$$D = \begin{pmatrix} d_{11}^s & d_{12}^s & \dots & d_{1k}^s \\ d_{11}^p & d_{12}^p & \dots & d_{1k}^p \\ d_{21}^s & d_{22}^s & \dots & d_{2k}^s \\ d_{21}^p & d_{22}^p & \dots & d_{2k}^p \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{n1}^s & d_{n2}^s & \dots & d_{nk}^s \\ d_{n1}^p & d_{n2}^p & \dots & d_{nk}^p \end{pmatrix}.$$

Коли характеристика має кількість значень менше ніж k , то в матриці на місцях, які відповідають неіснуючим значенням та імовірностям, будуть нулі. Для кожної характеристики знайдемо математичне сподівання її значень $My_i, i = 1, \dots, n$, за матрицею D :

$$My_i = \sum_{j=1}^k d_{ij}^s d_{ij}^p. \quad (2.50)$$

Сформуємо матрицю

$$A_n = \begin{pmatrix} a_{11} - My_1 & a_{12} - My_1 & \dots & a_{1m} - My_1 \\ a_{21} - My_2 & a_{22} - My_2 & \dots & a_{2m} - My_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} - My_n & a_{n2} - My_n & \dots & a_{nm} - My_n \end{pmatrix}$$

і відповідний вектор $P = (p_1, p_2, \dots, p_m)$, де

$$p_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_{ij} - My_i), \quad j = 1, \dots, m. \quad (2.51)$$

Контрольний набір значень $a_{n+1,1}, a_{n+1,2}, \dots, a_{n+1,m}$ корегуємо на величину p_j і знаходимо середнє арифметичне. Це і буде оптимальне прогнозоване значення p_j -ї характеристики за критерієм мінімізації ризику помилки.

Якщо ряди розподілу відомі експертам, то вони можуть вибрати одну із таких ліній поведінки:

- повністю погодитися з ними і вибрати значення характеристик, які мають найбільшу імовірність;
- вважати, що кожний ряд розподілу з тих або інших причин є неправильним і вибрати такі значення характеристик, які мають найменшу імовірність;
- частково погоджуватися, частково ні, вибираючи характеристики з найбільшою і найменшою імовірностями;

– допускати корегування в рядах розподілу, яке не матиме істотного впливу на загальну картину, тобто вибирати значення характеристик з не екстремальною імовірністю.

Будемо вважати, що відомі ряди розподілу достатньо повно і точно відображають світовий досвід. Початкові дані представлені значеннями матриць A_n і D . Використовуючи ряди розподілу значень кожної характеристики, підрахуємо її ентропію

$$H_i^\xi = - \sum_{j=1}^k d_{ij}^p \log d_{ij}^p. \quad (2.52)$$

Припускаємо, що експерти в своїх судженнях незалежні один від одного і що рівноймовірних значень як і однозначних характеристик немає, оскільки такі випадки заслуговують на додаткове вивчення. Тобто

$$H_i^\xi \in (\varepsilon_1, \log k - \varepsilon_2), i = 1, \dots, n,$$

де ε_1 та ε_2 – деякі достатньо малі додатні числа;

$\log k$ – максимальне значення ентропії, що відповідає характеристиці з рівноймовірними значеннями.

У першому випадку для кожної характеристики знаходимо значення

$$p_{i \max} = \max \{ d_{ij}^p, j = 1, \dots, k \}, i = 1, \dots, n. \quad (2.53)$$

Тоді мінімальна ентропія вибору значень характеристик відповідатиме умові

$$\sum_{i=1}^n \max \{ d_{ij}^p, j = 1, \dots, k \} = \sum_{i=1}^n p_{i \max}. \quad (2.54)$$

Якщо експерти вибрали максимально імовірні значення характеристик, причому сума $\sum_{i=1}^n \max \{d_{ij}^p, j=1, \dots, k\}$ є значно більшою від будь-якої іншої суми, в яку входять по одному елементу з імовірностей значень кожної характеристики, то це свідчить про існування домінуючого набору значень і експерти з таким варіантом повністю згодні. У разі існування незначної розбіжності між максимальною сумою та іншими (хоча б однією), можна зробити висновок про переважний вплив статистичної інформації над знаннями і досвідом експерта. Для контрольної послідовності достатньо узятє середнє значення варіантів, запропонованих експертами.

Відомо [326], що характеристики системи залежно від положення їх оптимуму, можна розділити на три класи (рис. 2.12):

- характеристики, які повинні мати точно задане значення (А);
- характеристики, значення яких мають потрапити у вказану область (В);
- характеристики, значення яких мають бути більшими або меншими від деякого наперед заданого значення (С).

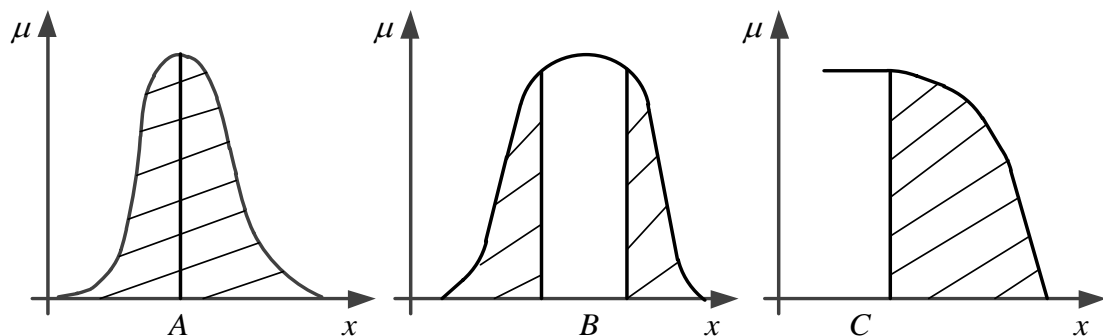


Рисунок 2.12 – Критерії оптимуму

Функція μ вказує на міру належності точки з множини Φ області оптимуму. Заштрихована частина під графіком вказує на область не оптимальних, але допустимих значень.

Розглянемо третій випадок, причому зробимо припущення, що значення характеристик системи з вектора Y_p мають збільшуватися, а з вектора Y_f –

зменшуватися для вибору оптимального варіанту. Тоді j -й експерт, для якого значення

$$d_{ij}^p \chi\{y_i \in Y_p\} + \frac{1}{d_{ij}^p \sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{ij}^p}} \chi\{y_i \in Y_f\}, j = 1, \dots, m, \quad (2.55)$$

є мінімальним, має бути вилученим із команди, оскільки його відповіді прямо суперечать вибору кращих варіантів.

Якщо експерт частково погоджується з даними ряду розподілу, частково – ні (для деяких характеристик вибирає найімовірніші значення, для деяких – інші), то для коригування значень контрольних характеристик знову необхідно використовувати нейромережі. При цьому будемо вважати, що експерт вказує на значення характеристик тенденційно і жодним чином не випадково. Тоді на виході нейромережі буде матриця B з елементами, отриманими за формулою (2.46), а також вектор, компоненти якого рівні одиниці, якщо характеристика належить Y_p , і нулю, якщо – Y_f . На виході маємо матрицю S , елементи якої визначаємо так

$$s_{ij} = d_{ij}^* - b_{ij}, \quad (2.56)$$

$$\text{де } d_{ij}^* = \left\{ d_{ij}^s \mid d_{ij}^p = \max_j d_{ij}^p \right\}, i = 1, \dots, n.$$

Тоді структура матриці даних для навчання нейромережі буде відповідати табл. 2.4. Виконавши нормування даних значень контрольної характеристики $a_{n+1,j}$, $j = 1, \dots, m$, подаємо їх на вхід нейромережі, вказавши якою є ця характеристика (позитивною або негативною). На виході отримаємо значення $s_{n+1,j}$, $j = 1, \dots, m$. Відкорегуємо кожний елемент $a_{n+1,j}$ на величину $s_{n+1,j}$ і знайдемо їх середнє значення, яке і вважатимемо значенням $(n+1)$ -ї характеристики, тобто

$$y_{n+1} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (a_{n+1,j} + s_{n+1,j}). \quad (2.57)$$

Таблиця 2.4 – Початкові дані для навчання нейромережі

Вхід					Вихід			
b_{11}	b_{12}	...	b_{1m}	1	s_{11}	s_{12}	...	s_{1m}
b_{21}	b_{22}	...	b_{2m}	0	s_{21}	s_{22}	...	s_{2m}
...
b_{n1}	b_{n2}	...	b_{nm}	1	s_{n1}	s_{n2}	...	s_{nm}

Випадок, коли експерт вказує на значення характеристик, що мають не екстремальну імовірність, заслуговує на окреме вивчення, оскільки тоді експерт, скоріш за все, враховує не лише значення окремих характеристик, але і взаємозв'язки між ними, що вимагає дослідження розподілу умовних імовірностей та інших показників (наприклад, коефіцієнта кореляції).

Для того, щоб уникнути неправильних рішень, ОПР має адаптувати та коригувати свої рішення відповідно стану зовнішнього середовища та персонального складу експертних комісій. Запропоновані моделі, які засновані на сполученні методів теорії нейромереж з традиційними методами, вказують на один із шляхів до подолання цієї проблеми. Метод нівелювання суб'єктивних переваг, що визначаються різними чинниками, дозволяє знаходити близькі до оптимальних рішень.

2.5 Стратегія управління процесами оцінювання та зменшення невизначеності експертних досліджень дорожньо-транспортних пригод

Однією з сучасних тенденцій розвитку САТЕ є застосування інноваційних технологій на всіх стадіях дослідження ДТП [84, 88, 89]. Це зумовлено необхідністю забезпечити ефективне провадження експертизи та раціональне використання ресурсів.

Комплексне застосування спеціалізованих комп'ютерних програм для встановлення механізму ДТП та автоматизованих цифрових систем для отримання вихідних даних (EDR, які дозволяють реєструвати параметри руху ТЗ до та після ДТП; комплекси лазерного сканування місця ДТП; спеціальна цифрова апаратура) можна вважати набором модулів, скомплектованим із множин стандартних модулів. Кожен з модулів, виконуючи свої функції, гарантує досягнення загальної мети інтегрованої системи. В наслідок модульності, інтегрована система забезпечує необхідний рівень якості виконання експертизи:

- комплексність дослідження;
- високу гнучкість для акомодатії до різних умов;
- економічність за рахунок зменшення витрат;
- ефективність в наслідок спроможності до автоматизації операцій однотипного характеру.

Цілком зрозуміло, що зі зростанням інтеграції розширюються евентуальні можливості системи, збільшується ступінь різноманіття та вибірності. Це, в свою чергу, викликає проблеми, пов'язані з якістю роботи системи, в тому числі, проблему формалізації ходу формування інтегрованої системи автотехнічної експертизи ДТП та оцінення її якості.

На рисунку 2.13 подана схема формування інтегрованої системи експертизи ДТП. Взявши за основу зміст запиту органів суду або слідства та різних обставин ДТП, формується структура інтегрованої системи та визначаються функції цієї системи. В якості мети сформованої системи можна прийняти такі чинники як забезпечення прав громадян на об'єктивне дослідження обставин ДТП, підвищення якості та об'єктивності при формуванні експертних висновків, мінімізація витрат часу і ресурсів потрібних для проведення експертиз тощо.

Отже, задачу формування інтегрованої системи експертизи дорожньо-транспортних пригод можна сформулювати як задачу вибору необхідних модулів із сукупності стандартних модулів з метою задоволення певних вимог в окремій ситуації в конкретний час.

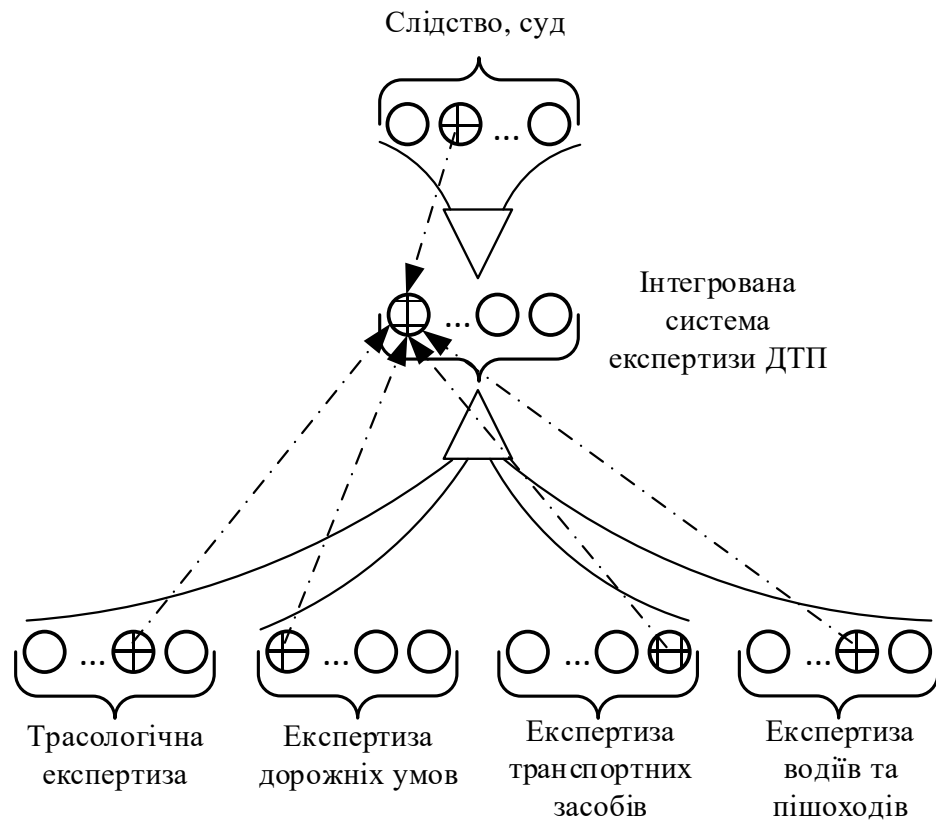


Рисунок 2.13 – Схема формування інтегрованої системи автотехнічної експертизи ДТП

Зміст модульного принципу полягає у можливості створення різних складних систем багатоманітного функціонального призначення з деякої кількості базових елементів-модулів. З урахуванням цього, модуль – це самостійний елемент, який забезпечує окрему функцію (функції), з певними вихідними та вхідними параметрами. Модулі можуть з'єднуватись, формуючи складні системи, замінятись та роз'єднуватись з метою отримання систем з іншими характеристиками при їх функціонуванні.

У загальному випадку, модель інтегрованої системи експертизи ДТП можна викласти в такому математичному вигляді

$$DS = \{X, F, D, t\}, \quad (2.58)$$

де X – множина множин стандартних модулів

$$X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\},$$

X_1 – сукупність стандартних модулів, спроможних виконати завдання y_1

$$X_1 = \{x_{i1} | x_{i1} \in X_1; i = 1, \dots, m_1\};$$

x_{i1} – стан модуля x_{i1} множини X_1 , який змінюється за часом;

m_1 – кількість модулів в сукупності X_1 ;

X_2, \dots, X_n – відповідно множини стандартних модулів, здатних виконати завдання y_2, \dots, y_n ;

n – кількість видів завдань (кількість множин стандартних модулів);

F – цільова функція інтегральної системи;

D – сукупність вимог до системи

$$D = \{Y, Z\},$$

де Y – сукупність вимог щодо завдань, які потрібно виконати (час, місце, обсяг та вид робіт тощо)

$$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_n\};$$

Z – сукупність вимог щодо якості системи експертизи ДТІ в цілому (надійність, гнучкість, своєчасність, ефективність тощо);

t – момент формування інтегрованої системи експертизи.

Рішення задачі (2.58) або набір обраних модулів

$$\begin{cases} X^* = \{x_{i1}^1, x_{i2}^2, \dots, x_{in}^n\}, \\ F(X^*, t) \rightarrow \max, \\ D(X^*, t) \geq 0. \end{cases} \quad (2.59)$$

На рисунку 2.14 представлена узагальнена схема рішення задачі (2.59).



Рисунок 2.14 – Узагальнена схема рішення задачі вибору структури інтегрованої системи автотехнічної експертизи ДТП

Модульна технологія проектування надає засоби для автоматизації компонентного формування інтегрованої системи експертизи ДТП зі стандартних модулів для любого рівня якості та складності за аналогією зі складанням автомобілів, мобільної чи комп'ютерної техніки, програмних комплексів із готових блоків, які називають комплектуючими виробами. Процес збору інформації про модулі, їх стандартизація є трудомістким та складним. Однак у подальшому це забезпечує можливість з великою швидкістю створювати нову інтегровану систему експертизи ДТП чи

модифікувати її відповідно до зміни вимог та умов дослідження обставин певної ДТП.

Процес формування інтегрованої системи експертизи ДТП містить такі етапи:

- інформаційний збір, розробка бази даних про модулі;
- систематизація модулів за призначенням, оцінення їх діяльності;
- дослідження потреб експертизи при встановленні обставин ДТП;
- формування вимог до системи автотехнічної експертизи;
- формування цілей і задач розроблюваної інтегрованої системи;
- визначення необхідних типів модулів, які формують структуру системи автотехнічної експертизи ДТП;
- розробка модулів, різних варіантів структури інтегрованої системи автотехнічних досліджень при експертизі ДТП;
- оцінення можливих варіантів інтегрованої системи;
- вибір оптимального варіанту;
- узгодження діяльності певних модулів та корегування.

Після виявлення сукупності вимог до інтегрованої системи АТЕ ДТП, визначення її мети та збору необхідної інформації про модулі, слідує наступний етап – генерація можливих варіантів системи. Досить часто, через нестачу трудових ресурсів та часу, а також нездатність до обробки великих обсягів інформації, експерт розглядає лише декілька варіантів з метою обрання одного з них. Ці варіанти найчастіше формуються на основі інтуїції чи досвіду спеціаліста, тому не можуть вважатися кращими з усіх можливих варіантів.

Таким чином, обраний експертом варіант є кращим з переліку розглянутих варіантів, але ні як не оптимальним. Тут рішення задачі побудови інтегрованої системи АТЕ ДТП не дає бажаного результату не через використувані методи вибору, а внаслідок існування проблеми генерації варіантів.

Формалізація методів генерації рішень є дуже важливою задачею, оскільки на практиці не завжди є можливість визначити усі допустимі варіанти. Звісно,

чим більша кількість генерованих варіантів, тим імовірніше знаходження оптимального рішення задачі. На оптимальність розв'язання задачі впливає також здатність метода видавати гарні варіанти, тобто якість метода генерації.

Для розв'язування задачі побудови інтегрованої системи АТЕ ДТП гарним методом генерації варіантів можуть бути методи морфологічного аналізу і синтезу (рис. 2.15) [327, 328], запропоновані швейцарським астрофізиком Фріцем Цвікі та використані ним в астрономії та ракетобудуванні. Ці методи призначені для пошуку оптимальних рішень на основі розділення інтегрованої системи на підсистеми та елементи, утворення підмножин альтернативних варіантів реалізації певної підсистеми, комбінування різних варіантів рішення системи на альтернативній основі, вибору оптимальних варіантів рішення системи.

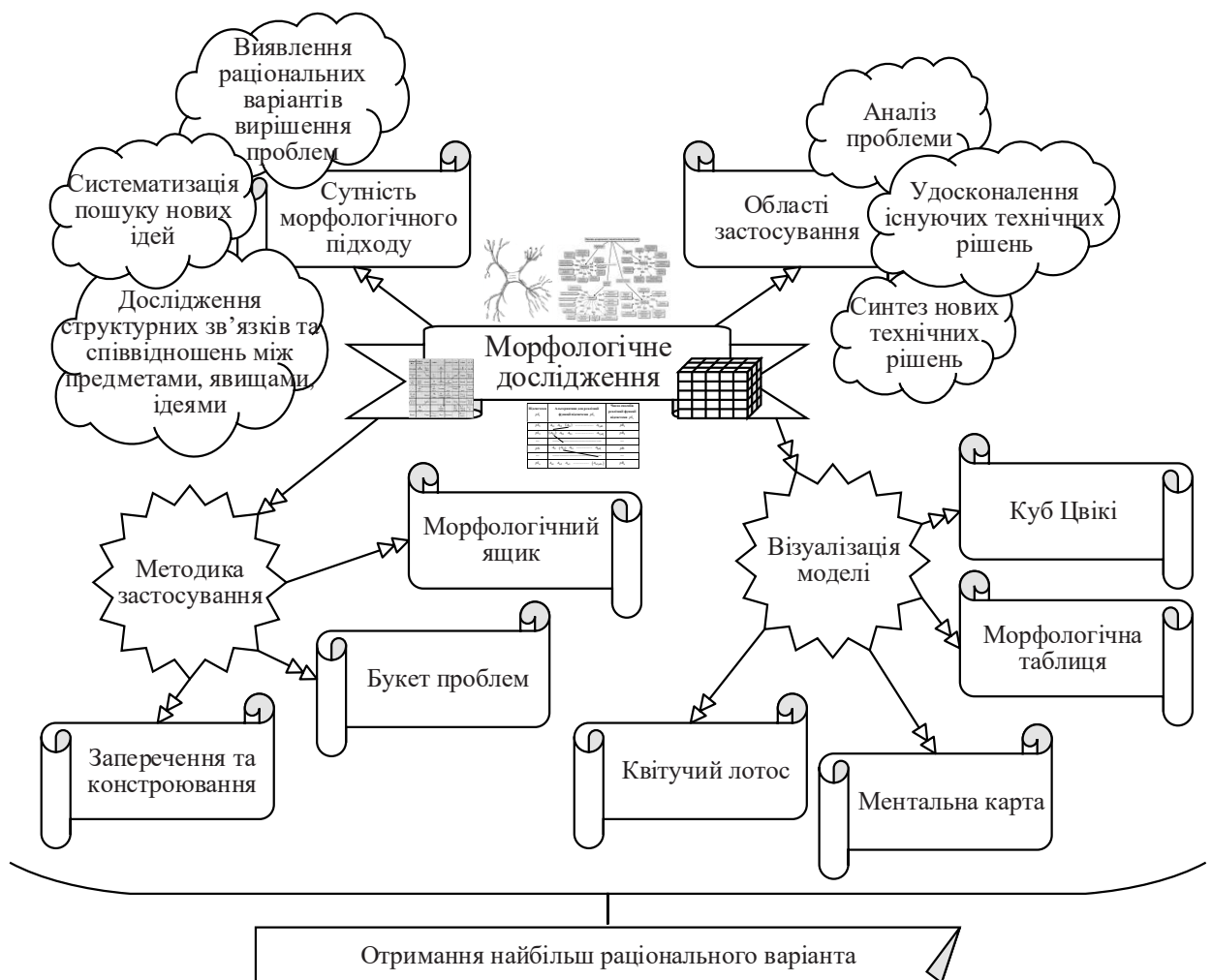


Рисунок 2.15 – Аспекти морфологічного дослідження

Метод морфологічного дослідження здійснюється у два етапи. На першому етапі отримують опис усіх підсистем, які стосуються дослідження, тобто класифікацію множин підсистем. Даний етап рішення задачі називається морфологічним аналізом. Другий етап передбачає формування пошукового завдання та обрання виду цільової функції, проведення оцінки описів підсистем. В кінцевому випадку вибираються ті підсистеми, які задовольняють умови задачі. Обрані підсистеми утворюють цілісну систему, доводячи до максимуму значення цільової функції.

Опис цілісної системи одержується в результаті агрегації описів підсистем з врахуванням відношень між ними, унаслідок чого другий етап називається морфологічним синтезом. Морфологічну сукупність варіантів опису системи можна подати морфологічною таблицею (табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Морфологічна таблиця

Підсистеми pS_i	Альтернативи для реалізації функції підсистеми pS_i	Число способів реалізації функції підсистеми pS_i
pS_1	$A_{11} \ A_{12} \ (A_{13}) \ \dots \ A_{1pR_1}$	pR_1
pS_2	$(A_{21}) \ A_{22} \ A_{23} \ \dots \ A_{2pR_2}$	pR_2
...
pS_i	$A_{i1} \ (A_{i2}) \ A_{i3} \ \dots \ A_{ipR_i}$	pR_i
...
pS_n	$A_{n1} \ A_{n2} \ A_{n3} \ \dots \ (A_{n2pR_n})$	pR_n

Перша графа морфологічної таблиці містить усі підсистеми досліджуваної системи. В другій графі вказані альтернативи для реалізації функції відповідної підсистеми. Сформований варіант системи є вибіркою альтернатив з кожного рядка морфологічної таблиці. Таким чином, кожний

цілісний варіант системи відрізняється від іншого варіанту її реалізації хоча б одною альтернативою. Лініями в таблиці з'єднані альтернативи з метою демонстрації одного з можливих варіантів досліджуваної системи. Визначення загального числа можливих варіантів системи здійснюють так

$$N = pR_1 \cdot pR_2 \cdot \dots \cdot pR_n = \prod_{i=1}^n pR_i. \quad (2.60)$$

Методи морфологічного аналізу та синтезу реалізуються в декілька етапів (рис. 2.16):

1) Визначається вихідна мета задачі, формуються вимоги до синтезованої системи.

2) Виконується розробка морфологічної таблиці. Насамперед виділяється головна функція системи. Далі встановлюються підфункції першого рівня, які гарантують виконання головної функції системи. Потім кожна підфункція першого рівня розглядається як незалежна функція і поділяється на підфункції другого рівня. Аналогічно виконується поділ підфункції другого рівня на підфункції третього рівня і так далі на наступних рівнях. Рівень поділу (декомпозиції) залежить від вимог конкретної задачі. На базі виконаного аналізу формуються рядки морфологічної таблиці, які містять функції системи.

3) Встановлюється відносний ступінь якості критеріїв з метою визначення їх значимості під час оцінювання варіантів.

4) В морфологічну таблицю вносяться альтернативи, отримані для конкретного випадку з різних джерел інформації.

5) Оцінюються властивості альтернатив морфологічної таблиці. Вони, як правило, характеризуються рівнем якості виконання певної функції, який визначається на альтернативній основі за різними критеріями.

6) Реалізується процес пошуку оптимальних варіантів в морфологічній множині, при цьому доводиться до максимуму мультиплікативна або адитивна

цільова функція. В даному випадку під пошуком розуміють послідовність операцій вибору підсистем, які утворюють синтезований цілісний варіант, та операцій оцінки його якості.

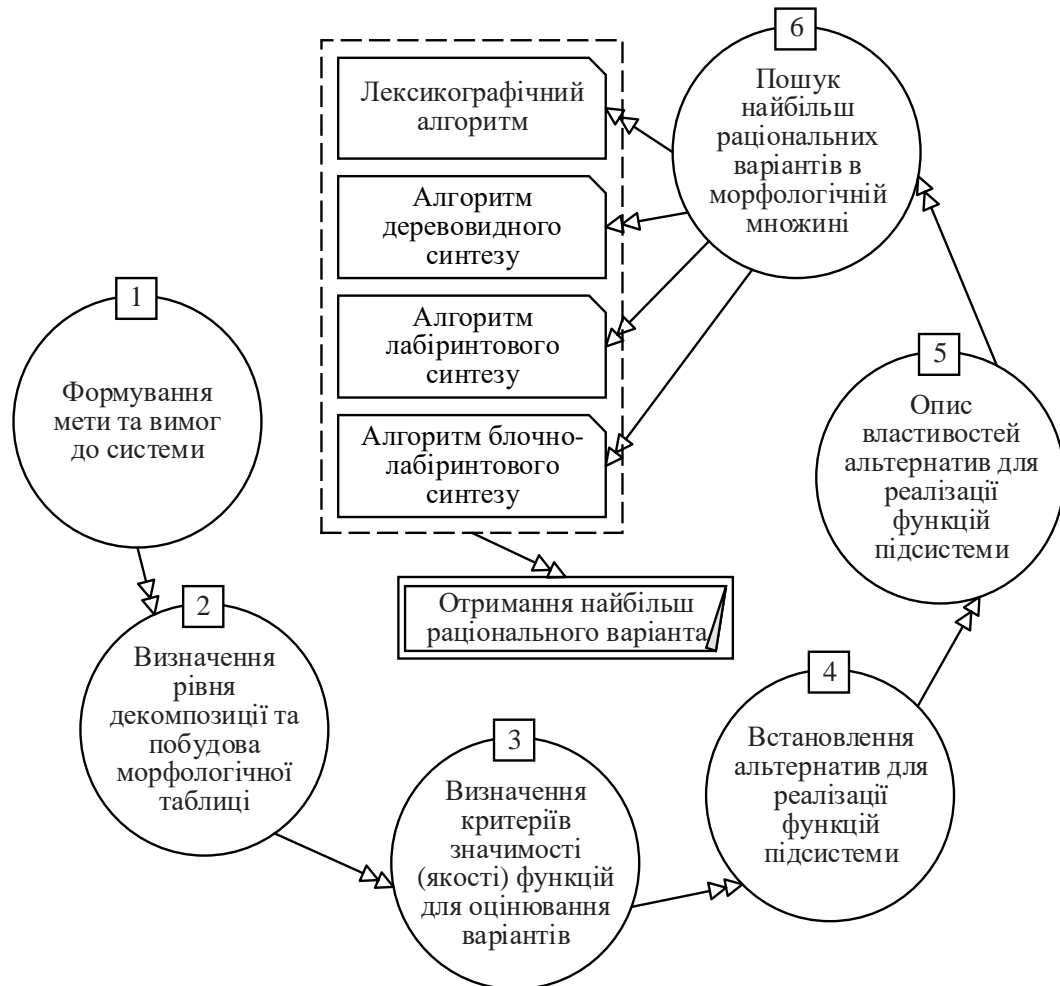


Рисунок 2.16 – Етапи реалізації морфологічного дослідження

Процедура пошуку варіантів може використовувати такі алгоритми [239, 241, 328, 329]: лексикографічний алгоритм; морфологічний алгоритм лабіринтового синтезу; морфологічний алгоритм деревовидного синтезу; морфологічний алгоритм блочно-лабіринтового синтезу.

Проаналізуємо ці алгоритми та їх особливості більш докладно.

Лексикографічний алгоритм виконується шляхом послідовного перебирання усіх варіантів на базі принципу лексикографічного упорядкування. Беруться до уваги усі можливі варіанти системи. Загальне

число варіантів визначається декартовим добутком множин альтернатив, що мають відношення до кожної функції системи (2.60).

Цей алгоритм гарантує розгляд усіх можливих варіантів системи. Однак затрати часу на розрахунок достатньо великі, оскільки потрібно опрацювати велику кількість варіантів.

Кроки реалізації морфологічного алгоритму деревовидного синтезу такі:

1. Рядки морфологічної таблиці послідовно розміщують за значимістю.
2. Виконується синтез усіх парних сполучень альтернатив, які містять найбільш значимі рядки таблиці. Отримані парні комбінації альтернатив ранжуються за критеріями якості та обирається оптимальний варіант.
3. Виконується сполучення варіанта, відібраного на попередньому кроці, з альтернативами чергового рядка таблиці за значимістю. Отримані комбінації, які містять три, чотири і більше альтернатив, також досліджуються. Виявляється оптимальний варіант.
4. Синтез триває з кроку 3 до вичерпання всіх альтернатив системи і отримання цілісного варіанта – рішення задачі.

Цей алгоритм суттєво зменшує число операцій порівняно з попереднім алгоритмом.

Деревовидний алгоритм лежить в основі морфологічного алгоритму лабіринтового синтезу. Різницею між алгоритмами є те, що в процесі пошуку кожен крок супроводжується вибором не одного, а n самих якісних сполучень альтернатив. Оптимальний варіант з цих сполучень знаходить застосування на наступному кроці, а інші $(n - 1)$ варіантів резервується.

Коли на k -му кроці відсутнє задовільне сполучення, розглядаються усі комбінації оптимального сполучення, отриманого на попередньому $(k - 1)$ -му кроці, з альтернативами поточного рядка таблиці (k -ї функції) A_{kj} , то перевіряються сполучення усіх $(n - 1)$ варіантів, зарезервованих на $(k - 1)$ -му кроці з усіма альтернативами A_{kj} . У разі незадовільності усіх сполучень в цьому випадку, здійснюється повернення на $(k - 2)$ -й крок для перегляду усіх

зарезервованих варіантів ($k - 2$)-го кроку. Процедура повернення може тривати аж до перегляду залишених у резерві варіантів морфологічної таблиці.

Дякуючи ітераційному процесу повернення до попереднього кроку, морфологічний алгоритм лабіринтового синтезу дозволяє підвищити імовірність одержання найкращого варіанта проєктованої системи, що задовольняє усі висунуті вимоги.

Декомпозиція синтезованої системи на окремі елементи морфологічної таблиці виконується у разі реалізації морфологічного алгоритму блочно-лабіринтового синтезу. Насамперед виконується синтез окремих елементів, а з рештою формується цілісна система на основі синтезу елементів. Виконаємо аналіз кроків даного алгоритму.

1. Виконується декомпозиція морфологічної таблиці на елементи, кожний елемент може включати декілька підсистем.

2. Виконується синтез оптимальних варіантів в кожному елементі (блоці). Якщо блок містить одну підсистему, то із сукупності альтернатив обираються найкращі. Якщо блок складається з декількох підсистем, то пошук виконується за морфологічним алгоритмом лабіринтового синтезу. Декілька кращих варіантів для подальшого аналізу виділяється для кожного блоку.

3. Будується нова морфологічна таблиця, яка має меншу розмірність ніж вихідна. Кількість рядків цієї таблиці приймається рівною числу блоків. Альтернативи нової таблиці це виділені на попередньому кроці варіанти.

4. Здійснюється синтез на новій морфологічній таблиці за лабіринтовим алгоритмом з метою пошуку цілісного варіанту системи.

Використання цього алгоритму дозволяє звести рішення задачі морфологічного аналізу до меншої розмірності.

Аналіз використовуваних алгоритмів та методу розв'язування задачі морфологічного синтезу приводить до висновку про можливість його застосування для утворення варіантів під час рішення задачі формування інтегрованої системи АТЕ дорожньо-транспортних пригод. У разі використання цього методу слід враховувати такі особливості:

1) уявлення про підсистему морфологічного методу збігається з поняттям функції сукупності стандартних модулів задачі формування системи АТЕ ДТП. Аналогічно альтернативи реалізації підсистеми можна вважати модулями, що належать до згаданої вище сукупності;

2) в основі методу морфологічного синтезу лежать два припущення:

– модулі, які належать до певної підсистеми, можна оцінювати незалежно від модулів, які належать до інших підсистем. Однак, модулі інтегрованої системи АТЕ ДТП часто взаємопов'язані. Досить часто якість функціонування одного модуля може безпосередньо позначатися на якості функціонування інших модулів. В таких випадках потрібно оцінювати не якість окремих модулів, а якість цілісного варіанта системи;

– оптимальний варіант системи містить кращі підсистеми. Отже при виборі варіантів в методі застосовують мультиплікативний чи адитивний вид цільової функції. Під час розробки інтегрованої системи АТЕ ДТП набір найкращих модулів не завжди дає оптимальний результат. Таким чином, не всі критерії оцінювання якості модулів синтезуються шляхом простого додавання чи множення на завершальному етапі оцінення оптимального варіанта;

3) у разі застосування лексикографічного алгоритму для пошуку варіації, оцінювання якості певного варіанта проводиться тільки після його остаточного формування, інакше кажучи у разі визначення усіх модулів, що входять в цілісний варіант. Морфологічні алгоритми лабіринтового, блочно-лабіринтового та деревовидного аналізу відрізняються від лексикографічного алгоритму порядком оцінювання відповідності синтезованого варіанта вихідній меті задачі виконується безпосередньо в ході побудови шуканого варіанта при включенні модуля в цілісний варіант. Є критерії, які не мають мультиплікативної або адитивної властивості чи такі, що визначаються тільки після закінчення формування варіанта. Із цієї причини можна зробити висновок про неможливість використання морфологічних алгоритмів у класичному вигляді для створення варіантів синтезу системи АТЕ ДТП. Рішення цієї проблеми можливе при зміні умови задачі морфологічного

аналізу. Типи критеріїв, які застосовуються для оцінювання якості проектованої системи такі (рис. 2.17):

– критерії за якими оцінюють якість виконання функції системи модулями (інформаційні, технічні, людські, технічна готовність машин та обладнання, фінансові ресурси, інформативність, імідж тощо);

– критерії за якими оцінюють якість цілісної системи, які визначаються шляхом додавання чи множення проміжних значень безпосередньо під час формування варіанта системи (часові витрати, вартість тощо).

– критерії за якими оцінюють якість цілісної системи, які визначаються коли варіант системи вже остаточно сформовано (час проведення експертизи, сумісність, комплексність тощо).

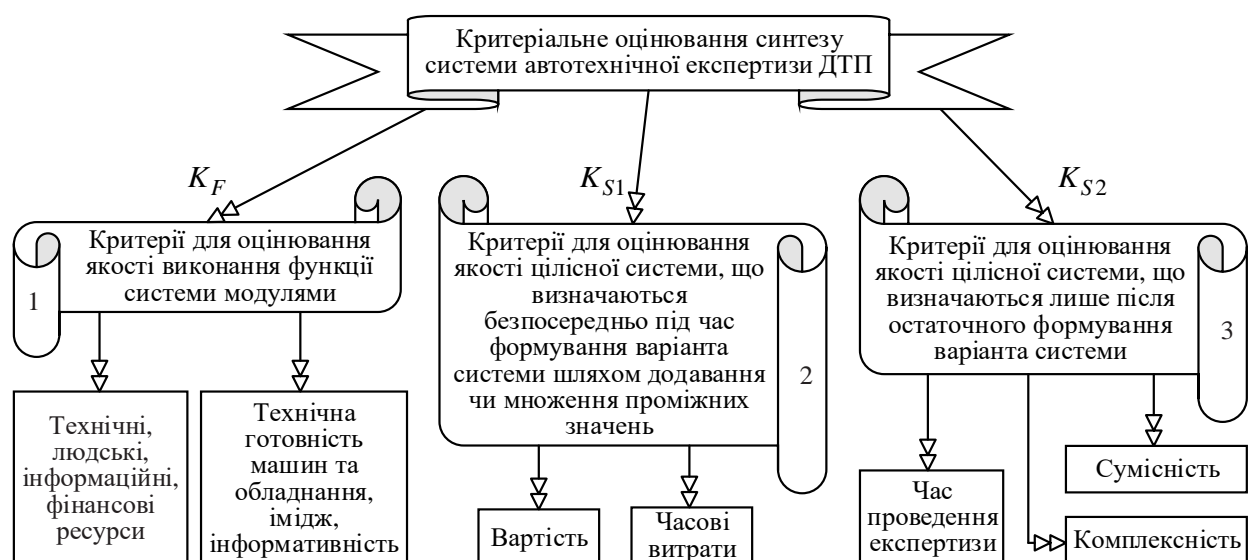


Рисунок 2.17 – Типи критеріїв оцінювання якості синтезованої системи

Позначимо типи критеріїв відповідно K_F , K_{S1} , K_{S2} . Морфологічна таблиця в цьому випадку приймає нову структуру (табл. 2.6). Різницю видів критеріїв потрібно врахувати при розробці алгоритму синтезу інтегрованої системи АТЕ ДТП.

4) в практичній діяльності зустрічаються випадки, коли установа здатна виконувати дві-три морфологічної таблиці. В такому разі її розглядають

одночасно як декілька самостійних модулів несхожих функцій, враховуючи їх єдність під час оцінювання певних критеріїв (місце роботи модуля, імідж модуля, сумісність системи тощо);

Таблиця 2.6 – Морфологічна таблиця, що використовується при синтезі системи АТЕ дорожньо-транспортних пригод

Критерії оцінювання якості системи	Функції F_i	Критерії оцінювання якості модуля	Модулі для реалізації функції F_i	Число модулів
	F_1	K_{F1}	$M_{11} \quad (M_{12}) \quad M_{13} \quad \dots \quad M_{1pR1}$	pR_1
K_{S1}	F_2	K_{F2}	$M_{21} \quad M_{22} \quad (M_{23}) \quad \dots \quad M_{2pR1}$	pR_2

	F_i	K_{Fi}	$(M_{i1}) \quad M_{i2} \quad M_{i3} \quad \dots \quad M_{ipRi}$	pR_i
K_{S2}
	F_n	K_{Fn}	$M_{n1} \quad M_{n2} \quad M_{n3} \quad \dots \quad (M_{npRn})$	pR_n

5) існують випадки коли для виконання однієї функції системи потрібні ресурси декількох модулів.

Отже, методика синтезу інтегрованої системи АТЕ ДТП з урахуванням відмічених особливостей морфологічного метода та процедури створення варіантів експертної системи містить такі етапи (рис. 2.18):

1. Виконується прелімінарне скорочення початкової морфологічної таблиці. Для кожного рядка таблиці перевіряються усі існуючі модулі за критеріями типу K_F . У разі невідповідності вимогам щодо реалізації певної функції модуль видаляється з таблиці. Якщо скорочення призводить до виникнення пустого рядка (відсутності модуля, який може окремо виконувати функцію), то виконується перегляд вимог до модулів або формування комбінованих модулів, які перевіряються на здатність задовольнити вимоги.



Рисунок 2.18 – Алгоритм синтезу системи АТЕ ДТП морфологічним методом у вигляді блок-схеми

2. Для усіх парних сполучень модулів, розміщених в двох перших рядках таблиці, виконується синтез. Здійснюється ранжування отриманих парних комбінацій модулів та оцінення за критеріями типу K_{S1} . Найкращий варіант з цих комбінацій використовується на наступному етапі, решта резервується.

3. Отриманий на попередньому етапі варіант сполучається з модулями наступного рядка таблиці. Згенеровані комбінації також ранжуються та оцінюються за критеріями типу K_{S1} . Виконується вибір найкращого варіанту для наступного етапу синтезу.

4. Для наступних рядків таблиці повторюються дії етапу 3. У разі незадовільної комбінації за критеріями типу K_{S1} на k -му кроці (розглядаючи усі комбінації отриманого на $(k - 1)$ -му кроці з модулями k -го рядка), використовуються послідовно по одному зарезервовані варіанти $(k - 1)$ -го кроку з метою отримання комбінацій з модулями k -го рядка до появи задовільних комбінацій. Якщо задовільної комбінації не буде знайдено, то повертаються на $(k - 2)$ -й крок. Процес повернення може тривати аж до ревізії варіантів, зарезервованих на першому рядку морфологічної таблиці.

У разі досягнення процедурою синтезу останнього рядка таблиці, згенеровані цілісні варіанти перевіряються критеріями типу K_{S1} та K_{S2} . В цьому місці можуть бути два напрямки подальшого рішення задачі:

1) здійснюється вибір найкращого варіанта серед згенерованих цілісних варіантів і рішення задачі на цьому закінчується. Цей напрямок використовується у разі обмеження час на рішення задачі, але результат не є оптимальним;

2) підвищення імовірності генерації найкращого варіанта синтезованої системи АТЕ ДТП шляхом розширення кола досліджуваних цілісних варіантів системи. У цьому випадку здійснюється перегляд зарезервованих на попередніх етапах варіантів комбінацій. Процес повернення призупиняється в таких випадках:

– отримується цілісний варіант, що на думку експерта задовольняє всі вимоги;

- коли число генерованих цілісних варіантів на думку експерта стає критичним;
- якщо ресурси часу для рішення задачі є обмеженими.

Отже, розроблений алгоритм синтезу інтегрованої системи експертизи ДТП (рис. 2.18) можна рекомендувати до застосування при наявності достатньо повної інформації про дорожньо-транспортну ситуацію та стандартні модулі. Він дає рішення максимально наближене до вимог поставленої задачі, підвищує ефективність експертного оцінювання механізму дорожньо-транспортних пригод, забезпечує високу гнучкість системи у разі зміни умов її функціонування.

2.6 Оцінювання якості провадження автотехнічних експертиз дорожньо-транспортних пригод

Доказами в суді вважають фактичні дані, на основі яких у порядку, визначеному законом, органи дізнання і суд визначають відсутність або наявність суспільно небезпечної дії, встановлюють ступінь винності причетних осіб та інші обставини, значимі для об'єктивного вирішення справи. Такими доказами є: речові докази, показання потерпілого, обвинуваченого, свідків, висновки експерта, протоколи слідства і судових дій [90].

Найважливішим засобом доведення у справах про ДТП є висновок експерта. Він містить доказову інформацію, яку отримують шляхом фіксації фактичних обставин та виконання наукових досліджень в певній кримінальній справі. В результаті дослідження отриманих доказів, експерт встановлює інші докази по справі у відповідності до поставлених перед ним задач, використовуючи при цьому спеціальні знання. Таким чином, доказова інформація, встановлена судовою експертизою, це підсумок, що узагальнює процес пізнання і має характер висновку [83-88, 168, 186].

Аналіз механізму ДТП повинен провадитись комплексно, щоб кожен елемент системи «слідство-експертиза-прокуратура-суд» (рис. 2.19) мав одну

мету – об’єктивне встановлення обставин ДТП, встановлення істинного винуватця в скоєному та винесення об’єктивного рішення по факту ДТП у відповідності з діючим законодавством.



Рисунок 2.19 – Взаємодія ланок системи «слідство-експертиза-прокуратура-суд» в дослідженні механізму ДТП

Достовірність та об’єктивність висновків експерта-автотехніка визначається якістю дослідження на таких етапах експертизи: вибір початкових даних (вихідних параметрів і коефіцієнтів), вибір методичного апарата дослідження, підготовка експертного висновку.

Оцінення експертних висновків як виду доказів слідством і судом [177, 179, 180] потрібно виконувати у певній послідовності:

1. Перевіряється дотримання закону під час призначення експертизи. Це перевірка компетентності експерта, чи не було підстав для його відсторонення, чи дотримані права учасників процесу під час призначення і проведення експертизи, чи дотримано форму висновку.

2. Перевіряється допустимість об'єктів, матеріалів для експертизи. Якщо щось було недопустимо, то висновок автоматично стає недопустимим. Так, якщо експерту були представлені не всі матеріали справи чи протоколи огляду місця ДТП (слідчого експерименту, вилучення деталей) були складені з відхиленням від закону, то з'являються підстави для відхилення висновку експерта. Таким чином, допущений в поліції при дізнанні та слідстві брак може звести до нуля висновок самого кваліфікованого експерта. Оцінка правильності вихідних даних не входить в компетенцію експерта, і якщо нереальні дані безпосередньо вказані в постанові слідства (суду), пізніше признаються сумнівними, то таким буде і висновок експерта. З іншого боку, якщо експерту приходиться самому відбирати вихідні дані з матеріалів справи, то його висновок може бути опротестований на підставі ненадання йому офіційно конкретних даних під час призначення експертизи.

3. Визначається правомірність застосування методики дослідження для конкретного випадку та міра її наукової обґрунтованості. Це зробити дуже складно через відсутність у юристів спеціальних технічних знань. Ці знання постійно розширюються і поглиблюються. Проблема полягає в тому, що в галузі судової експертизи відсутня поки що прийнята, наприклад, в технічних галузях практика стандартизації та сертифікації виробів, методик контролю і випробувань. Ці документи систематично удосконалюються і затверджуються.

Державні установи судової експертизи фактично не мають ніякої бази для науково-технічних досліджень ДТП й часто вимушені використовувати наукові розробки і результати досліджень спеціалістів науково-дослідних інститутів і вузів по автотранспортним засобам та безпеці руху, які готують методичні вказівки та рекомендації для експертів. Однак в місцевих установах ці матеріали з різних причин погано використовуються, матеріали і методики застарівають або їх важко застосовувати щодо конкретного випадку внаслідок дефіциту вихідної інформації. Існує проблема застосування ЕОМ за складними, непрозорими методиками.

4. Виконується оцінення повноти висновку за повнотою опису ходу і підсумків дослідження, якістю відповідей на поставлені питання та, у разі потреби, обґрунтованістю відмови надати відповідь на поставлені питання.

5. Виконується оцінення обґрунтованості висновків експерта. В практиці розповсюдженими є висновки, в яких наводяться з різних джерел рекомендації про дії учасників ДТП і про методи визначення, наприклад, місця зіткнення, багатослівно вказується на складність вирішення даних питань, а потім без будь-яких власних логічних побудов чи розрахунків відразу формується категоричний висновок «на основі вказаного вище». При допиті на суді експерт може відповісти, що такий висновок зроблено «у відповідності з судово-експертною практикою». Крім того, висновок може мати внутрішні протиріччя та явні логічні помилки.

6. Встановлюють чи результати експертизи відносяться до даної справи, себто в'ясняють, чи мають відношення до предмету доказування встановлені експертом факти, чи входять вони в число інших вагомих для справи обставин, чи встановлюють і доводять ці факти висновки експерта. Досить часто на експертизу ДТП через слабку підготовку (або спеціально) виносять малозначущі питання. Формально, таким чином, виконують процедуру проведення експертизи і потім вирішують «за внутрішнім переконанням».

7. Виконується оцінка доказовості висновку експертизи з врахуванням сукупності інших доказів. На практиці має місце як завищення значення експертизи ДТП, так і заниження її значення. Типовою помилкою у слідчій та судовій практиці є призначення повторної експертизи лише на тій підставі, що висновки експерта не влаштовують слідство і суд за формою або вони не вкладаються в «генеральну версію» створення аварійної ситуації, а також за наполяганням однієї зі сторін, щоб виключити скарги і протести у вищій інстанції. Також часто висновки спеціаліста чи експерта по ДТП, зроблені на стадії попереднього слідства (дівання), в суді сприймаються з недовірою. Взагалі висновок повторної експертизи повинен оцінюватись у сукупності з першою і з аналізом розходжень у висновках. Може бути призначена ще одна комісійна експертиза.

Під час суду експертні висновки мають право оцінювати усі учасники процесу, суд може як погодитись з оцінкою учасників, так і відхилити їх міркування. В тривалих судових процесах по складним ДТП, як правило, виконується велике число експертиз та приймаються різні рішення.

Вагомими компонентами системи забезпечення якості експертизи ДТП є: компонент стандартів (еталонної системи показників), компонент аналізу та оцінки діяльності. Взаємозв'язки компонентів забезпечення якості та понятійний апарат вкладаються в таку схему (рис. 2.20).



Рисунок 2.20 – Схема забезпечення якості експертизи ДТП

Для більш детального аналізу даного процесу, потрібно розглянути якість експертизи ДТП як комплекс таких показників:

1. Ефективність, яка визначається відношенням отриманого результату до теоретично можливого в ідеальних умовах.

2. Економічність, яка визначається відношенням фактичних затрат до нормативної вартості.

3. Адекватність, яка визначається співвідношенням між потрібною та реально виконаною експертизою та складається з таких понять:

1. Науковість методик та технічний рівень технологій, які використовуються в процесі експертизи ДТП.

2. Своєчасність виконання автотехнічної експертизи ДТП, яка визначається співвідношенням часу проведення і часу виникнення потреби в експертизі з часом надання послуги з автотехнічної експертизи та потреби в ній при роботі системи в ідеальних умовах.

3. Достатність охопту питань АТЕ ДТП для забезпечення адекватного відтворення механізму виникнення аварійних ситуацій, яка не знижує в значній мірі ефективність експертизи.

Всі ці поняття повинні бути основою методологічного забезпечення якості експертизи ДТП.

Будь-яка властивість може бути оцінена показником якості, вираженим у відносних або абсолютних одиницях [330-332].

Одиничні, які характеризують одну споживчу властивість, показники якості автотехнічної експертизи ДТП рекомендується визначати відносною величиною, а не фактичними абсолютними значеннями чи різницею між еталоном (базою) і фактичним значенням. Ці показники визначаються так

$$Q_i = Q_i^f / Q_i^b \text{ або } Q_i = Q_i^b / Q_i^f \quad (2.61)$$

де Q_i^b і Q_i^f – еталонне (базове) і фактичне значення характеристики i -ї властивості АТЕ ДТП;

Q_i – одиничний показник якості, який характеризує i -у властивість.

Для дослідження якості використовують як окремі показники, так і ті, що характеризують групу властивостей чи в цілому.

Показник якості k -у групи властивостей QG_k можна визначити за формулою

$$QG_k = \left(\prod_{i=1}^n \alpha_i \cdot Q_i \right)^{1/n}, \quad (2.62)$$

де Q_i – показник якості, який описує i -у властивість, що входить до k -у групи властивостей;

α_i – вага i -ї властивості показника якості, що описує k -у групу властивостей;

n – кількість властивостей в k -й групі.

Підсумковий показник якості АТЕ дорожньо-транспортних пригод можна визначити аналогічно:

$$QP = \left(\prod_{k=1}^m \beta_k \cdot QG_k \right)^{1/m}, \quad (2.63)$$

де QG_k – показник якості, який характеризує k -у групу властивостей автотехнічної експертизи ДТП;

β_k – вага показника якості, який характеризує k -у групу властивостей в загальному показнику;

m – число груп властивостей, за якими оцінюється загальна якість автотехнічної експертизи ДТП.

Аналіз критеріїв якості провадження автотехнічних експертиз дорожньо-транспортних пригод дозволяє зробити висновок, що в остаточному підсумку якість проведення та розслідування АТЕ аварійних ситуацій відображає весь процес взаємодії учасників експертизи. З метою наближення до розуміння якості як загальноприйнятої категорії, необхідно розглянути якість АТЕ

дорожньо-транспортних пригод в загальному плані. Під час оцінки якості товарів і послуг [330] беруть до уваги такі характеристики: якість виконання та якість відповідності.

Якість виконання є характеристикою, яка відображає ступінь задоволення потреб та запитів учасників ДТП, окремих елементів системи «слідство-експертиза-прокуратура-суд».

Якість відповідності відображає ступінь відповідності діючим стандартам, внутрішнім специфікаціям тощо.

Якість виконання не завжди може бути забезпечена, тому що вимоги окремих осіб до якості виконання автотехнічної експертизи є завищеними, а можливості експертів обмежені наявними ресурсами, забезпеченістю використання можливих експертних технологій, професійно-технічним рівнем самого виконавця тощо.

Якість відповідності може бути забезпечена в більшості випадків, тому що її параметри визначаються стандартами, які створені всередині системи судової АТЕ під існуючі технології.

Основними компонентами оцінювання якості є: аналіз професійних якостей експерта та забезпеченості його роботи технічним обладнанням, аналіз фінансування та умов організації праці (якість структури), аналіз використовуваних технологій (якість процесу), аналіз висновків (якість результатів). Звісно, цими компонентами оцінювання якості не обмежується, в практичній діяльності проводиться багато досліджень, в яких такі питання розглядаються непрямо або в іншому контексті.

При прийнятті рішень за концепцією системного аналізу [152, 202, 239, 245, 248, 249] процес напрацювання рішення зводиться до вибору найкращої альтернативи серед сукупності допустимих засобів досягнення поставленої мети. Мета полягає в оптимізації системи за певним критерієм.

В справжніх складних системах в багатьох випадках існує декілька цілей. Ці цілі нерідко є суперечливими. При розробці складних систем, таких, як система АТЕ дорожньо-транспортних пригод, неможливо визначити одну ціль

чи встановити жорстку ієрархію цілей. Отже замість жорсткої моделі потрібно застосовувати «м'яку» модель, головна ідея якої полягає в компромісному рішенні в рамках діяльності по досягненню різних цілей, в знаходженні рішень, які в деякій мірі задовольняли б усі потреби. Компромісний підхід виник від розуміння того, що досить часто не хватає інформації для лінійного розподілу рішень і можна лише здійснити груповий розподіл.

Потрібно також відмітити, що реалізація компромісного підходу може супроводжуватись виникненням певні труднощів. Особа, яка приймає рішення, не завжди об'єктивно оцінює рівень якості напрацьованого рішення, а тому не завжди обирає найкраще рішення із загальної сукупності можливих рішень. Вибір найкращого варіанта можливий лише тоді, коли була застосована коректна модель та коректний алгоритм вибору.

Для розробки методики оцінювання якості провадження автотехнічних експертиз дорожньо-транспортних пригод за багатьма критеріями використаємо теорію нечітких множин [242, 250-255].

Постановка задачі виглядає так. Нехай задана множина можливих варіантів виконання конкретної автотехнічної експертизи X :

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\}.$$

Кожний варіант характеризується множиною параметрів оцінювання якості Y :

$$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_m\}.$$

Нечітке відношення, яке має місце між кожним членом сукупності X і кожним членом сукупності Y , позначене через μ_{ij} або μ_{ij} . Тобто, μ_{ij} відображає міру відповідності i -го варіанта АТЕ вимогам за j -м параметром ($\mu_{ij} \in [0,1]; i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$). Якщо узяти разом всі нечіткі відношення x_i

та y_j , то отримаємо матрицю нечітких відношень R розміром nm :

$$R = \{ \mu_{ij} \mid i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m \}.$$

Потрібно обрати оптимальний варіант x^* із множини X .

Задачу оцінювання якості варіанту проведення автотехнічної експертизи можна записати таким чином:

$$x^* = \text{opt}(X, Y, R, M), \quad (2.64)$$

де M – використовувана модель вирішення задачі, обрана ОПР. В залежності від використовуваної моделі, результати вирішення задачі (2.64) можуть бути різними при однакових вихідних даних.

Можливі ситуації, які характеризують процес прийняття рішень [239, 241, 242, 246, 254, 265, 270, 329]:

1) ОПР не має інформації щодо обмежень значень параметрів та інформації про рівень важливості параметрів. В цьому випадку використовується згортка Гермейєра (мінімаксна модель);

2) ОПР обирає варіант, для якого забезпечуються значення усіх параметрів в рамках еталону. Цей випадок відповідає моделі абсолютного рішення;

3) Особа, яка приймає рішення, може вказати бажані обмеження за певними параметрами. Використовується модель основного параметра;

4) ОПР здатна розподіляти параметри за рівнем їх важливості та оцінити частку впливу кожного параметра на підсумкове рішення. Для такого випадку застосовується модель компромісного рішення;

5) ОПР виконує пошук найкращого рішення на основі компромісної моделі з урахуванням часткових обмежень на значення параметрів. Такий випадок характеризується як комбінація другої та четвертої ситуації, коли використовується модель еталонного порівняння.

Розглянемо вище перераховані моделі більш докладно.

Суть моделі максимінної згортки полягає в тому, що найкращим вважається варіант, який мінімізує недоліки за всіма параметрами. Ця модель базується на операції перетину нечітких множин:

$$D = (y_1 \cap y_2 \cap \dots \cap y_j \cap y_m),$$

де D – остаточна оцінка якості варіанта, яка визначається операцією перетину часткових параметрів $y_j, j = 1, \dots, m$.

Реалізація операції перетину нечітких множин можлива різними шляхами. Зазвичай ця операція виконується шляхом взяття мінімуму:

$$\mu_D(x_i) = \min \mu_{ij}, j = 1, \dots, m.$$

Задача (2.58) перетворюється в такий вигляд:

$$x^* = \{x_k \mid x_k \in X; \mu_D(x_k) = \max \mu_D(x_i), i = 1, \dots, n\}. \quad (2.65)$$

Варіант x_k є розв'язком задачі (2.65).

Недоліки моделі такі: модель ігнорує високі оцінки варіантів, оскільки є реалізацією песимістичного підходу. Варіант з високими оцінками за певними параметрами і низькою оцінкою лише за одним параметром, в кінцевому випадку оцінюється як варіант, що має низький рівень якості.

Переваги моделі такі: алгоритм та модель розв'язування достатньо прості; для застосування моделі потрібний мінімальний обсяг вхідної інформації; дана модель завжди дає рішення.

При застосуванні моделі абсолютного рішення особа, яка приймає рішення, задає граничне значення μ_j^{\min} для параметрів Y_j . Математичний запис задачі (2.64) виглядає так:

$$x^* = \left\{ x_k \mid x_k \in X; \mu_{kj} \geq \mu_j^{\min} \forall j = 1, \dots, m \right\}. \quad (2.66)$$

Недоліком моделі є ігнорування рівнів важливості параметрів, тому можливі випадки не включення у множину X^* варіанта, який задовольняє обмеженням за важливими параметрами, через невиконання обмеження за менш важливим параметром.

Рішення задачі (2.64) при використанні моделі основного параметра здійснюється так. На кожному кроці обирається основний параметр, який є базовим для пошуку найкращого рішення. Результат даного кроку (множина рішень) є сукупністю можливих рішень для наступного кроку.

Таким чином, задача (2.64) приймає вид:

$$\begin{cases} X_0^* = \{x_k \mid x_k \in X, k = 1, \dots, n\}, \\ X_j^* = \{x_k \mid x_k \in X_{j-1}^*, \mu_{kj} \geq \mu_j^{\min}\}, \\ j = 1, \dots, m. \end{cases} \quad (2.67)$$

Переваги цієї моделі порівняно з попередніми такі: дозволяє врахувати рівень важливості параметрів; особа, яка приймає рішення, може прискорити процес рішення задачі шляхом корегування обмежень, накладених на значення параметра безпосередньо на кожному кроці.

Недоліки моделі: модель не може давати вичерпне рішення, хоча і враховує важливість параметрів, якщо кінцева множина рішень X_m^* має кілька варіантів. В цьому випадку ні один із варіантів неможливо оцінити як кращий.

Внаслідок неможливості одночасного задоволення кількох, зазвичай суперечливих вимог, при рішенні задачі (2.64) в моделі компромісного рішення використовують інтегральний чи компромісний параметр, величину якого визначають за результатами згортки часткових параметрів.

Задамо рівні важливості параметрів у векторному вигляді:

$$W = (w_1, w_2, \dots, w_j, \dots, w_m),$$

де w_j – рівень важливості параметра y_j ; w_j набуває значень від нуля (відсутність впливу на вибір) до одиниці (параметр максимально впливає на вибір).

Після визначення значень w_j проводиться їх нормалізація:

$$w_j = w_j / \sum_{k=1}^m w_k.$$

Інтегральний параметр якості варіантів позначимо через функцію F :

$$F = (f_1, f_2, \dots, f_i, \dots, f_n),$$

де f_i – значення інтегрального параметра якості варіанта x_i .

Функція F визначається за формулою

$$F = R \cdot W,$$

або

$$|f_1, \dots, f_i, \dots, f_n| = \begin{vmatrix} \mu_{11} & \dots & \mu_{1m} \\ \dots & \mu_{ij} & \dots \\ \mu_{n1} & \dots & \mu_{nm} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} w_1 \\ \dots \\ w_m \end{vmatrix},$$

тобто

$$f_i = \sum_{j=1}^m (\mu_{ij} \cdot w_j).$$

Задача (2.64) при використанні моделі компромісного рішення приймає такий вид:

$$X^* = \{x_k \mid x_k \in X; f_k = \max \{f_i \mid f_i \in F; i = 1, \dots, n\}\}. \quad (2.68)$$

Переваги моделі: крім врахування важливості параметрів, модель враховує долю впливу кожного параметра на підсумкове рішення, що усуває вади моделі основного параметра; дана модель завжди забезпечує існування рішення задачі.

Недоліки моделі: високе значення підсумкового параметра f_i не гарантує того, що варіант повністю відповідає усім висунутим вимогам. Низьке значення одного показника (нижче граничного при використанні моделі абсолютного рішення) компенсується високим значенням іншого значимого параметра.

Сутність моделі еталонного порівняння полягає у визначенні еталонного варіанта виконання АТЕ дорожньо-транспортних пригод x_0 . Параметри цього варіанта є мінімально допустимими значеннями $\mu_0, j = 1, \dots, m$. Усі варіанти сукупності X порівнюється з еталоном x_0 . У разі не гіршої якості у варіанта x_i ніж у еталона x_0 за усіма параметрами, варіант x_i додається до загальної сукупності рішень і для нього визначають інтегральний параметр якості f_i . Для еталонного варіанта інтегральний параметр приймає нульове значення $f_0 = 0$. Оптимальний розв'язок – варіант з максимальним значенням інтегрального параметра f_{\max} .

Математичний запис моделі:

$$\begin{cases} X^* = \{x_k \mid x_k \in X; \mu_{kj} \geq \mu_{0j} \forall j = 1, \dots, m; f_k = f_i \mid f_i \in F; i = 1, \dots, m\}; \\ f_i = \sum_{j=1}^m (\mu_{ij} - \mu_{0j}) \cdot w_j. \end{cases} \quad (2.69)$$

Варіант x_k є розв'язок задачі (2.69).

Недоліком моделі є необхідність забезпечення більшого обсягу інформації від ОПР порівняно з попередніми моделями.

На основі аналізу розглянутих вище моделей було побудовано блок-схему алгоритму багатокритеріального оцінення якості варіанту реалізації автотехнічної експертизи ДТП, представлену на рис. 2.21. Базовою основою при розробці даного алгоритму стала модель еталонного порівняння в комбінації з моделями компромісного та абсолютного рішення. Це дозволило усунути їх недоліки.

Розглянемо приклад застосування побудованого алгоритму (рис. 2.21) для вирішення задачі багатокритеріального вибору варіанта реалізації системи АТЕ ДТП. Було запропоновано чотири варіанта провадження експертизи: x_1 , x_2 , x_3 , x_4 . Крім того, встановлено три параметра якості АТЕ: y_1 – ступінь відповідності та задоволення потреб і запитів учасників ДТП та окремих елементів системи «слідство-експертиза-прокуратура-суд» (рівень невизначеності рішень), y_2 – строк виконання, y_3 – вартість виконання.

Результати оцінювання рівня кожного варіанта якості за вказаними параметрами подані в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Значення параметрів за варіантами

Варіант реалізації	Параметри оцінення варіантів		
	ступінь відповідності та задоволення y_1	строк виконання y_2	вартість виконання y_3
x_1	0.63	0.74	0.82
x_2	0.51	0.62	0.73
x_3	0.91	0.79	0.56
x_4	0.82	0.71	0.61

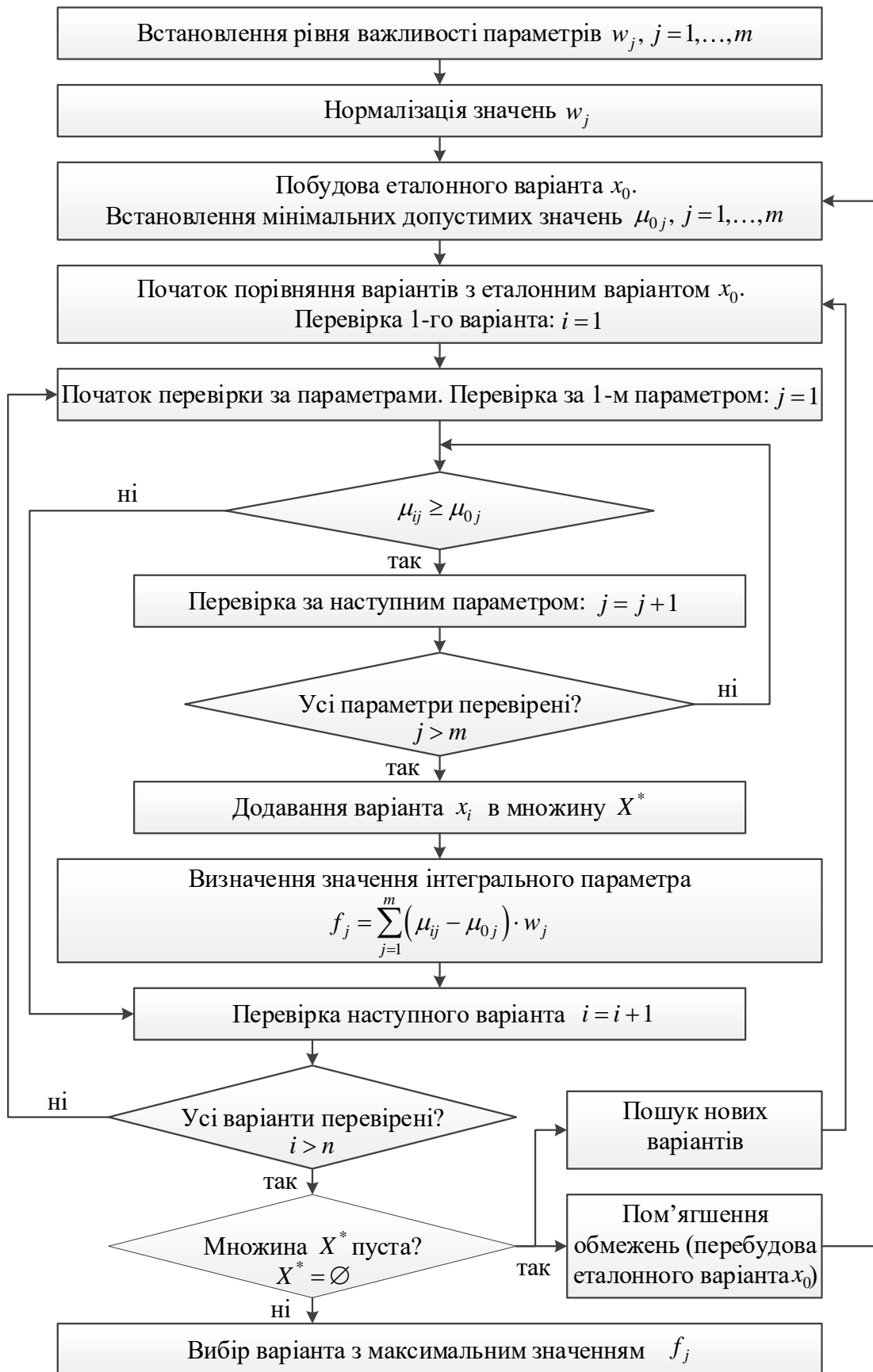


Рисунок 2.21 – Блок-схема алгоритму багатокритеріального оцінювання якості варіанту реалізації автотехнічної експертизи ДТП

Розв'язок задачі за запропонованим алгоритмом (рис. 2.21).

Встановлюємо мінімально допустимі значення параметрів якості: $\mu_1^{\min} = 0,60$, $\mu_2^{\min} = 0,50$, $\mu_3^{\min} = 0,60$. Після нормалізації вектор рівнів важливості параметрів має такий вигляд: $W = (0,5 \ 0,3 \ 0,2)^T$.

При перевірці варіантів за умовою $\mu_{ij} \geq \mu_{0j}$ встановлено:

– варіант $x_2(0,51 \ 0,62 \ 0,73)$ не відповідає вимогам за параметром y_1 ;

– варіант $x_3(0,91 \ 0,79 \ 0,56)$ не задовольняє вимоги за параметром y_3 .

Ці варіанти видаляються із множини розв'язків. Залишаються два варіанта: x_1 та x_4 .

$X^* = \{x_1, x_4\}$. Їх інтегральний параметр приймає такі значення:

$$f_1 = (0,63 - 0,60) \cdot 0,50 + (0,74 - 0,50) \cdot 0,30 + (0,82 - 0,60) \cdot 0,20 = 0,13;$$

$$f_4 = (0,82 - 0,60) \cdot 0,50 + (0,71 - 0,50) \cdot 0,30 + (0,61 - 0,60) \cdot 0,20 = 0,18;$$

Результат розв'язку задачі – варіант $x_4(0,82 \ 0,71 \ 0,61)$.

Отже, при достатній повноті наявної інформації розроблений алгоритм методики багатокритеріального оцінювання якості провадження АТЕ ДТП можна рекомендувати до застосування, оскільки він дає рішення, яке найкраще відповідає вимогам поставленої задачі.

Висновки до розділу 2

1. Концепція дисертаційного дослідження полягає у тому, що процес напрацювання рішень в автотехнічній експертизі ДТП потрібно розглядати не лише як детермінований, але і як нечіткий та стохастичний процес, який потребує застосування синтезованих детермінованих, імовірнісних, регресійних та нейро-нечітких моделей з метою врахування більшості факторів, що впливають на величину невизначеності при формуванні експертних висновків.

2. Для посилення фактора об'єктивності в оцінці подій, зменшення кількості обмежень суб'єктивного характеру на свободу вибору експерта-автотехніка доцільним є встановлення узагальненого (інтегрального) критерію, за значенням якого приймається рішення щодо вибору найкращої альтернативи в умовах композиційної невизначеності під час розв'язування задач автотехнічної експертизи ДТП. Процедура формування інтегрального критерію виконується на перетині предметних областей статистики, теорії баз даних та штучного інтелекту.

3. Інструментальні засоби, побудовані на основі методів теорії нейромерж та теорії нечітких множин, дозволяють мінімізувати вплив суб'єктивної невизначеності і надають можливість особам, які приймають рішення, коригувати і уточнювати експертні висновки для підвищення їх об'єктивності та достовірності.

4. Модульна технологія синтезу інтегрованої системи автотехнічної експертизи ДТП на основі морфологічного методу надає засоби для автоматизації компонентної розробки системи любого рівня якості та складності зі стандартних модулів, при зміні умов функціонування системи ця технологія забезпечує високу гнучкість системи, що підвищує об'єктивність експертного оцінювання механізму аварійних ситуацій.

5. Розв'язання задачі оцінювання якості варіанта проведення автотехнічної експертизи на основі моделі еталонного порівняння в комбінації з моделями компромісного та абсолютного рішення відображає весь спектр взаємодії учасників цього процесу та дозволяє врахувати необхідні компоненти системи забезпечення якості: компонент оцінювання та аналізу діяльності та компонент еталонної системи показників (стандартів). Дана система є методологічною основою концепції оцінювання і зменшення невизначеності результатів провадження АТЕ дорожньо-транспортних пригод на базі сучасних експертних технологій прийняття рішень.

Результати досліджень, наведені в розділі 2, опубліковані в роботах [1, 22, 24-28, 31-33, 49, 50, 58, 60].

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛІ ПІДВИЩЕННЯ ОБ'ЄКТИВНОСТІ ЕКСПЕРТНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД

3.1 Модель оцінювання відстані видимості об'єктів при русі автомобіля в темну пору доби

Темна пора доби є найбільш небезпечним періодом експлуатації транспортних засобів та руху пішоходів (близько 52% випадків загибелі водіїв та 71% випадків загибелі пішоходів відбуваються в темну пору доби та сутінки, незважаючи на зниження інтенсивності руху в 3–10 рази) [333, 334]. Безпека руху ТЗ в темну пору доби залежить на 97–99 % від зорової та на 1–3% від слухової інформації про дорожню обстановку [2]. Цьому сприяють такі фактори: відсутнє або незадовільне освітлення проїзної частини; незадовільний технічний стан системи освітлення ТЗ; засліплювання водія світлом фар зустрічного ТЗ; підвищена втомлюваність водія внаслідок відсутності фізіологічного методу перебудови свого режиму для роботи вночі; неповна оцінка реальної нічної дорожньої обстановки, аналогічної керуванню ТЗ вдень; брак досвіду і професійних прийомів керування ТЗ в темну пору доби.

Існує багато різних методів, засобів і технологій, що застосовуються для оцінювання видимості об'єктів на дорозі в нічний час з метою забезпечення роботи систем активної безпеки ТЗ та допомоги водію [197, 335, 336], організації та керування дорожнім рухом [337-339] та автотехнічної експертизи ДТП [88, 340].

Для пошуку об'єктивної відповіді на питання щодо правильності обрання швидкості руху в темну пору доби та технічної можливості у водія уникнути наїзду на пішохода або перешкоду при розслідуванні механізму ДТП експериментально визначається відстань видимості об'єктів на дорозі в умовах, аналогічних умовам в момент виникнення аварійної ситуації [89].

Складність і неоднозначність визначення відстані видимості людиною, необхідність виконання трудомістких натурних спостережень в максимально наближених дорожніх, погодних та інших умовах до тих, що мали місце при ДТП сприяють виникненню похибок та збільшують невизначеність даних, на основі яких формуються експертні висновки. Вирішення цієї проблеми можливе на основі всебічного вивчення характеру розповсюдження і зорової перцепції світла автомобільних фар, розробки сучасних методик оцінювання ефективності фар в різних умовах експлуатації.

3.1.1 Аналіз розвитку конструкцій автомобільних фар та теоретичних засад оцінювання ефективності їх функціонування

Історія розвитку систем головного освітлення автомобілів розпочалась з 1898 року із застосування електричних ламп накалювання, які змінили галогенні лампи, впроваджені у 1971 році. З 1992 року отримали застосування ксенонові лампи головного освітлення, з 2007 року – світлодіодні, а з 2014 року – лазерно-люмінофорні [341, 342]. За останні 25 років значно покращились оптичні системи фар, використовувані датчики, програмні та електронні компоненти інтелектуальних освітлювальних систем ТЗ [34, 343]. За даними аналітичних звітів з розвитку світового ринку автомобільної світлотехніки на даний час в ТЗ використовуються три основних типи джерел освітлення: галогенне, ксенонове та світлодіодне (табл. 3.1), причому доля автомобілів з галогенними джерелами складає 70-80% [341, 344].

Для вимірювання візуальної реакції людини на світло використовують такі фотометричні параметри як сила світла, світловий потік, освітленість, яскравість та світлова ефективність [2, 197, 334]. Якість світла автомобільних фар можна оцінити за його дальністю, шириною, комфортом (охватом зони погляду водія) та рівнем незручностей для інших учасників дорожнього руху відповідно до міжнародних вимог (наприклад, Правил ЄЕК ООН R1, R2, R8, R20, R48, R98, R99).

Таблиця 3.1 – Основні показники автомобільних систем головного освітлення для ТЗ категорії М1

Показник/Тип фар	Галогенні	Ксенонові	Світлодіодні (LED)
Термін служби, год	до 1000	до 3000	від 10000 до 100000
Номінальна напруга, В	12	85, для імпульсу до включення (10-20 кВ)	12
Номінальна потужність, Вт	55-65	35	до 20
Світловий потік, лм	1000-1650	2800-3200	800-1700 і більше
Вартість	низька	висока	висока

В темну пору доби за умовами безпеки руху необхідно щоб відстань видимості дорожніх об'єктів S_V була більшою ніж зупинний шлях ТЗ S_0

$$S_V \geq S_0 + S_S, \quad (3.1)$$

де S_S – інтервал безпеки до перешкоди.

В практиці встановлення обставин ДТП Європейської мережі установ судової експертизи [89] зупинний шлях визначають за виразом (1.11).

Освітленість, необхідна для виявлення перешкоди, залежить від прозорості атмосфери та кольорового контрасту предметів розрізнення. Її наближено можна визначити за емпіричною формулою [345]

$$E_n = 0.2 + 0.01 \cdot S_0. \quad (3.2)$$

Сумарна сила світла фар та освітленість, необхідна для виявлення перешкоди на відстані S_V , пов'язані залежністю [346]

$$I = E_n \cdot S_V^2. \quad (3.3)$$

Наскільки погіршується видимість дорожніх об'єктів водієм від фар зустрічних автомобілів оцінюють коефіцієнтом засліплення

$$C_S = (I_S + I_F) / I_S, \quad (3.4)$$

де I_S – сила світла, що спричиняє ефект засліплення;

I_f – сила світла фар зустрічного автомобіля, що потрапляє в очі водія.

Відстань видимості дорожніх об'єктів (рис. 3.1) залежить від освітленості дороги E , створеної на відстані d та освітленості, необхідної для виявлення перешкоди



Рисунок 3.1 – Фактори, що визначають відстань видимості дорожніх об'єктів в темну пору доби

$$S_V = d\sqrt{E / E_n}. \quad (3.5)$$

З іншого боку, як видно з рисунку 3.1, відстані видимості дорожніх об'єктів в темну пору доби можна ідентифікувати шляхом пошуку відображення

$$S_V = f(I_{\alpha\beta}, \alpha, \beta, \delta, \rho, C_S, K, B_a, \gamma). \quad (3.6)$$

3.1.2 Методика ідентифікації та побудова структури системи

Адаптивна система оцінювання відстані видимості дорожніх об'єктів в темну пору доби розроблялась на базі метода ідентифікації нелінійних об'єктів нечіткими базами знань [252, 257, 319] в нейро-нечіткому редакторі Anfis [347] пакета Fuzzy Logic Toolbox обчислювального середовища Matlab [348]. Система будувалась в два етапи (рис. 3.2): структурна ідентифікація; параметрична ідентифікація.

На етапі структурної ідентифікації було побудовану структуру залежності відстані видимості від факторів впливу (рис. 3.3) на основі правил «якщо-то». Параметрична ідентифікація проводилась шляхом підбору таких параметрів бази знань, які б забезпечували максимальну наближеність результатів моделювання та експериментальних даних.

Як видно з рис. 3.3, нейро-нечітка мережа системи складається з п'яти шарів. Кожен вузол першого шару являє собою один терм з гауссовою функцією належності [242, 253, 348]

$$\mu_j(x_i) = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x_i - c_{ij}}{\sigma_{ij}}\right)^2\right), \quad (3.7)$$

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

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



Рисунок 3.2 – Етапи налаштування системи оцінювання відстані видимості

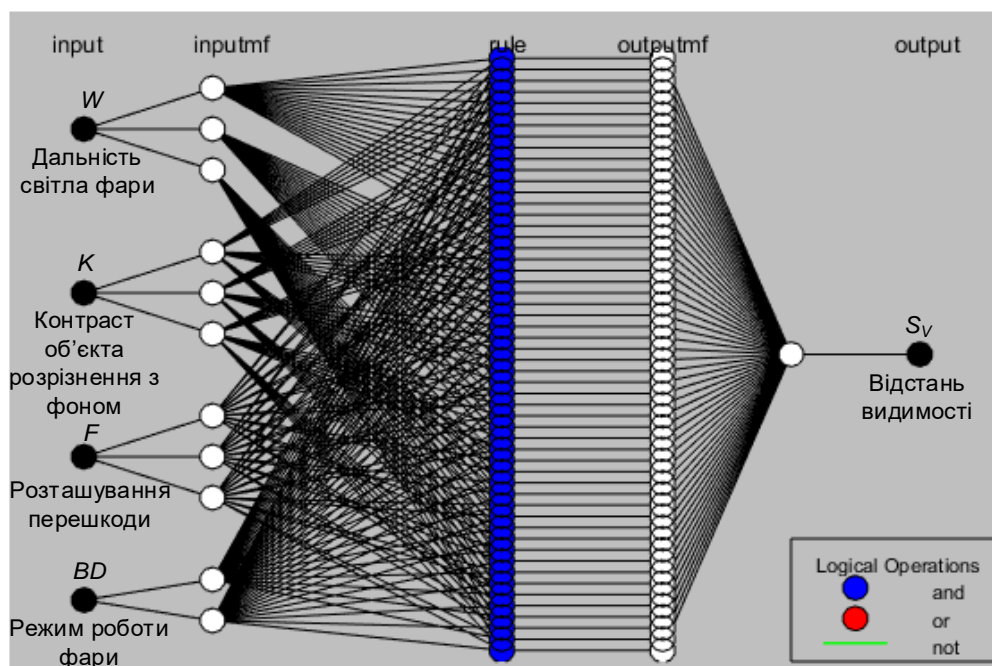


Рисунок 3.3 – Структура системи оцінювання відстані видимості

Кількість вузлів другого шару дорівнює кількості правил нечіткої бази знань Сугено [347] (для цього випадку, як видно з рис.3.3, кількість правил становить $m = 3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 2 = 54$). Кожен вузол другого шару з'єднаний з такими вузлами першого шару, які утворюють антецеденти відповідного правила. Виходом вузла є ступінь виконання вкладеного в нього правила τ_r , що дорівнює добутку вхідних сигналів.

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

$$\tau_r^* = \tau_r / \sum_{j=1, m} \tau_j, \quad (3.8)$$

$$S_{Vr} = \tau_r^* \cdot (b_{0,r} + b_{1,r} \cdot W + b_{2,r} \cdot K + b_{3,r} \cdot F + b_{4,r} \cdot BD), \quad (3.9)$$

де $b_{q,r}$ – коефіцієнти функції консеквентів r -го правила ($r = 1, 2, \dots, 54$; $q = 0, 1, 2, 3, 4$).

Єдиний вузол п'ятого шару агрегує вклади всіх правил

$$S_V = S_{V1} + \dots + S_{Vr} + \dots + S_{Vm}. \quad (3.10)$$

Всі фактори впливу на відстань видимості (табл. 3.2) розглядаються як лінгвістичні змінні, що визначені на відповідних універсальних множинах і оцінюються за допомогою нечітких термів. Перелік найбільш вагомих факторів встановлено за результатами їх аналізу, представленого в [2].

Рекомендації для оцінення контрасту об'єкта розрізнення з фоном K надано в табл. 3.3.

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

Таблиця 3.2 – Фактори впливу на відстань видимості дорожніх об'єктів в темну пору доби

Фактор	Універсальна множина	Терми для оцінок
W – Дальність світла фари	(150–300) м	низька ($W1$), середня ($W2$), висока ($W3$)
K – контраст об'єкта розрізнення з фоном	(0,07–0,9)	низький ($K1$), середній ($K2$), високий ($K3$)
F – розташування перешкоди	(0–7,5) м	ліве узбіччя ($F1$), на осі дороги ($F2$), праве узбіччя ($F3$)
BD – режим роботи фари	(1, 2) б	ближнє світло ($BD1$), дальнє світло ($BD2$)

Таблиця 3.3 – Рекомендовані значення параметра контрасту об'єкта розрізнення з фоном [2]

Дорожнє покриття		Показник K (силуетна видимість)			
Тип покриття	Стан покриття	Пішохід, світлий одяг	Пішохід, темний одяг	Пішохід, світлий одяг зі світло-відбивними елементами	Пішохід, темний одяг зі світло-відбивними елементами
Цементобетонне,	Сухе	0.8	0.1	0.9	0.4
	Мокре	0.72	0.07	0.82	0.25
Асфальтобетонне	Покрите снігом	0.08	0.75	0.35	0.88
Ґрунтова дорога	Сухе	0.7	0.2	0.84	0.3
	Мокре	0.75	0.5	0.87	0.48
	Покрите снігом	0.08	0.75	0.35	0.89

3.1.3 Параметрична ідентифікація системи

Під час проведення експерименту в дорожніх умовах (див. п. 4.2) 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 (див. табл. 3.2) та сама відстань видимості. В результаті була отримана експериментальна база даних (700 пар даних входи-вихід, Додаток Е), фрагмент якої подано в таблиці 3.4. З отриманої бази даних було сформовано навчальну (420 пар даних входи-вихід) та тестову вибірки (280 пар даних входи-вихід).

Таблиця 3.4 – 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_v, 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 «входи-вихід» в Anfis Editor Matlab з використанням алгоритму оберненого поширення помилки в комбінації з методом найменших квадратів подано на рисунку 3.4.

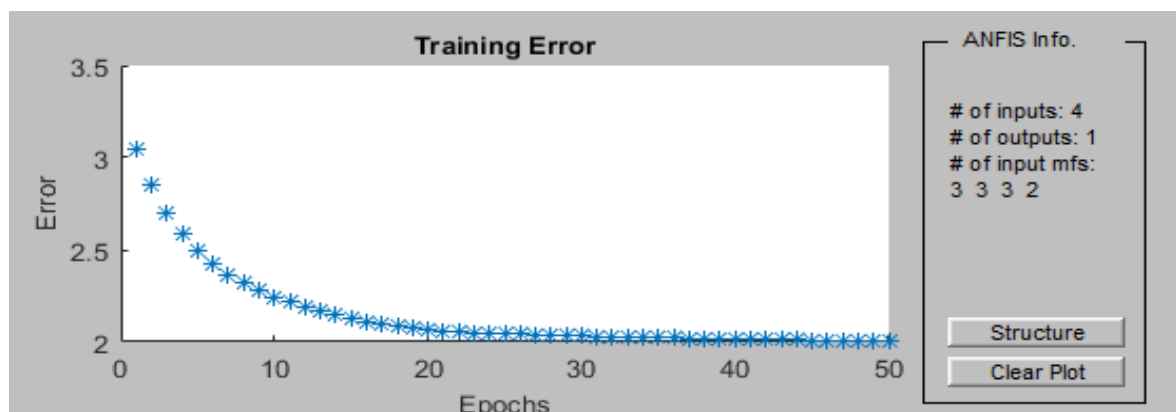


Рисунок 3.4 – Процес навчання адаптивної нейро-нечіткої системи

Як видно з рисунку 3.4, навчання завершилось на 20 епосі і в подальшому похибка прогнозування практично не змінювалась.

Параметри функцій належності вхідних змінних після навчання подані в таблиці 3.5 та на рис. Г.1-Г.4 (Додаток Г).

Таблиця 3.5 – Параметри функцій належності факторів впливу на відстань видимості

Фактор	Універсальна множина	Терми для оцінок	Параметри функцій належності після навчання	
			координата максимуму c_{ij}	коефіцієнт концентрації σ_{ij}
W	(150–300) м	низька (W1), середня (W2), висока (W3)	149.999346138 224.999185599 300.000345907	31.8558451676 31.8735525246 31.8556578123
K	(0,07–0,9)	низький (K1), середній (K2), високий (K3)	-0.059423168022 0.420456376252 1.01032090747	0.301003227800 0.288036935425 0.180778548515
F	(0–7,5) м	ліве узбіччя (F1), на осі дороги (F2), праве узбіччя (F3)	0.0017415509717 3.77299585246 7.51842750655	1.59216692571 1.60509615052 1.58091019300
BD	(1, 2) б	ближнє світло (BD1), дальнє світло (BD2)	0.999963558087 1.99998833525	0.424575076536 0.424688367979

Параметри функцій належності вихідної змінної подані в таблиці 3.6. Рисунок Г.5 (Додаток Г) відображає частину отриманих правил логічного висновку нейро-нечіткої системи оцінювання відстані видимості об'єктів в темну пору доби, а рисунок Г.6 (Додаток Г) – їх використання при формуванні результатів моделювання.

Таблиця 3.6 – Характеристика функцій належності відстані видимості

Номер MF	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Параметр MF	21.98	34.82	23.75	36.14	23.97	41.45	55.72	112.5	60.55	117.3

Продовження табл. 3.6

Номер MF	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Параметр MF	60.43	134.2	65.33	132.8	70.92	138.4	71.00	158.5	28.15	53.25
Номер MF	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Параметр MF	30.53	55.57	30.53	63.57	70.90	172.4	77.10	179.7	76.78	205.6
Номер MF	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Параметр MF	83.22	203.6	90.39	212.2	90.10	242.8	32.09	71.95	34.97	74.97
Номер MF	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Параметр MF	34.79	85.90	80.67	232.8	87.72	242.7	87.17	277.4	94.63	274.7
Номер MF	51	52	53	54	Універсальна множина [35.5 298] м Тип: constant					
Параметр MF	102.9	286.4	102.1	327.5						

Порівняння похибки прогнозування відстані видимості дорожніх об'єктів в світлі автомобільних фар різними методами подано в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Похибка прогнозування відстані видимості дорожніх об'єктів різними методами

Параметр	Гібридна нейро-нечітка модель	Існуюча нечітка модель [174]	Лінійна модель	Нелінійна модель
1	2	3	4	5
RMSE	2.0079	3.1506	18.9018	4.0818
Середня відносна похибка	1.31%	4.16%	34.92%	23.76%

Продовження табл. 3.7

1	2	3	4	5
Максимальна відносна похибка	4.69%	10.4%	1014.41%	107.55%
Кількість пар даних навчальної та тестової вибірок	700	78	700	700

Нелінійна модель прогнозування відстані видимості (табл. 3.7) має вигляд

$$\begin{aligned}
 S_V = & 62.7768 - 0.4504 \cdot W - 69.2353 \cdot K - 5.7786 \cdot F + 0.012 \cdot BD - \\
 & - 0.0002 \cdot W^2 - 36.7703 \cdot K^2 + 0.1491 \cdot F^2 - 25.6635 \cdot BD^2 + \\
 & + 0.3414 \cdot W \cdot K + 0.0088 \cdot W \cdot F + 0.5129 \cdot W \cdot BD + 1.6619 \cdot K \cdot F + \\
 & + 73.2922 \cdot K \cdot BD - 0.0001 \cdot F \cdot BD.
 \end{aligned} \quad (3.11)$$

Лінійна модель прогнозування відстані видимості (табл. 3.7) має вигляд

$$S_V = -166.4264 + 0.4449 \cdot W + 87.202 \cdot K + 2.1607 \cdot F + 85.7719 \cdot BD. \quad (3.12)$$

З таблиці 3.7 видно, що створена адаптивна нейро-нечітка система ідентифікації відстані видимості дорожніх об'єктів є найбільш точною (середня похибка прогнозу складає 1,31%, максимальна – 4,69%) і може бути рекомендована до використання при автотехнічній експертизі ДТП, що сталися в темну пору доби. Дана система здатна до самонавчання при повненні експериментальної бази даних (див. табл. 3.4) та в якості довідкових даних може відображати однофакторні та багатофакторні взаємозв'язки досліджуваних параметрів, приклади яких подано на рис. Г.7-Г.10 (Додаток Г). Якість взаємозв'язків досліджуваних параметрів поданих на цих рисунках залежить від наповненості та широти охопту експериментальної бази.

3.1.4 Формування рекомендацій з удосконалення існуючих підходів щодо оцінювання відстані видимості дорожніх об'єктів в темну пору доби при автотехнічній експертизі ДТП

Для застосування розробленої експертної програми на практиці при АТЕ ДТП потрібно вдосконалити існуючий протокол огляду місця ДТП, шляхом введення додаткових граф з факторами впливу на відстань видимості (W , K , F , BD) для обов'язкового заповнення на місці ДТП співробітником поліції, при відсутності детермінованих значень, потрібно надати якісний опис параметрів конкретного фактору (табл. 3.2). На базі початкових даних удосконаленого протоколу огляду місця ДТП виконати розрахунок відстані видимості об'єкту для певної дорожньої обстановки на основі використання розробленої нейро-нечіткої моделі.

Алгоритм методики ідентифікації відстані видимості.

1. Визначення дальності світла фари W . Легковий автомобіль розташовується передньою частиною уздовж дороги, недалеко від правого узбіччя. Пронумеровані фішки встановлюються по краю правого узбіччя відносно автомобіля.

2. Під час роботи двигуна на середніх обертах колінчатого валу включається дальнє світло фар, а водій та спостерігачі слідкують з салону як учасник експерименту зі світловідбивачем прямує від автомобіля та тримає при цьому світловідбивач на відстані 20 см від дорожньої поверхні.

3. Світловідбивач повертається при русі ребром і площиною через крок.

4. При виході учасника експерименту за границі видимості світловідбивача він зупиняється за поданим сигналом, встановлюється точна межа дальності світла фари для фактичних умов руху, яка є початковою точкою для вимірювання відстані до передньої частини ТЗ.

5. Враховуючи особливості одягу потерпілого та дорожнє покриття, визначається контраст об'єкта розрізнення з фоном (за рекомендаціями з таблиці 3.3).

6. На основі зібраних вихідних даних, проводиться розрахунок конкретної відстані видимості для даних дорожніх умов за розробленою експертною системою (рис. 3.3).

Подальші експертні дослідження щодо наявності у водія технічної можливості шляхом гальмування уникнути ДТП в момент виникнення небезпеки для руху провадяться за діючою методикою [80, 89].

3.2 Модель оцінювання коефіцієнта зчеплення коліс автомобіля з дорожнім покриттям

3.2.1 Теоретичні засади оцінювання ефективності взаємодії коліс автомобіля з дорожнім покриттям

Рух автомобіля по дорозі чи іншій місцевості можна розглядати як функціонування системи ВАДС. Порушення нормального функціонування кожного з компонентів системи ВАДС призводить до зниження ефективності (збільшення витрати палива, немотивованих зупинок, зменшення швидкості руху,) або до виникнення аварійних ситуацій. В переважній більшості випадків для попередження ДТП застосовуються гальмівні системи транспортних засобів (ТЗ) [3, 41, 84, 88, 142, 145], ефективність роботи яких обмежується величиною сил тертя (зчеплення) в контакті шин з дорогою.

Зчеплення шини з дорожнім покриттям є результатом великої кількості складних процесів, що мають місце в зоні її контакту і залежать від великої кількості факторів (рис. 3.5). Однак з різноманітності причин і умов, головний вплив на величину коефіцієнта зчеплення чинять тип та стан дорожнього покриття, стан та умови роботи шини, конструкція шини [3, 29, 44, 83-89].

Якість взаємодії шин з дорогою оцінюється величиною коефіцієнта зчеплення (коефіцієнта тертя покою) та коефіцієнта тертя ковзання (при заблокованих колесах), який зазвичай нижче ніж коефіцієнт зчеплення [197]. На даний час для оцінювання взаємодії шин з дорогою та гальмівних властивостей ТЗ з метою попередження і аналізу ДТП використовуються різні

методи, засоби і технології, набір яких визначається метою та спрямованістю виконуваних досліджень.

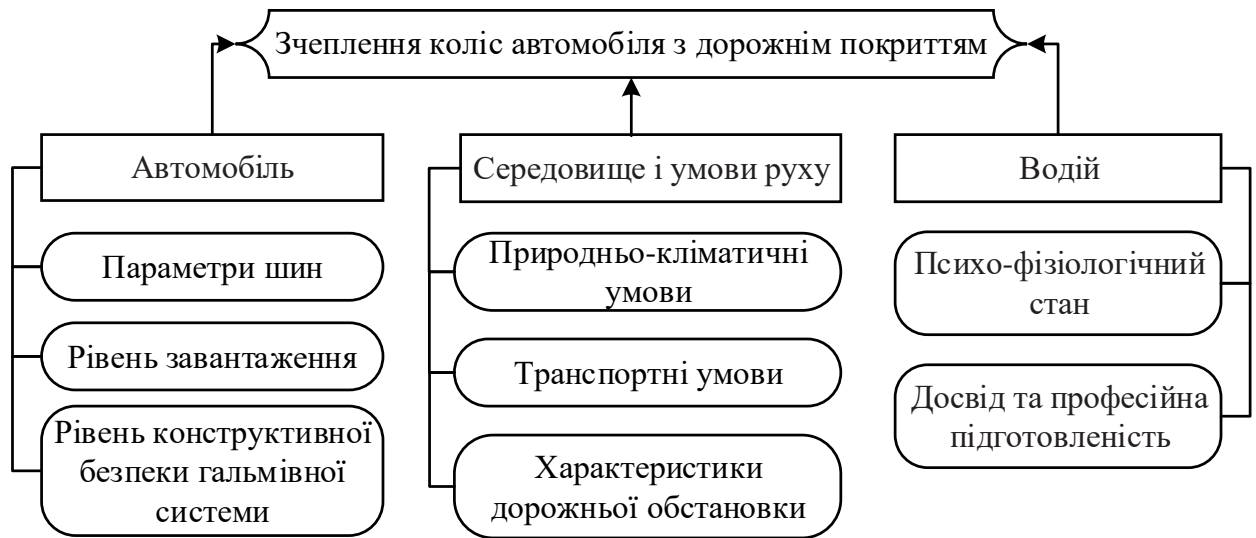


Рисунок 3.5 – Фактори, що визначають потенціал реалізації зчіпних властивостей коліс автомобіля з дорожнім покриттям

Здатність з достатньою точністю оцінити якість тертя між шиною і дорогою важлива для оптимізації роботи систем керування та безпеки ТЗ (ABS – антиблокувальна система гальм, ESP – система курсової стійкості автомобіля, ACC – адаптивний круїз-контроль, превентивні системи безпеки), керування дорожнім рухом та обслуговуванням доріг [355-358].

В США та Європі інформація електронних систем керування, безпеки і комфорту ТЗ успішно використовується з метою встановлення обставин ДТП. Це стало можливим завдяки розвитку технологій фіксації руху ТЗ в процесі ДТП: системи GPS позиціювання місцезнаходження ТЗ, реєстратори даних про події – Event Data Recorder, ACN – Automated Crash Notification (автоматизовані системи повідомлення про о ДТП) [36, 204, 205]. Автоматизовані системи реєстрації параметрів руху забезпечують високу достовірність вихідних даних для встановлення механізму виникнення

окремих аварійних ситуацій на основі фундаментальних законів руху [88, 201, 203].

Практика показує, що використання інформації з електронних систем, що фіксують параметри руху ТЗ в процесі ДТП, не завжди можливе. Відповідно до Інструкції з передової практики реконструкції обставин ДТП Європейської мережі установ судової експертизи [89] оцінювання взаємодії шин з дорогою може виконуватись шляхом слідчого експерименту в дорожніх умовах місця події або аналогічних йому. Експериментально визначають коефіцієнт зчеплення та (або) показники ефективності гальмування (гальмівний шлях, сповільнення), значення яких характеризують процеси тертя в контакті шин з дорогою.

У випадку коли проведення експерименту неможливе, величина коефіцієнта зчеплення, сповільнення та гальмівного шляху може бути визначена за довідковими даними експериментально-розрахункових значень [89] або прийнята як нормативна, встановлена Правилами дорожнього руху та нормативним документом Council Directive 71/320/EEC. Визначення параметрів ефективності гальмування можливе розрахунковим шляхом за відомими в експертній практиці формулами [84, 157].

Безпека руху досягається здатністю долати високі сповільнення при гальмуванні, а на повороті великі поперечні прискорення з відповідними боковими уводами, та мати мінімальну схильність до аквапланування. Відповідно до фізичних законів тертя, сила тертя, яку необхідно подолати, якщо потрібно перемістити тіло по рівній поверхні, залежить лише від ваги тіла (нормальної сили, що діє вертикально на основу) та спряження матеріалів між основою та тілом [197]. Низькі значення коефіцієнта зчеплення (коефіцієнта тертя покою) φ позначають гладку слизьку поверхню сполучених матеріалів з низьким тертям. При високих значеннях φ підвищуються сили тертя, які необхідно подолати або передати (поздовжні, поперечні, бічного уводу). Тертя в значній мірі визначає фізику водіння автомобіля на початку руху, при прискореннях, гальмуванні і на поворотах. Поздовжні і поперечні

сили векторно додаються в результуючу силу, що передається шиною на дорогу (рис. 3.16). Ця результуюча сила збільшується зі зростанням зчпної здатності дороги і шини або навантаження на колеса.

Виходячи з рис. 3.6, коефіцієнт тертя (зчеплення) можна знайти за значенням сил тертя в поперечному і поздовжньому напрямках та навантаженням на колесо

$$\varphi = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} / F_z. \quad (3.13)$$

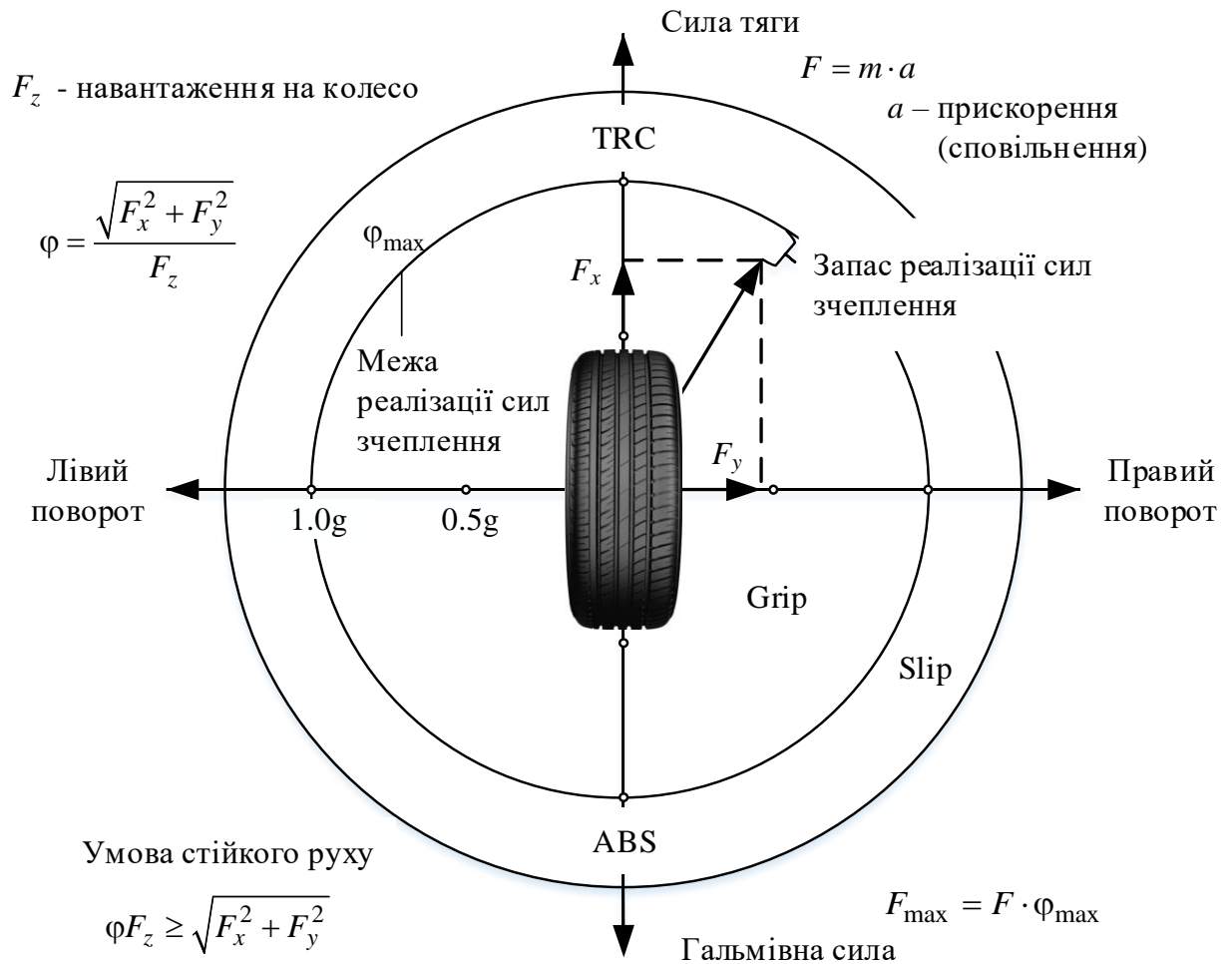


Рисунок 3.6 – Сили в колі тертя шини

Якщо відомі кут бокового ковзання шини γ і бічна жорсткість шини C_γ то коефіцієнт тертя в бічному напрямку φ_y визначається залежністю

$$\Phi_y = \gamma \cdot C_\gamma / F_z. \quad (3.14)$$

Для моделювання динаміки руху коліс автомобіля з електронною системою гальмування визначити коефіцієнт зчеплення можна різними методами, найбільш відомими з яких є метод Н. Расејка [125], М. Burckhardt [115], М. Denny [359], парабол [118].

Величину коефіцієнта зчеплення при аналізі дорожньо-транспортних пригод (ДТП) можна визначити одним з трьох способів [3, 41, 83-89]:

- на основі інформації електронних систем керування, безпеки і комфорту ТЗ;
- експериментальним шляхом;
- за довідковими даними експериментально-розрахункових значень.

При використанні математичних моделей системи ВАДС невизначеність значень розрахункових параметрів залежить від точності визначення вхідних параметрів та прийнятої структури моделі, яка є лише наближенням реальності. При використанні записів EDR, невизначеність значень розрахункових параметрів може бути результатом помилок вимірювання значень, що характеризують рух автомобіля та помилок в результаті обробки записаних даних. Точність експериментальних методів залежить від методики проведення випробувань, використовуваної апаратури та якості обробки результатів вимірювань [84, 88, 125, 197].

3.2.2 Методика ідентифікації та побудова структури системи

Адаптивна система оцінювання коефіцієнта зчеплення коліс автомобіля з дорожнім покриттям розроблялась на базі метода ідентифікації нелінійних об'єктів нечіткими базами знань [252, 257, 319] в нейро-нечіткому редакторі Anfis [347] пакета Fuzzy Logic Toolbox обчислювального середовища Matlab [348]. Система будувалась в два етапи (рис. 3.2): перший – структурна ідентифікація; другий – параметрична ідентифікація.

На етапі структурної ідентифікації була побудована структура залежності коефіцієнта зчеплення від факторів впливу (рис. 3.7) на основі правил «якщо-то». Параметрична ідентифікація проводилась шляхом підбору таких параметрів бази знань, які б забезпечували максимальну наближеність результатів моделювання та експериментальних даних.

Як видно з рис. 3.7, нейро-нечітка мережа системи складається з п'яти шарів.

Кожен вузол першого шару являє собою один терм з гауссовою функцією належності (залежність (3.7)) [242, 253, 348].

Кількість вузлів другого шару дорівнює кількості правил нечіткої бази знань Сугено [347] (для цього випадку, як видно з рис. 3.7, кількість правил становить $m = 5 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 3 = 225$). Кожен вузол другого шару з'єднаний з такими вузлами першого шару, які утворюють антецеденти відповідного правила. Виходом вузла є ступінь виконання вкладеного в ньому правила τ_r , що дорівнює добутку вхідних сигналів.

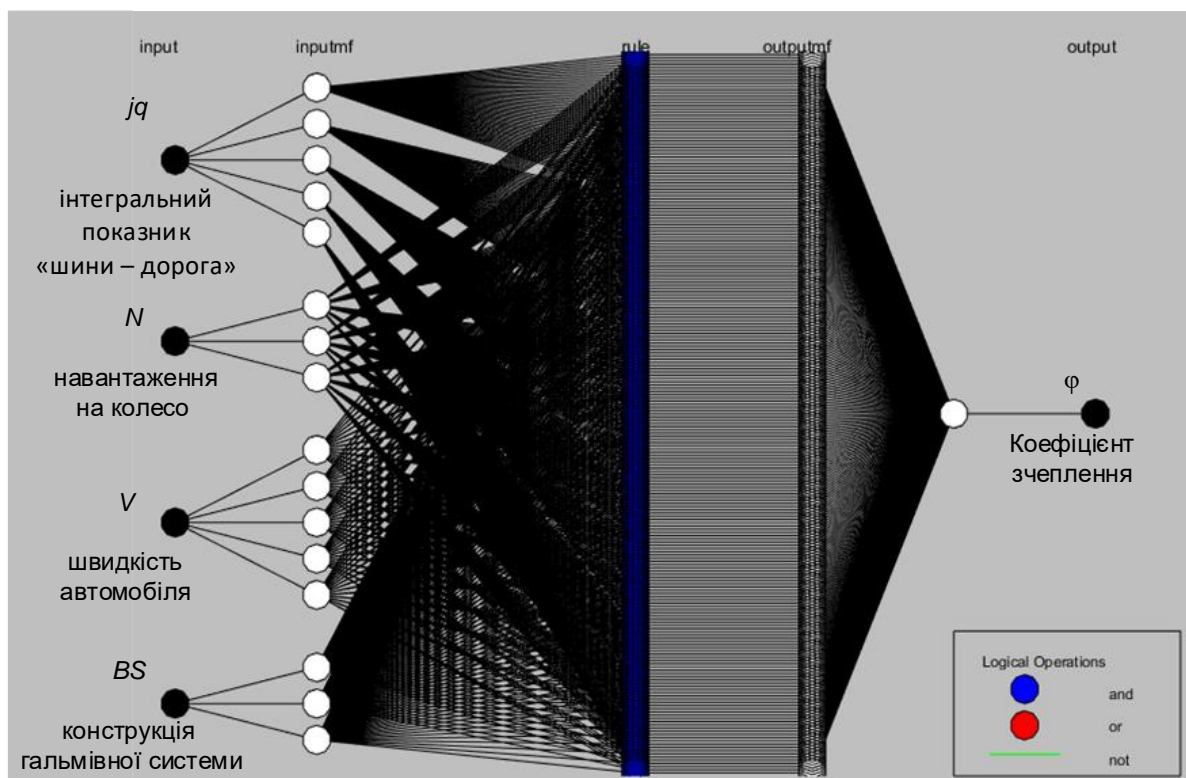


Рисунок 3.7 – Структура системи оцінювання коефіцієнта зчеплення

Усі 225 вузлів третього шару визначають відносну ступінь виконання відповідного нечіткого правила τ_r^* (залежність (3.8)). У вузлах четвертого шару визначаються вклади нечітких правил у вихід мережі ϕ .

$$\phi_r = \tau_r^* \cdot (b_{0,r} + b_{1,r} \cdot jq + b_{2,r} \cdot N + b_{3,r} \cdot V + b_{4,r} \cdot BS), \quad (3.15)$$

де $b_{q,r}$ – коефіцієнти функції консеквентів r -го правила ($r = 1, 2, \dots, 225$; $q = 0, 1, 2, 3, 4$).

Єдиний вузол п'ятого шару агрегує вклади всіх правил

$$\Phi = \phi_1 + \dots + \phi_j + \dots + \phi_m. \quad (3.16)$$

Всі фактори впливу на коефіцієнт зчеплення (табл. 3.8) розглядаються як лінгвістичні змінні, що визначені на відповідних універсальних множинах і оцінюються за допомогою нечітких термів. Перелік найбільш вагомих факторів встановлено за результатами аналізу даних спеціалістів Bosch [197, 360] та власних теоретичних викладок, представлених в [3, 29, 41, 44].

Таблиця 3.8 – Фактори впливу на коефіцієнт зчеплення коліс автомобіля з дорожнім покриттям

Фактор	Універсальна множина	Терми для оцінок
1	2	3
jq – інтегральний показник «шини – дорога»	(0–10) б	низький ($jq1$), нижче середнього ($jq2$), середній ($jq3$), вище середнього ($jq4$), високий ($jq5$)
N – навантаження на колесо	(150–875) кг	низьке (N1), середнє (N2), повне (N3)

Продовження табл. 3.8

1	2	3
V – швидкість автомобіля	(0–130) км/год	низька ($V1$), нижче середньої ($V2$), середня ($V3$), вище середньої ($V4$), висока ($V5$)
BS – конструкція гальмівної системи	(1, 2, 3) б	без ABS ($BS1$), з ABS ($BS2$), з ABS та ВА ($BS3$)

Рекомендації для оцінки інтегрального показника «шини – дорога» jq надані в табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Рекомендовані значення інтегрального показника «шини – дорога» jq

Тип покриття	Стан шини	Стан покриття		
		Сухе	Мокре чисте	Мокре брудне
1	2	3	4	5
Цементобетонне	Нова*	7,85-8,34	6,38-6,87	3,92-4,41
	Зношена**	8,83-10,0	4,91-5,40	1,96-2,45
Асфальтобетонне з шорсткою обробкою	Нова	7,85-8,34	5,89-6,38	4,41-5,40
	Зношена	8,83-10,0	4,41-4,91	2,45-3,43
Гарячий асфальтобетон без шорсткої обробки	Нова	7,85-8,34	4,91-5,89	3,43-3,92
	Зношена	8,83-10,0	3,92-4,41	2,43-2,94
Холодний асфальтобетон	Нова	5,89-6,87	3,92-4,91	2,94-3,43
	Зношена	7,36-8,34	2,45-3,43	1,96-2,94
Чорно-щебенева та чорно-гравійна з шорсткою обробкою	Нова	5,89-6,87	4,91-5,89	2,94-3,43
	Зношена	7,36-8,34	3,43-4,41	1,96-2,94
Чорно-щебенева та чорно-гравійна без шорсткої обробки	Нова	5,4-5,89	4,41-4,91	2,43-2,94
	Зношена	6,38-7,36	2,45-3,43	1,96-2,45
Щебенева та гравійна	Нова	5,89-6,87	5,40-5,89	2,43-2,94
	Зношена	7,36-8,34	3,92-4,41	1,96-2,45
Ґрунтове покращене	Нова	4,41-4,91	2,45-3,92	1,96
	Зношена	5,4-5,89	1,96-2,94	1,96

Продовження табл. 3.9

1	2	3	4	5
Рихлий сніг	Нова	1,47-3,43		
	Зношена	1,18-2,45		
Укочений сніг після проходу грейдера	Нова	2,35-2,75		
	Зношена	1,67-2,06		
Укочений рівний сніг без обледенілої поверхні	Нова	2,16-2,45		
	Зношена	1,47-1,77		
Укочений рівний сніг з обледенілою поверхнею	Нова	1,18-1,47		
	Зношена	1,18-1,47		
Укочений рівний сніг з обледенілою поверхнею після розкиду піску по нормі 0,1 м ³ на 1000 м ² дороги	Нова	1,67-1,86		
	Зношена	1,47-1,67		
Укочений рівний сніг з обледенілою поверхнею після розкиду піску по нормі 0,4 м ³ на 1000 м ² дороги	Нова	2,45-3,73		
	Зношена	1,96-2,94		
Ожеледиця	Нова	0,88-1,47	0-0,78	
	Зношена			

*Нова – до 50% зменшення висоти рисунку протектора,

**зношена 50-100% але не менше 1,6 мм.

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

3.2.3 Параметрична ідентифікація системи

Під час проведення експерименту в дорожніх умовах (див. п. 4.3) з метою створення навчальної та тестової вибірок для параметричної ідентифікації нейро-нечіткої системи фіксувались значення факторів впливу на коефіцієнт зчеплення коліс автомобіля з дорожнім покриттям (див. табл. 3.8) та сам

коефіцієнт зчеплення. В результаті була отримана експериментальна база даних (5670 пар даних входи-вихід, Додаток Ж), фрагмент якої подано в таблиці 3.10. З отриманої бази даних було сформовано навчальну (3400 пар даних входи-вихід) та тестову вибірки (2270 пар даних входи-вихід).

Таблиця 3.10 – Експериментальна база даних (фрагмент)

jq	9,7	0,78	3,92	6,87	5,89	5,4	8,34	7,85	4,91	9	2,45	1,96
N	150	250	325	325	725	200	650	275	475	375	300	500
V	20	60	80	80	80	20	100	40	80	130	60	100
BS	1	3	2	2	1	1	3	1	3	3	3	2
φ	0,825	0,075	0,333	0,584	0,384	0,453	0,665	0,627	0,427	0,754	0,232	0,157

Процес навчання адаптивної нейро-нечіткої системи ідентифікації коефіцієнта зчеплення за вибіркою експериментальних даних «входи-вихід» в Anfis Editor Matlab з використанням алгоритму оберненого поширення помилки в комбінації з методом найменших квадратів подано на рисунку 3.8.

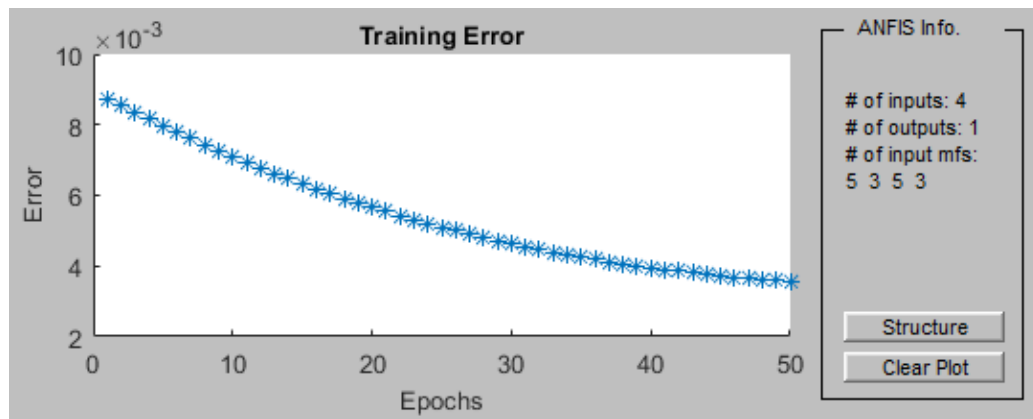


Рисунок 3.8 – Процес навчання адаптивної нейро-нечіткої системи

Як видно з рисунку 3.8 навчання завершилось на 46 епосі і в подальшому похибка прогнозування практично не змінювалась. Параметри функцій належності вхідних змінних після навчання подані в таблиці 3.11 та на рис. Г.11-Г.14 (Додаток Г).

Таблиця 3.11 – Параметри функцій належності факторів, які впливають на величину коефіцієнта зчеплення

Фактор	Універсальна множина	Терми для оцінок	Параметри функцій належності після навчання	
			координата максимуму c_{ij}	коефіцієнт концентрації σ_{ij}
jq	(0–10) б	$jq1,$	0.0590850487694922	1.21303528289064
		$jq2,$	2.50888607968828	1.29362727632086
		$jq3,$	4.9965620984888	1.32563448443905
		$jq4,$	7.49073784735645	1.29871407906703
		$jq5$	9.90873828689305	1.21900000000000
N	(150–875) кг	$N1,$	150.000359668698	153.94025595164
		$N2,$	512.500041047082	153.940298272589
		$N3$	874.999647086585	153.940274751047
V	(0–130) км/год.	$V1,$	0.0000334931228812	13.8014376704274
		$V2,$	32.5000120855364	13.8015719754217
		$V3,$	64.999862248206	13.8014329230444
		$V4,$	97.4998567966736	13.8016196963052
		$V5$	130.000045723149	13.8013863343706
BS	(1,2,3) б	$BS1,$	0.999998025382338	0.424656245081971
		$BS2,$	1.99999606577894	0.424659477853096
		$BS3$	2.99999810282448	0.424665371752738

Параметри функцій належності вихідної змінної подані в таблиці 3.12. Рисунок Г.15 (Додаток Г) відображає частину сформованих правил логічного висновку нейро-нечіткої системи оцінювання коефіцієнта зчеплення коліс автомобіля з дорожнім покриттям, а рисунок Г.16 (Додаток Г) – їх використання при формуванні результатів моделювання.

Таблиця 3.12 – Характеристика функцій належності (MF) коефіцієнта зчеплення

Номер MF	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Параметр	-0.0255	-0.0218	-0.0496	-0.0092	-0.0276	0.0014	-0.0102	-0.0087	-0.0145	-0.0094
Номер MF	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Параметр	-0.0114	-0.0113	-0.0091	-0.0108	-0.0115	-0.0068	-0.0154	-0.0062	-0.0094	-0.0068
Номер MF	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Параметр	-0.0139	-0.0087	-0.0103	-0.0102	-0.0081	-0.0098	-0.0107	-0.0077	-0.0101	-0.0100

Продовження табл. 3.12

Номер MF	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Параметр	-0.0113	-0.0063	-0.0123	-0.0073	-0.0093	-0.0095	-0.0078	-0.0084	-0.0102	-0.0074
Номер MF	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Параметр	-0.0087	-0.0090	-0.0069	-0.0088	-0.0087	0.2205	0.2031	0.2812	0.2022	0.2251
Номер MF	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Параметр	0.2453	0.1950	0.2182	0.2424	0.1855	0.2194	0.2299	0.1755	0.2179	0.2183
Номер MF	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
Параметр	0.1879	0.1931	0.2320	0.1808	0.1936	0.2253	0.1732	0.1953	0.2149	0.1643
Номер MF	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
Параметр	0.1951	0.2043	0.1569	0.1951	0.1949	0.1725	0.1713	0.2131	0.1579	0.1712
Номер MF	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Параметр	0.1962	0.1532	0.1721	0.1901	0.1452	0.1723	0.1801	0.1377	0.1707	0.1712
Номер MF	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
Параметр	0.4431	0.4520	0.5439	0.4136	0.4445	0.5163	0.3999	0.4502	0.4956	0.3793
Номер MF	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
Параметр	0.4498	0.4709	0.3596	0.4469	0.4470	0.3880	0.3889	0.4816	0.3708	0.4004
Номер MF	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
Параметр	0.4592	0.3551	0.3999	0.4406	0.3371	0.3997	0.4184	0.3220	0.3994	0.4000
Номер MF	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130
Параметр	0.3507	0.3535	0.4342	0.3247	0.3500	0.4026	0.3138	0.3531	0.3890	0.2977
Номер MF	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140
Параметр	0.3533	0.3697	0.2819	0.3503	0.3504	0.6669	0.6707	0.8337	0.6265	0.6756
Номер MF	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150
Параметр	0.7721	0.6027	0.6782	0.7488	0.5725	0.6784	0.7106	0.5428	0.6745	0.6745
Номер MF	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
Параметр	0.5848	0.5876	0.7226	0.5587	0.6033	0.6937	0.5358	0.6035	0.6647	0.5083
Номер MF	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170
Параметр	0.6033	0.6314	0.4852	0.6027	0.6029	0.5280	0.5326	0.6571	0.4900	0.5287
Номер MF	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180
Параметр	0.6073	0.4728	0.5321	0.5870	0.4489	0.5327	0.5573	0.4256	0.5283	0.5289
Номер MF	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190
Параметр	0.9082	0.9067	1.1021	0.8380	0.9068	1.052	0.8122	0.9136	1.0055	0.7702
Номер MF	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200
Параметр	0.9136	0.9568	0.7312	0.9081	0.9080	0.7852	0.7905	0.9812	0.7537	0.8123
Номер MF	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210
Параметр	0.9317	0.7209	0.8125	0.8951	0.6846	0.8117	0.8495	0.6534	0.8112	0.8119
Номер MF	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220
Параметр	0.7124	0.7169	0.8803	0.6591	0.7113	0.8180	0.6367	0.7167	0.7898	0.6047
Номер MF	221	222	223	224	225	Універсальна множина [0 1] Тип: constant				
Параметр	0.7173	0.7512	0.5728	0.7114	0.7115					

Порівняння похибки прогнозування величини коефіцієнта зчеплення коліс автомобіля з дорожнім покриттям різними методами подано в таблиці 3.13.

Таблиця 3.13 – Похибка прогнозування величини коефіцієнта зчеплення різними методами

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 навчальної та тестової вибірок	5670	64	5670	5670

Нелінійна модель прогнозування величини коефіцієнта зчеплення (табл. 3.13) має вигляд

$$\begin{aligned} \varphi = & -0.0316 + 0.0823 \cdot jq + 0.00001 \cdot N + 0.0001 \cdot V + 0.0272 \cdot BS + \\ & + 0.00001 \cdot jq^2 + 0.00001 \cdot N^2 - 0.00001 \cdot V^2 - 0.0041 \cdot BS^2 - \\ & - 0.00001 \cdot jq \cdot N - 0.0001 \cdot jq \cdot V + 0.008 \cdot jq \cdot BS + 0.00001 \cdot N \cdot V - \\ & - 0.00001 \cdot N \cdot BS - 0.0001 \cdot V \cdot BS. \end{aligned} \quad (3.17)$$

Лінійна модель прогнозування величини коефіцієнта зчеплення (табл. 3.13) має вигляд

$$\varphi = 0.0164 + 0.0789 \cdot jq - 0.0001 \cdot N - 0.0004 \cdot V + 0.0392 \cdot BS. \quad (3.18)$$

З таблиці 3.13 видно, що створена адаптивна нейро-нечітка система ідентифікації величини коефіцієнта зчеплення автомобільних шин з дорожнім покриттям є найбільш точною (середня похибка прогнозу складає 1,79%, максимальна – 3,09%) і може бути рекомендована до використання при автотехнічній експертизі ДТП.

Створена адаптивна нейро-нечітка система ідентифікації коефіцієнта зчеплення здатна до самонавчання при поповненні експериментальної бази даних (див. табл. 3.10) та в якості довідкових даних може відображати однофакторні та багатфакторні взаємозв'язки досліджуваних параметрів, приклади яких подано на рис. Г.17-Г.20. Якість взаємозв'язків досліджуваних параметрів поданих на цих рисунках залежить від наповненості та широти охопту експериментальної бази.

3.2.4 Формування рекомендацій з удосконалення існуючих підходів щодо оцінювання величини коефіцієнта зчеплення при автотехнічній експертизі ДТП

Для застосування розробленої експертної програми на практиці при АТЕ ДТП потрібно вдосконалити існуючий протокол огляду місця ДТП, шляхом введення додаткових граф з факторами впливу на коефіцієнт зчеплення (jq , N , V , BS) для обов'язкового заповнення на місці ДТП співробітником поліції, при відсутності детермінованих значень, потрібно надати якісний опис параметрів конкретного фактору (табл. 3.8). На базі початкових даних удосконаленого протоколу огляду місця ДТП проводити розрахунок коефіцієнта зчеплення для конкретної дорожньої обстановки з використанням розробленої експертної системи за таким алгоритмом:

1. Визначення інтегрального показника «шини – дорога» jq (за рекомендаціями з таблиці 3.9).

2. Встановлення завантаження автомобіля N , та його розподілу між колесами за методикою, визначеною в [84].

3. Визначення початкової швидкості руху автомобіля V при гальмуванні.
4. Встановлення особливостей конструкції гальмівної системи автомобіля та роботи її компонентів.

5. На основі зібраних початкових даних, проводиться розрахунок конкретної величини коефіцієнта зчеплення для даних дорожніх умов за розробленою експертною системою (рис. 3.7).

Подальші експертні дослідження щодо наявності у водія технічної можливості шляхом гальмування уникнути ДТП в момент виникнення небезпеки для руху провадяться за діючою методикою, описаною в [80], [84] або [89].

3.3 Модель оцінювання часу сенсомоторної реакції водія

Ситуаційний час реакції водія t_1 (рис. Б.1 Додатку Б) це відрізок часу з моменту виникнення подразника в полі зору водія до початку дії останнього на органи керування автомобілем (кермо, важель зчеплення, важель гальма, важель акселератора). Цей час залежить від багатьох факторів (рис. 3.9)

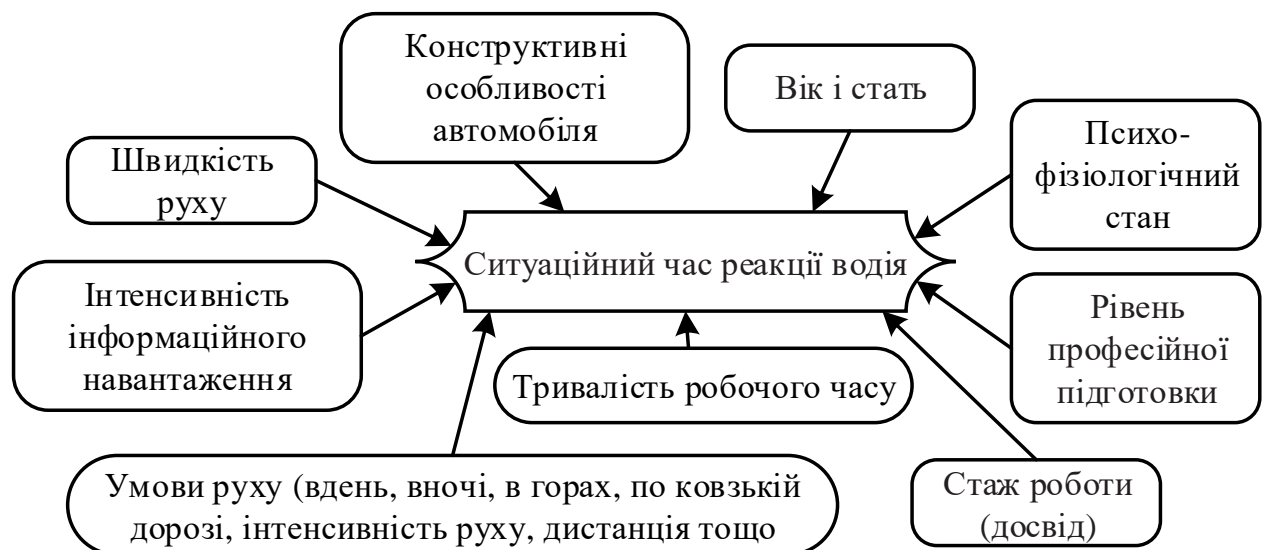


Рисунок 3.9 – Фактори, які впливають на час реакції водія

На сьогодні в практиці САТЕ України застосовуються диференційовані значення часу реакції водія (додаток Б, пункт Б1, таблиця Б.1), які отримали методичне обґрунтування та були затверджені у 1983 році до використання в експертній практиці СРСР.

Аналіз робіт, в яких подані результати досліджень часу реакції водіїв [38, 83-89, 136, 140, 142, 155, 157, 160, 207, 301-304, 350] (рис. 3.10), показує, що цей час має широкі межі зміни (від 0,3 с до 2,6 с). Результати обробки опублікованих різними авторами результатів багаторічних досліджень складових сенсомоторної реакції у водіїв ТЗ, результати яких подані на рис. 3.11. Загальне число осіб, що пройшли випробовування складає близько 1100 чоловік. Дані представлені для найбільш показових значень – 2% та 98% усередненої статистичної вибірки. Максимальні та мінімальні значення часу реакції водіїв представлені у таблиці Б.2.



Рисунок 3.10 – Автори проаналізованих робіт, в яких подані результати досліджень часу реакції водіїв

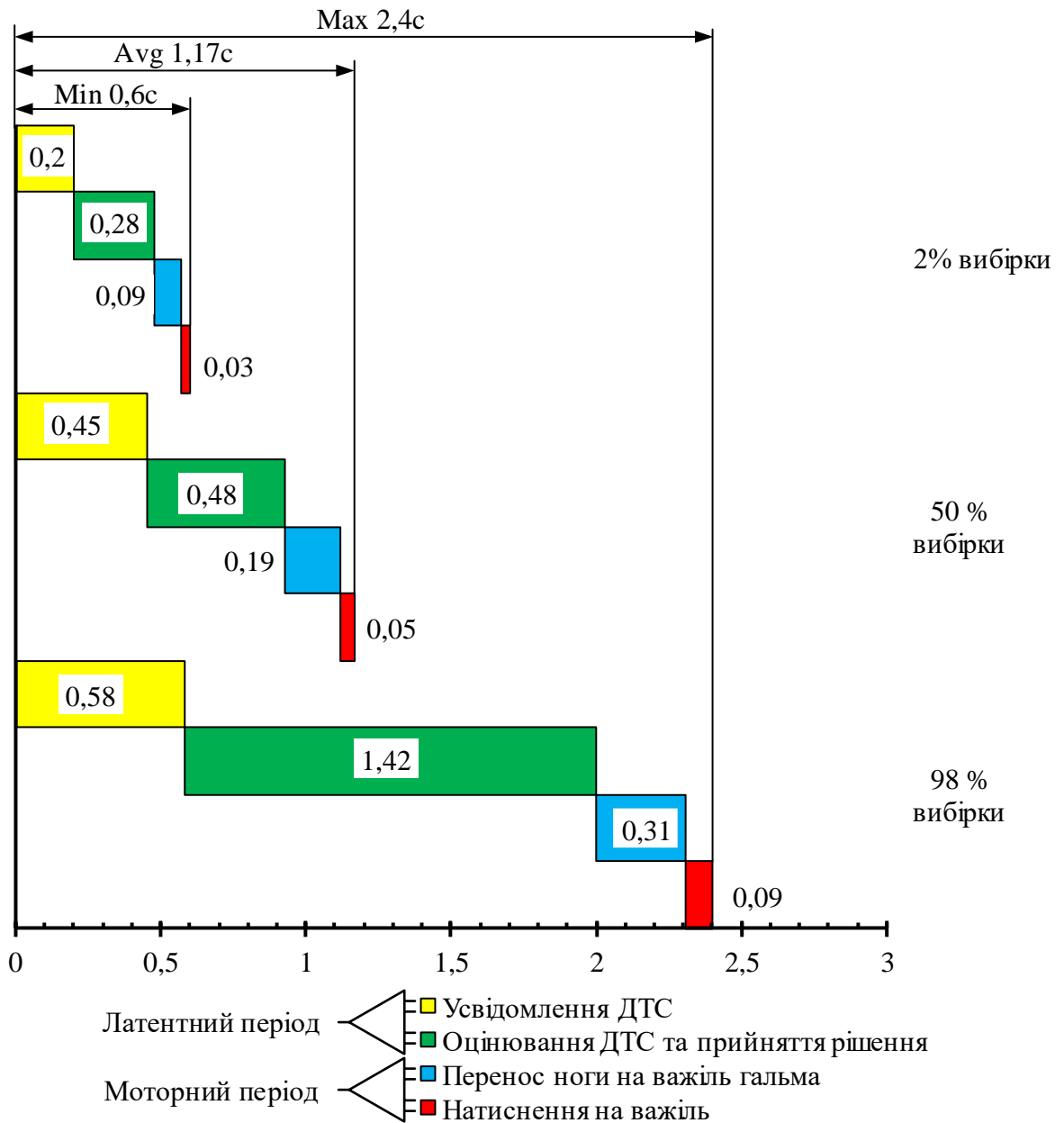


Рисунок 3.11 – Граничні значення часу сенсомоторної реакції водія на неочікуваний сигнал та обсяги досліджень для складних та вільних ДТС

Взявши за основу рівняння (Б.1) Додатку Б, та враховуючи, що на тривалість сенсомоторної фази реакції водія суттєво впливають тривалість його роботи та інтенсивність руху, можна запропонувати такий вираз для оцінювання часу t_1

$$t_1 = t_0 + \Delta t_{mk}(RV) + \Delta t(V_a, B) + \Delta t(T_H, I_a), \quad (3.19)$$

де t_0 – час виявлення, впізнання, прийняття рішення тощо, с (табл. Б.1);

$\Delta t_{mk}(RV)$ – 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 [158, 350];

$\Delta t(V_a, B)$ – приріст фаз часу реакції водія залежно від швидкості автомобіля в момент виявлення небезпеки (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 [158, 350];

$\Delta t(T_H, I_a)$ – 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 представлено в [39, 71, 111-117, 164, 168, 170, 147, 183, 185, 188, 235, 329-332, 378] та Додатку Б, було сформовано множини даних, що характеризують залежність часу реакції водія від тривалості його роботи та інтенсивності руху, та підібрані рівняння регресії, подані на рис. 3.12-3.14.

Як видно з рис. 3.12-3.14, вирази для оцінювання $\Delta t(T_H, I_a)$ мають вигляд:

– при вільному русі ($0 < I_a < 50$)

$$\Delta t(T_H, I_a) = -0,0002 \cdot (T_H)^3 + 0,0097 \cdot (T_H)^2 - 0,0808 \cdot T_H; \quad (3.20)$$

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

$$\Delta t(T_H, I_a) = -0,0002 \cdot (T_H)^3 + 0,0106 \cdot (T_H)^2 - 0,0842 \cdot T_H; \quad (3.21)$$

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

$$\Delta t(T_H, I_a) = -0,0004 \cdot (T_H)^3 + 0,0147 \cdot (T_H)^2 - 0,0946 \cdot T_H. \quad (3.22)$$

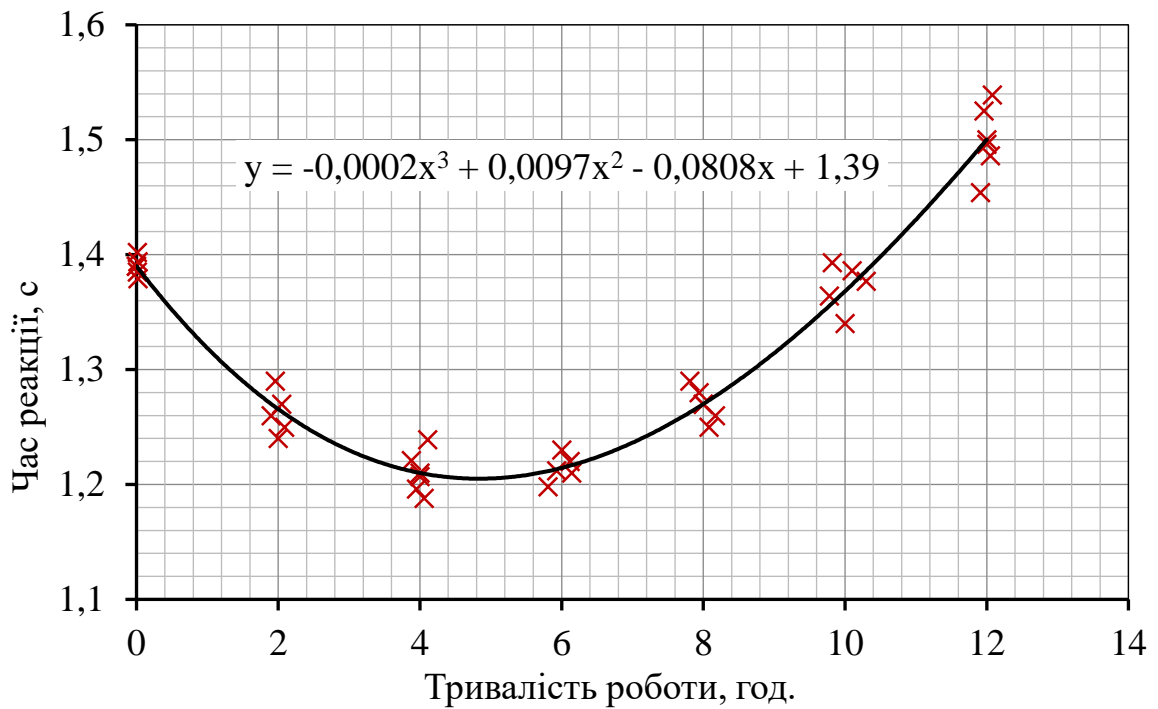


Рисунок 3.12 – Вплив T_H на час t_1 при вільному русі ($0 < I_a < 50$)

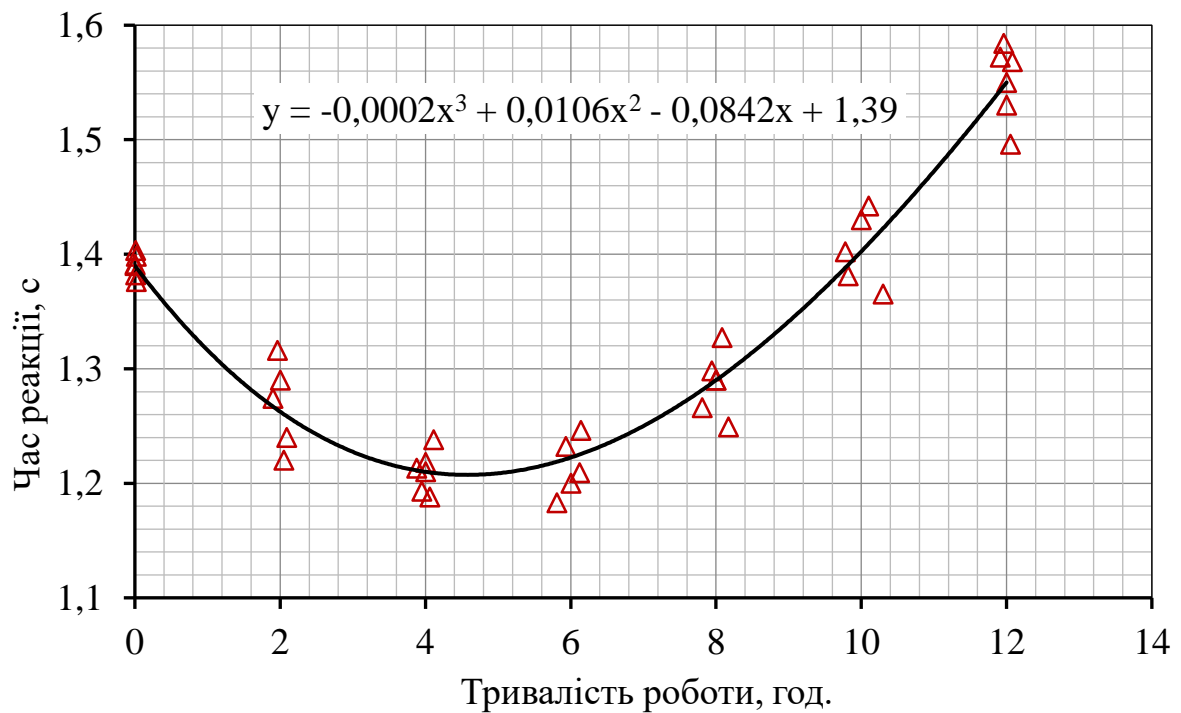


Рисунок 3.13 – Вплив T_H на час t_1 при середній завантаженості смуги руху ($100 \text{ авт/год} < I_a < 300 \text{ авт/год}$)

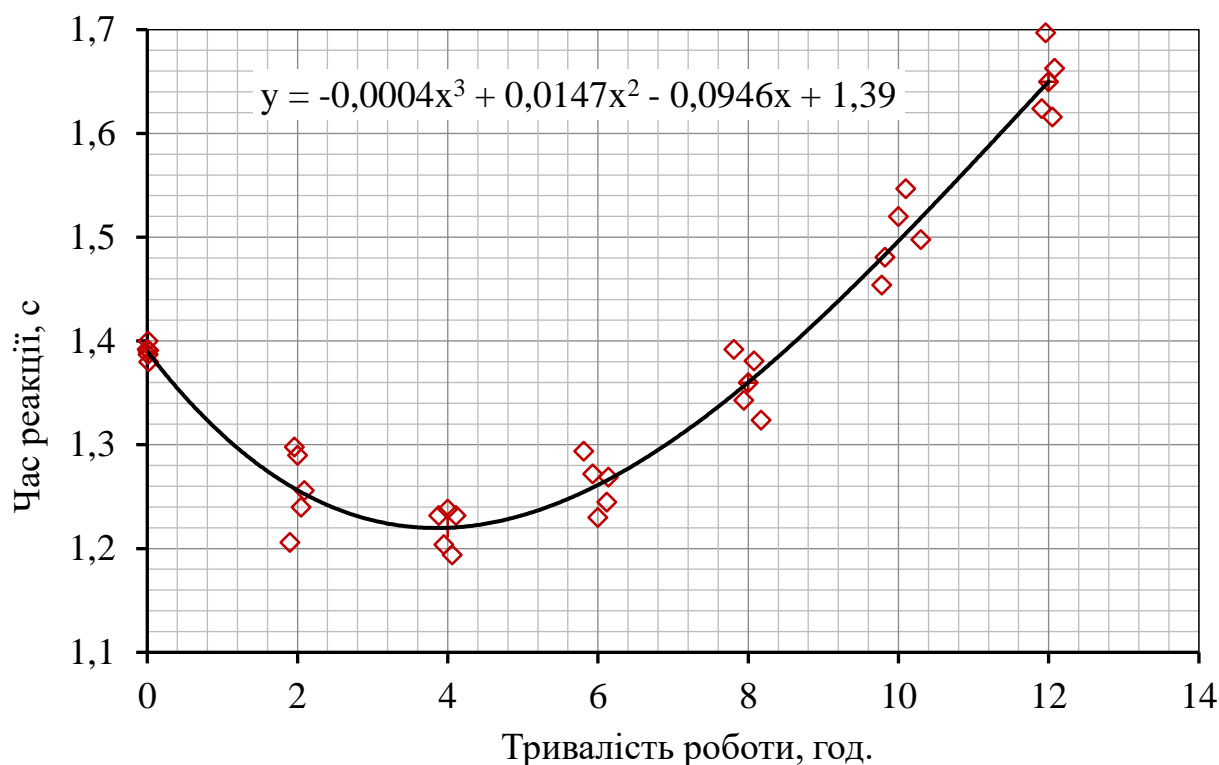


Рисунок 3.14 – Вплив T_H на час t_1 при високій завантаженості смуги руху ($350 \text{ авт/год} < I_a < 500 \text{ авт/год}$)

Оцінка часу реакції t_1 за виразом (3.19) засобами Microsoft Excel дозволяє зробити висновок, що запропонований вираз, порівняно з діючою методикою [80, 89], зменшує імовірність появи помилок I-го роду (коли придатний результат визнається непридатним) на 19% та помилок II-го роду (коли непридатний результат визнається придатним) – на 32%.

3.4 Моделі оцінювання пройденого шляху автомобіля

Основними обставинами з виникнення ДТП, відповідно до діючих Правил дорожнього руху [77], є небезпека для руху та перешкода для руху. При виникненні перешкоди для руху водію дозволено в рівній мірі застосовувати як гальмування, так і маневрування. У разі виникненні небезпеки для руху – тільки гальмування. З технічної точки зору маневрування виконати важче і небезпечніше ніж екстрено загальмувати ТЗ, тому основним методом

попередження ДТП є процес гальмування [84, 87, 89]. Ефективність даного процесу залежить від особливостей конструкції та роботи гальмівних систем ТЗ (наявності антиблокувальної системи гальм, системи екстреного гальмування, превентивних систем безпеки тощо) та обмежується величиною сил тертя в контакті шин з дорогою [121, 125, 197].

3.4.1 Оцінювання динаміки екстреного гальмування автомобіля та його траєкторії руху

Стійкість автомобіля визначається бічними реакціями опорної поверхні, які діють з боку дороги на його колеса. Бічні сили виникають від відцентрового ефекту при повороті, від поперечного ухилу дороги, вітру тощо. Якщо вони менші граничної величини бічної реакції, то колесо буде рухатись по заданій траєкторії і незначно відхилитись від неї тільки за рахунок бічного зсуву. Якщо ж гранична величина бічної реакції перевищена, колесо втрачає стійкість, оскільки починається бічне ковзання. Таким чином, стійкість колеса (див. рис. 3.6) забезпечується за умови [120, 125, 130]

$$R_{\Sigma} = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} \leq \varphi_{\max} \cdot R_z, \quad (3.23)$$

де R_{Σ} – сумарна нормальна реакція в площині контакту з опорною поверхнею;

R_x, R_y, R_z – реакції в поздовжньому, поперечному та вертикальному напрямі в контакті опорної поверхні з колесами автомобіля;

φ_{\max} – значення коефіцієнта зчеплення, яке можна реалізувати при найсприятливіших умовах.

У разі застосування екстреного гальмування для попередження ДТП виникає висока імовірність блокування коліс ТЗ і як наслідок втрати курсової чи траєкторної стійкості в залежності від співвідношення блокованих і неблокованих коліс.

У випадку розвороту поздовжньої осі автомобіля від прямолінійного напрямку руху на кут 20° і більше водій втрачає можливість виправити ситуацію за допомогою наявних органів керування автомобілем [87, 175]. Для попередження таких випадків на сучасних ТЗ встановлюють ABS, EBD, ESP тощо [65, 84, 197].

Стандартами [197], які регламентують вимоги до гальмівних систем ТЗ, допускається наявність різниці величин гальмівних сил на різних колесах (в певних межах) та існування нерівномірності спрацювання гальмівних механізмів коліс однієї осі. Такі відхилення можуть призводити до розвороту ТЗ навколо свого центра ваги, але процес гальмування можна вважати безпечним у разі дотримання габаритів коридору гальмування шириною 3,5 м (рис. 3.15).

Отже, безпека руху ТЗ забезпечується дотриманням граничних значень гальмівного шляху та утриманням його в межах заданої смуги руху (коридору безпеки). Максимально допустимий розворот автомобіля обчислюють з умови [175]:

$$\frac{B_{sr}}{2} \leq y + L_a \sin \gamma + \frac{B_a}{2} \cos \gamma, \quad (3.24)$$

де B_{sr} – ширина коридору безпеки (смуги руху);

y – відхилення центра мас ТЗ у поперечному напрямку;

L_a та B_a – довжина і ширина ТЗ;

γ – курсовий кут, який характеризує повздовжньої осі ТЗ.

Процес гальмування може супроводжуватись криволінійним рухом ТЗ, незалежно від положення рульового колеса. Це можливо у тому випадку, коли на колесах автомобіля виникає суттєва різниця між поздовжніми реакціями, спричинена різними експлуатаційними, технологічними чи конструктивними факторами. Наслідком цих подій є виникнення повертальних моментів, які

сприяють розвороту ТЗ в горизонтальній площині. Під дією цих моментів ТЗ починає втрачати стійкість, що може призвести до заносу чи перекидання.

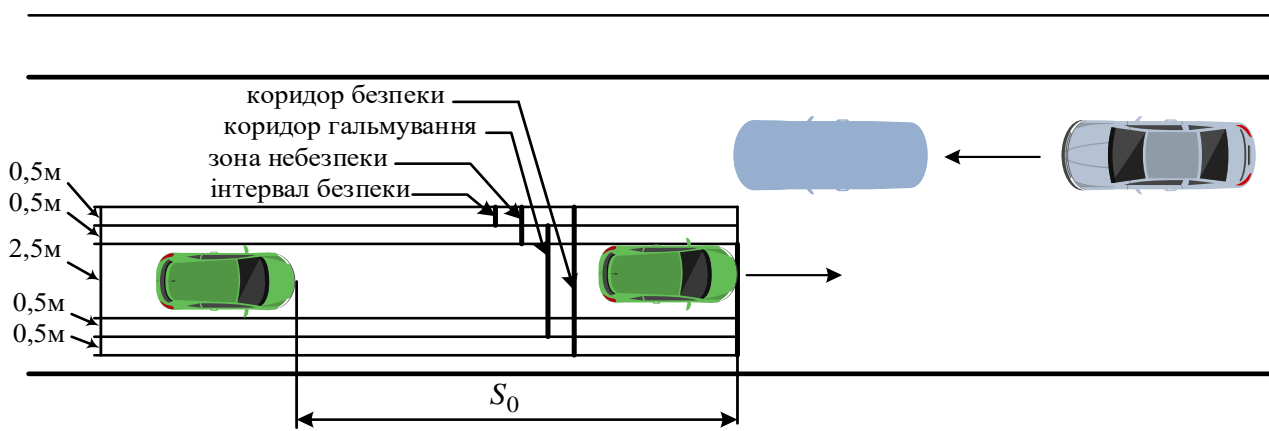
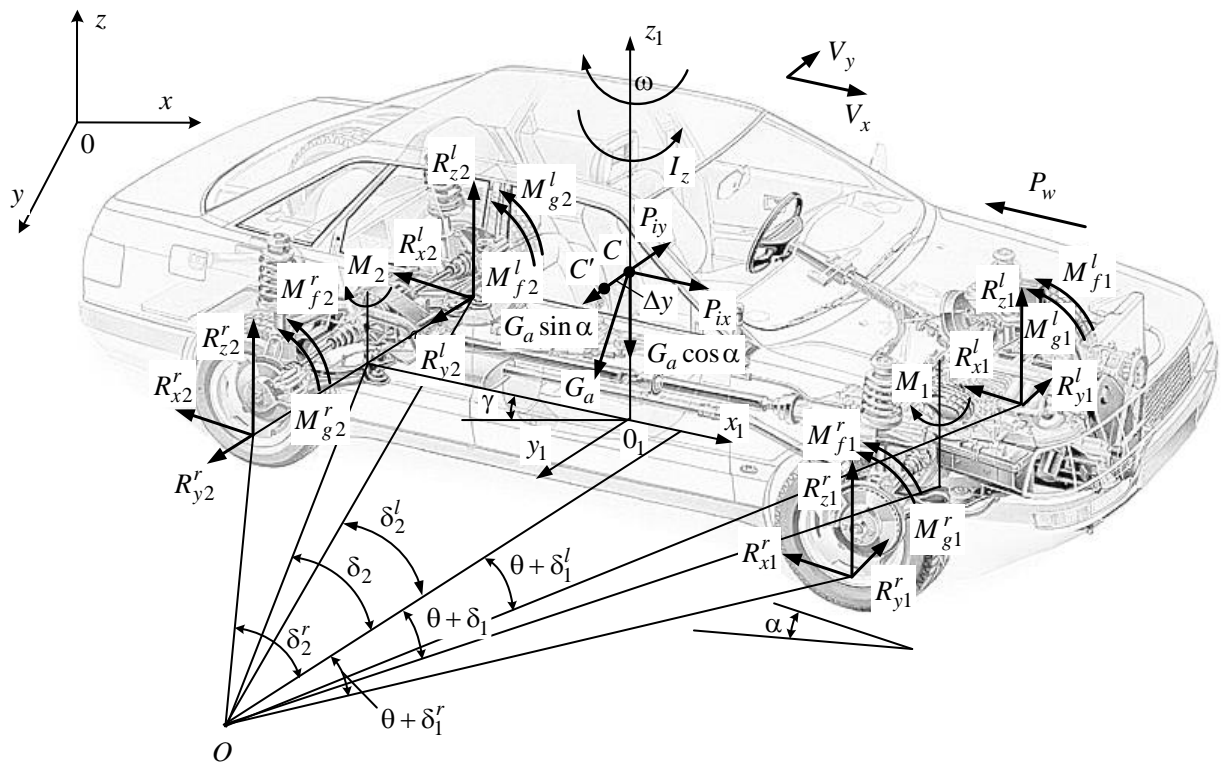


Рисунок 3.15 – Коридор безпеки

Для двовісного автомобіля залежно від характеру перебігу процесу гальмування можна виділити динамічну стадію і стадію дії усталеного сповільнення.

Динамічна стадія характеризується зростанням гальмових сил на колесах автомобіля від нуля до значень, які обмежуються зчіпними якостями коліс з дорожнім покриттям та залежать від тиску створеного в гальмівному приводі. Динамічна стадія при екстремому гальмуванні триває близько 0,5 с. Її тривалість залежить від індивідуальних особливостей водія, дорожніх умов та конструктивних особливостей транспортного засобу. З моменту досягнення максимального сповільнення і до моменту повної зупинки ТЗ триває стадія дії усталеного сповільнення. Сили і моменти, які діють на ТЗ в цих двох стадіях гальмування змінюються за суттєво різними законами [3, 84, 88, 89, 114, 121, 122].

Положення автомобіля в просторі можна визначити за координатами руху його центра мас ($x; y$) в нерухомій системі координат x, y, z та значенням курсового кута γ , який характеризує розворот поздовжньої осі ТЗ (рис. 3.16).



P_{ix} , P_{iy} – поздовжня та поперечна складові сили інерції автомобіля P_i ; P_w – сила опору повітря; G_a – вага автомобіля; α – 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; Δy – 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; ω – кутова швидкість автомобіля відносно осі z ; V_x і V_y – швидкість центра мас відповідно в напрямку повздовжньої осі автомобіля і в напрямку, перпендикулярному до неї; δ_1 і δ_2 – кути зсуву (бічного відведення) коліс передньої та задньої осей; θ – кут, що характеризує зміну напрямку руху передньої осі автомобіля за рахунок невідповідності кінематики рульового приводу і підвіски у випадку залежної підвіски або за рахунок нахилу коліс у випадку незалежної підвіски при крені кузова; індекси 1 і 2 позначають передню і задню осі, а індекси l і r – ліві та праві колеса.

Рисунок 3.16 – Схема сил та моментів, що діють на ТЗ при гальмуванні

Для визначення цих параметрів необхідно скласти рівняння рівноваги:

$$\begin{cases} \frac{G_a}{g} \frac{dV_x}{dt} = -R_{x1} - R_{x2} - P_{wx} - P_f \pm G_a \sin \alpha, \\ \frac{G_a}{g} \frac{dV_y}{dt} = -R_{y1} + R_{y2}, \\ I_z \frac{d\omega}{dt} = M_1 + M_2 - R_{y1} \cdot a - R_{y2} \cdot b, \end{cases} \quad (3.25)$$

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 ;

g – прискорення вільного падіння;

$\frac{dV_x}{dt}$, $\frac{dV_y}{dt}$ – прискорення центра мас автомобіля в напрямку осей x та y ;

$R_{x1} = R_{x1}^l + R_{x1}^r$, $R_{x2} = R_{x2}^l + R_{x2}^r$; $R_{y1} = R_{y1}^l + R_{y1}^r$, $R_{y2} = R_{y2}^l + R_{y2}^r$;

$M_1 = (0.5B - \Delta y) \cdot R_{x1}^r - (0.5B + \Delta y) \cdot R_{x1}^l$;

$M_2 = (0.5B - \Delta y) \cdot R_{x2}^r - (0.5B + \Delta y) \cdot R_{x2}^l$;

a , b , B , L – конструктивні параметри автомобіля;

$d\omega / dt$ – кутове прискорення автомобіля 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;

ρ – 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 додатнім під час руху автомобіля на підйом та від'ємним – під час руху на спуск).

Кути напрямку руху коліс δ_1^l , δ_1^r , δ_2^l та δ_2^r , показані на рис. 3.16, у випадку незаблокованого колеса є кутом зсуву, а при блокуванні колеса є кутом ковзання.

Зміну напрямку руху передньої осі автомобіля за рахунок нахилу коліс при крені кузова характеризує кут θ . Величини кутів θ невеликі і змінюються від нуля до одного градуса [361].

$$\theta = \rho_n (-j_y + V_x \omega), \quad (3.26)$$

де ρ_n – параметр, що характеризує конструкцію та пружні властивості підвіски.

Оскільки значення кутів θ при гальмуванні автомобіля невеликі, можна записати

$$\theta + \delta_1^r \approx \theta + \delta_1^l \approx \theta + \delta_1, \quad \delta_2^r \approx \delta_2^l \approx \delta_2. \quad (3.27)$$

Відповідно кінематиці повороту (рис. 3.16) маємо [92]

$$\operatorname{tg} \delta_1 = \frac{\omega \cdot a - V_y}{V_x} - \theta, \quad \operatorname{tg} \delta_2 = \frac{\omega \cdot b + V_y}{V_x}. \quad (3.28)$$

Характер руху автомобіля та параметри його траєкторії при гальмуванні визначаються законами зміни сил і моментів, що входять в систему (3.25).

При гальмуванні автомобіля (див. рис. 3.16) складовими, які формують величину поздовжньої реакції R_{xk} у контакті колеса з поверхнею дороги є прикладений гальмівний момент M_{gk} , момент сили опору кочення M_{fk} , інерційний момент колеса M_{jk} , що діє у зворотному напрямку до M_{gk} та M_{fk} , та динамічний радіус колеса r_d

$$R_{xk} = \frac{M_{gk} + M_{fk} - M_{jk}}{r_d}. \quad (3.29)$$

де $M_{gk} = P_{gk} \cdot r_d$, P_{gk} – гальмівна сила, віднесена до радіуса колеса;

$M_{fk} = P_{fk} \cdot r_d$, $P_{fk} = R_{zk} \cdot f$ – сила опору кочення, що діє на колесо, R_{zk} – нормальна реакція в контактї шини з дорогою;

$M_{jk} = J_k \cdot \varepsilon_k$, $J_k = m_k \cdot r_d^2$ – момент інерції колеса, m_k – маса колеса, ε_k – кутове сповільнення колеса.

Враховуючи те, що реалізація гальмівної сили в контактї шини з дорогою обмежена величиною коефіцієнта зчеплення $P_{gk \max} = R_{zk} \cdot \varphi$, вираз (3.29) набуде вигляду

$$R_{xk} = R_{zk} \cdot (\varphi + f) - \frac{J_k \cdot \varepsilon_k}{r_d}. \quad (3.30)$$

Записавши на основі рис. 3.16 рівняння рівноваги у вертикальній площині, можна визначити суму нормальних реакцій, які діють на колеса автомобіля, так

$$\sum R_z = G_a \cdot \cos \alpha \pm P_{wz}, \quad (3.31)$$

де $P_{wz} = 0.5 \cdot c_z \cdot \rho \cdot F_z \cdot V_x^2$ – проекція сили опору повітря на вісь z ;

F_z – площа елементів автомобіля, на основі якої створюється підйомна чи притискна сила;

c_z – коефіцієнт підйомної чи притискної сили.

Проекція P_{wz} віднімається від ваги автомобіля, якщо створює підйомну силу при $c_z > 0$, або додається до ваги автомобіля, якщо вона створює притискну силу при $c_z < 0$.

Розподіл сумарної нормальної реакції коліс автомобіля $\sum R_z$ між його осями, як видно з рис. 3.16, буде залежати від розташування центра мас

автомобіля, ухилу дороги та сил, які діють на автомобіль під час його руху в режимі гальмування

$$R_{z2} = \frac{G_a}{L} \cdot \left(a \cdot \cos \alpha + \sin \alpha \cdot h_g - \frac{\delta_i}{g} \cdot j_x \cdot h_g + \cos \alpha \cdot f \cdot r_d \right), \quad (3.32)$$

$$R_{z1} = \sum R_z - R_{z2}$$

У разі наявності зміщення центра мас автомобіля Δy , нормальні реакції на колесах автомобіля розподіляться так

$$R_{z1}^l = R_{z1} \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{\Delta y}{B} \right), \quad R_{z1}^r = R_{z1} \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{\Delta y}{B} \right), \quad (3.33)$$

$$R_{z2}^l = R_{z2} \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{\Delta y}{B} \right), \quad R_{z2}^r = R_{z2} \cdot \left(\frac{1}{2} + \frac{\Delta y}{B} \right). \quad (3.34)$$

Отже, при екстремому гальмуванні з урахуванням виразу (3.31) суму поздовжніх реакцій коліс автомобіля можна визначити як

$$\sum R_x = (G_a \cdot \cos \alpha \pm P_{wz}) \cdot (\varphi + f) - \sum \frac{J_k \cdot \varepsilon_k}{r_d}. \quad (3.35)$$

З урахуванням (3.35) та (3.25) розгорнуте рівняння руху автомобіля при гальмуванні буде мати вигляд

$$\frac{G_a}{g} j_x \cdot \delta_j = -(G_a \cdot \cos \alpha \pm P_{wz}) \cdot (\varphi + f) - P_{wx} \pm G_a \sin \alpha, \quad (3.36)$$

де δ_j – коефіцієнт, що враховує інерцію обертових мас автомобіля [102].

Виразимо прискорення автомобіля при екстремому гальмуванні з рівняння (3.36) та запишемо отриманий вираз як диференціальне рівняння для забезпечення можливості врахування зміни швидкості руху автомобіля при гальмуванні у часі

$$\frac{dV_x}{dt} = -\frac{g}{G_a \cdot \delta_j} \left[(G_a \cdot \cos \alpha \pm P_{wz}) \cdot (\varphi + f) - P_{wx} \pm G_a \sin \alpha \right]. \quad (3.37)$$

Після підстановки значень сил P_{wx} , P_{wz} та деяких перетворень отримаємо

$$\frac{dV_x}{dt} = -\frac{g}{\delta_j} \left[\left(\cos \alpha \pm \frac{0.5c_z \rho F_z V_x^2}{G_a} \right) \cdot (\varphi + f) - \frac{0.5c_x \rho F_w V_x^2}{G_a} \pm \sin \alpha \right]. \quad (3.38)$$

Бічні реакції, що діють в контактні коліс з поверхнею дороги R_{y1}^l , R_{y1}^r , R_{y2}^l , R_{y2}^r , можна визначити з відомої залежності [93]

$$R_y = k_y \operatorname{tg} \delta, \quad (3.39)$$

де δ – кут зсуву (бічного відведення) колеса;

k_y – коефіцієнт опору бічному зсуву (відведенню) колеса.

Закон зміни k_y можна апроксимувати за допомогою емпіричних формул, запропонованих Р. Смілеєм та В. Горном [362] і перевірених А. С. Литвиновим [101]. Для автомобільних шин (крім шин з регульованим тиском повітря) відповідно результатам розрахунків за цими формулами досягається достатньо добре наближення розрахункових та експериментальних даних.

Таким чином, k_y можна визначити так [101, 362]:

$$k_y = C_c \left(A - \frac{E}{P_w} \right), \quad (3.40)$$

де $C_c = 1,038 \cdot 10^{-4} \cdot G_k^2 - 0,168 \cdot G_k + 141,062$;

$$A = 0,714 G_k \sqrt{\frac{B_t^2}{D_0^3}}; \quad E = 2,2 \frac{G_k^2 B_t}{D_0^3};$$

G_k – навантаження на колесо;

B_t – ширина профілю недеформованої шини;

D_0 – вільний діаметр шини.

Рівняння (3.40) справедливе для $p_w \geq 4,77 \frac{G_k}{\sqrt{D_0^3 B_t}}$. При $p_w \leq 4,77 \frac{G_k}{\sqrt{D_0^3 B_t}}$

необхідно використовувати формулу

$$k_y = C_c (A' p_w - E'), \quad (3.41)$$

$$\text{де } A' = 0,095 B_t^2; \quad E' = 0,206 \frac{G_k}{\sqrt{B_t D_0^3}}.$$

Для заблокованого колеса величина бічних реакцій складає

$$R_{y1} = R_{x1} \cdot \text{tg} \delta_1 = R_{z1} \cdot \varphi_y \cdot \text{tg} \delta_1, \quad R_{y2} = R_{x2} \cdot \text{tg} \delta_2 = R_{z2} \cdot \varphi_y \cdot \text{tg} \delta_2 \quad (3.42)$$

Параметри, що характеризують траєкторію руху автомобіля при гальмуванні, можна визначити із системи рівнянь рівноваги (3.25) на основі встановлених законів зміни сил і моментів, перетворивши їх до виду

$$\begin{cases} \frac{dV_x}{dt} = f_{V_x}(V_x, V_y, \omega), \\ \frac{dV_y}{dt} = f_{V_y}(V_x, V_y, \omega), \\ \frac{d\omega}{dt} = f_{\omega}(V_x, V_y, \omega). \end{cases} \quad (3.43)$$

Систему (3.43) можна розв'язати чисельними методами (наприклад, методом Ейлера). Це дасть можливість після інтегрування отримати функціональні залежності зміни швидкостей руху автомобіля V_x , V_y , ω при гальмуванні за часом.

Повторне інтегрування отриманих залежностей для V_x , V_y , ω з метою отримання траєкторії руху центра мас автомобіля (x, y) і розвороту його поздовжньої осі γ необхідно здійснити відповідно до виразів

$$\left\{ \begin{array}{l} x = \int_0^t (V_x \cos \gamma + V_y \sin \gamma) dt, \\ y = \int_0^t (V_x \sin \gamma - V_y \cos \gamma) dt, \\ \gamma = \int_0^t \omega dt. \end{array} \right. \quad (3.44)$$

Перевірка розроблених теоретичних положень здійснювалась на основі натурних експериментів та порівняння результатів моделювання у середовищі Mathcad з рішенням цієї ж задачі в програмі PC-Crash (п. 5.5 Розділу 5).

3.4.2 Визначення зупиночного та гальмівного шляху автомобіля з урахуванням впливу конструкції гальмівної системи

Удосконалення конструкції гальмівних систем та алгоритмів їх функціонування призвело до відчутної різниці показників ефективності гальмування сучасних ТЗ у порівнянні з ефективністю гальмування застарілих ТЗ [41, 44]. Історія впровадження систем зменшення гальмівного шляху автомобілів розпочалась з антиблокувальної системи гальм (ABS), основним призначенням якої є запобігання блокуванню коліс під час гальмування, збереження курсової стійкості автомобіля та керованості. З 2004 року ABS є частиною стандартної комплектації усіх нових автомобілів, що продаються у Євросоюзі [84, 197]. В сучасних автомобілях ABS як правило є частиною

більш складної електронної системи гальмування, в склад якої також можуть входити: система розподілу гальмівних зусиль, система електронного контролю стійкості, система екстреного гальмування.

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

Система електронного контролю стійкості (ESP) є системою активної безпеки високого рівня, яка призначена для динамічної стабілізації автомобіля в критичних ситуаціях. ESP включає в себе ABS, EBD, систему електронного блокування диференціала (EDS) та систему запобігання буксуванню (ASR). З 2011 року ESP є частиною стандартної комплектації усіх нових легкових автомобілів, що продаються у Євросоюзі, США та Канаді [197, 360].

Система екстреного гальмування – це адаптивна система призначена для підвищення ефективності використання водієм робочої гальмівної системи в екстреній ситуації. Застосування систем екстреного гальмування може бути вирішальним фактором для попередження ДТП чи зменшення її наслідків за рахунок скорочення гальмівного шляху автомобіля на 15-45% [3, 41, 88]. Існує два види систем екстреного гальмування: система допомоги при екстреному гальмуванні (ВА), яка дозволяє реалізувати максимальне гальмівне зусилля у разі натиснення водієм на важіль гальма, та система автоматичного екстреного гальмування, яка створює часткове чи максимальне гальмівне зусилля без участі водія. В системах автоматичного екстреного гальмування крім основної реалізується ряд інших функцій шляхом поєднання роботи систем активної і пасивної безпеки автомобіля, що перетворює їх у так звані превентивні (попереджуючі) системи безпеки.

Процес гальмування ТЗ з електронною системою гальмування можна відобразити за допомогою гальмівної діаграми (рис. 3.17). Криві 1, 2 та 5 (рис. 3.17) 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 .

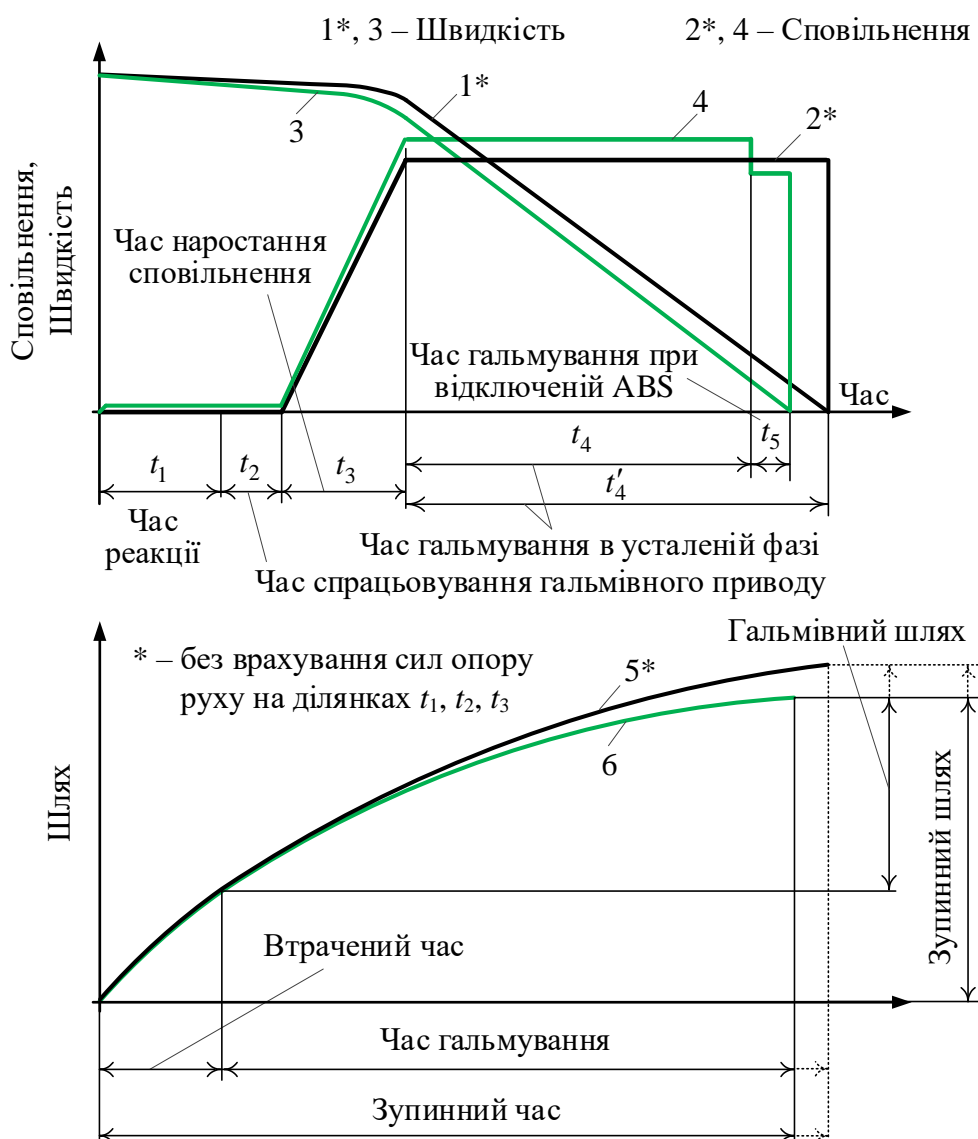


Рисунок 3.17 – Параметри процесу гальмування ТЗ

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 .

Для вирішення задачі визначення зупинного шляху ТЗ S_0 при екстремому гальмуванні аналітичним методом необхідно цей процес розглянути поетапно. Відповідно до рис. 3.17

$$S_0 = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5, \quad (3.45)$$

де S_1, S_2, S_3, S_4 та S_5 – ділянки зупинного шляху, які відповідають руху ТЗ в інтервалах часу t_1, t_2, t_3, t_4 та t_5 .

Після реагування на небезпеку за час t_1 , водій натискає на важіль гальма і розпочинає процес гальмування автомобіля з запізненням t_2 , необхідним для приведення гальмівної системи у дію. В інтервалах часу t_1, t_2 гальмування ТЗ відбувається за рахунок сил опору руху, при цьому ТЗ пройде шлях $S_{1+2} = S_1 + S_2$. Шлях S_3 , пройдений за час t_3 , долається ТЗ при інтенсивному зростанні гальмівних сил та відчутному зменшенні швидкості руху. На ділянці шляху S_4 , яку долає ТЗ за час t_4 , забезпечується максимальна ефективність гальмування з усталеним сповільненням. Шлях S_5 за час t_5 , долається ТЗ з електронною гальмівною системою при русі в режимі гальмування зі швидкостями від 15 км/год і нижче [197].

Такий опис процесу екстремого гальмування ТЗ визначає послідовність аналітичного вирішення задачі визначення зупинного шляху на основі об'єднання математичних моделей для кожної ділянки гальмування.

Для кожної складової зупинного шляху ТЗ функція сповільнення за часом має вигляд

$$j(t) = \begin{cases} j_{OR}, \text{ якщо } 0 < t \leq (t_1 + t_2), \\ k \cdot t + m, \text{ якщо } 0 < t \leq t_3, \\ j_{ABS(BA)}, \text{ якщо } 0 < t \leq t_4. \\ j_S, \text{ якщо } 0 < t \leq t_5. \end{cases}, \quad (3.46)$$

де t – поточне значення часу в заданому інтервалі;

j_{OR} – сповільнення ТЗ під дією сил опору руху;

k, m – коефіцієнти лінійної функції $j(t)$ в інтервалі часу t_3 ;

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

j_S – усталене сповільнення при відключеній ABS.

Функція швидкості на ділянці S_{1+2} запишеться як диференціальне рівняння

$$\begin{cases} -\frac{dV}{dt} = j_{OR}, \\ V(0) = V_a. \end{cases} \quad (3.47)$$

Якщо вираз (3.47) проінтегрувати, то розрахунок швидкості руху ТЗ на ділянці S_{1+2} можна здійснити за формулою

$$V_{1,2}(t) = V_a - j_{OR} \cdot t. \quad (3.48)$$

З рівняння (3.48) видно, що у кінці ділянки S_{1+2} швидкість руху ТЗ складе

$$V_2 = V_a - j_{OR} \cdot (t_1 + t_2). \quad (3.49)$$

Зупинний шлях ТЗ на ділянці S_{1+2} можна визначити з урахуванням (3.49) як

$$\begin{cases} \frac{dS_{1+2}}{dt} = V_a - j_{OR} \cdot t, \\ S_{1+2}(0) = 0. \end{cases} \quad (3.50)$$

Якщо вираз (3.50) проінтегрувати, то для знаходження довжини ділянки S_{1+2} можна скористатись виразом

$$S_{1+2} = V_a \cdot (t_1 + t_2) - \frac{j_{OR} \cdot (t_1 + t_2)^2}{2}. \quad (3.51)$$

На ділянці S_3 сповільнення змінюється під дією гальмівних сил за лінійним законом виду $y = kx + m$, заданим координатами $(x_1 = 0; y_1 = 0)$ та $(x_2 = t_3; y_2 = j_{ABS(BA)})$. Виходячи із заданих координат, кутовий коефіцієнт $k = j_{ABS(BA)} / t_3$, коефіцієнт $m = 0$, а функція має вигляд $y = j(t) = \frac{j_{ABS(BA)}}{t_3} \cdot t$. Отже, на ділянці S_3 швидкість руху ТЗ можна знайти за таким диференціальним рівнянням

$$\begin{cases} -\frac{dV}{dt} = \frac{j_{ABS(BA)}}{t_3} \cdot t, \\ V(0) = V_2. \end{cases} \quad (3.52)$$

Якщо вираз (3.52) проінтегрувати, то довжину ділянки S_3 можна знайти за формулою

$$V_3(t) = V_2 - \frac{j_{ABS(BA)} \cdot t^2}{2t_3}. \quad (3.53)$$

З виразу (3.53) видно, що наприкінці ділянки S_3 швидкість ТЗ буде дорівнювати

$$V_3 = V_2 - \frac{j_{ABS(BA)} \cdot t_3}{2}. \quad (3.54)$$

Зупинний шлях ТЗ на ділянці S_3 можна визначити з урахуванням (3.53) так

$$\begin{cases} \frac{dS_3}{dt} = V_2 - \frac{j_{ABS(BA)} \cdot t^2}{2t_3}, \\ S_3(0) = 0. \end{cases} \quad (3.55)$$

Розв'язком рівняння (3.55) є вираз

$$S_3(t) = V_2 \cdot t - \frac{j_{ABS(BA)} \cdot t^3}{6t_3}. \quad (3.56)$$

Виходячи з (3.56), зупинний шлях ТЗ на ділянці S_3 визначається так

$$S_3 = V_2 \cdot t_3 - \frac{j_{ABS(BA)} \cdot t_3^2}{6}. \quad (3.57)$$

Ефективність гальмування на ділянці S_4 можна виразити через усталене сповільнення $-\frac{dV}{dt} = j_{ABS(BA)}$, тоді за початкових умов $V(0) = V_2 - \frac{j_{ABS(BA)} \cdot t_3}{2}$ отримаємо після інтегрування

$$V_4(t) = V_2 - \frac{j_{ABS(BA)} \cdot t_3}{2} - j_{ABS(BA)} \cdot t. \quad (3.58)$$

Отже, шлях S_4 можна визначити за допомогою такої математичної моделі

$$\begin{cases} dS_4 = \left(V_2 - \frac{j_{ABS(BA)} \cdot t_3}{2} - j_{ABS(BA)} \cdot t \right) dt, \\ S_4(0) = 0. \end{cases} \quad (3.59)$$

Якщо вираз (3.59) проінтегрувати, то довжину ділянки S_4 можна знайти за формулою

$$S_4(t) = \left(V_2 - \frac{j_{ABS(BA)} \cdot t_3}{2} \right) \cdot t - \frac{j_{ABS(BA)} \cdot t^2}{2}, \quad (3.60)$$

або з урахуванням (3.54)

$$\begin{aligned} S_4(t_4) &= \left(V_2 - \frac{j_{ABS(BA)} \cdot t_3}{2} \right) \cdot t_4 - \frac{j_{ABS(BA)} \cdot t_4^2}{2} = \\ &= \frac{V_3^2 - V_S^2}{2j_{ABS(BA)}} = \frac{1}{2j_{ABS(BA)}} \cdot \left(\left(V_2 - \frac{j_{ABS(BA)} \cdot t_3}{2} \right)^2 - V_S^2 \right). \end{aligned} \quad (3.61)$$

Зупинний шлях ТЗ на ділянці S_5 визначається аналогічно як для ділянки S_4 з урахуванням того, що швидкість V_S , на якій відбувається відключення ABS, складає 15 км/год [197].

$$\begin{cases} -\frac{dV}{dt} = j_S, \\ V(0) = V_S. \end{cases} \quad (3.62)$$

Отже, шлях S_5 можна визначити за допомогою такої математичної моделі

$$\begin{cases} dS_5 = (V_S - j_S \cdot t) dt, \\ S_5(0) = 0. \end{cases} \quad (3.63)$$

Якщо вираз (3.63) проінтегрувати, то довжину ділянки S_5 можна знайти за формулою

$$S_5(t) = V_S \cdot t - \frac{j_S \cdot t^2}{2}. \quad (3.64)$$

або з урахуванням (3.62)

$$S_5(t_5) = V_S \cdot t_5 - \frac{j_S \cdot t_5^2}{2} = \frac{V_S^2}{2j_S}. \quad (3.65)$$

Враховуючи вирази (3.45), (3.51), (3.57), (3.61) та (3.65), у загальному виді математичну модель зупинного шляху ТЗ можна представити так

$$\left\{ \begin{array}{l} S_0 = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5, \\ S_{1+2} = S_1 + S_2 = V_a \cdot (t_1 + t_2) - \frac{j_{OR} \cdot (t_1 + t_2)^2}{2}, \\ S_3 = V_2 \cdot t_3 - \frac{j_{ABS(BA)} \cdot t_3^2}{6}, \\ S_4 = \frac{1}{2j_{ABS(BA)}} \cdot \left(\left(V_2 - \frac{j_{ABS(BA)} \cdot t_3}{2} \right)^2 - V_S^2 \right), \\ S_5 = \frac{V_S^2}{2j_S}. \end{array} \right. \quad (3.66)$$

В результаті розв'язку системи рівнянь (3.66) отримаємо вираз

$$S_0 = V_a \cdot (t_1 + t_2) + \frac{V_2 \cdot t_3}{2} + \frac{V_2^2 - V_S^2}{2j_{ABS(BA)}} + \frac{V_S^2}{2j_S} - \frac{j_{ABS(BA)} \cdot t_3^2}{24} - \frac{j_{OR} \cdot (t_1 + t_2)^2}{2}. \quad (3.67)$$

Якщо у виразі (3.67) замінити швидкість V_2 на V_a виходячи з (3.49), остаточно отримаємо

$$S_0 = (t_1 + t_2 + 0.5t_3) \cdot V_a + \frac{V_a^2 - V_S^2}{2j_{ABS(BA)}} + \frac{V_S^2}{2j_S} - S_{OR}, \quad (3.68)$$

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 .

$$S_{OR} = j_{OR}(t_1 + t_2) \cdot \left(\frac{t_3}{2} + \frac{V_a}{j_{ABS(BA)}} - \frac{j_{OR} \cdot (t_1 + t_2)}{2j_{ABS(BA)}} + \frac{(t_1 + t_2)}{2} \right) - \frac{j_{ABS(BA)} \cdot t_3^2}{24}. \quad (3.69)$$

Аналіз запропонованої математичної моделі (3.68) показав, що врахування дії сил опору руху на ділянках S_1 , S_2 і S_3 дозволяє підвищити точність оцінювання величини S_0 на 5-10% порівняно з існуючими методами. Це може суттєво вплинути на формування висновків з дослідження обставин ДТП.

У разі необхідності визначення гальмівного шляху ТЗ, на основі (3.68) та (3.69) маємо

$$S_b = (t_2 + 0.5t_3) \cdot V_a + \frac{V_a^2 - V_S^2}{2j_{ABS(BA)}} + \frac{V_S^2}{2j_S} - j_{OR} \cdot t_2 \cdot \left(\frac{t_2 + t_3}{2} + \frac{V_a}{j_{ABS(BA)}} - \frac{j_{OR} \cdot t_2}{2j_{ABS(BA)}} \right) - \frac{j_{ABS(BA)} \cdot t_3^2}{24}. \quad (3.70)$$

або

$$S_b = \left(t_2 + \frac{t_3}{2} \right) \cdot V_a + \frac{V_a^2 - V_S^2}{2j_{ABS(BA)}} + \frac{V_S^2}{2j_S} - S_{OR}^b, \quad (3.71)$$

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

$$S_{OR}^b = j_{OR} \cdot t_2 \cdot \left(\frac{t_2 + t_3}{2} - \frac{V_a}{j_{ABS(BA)}} + \frac{j_{OR} \cdot t_2}{2j_{ABS(BA)}} \right) + \frac{j_{ABS(BA)} \cdot t_3^2}{24}. \quad (3.72)$$

За результатами виконаних експериментальних досліджень (див. розділ 4), опублікованих в [3, 30, 41, 44], було проведено перевірку гіпотези про необхідність врахування конструкції гальмівних систем (роботи ABS і ВА) та типу шин при визначенні показників ефективності екстреного гальмування автомобілів з метою мінімізації імовірності надання необ'єктивних висновків автотехнічної експертизи. Так для сухого асфальтобетону були отримані емпіричні залежності (3.73)-(3.76), (3.78) зміни сповільнення ТЗ категорії М1 як функції початкової швидкості гальмування, км/год.

Для автомобілів з ABS (ВА) на літніх шинах

$$j_{ABS} = 0.0026 \cdot V_a + 8.21, \quad (3.73)$$

$$j_{ABS+BA} = -0.007 \cdot V_a + 9.648. \quad (3.74)$$

Для автомобілів з ABS (ВА) на зимових шинах

$$j_{ABS} = 0.0037 \cdot V_a + 7.927, \quad (3.75)$$

$$j_{ABS+BA} = -0.0058 \cdot V_a + 9.414. \quad (3.76)$$

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

$$S_0 = \left(t_1 + t_2 + \frac{t_3}{2} \right) \cdot V_a + \frac{V_a^2}{2j_S} - S_{OR}^b; \quad S_b = \left(t_2 + \frac{t_3}{2} \right) \cdot V_a + \frac{V_a^2}{2j_S} - S_{OR}^b, \quad (3.77)$$

де S_{OR}^b визначається за залежністю (3.72) із заміною $j_{ABS(BA)}$ на j_S ;

j_S – усталене сповільнення, кореговане за швидкістю руху ТЗ,

$$\text{для літніх шин } j_S = -0.00006 \cdot (V_a)^2 - 0.0022 \cdot V_a + 7.956, \quad (3.78)$$

$$\text{для зимових шин } j_S = -0.00007 \cdot (V_a)^2 - 0.0005 \cdot V_a + 7.694.$$

Результати оцінювання гальмівного шляху ТЗ категорії М1 на літніх шинах за запропонованими моделями (3.70)-(3.78) та діючою методикою (1.10) подані на рисунках 3.18, 3.19.

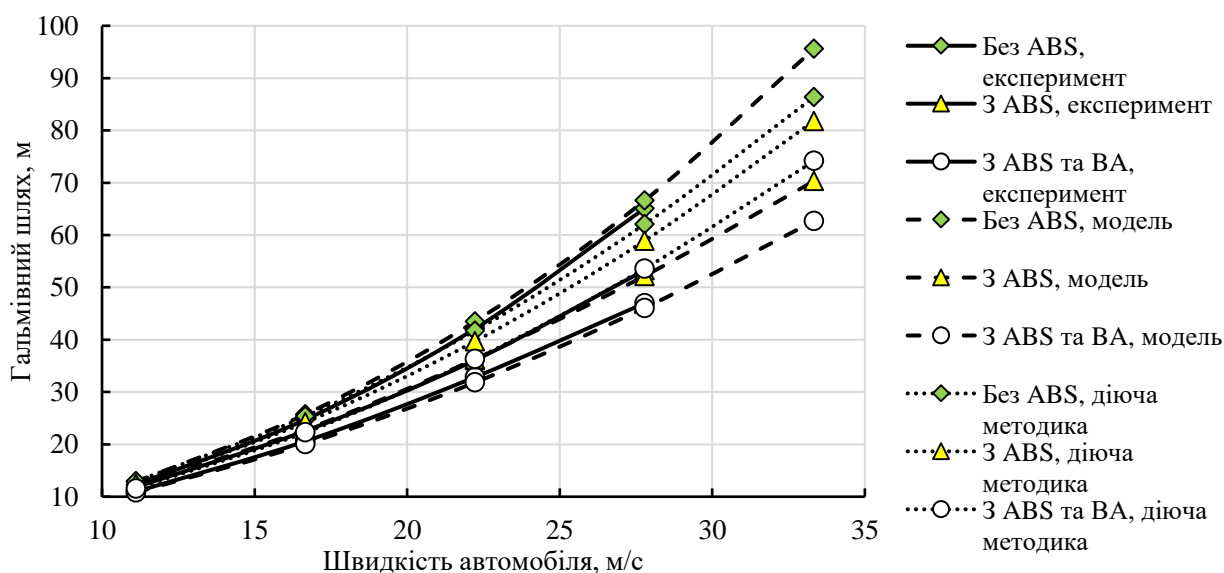


Рисунок 3.18 – Результати оцінювання гальмівного шляху ТЗ категорії М1 на сухому асфальтобетоні

З рисунків 3.38, 3.39 видно, що при оцінюванні параметрів ефективності гальмування ТЗ категорії М1 з ABS (ВА) на сухому асфальтобетоні доцільно використовувати вирази (3.70)-(3.76). Вирази (3.77) і (3.78) доцільно використовувати для ТЗ категорії М1 без ABS при оцінюванні параметрів ефективності гальмування на сухому асфальтобетоні зі швидкості до 45 км/год та понад 85 км/год. В іншому разі доцільно використовувати діючу методику і користуватись залежністю (1.10).

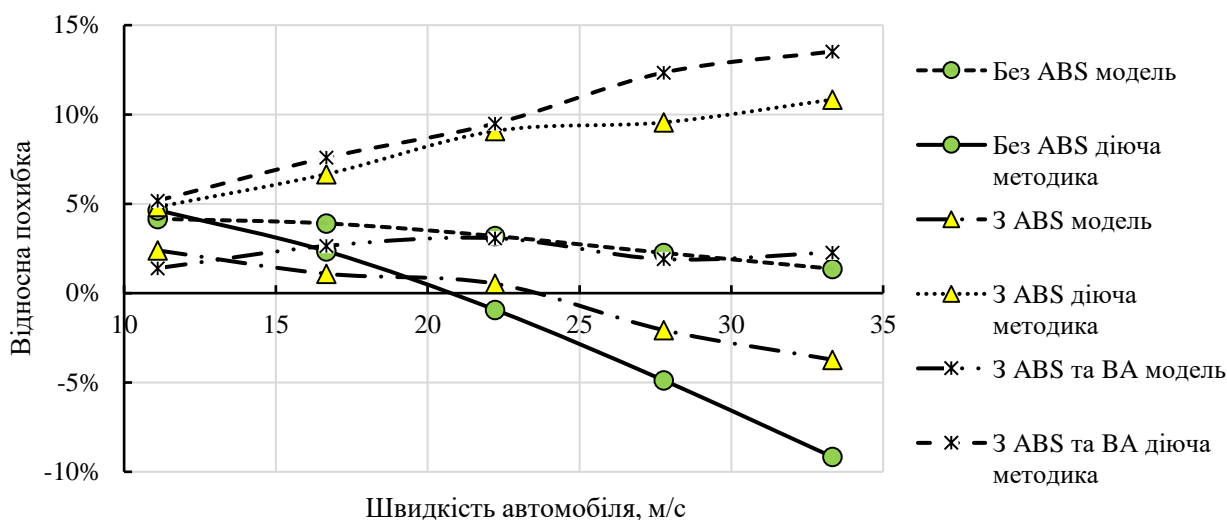


Рисунок 3.19 – Похибка оцінювання гальмівного шляху ТЗ категорії М1 на сухому асфальтобетоні

3.4.3 Оцінювання параметрів маневрування автомобіля з урахуванням нерівномірності руху

З метою запобігання ДТП у разі виникнення перешкоди для руху ПДР [77] рекомендують застосовувати процес гальмування для зниження швидкості руху автомобіля аж до повної його зупинки або маневрування для безпечного об'їзду перешкоди. Діючі методики аналізу параметрів маневрування автомобіля, які використовуються в практиці розслідування ДТП [80, 89], базуються на роботах Н.М. Крісті [139, 140] та В.А. Іларіонова [86, 142]. Вони побудовані на основі ряду припущень (рух автомобіля з постійною швидкістю, використання жорстких шин тощо), які не тільки спрощують розрахунки, але й знижують точність аналізу самого маневру, що в деяких випадках може призвести до протилежних експертних висновків [305].

Конструкція сучасних ТЗ дозволяє застосовувати одночасно маневрування та гальмування за рахунок впровадження ABS, які, як правило, є частиною більш складної електронної системи гальмування, що також може містити: систему розподілу гальмівних зусиль (EBD), систему електронного контролю стійкості (ESP), систему екстреного гальмування (ВА). Такий вид руху складно дослідити на основі діючих методик, оскільки вони містять

залежності отримані на припущенні, що ТЗ рухається без прискорення (сповільнення). Таким чином, виникає необхідність в удосконаленні існуючих методів аналізу маневрування.

Розглянемо схему повороту автомобіля (рис. 3.20), базуючись на методичному підході В.А. Іларіонова [86] та А.С. Крука [363].

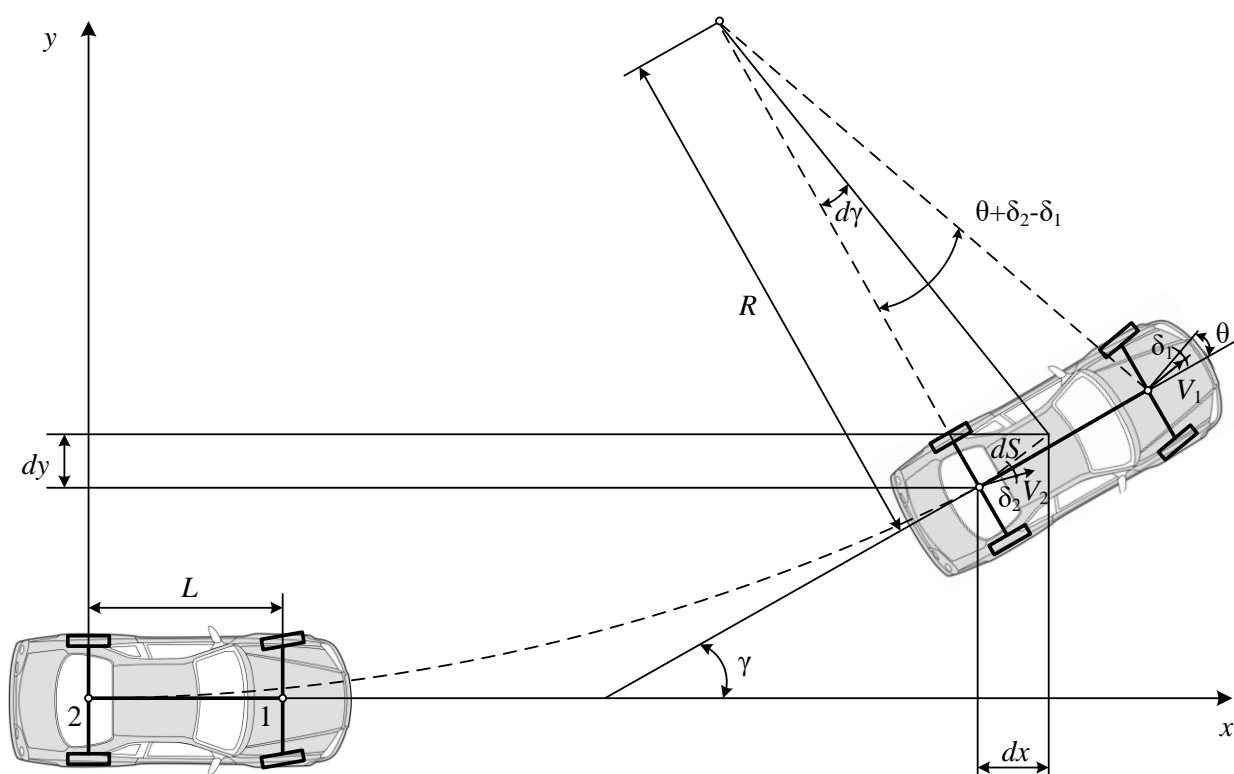


Рисунок 3.20 – Схема до розрахунку параметрів маневрування автомобіля

Як видно з рис. 3.20, поворот ТЗ будемо розглядати в ортогональній декартовій системі координат, початок якої знаходиться в точці, що є серединою заднього моста (точка 2), а поздовжня вісь автомобіля співпадає з віссю x у початковому положенні. З початком повороту рульового колеса руху автомобіля стає криволінійним і на момент досягнення кута повороту керованих коліс θ автомобіль повертається відносно осі x на кут γ .

Радіус повороту центра заднього моста автомобіля визначається зміною кута повороту керованих коліс та кутів відведення коліс передньої та задньої осі у часі

$$R(t) = \frac{L}{\operatorname{tg}(\theta(t) - \delta_1(t)) + \operatorname{tg} \delta_2(t)}. \quad (3.79)$$

Зміна кутової швидкості автомобіля $\omega_a(t)$ у часі визначається залежністю

$$\omega_a(t) = \frac{V(t)}{R(t)}, \quad (3.80)$$

де $V(t)$ – закон зміни швидкості руху автомобіля.

Результати виконаних експериментальних досліджень за допомогою мобільного реєстраційно-вимірювального комплексу Харківського національного автомобільно-дорожнього університету [364], представлені в п. 4.5 та Додатку И, показують що сповільнення при маневруванні можуть досягати до 50-55% значень усталеного сповільнення при екстремому гальмуванні. З урахуванням цього, зміну швидкості руху автомобіля у часі при маневруванні з гальмуванням можна описати таким лінійним законом

$$V(t) = V_0 - \frac{j \cdot t}{2}, \quad (3.81)$$

де j – усталене сповільнення автомобіля при екстремому гальмуванні;

V_0 – початкова швидкість гальмування ТЗ.

Таким чином, виходячи з виразу (3.80) та враховуючи (3.79) та (3.81)

$$\omega_a(t) = \frac{\left(V_0 - \frac{j \cdot t}{2}\right) \cdot (\operatorname{tg}(\theta - \delta_1) + \operatorname{tg} \delta_2)}{L}. \quad (3.82)$$

При екстремому маневруванні кути $\theta, \delta_1, \delta_2$ достатньо малі, що дозволяє вважати $\operatorname{tg}(\theta - \delta_1) + \operatorname{tg} \delta_2 = \theta - \delta_1 + \delta_2$, рульове колесо для попередження ДТП водій повертає досить різко, а тому зміна кута пороту керованих коліс

пропорційна до часу [86, 101, 102]. З урахуванням згаданих вище припущень зміну курсового кута γ за часом t можна описати так

$$\gamma(t) = \int \frac{\left(V_0 - \frac{j \cdot t}{2}\right) \cdot (\dot{\theta} - \dot{\delta}_1 + \dot{\delta}_2) \cdot t}{L} dt. \quad (3.83)$$

Після інтегрування виразу (3.83) маємо

$$\gamma(t) = \frac{\dot{\theta} - \dot{\delta}_1 + \dot{\delta}_2}{L} \cdot t^2 \cdot \left(\frac{V_0}{2} - \frac{j \cdot t}{6}\right). \quad (3.84)$$

Шлях по дузі dS (див. рис. 3.42), який подолає середина заднього моста ТЗ за нескінченно малий проміжок часу dt , визначається величиною $R(t)$ та зміною курсового кута $d\gamma$

$$dS = R(t) \cdot d\gamma. \quad (3.85)$$

Відповідно до існуючих експериментальних досліджень в екстрених ситуаціях зазвичай курсовий кут $\gamma < 12^\circ$ [86, 142], що дозволяє вважати $\cos \gamma \approx 1$, $\sin \gamma \approx \gamma$. Тоді

$$dx = dS \cdot \cos \gamma \approx dS = \left(V_0 - \frac{j \cdot t}{2}\right) dt. \quad (3.86)$$

$$dy = dS \cdot \sin \gamma \approx dS \cdot \gamma = \frac{\dot{\theta} - \dot{\delta}_1 + \dot{\delta}_2}{L} \cdot t^2 \cdot \left(\frac{V_0}{2} - \frac{j \cdot t}{6}\right) \left(V_0 - \frac{j \cdot t}{2}\right) dt. \quad (3.87)$$

Після інтегрування (3.85) та (3.86) отримаємо

$$x(t) = V_0 \cdot t - \frac{j \cdot t^2}{4}. \quad (3.88)$$

$$y(t) = \frac{\dot{\theta} - \dot{\delta}_1 + \dot{\delta}_2}{6L} \cdot t^3 \cdot \left(V_0^2 - \frac{5}{8} \cdot V_0 \cdot j \cdot t + \frac{1}{5} \cdot j^2 \cdot t^2 \right). \quad (3.89)$$

Формули (3.84), (3.88) та (3.89) дозволяють знайти курсовий кут γ та координати x , y середини заднього моста ТЗ в будь-який момент часу в процесі маневрування з гальмуванням, визначити по ним положення інших точок автомобіля, що входить в поворот при результуючих значеннях курсового кута не більших за 0,26 радіан [84, 86, 363].

Таким чином, в кінці виконання маневру «вхід в поворот» (закінчення повороту коліс) параметри руху середини заднього моста ТЗ становитимуть

$$\gamma_M = \frac{\dot{\theta} - \dot{\delta}_1 + \dot{\delta}_2}{L} \cdot t_M^2 \cdot \left(\frac{V_0}{2} - \frac{j \cdot t_M}{6} \right), \quad (3.90)$$

$$x_M = V_0 \cdot t_M - \frac{j \cdot t_M^2}{4}, \quad (3.91)$$

$$y_M = \frac{\dot{\theta} - \dot{\delta}_1 + \dot{\delta}_2}{6L} \cdot t_M^3 \cdot \left(V_0^2 - \frac{5}{8} \cdot V_0 \cdot j \cdot t_M + \frac{1}{5} \cdot j^2 \cdot t_M^2 \right), \quad (3.92)$$

де t_M – час виконання маневру.

На практиці технічна можливість виконати маневр за фіксований час t_M залежить від реалізації зчіпних властивостей автомобільних шин з дорогою, жорсткості шин, швидкості повороту керованих коліс та інтенсивності гальмування.

Максимально допустима швидкість повороту керованих коліс за умов відсутності заносу автомобіля може бути встановлена при досягненні відцентровою силою величини сили зчеплення. Тоді, застосувавши другий закон Ньютона для матеріальної точки, яка обертається по колу з радіусом R , отримаємо

$$\frac{m \cdot (V(t))^2}{R(t)} = m \cdot g \cdot \varphi_y, \quad (3.93)$$

Для випадку, коли вважається що автомобіль здійснює рівномірний рух при маневруванні без гальмування, та нехтуючи бічним відведенням коліс із (3.79) та (3.93) маємо таке рівняння для визначення максимально можливої швидкості повороту керованих коліс за умов відсутності заносу

$$\dot{\theta}'_{\max} = \frac{g \cdot \varphi_y \cdot L}{V_0^2 \cdot t_M}, \quad (3.94)$$

Якщо підставити (3.94) в (3.90)-(3.92), то отримаємо залежності, що використовуються в діючій методиці аналізу параметрів маневрування автомобіля, який рухається з постійною швидкістю [80, 89].

Для випадку маневрування автомобіля з одночасним застосуванням гальмування максимально можливу швидкість повороту керованих коліс за умов відсутності заносу, враховуючи наявність бічного відведення коліс, (3.79), (3.81) та пропорційність зміни кута повороту керованих коліс у часі можна визначити за формулою

$$\left(\dot{\theta} - \dot{\delta}_1 + \dot{\delta}_2 \right)_{\max} = \frac{g \cdot \varphi_y \cdot L}{\left(V_0 - \frac{j \cdot t}{2} \right)^2 \cdot t}. \quad (3.95)$$

Для забезпечення керованості автомобіля при виконанні екстреного маневрування з одночасним гальмуванням необхідно мінімізувати функцію (3.95) на проміжку $t \in [0; t_M]$. Дана функція має точки розриву $t_1 = 0$ та

$t_2 = 2V_0 / j$, коли її значення прямує до ∞ . Інші критичні точки можна знайти прирівнявши похідну функції до нуля

$$\left(\frac{g \cdot \varphi_y \cdot L}{\left(V_0 - \frac{j \cdot t}{2} \right)^2 \cdot t} \right)' = \left(g \cdot \varphi_y \cdot L \left(\left(V_0 - \frac{j \cdot t}{2} \right)^2 \cdot t \right)^{-1} \right)' = \frac{g \cdot \varphi_y \cdot L \cdot \left(\frac{3}{2} \cdot j \cdot t - V_0 \right)}{\left(V_0 - \frac{j \cdot t}{2} \right)^3 \cdot t^2} = 0. \quad (3.96)$$

Якщо прирівняти чисельник (3.96) до нуля, отримаємо третю критичну точку $t_3 = 2V_0 / 3j$.

Величина $t_1 = 0$ є початком проміжку визначення $t \in [0; t_M]$ – початком виконання маневру. Величина $t_2 = 2V_0 / j$ є часом, протягом якого автомобіль зупиниться при русі зі швидкості V_0 зі сталим сповільненням j . Якщо час $t_M > t_2$ то автомобіль зупиниться раніше закінчення маневру і задача з технічної точки зору втратить сенс. Отже проміжком визначення функції (3.95) у часі є проміжок $t \in [0; t_2]$.

Обчислимо значення функції (3.95) при $t = t_3 = t_M$

$$\left(\dot{\theta} - \dot{\delta}_1 + \dot{\delta}_2 \right)(t_3) = 3.375 \cdot g \cdot \varphi_y \cdot L \frac{j}{V_0^3}. \quad (3.97)$$

Якщо протягом маневрування значення функції (3.95) не перевищує значення (3.97), то маневрування з гальмуванням можна виконати без втрати поперечної стійкості.

Після підстановки (3.97) у (3.90)-(3.92) отримаємо залежності, які дозволяють визначити параметри маневрування автомобіля при одночасному застосуванні гальмування:

– «вхід в поворот»

$$\gamma_M = \gamma_0 + 3.375 \cdot g \cdot \varphi_y \cdot \frac{j}{V_0^3} \cdot t_M^2 \cdot (0.5 \cdot V_0 - 0.167 \cdot j \cdot t_M), \quad (3.98)$$

$$x_M = V_0 \cdot t_M - 0.25 \cdot j \cdot t_M^2, \quad (3.99)$$

$$y_M = y_0 + 0.5625 \cdot g \cdot \varphi_y \cdot \frac{j}{V_0^3} \cdot t_M^3 \cdot (V_0^2 - 0.625 \cdot V_0 \cdot j \cdot t_M + 0.2 \cdot j^2 \cdot t_M^2); \quad (3.100)$$

– «ВХІД – ВИХІД»

$$\gamma_M = \gamma_0 + 0.07 \cdot g \cdot \varphi_y \cdot \frac{j}{V_0^3} \cdot t_M^2 \cdot (6 \cdot V_0 - j \cdot t_M), \quad (3.101)$$

$$x_M = 0.5 \cdot V_0 \cdot t_M - 0.125 \cdot j \cdot t_M^2, \quad (3.102)$$

$$y_M = y_0 + 0.07 \cdot g \cdot \varphi_y \cdot \frac{j}{V_0^3} \cdot t_M^3 \cdot (V_0^2 - 0.3125 \cdot V_0 \cdot j \cdot t_M + 0.05 \cdot j^2 \cdot t_M^2); \quad (3.103)$$

– «ЗМІНА СМУГИ РУХУ»

$$\gamma_M = 0, \quad (3.104)$$

$$x_M = 0.25 \cdot V_0 \cdot t_M - 0.0625 j \cdot t_M^2, \quad (3.105)$$

$$y_M = y_0 + 0.0088 \cdot g \cdot \varphi_y \cdot \frac{j}{V_0^3} \cdot t_M^3 \cdot (V_0^2 - 0.1562 \cdot V_0 \cdot j \cdot t_M + 0.0125 \cdot j^2 \cdot t_M^2), \quad (3.106)$$

де γ_0 , y_0 – значення параметрів при $j = 0$ м/с², визначене за методикою [86, 142].

Формули (3.98)-(3.106) 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 [86, 142] за необхідності аналізу маневрування з гальмуванням сучасних ТЗ, обладнаних ABS та BA.

3.4.4 Оцінювання відстані від автомобіля до місця ДТП в момент виникнення небезпеки для руху

Наїзд є найбільш поширеним видом ДТП (Додаток А), тому в практичній діяльності експертам досить часто доводиться досліджувати його механізм. Питання про технічну можливість уникнути наїзду можна вирішити різними способами, в залежності від обставин пригоди (наявності вихідних даних). Основні способи вирішення цього питання такі [80, 81, 89]:

- визначення і порівняння зупинного шляху ТЗ та відстані від місця наїзду, на якій він розміщувався в певний момент часу;
- визначення розташування транспортного засобу і перешкоди в момент, коли транспортний засіб знаходився на відстані зупинного шляху, від місця наїзду;
- порівняння часу існування перешкоди і часу, необхідного для зупинки транспортного засобу (приведення в дію гальмової системи чи рульового керування).

Існують і інші методи вирішення зазначеного питання, однак в експертній практиці найчастіше застосовують перший спосіб [88, 140, 146, 157-159].

Момент виникнення небезпеки для руху (МВН) є моментом, коли потрібно виконати певні дії для попередження ДТП. Цей момент визначається водієм, його поява залежить від дорожньої обстановки, вимог ПДР, досвіду водія,

який дозволяє передбачити подальший розвиток ДТП. Звісно, що в однаковій ситуації різні водії відреагують на ДТП у різний час, але якщо при цьому забезпечується БДР, їх дії слід визнати правильними.

Небезпечна обстановка може виникнути не тільки через появу перешкоди на шляху руху ТЗ, але й у випадках, коли екстрене гальмування в певних умовах не забезпечує БДР (гальмування на заокругленні при русі ТЗ з високою швидкістю по дорозі з низькими зчипними якостями, яке може призвести до ДТП в результаті заносу). У такій ситуації МВН настає у мить, коли водій ще може зупинити транспортний засіб шляхом плавного гальмування, що виключає занос.

МВН досить часто виникає до того, як перешкода з'являється у полі зору водія. Це може бути при обмеженні оглядовості іншими транспортними засобами під час наближення до пішохідного переходу, у разі засліплення водія світлом фар зустрічного ТЗ тощо.

Якщо транспортний засіб до моменту наїзду рухався без гальмування (відсутнє сповільнення), то відстань від місця наїзду, на якій він розміщувався в МВН можна визначити із співвідношення між швидкістю, шляхом і часом

$$S_a = V_a \cdot t_n \text{ або } S_a = \frac{V_a}{V_n} \cdot S_n, \quad (3.107)$$

де t_n – час наявності перешкоди (інтервал часу з моменту виникнення перешкоди до наїзду на неї);

V_n – швидкість руху перешкоди;

S_n – відстань, на яку змістилась перешкода з моменту виникнення небезпеки до наїзду на неї, $S_n = y_n / |\sin \beta|$ (рис. 3.21);

β – кут між напрямком руху ТЗ та перешкоди.

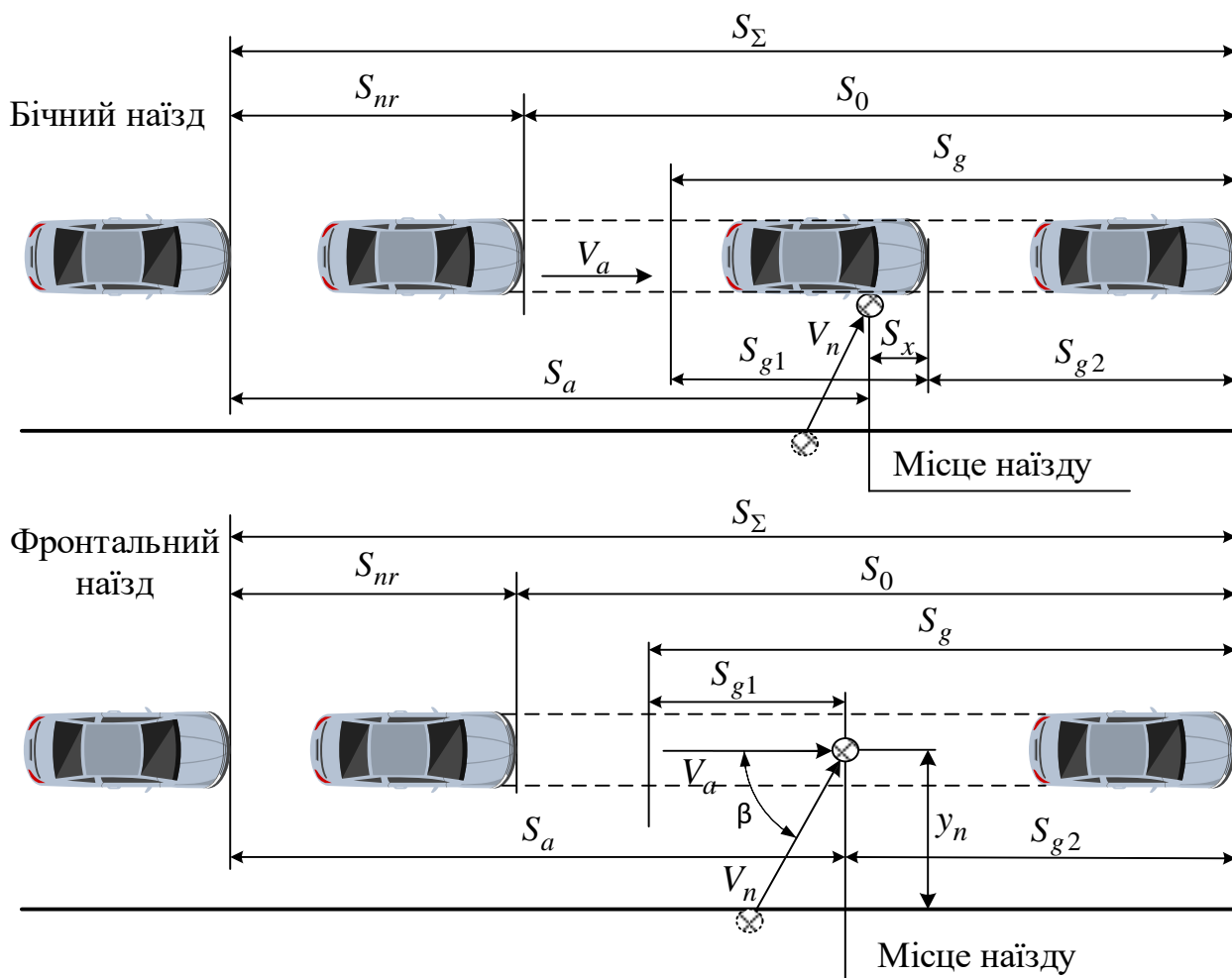


Рисунок 3.21 – Схема наїзду автомобіля на перешкоду (пішохода)

На рис. 3.21 представлена розрахункова схема наїзду автомобіля на перешкоду (при необмеженій видимості), яка рухалася під кутом β до напрямку руху автомобіля, та прийняті позначення: S_{Σ} – відстань від позиції автомобіля в момент виникнення небезпеки до його зупинки; S_a – віддалення автомобіля від місця наїзду в момент виникнення небезпеки; S_0 – зупинний шлях автомобіля; S_{nr} – відстань, на яку переміщується автомобіль від моменту виникнення небезпеки для руху до початку реагування водія; S_g – довжина гальмівного шляху автомобіля; S_{g1} – частина довжини гальмівного шляху автомобіля, який пройшов автомобіль від початку гальмування до місця

наїзду; S_{g2} – частина довжини гальмівного шляху автомобіля, яку подолав автомобіль від місця наїзду до зупинки.

З рис. 3.21 очевидно, що для бічного наїзду $S_{nr} + S_0 = S_a + S_x + S_{g2}$, а для фронтального наїзду $S_{nr} + S_0 = S_a + S_{g2}$, звідки:

– для бічного наїзду

$$S_a = S_{nr} + S_0 - S_x - S_{g2}, \quad (3.108)$$

– для фронтального наїзду

$$S_a = S_{nr} + S_0 - S_{g2}, \quad (3.109)$$

де $S_{nr} = V_a \cdot t_{nr}$;

S_0 – вираховується за формулою (3.68);

S_x , S_{g2} – вимірюється на місці пригоди.

Якщо врахувати, що час руху перешкоди від моменту виникнення небезпечної обстановки до наїзду складає t_n , то час руху ТЗ з цього моменту і до початку дій водія складе

$$t_{nr} = t_n - (T + t_{g1}), \quad (3.110)$$

де $T = t_1 + t_2 + 0,5t_3$ – час, необхідний для початку загальмовування автомобіля з усталеним сповільненням j .

t_{g1} – час руху автомобіля від усталення сповільнення j до наїзду.

Вважаючи, що час руху автомобіля на ділянці S_{g1} складе

$$t_{g1} = \frac{V_a - 0,5 \cdot t_3 \cdot j - \sqrt{2 \cdot j \cdot S_{g2} - j_{OR} \cdot (t_1 + t_2)}}{j}, \quad (3.111)$$

та використовуючи (3.107, 3.110), можна вирахувати шлях S_{nr}

$$S_{nr} = V_a \left(\frac{S_n}{V_n} - \left(t_1 + t_2 + 0,5t_3 + \frac{V_a - 0,5t_3 \cdot j - \sqrt{2 \cdot j \cdot S_{g2}} - j_{OR} \cdot (t_1 + t_2)}{j} \right) \right), \quad (3.112)$$

де j_{OR} – сповільнення ТЗ під дією сил опору руху (3.38).

Тоді на основі (3.108), (3.109) та (3.112) визначимо S_a

– для бічного наїзду

$$S_a = V_a \left(\frac{S_n}{V_n} - \left(t_1 + t_2 + \frac{V_a - \sqrt{2 \cdot j \cdot S_{g2}} - j_{OR} \cdot (t_1 + t_2)}{j} \right) \right) + S_0 - S_x - S_{g2}. \quad (3.113)$$

– для фронтального наїзду

$$S_a = V_a \left(\frac{S_n}{V_n} - \left(t_1 + t_2 + \frac{V_a - \sqrt{2 \cdot j \cdot S_{g2}} - j_{OR} \cdot (t_1 + t_2)}{j} \right) \right) + S_0 - S_{g2}. \quad (3.114)$$

Отже порівнюючи відстані S_a та S_0 , можна дати відповідь на питання про технічну можливість зменшення наслідків чи уникнення ДТП (при $S_0 > S_a$ можливість уникнути наїзду у водія відсутня), а також виконати аналіз впливу умов гальмування на зміну дистанції між автомобілем та перешкодою в момент появи небезпечної ДТС.

При потребі дослідити механізм наїзду на перешкоду, яка рухалася у попутному чи зустрічному напрямку, для відповіді на питання про технічну можливість уникнути наїзду недостатньо знати величину шляху, необхідного для зупинки транспортного засобу. Наприклад, якщо перешкода рухається в

попутному напрямку, то за час гальмування автомобіля вона може залишити небезпечну зону (для подолання певної ділянки дороги при гальмуванні необхідно більше часу ніж без гальмування). Тому в таких випадках потрібно врахувати відстань, на яку може додатково зміститись перешкода за час гальмування.

У відповідності з п. 12.2. ПДР України, в умовах недостатньої видимості або в темну пору доби швидкість руху ТЗ повинна забезпечувати можливість зупинити транспортний засіб в межах дистанції видимості дороги. У випадку осліплення необхідно обов'язково зупинитись, проте велика кількість водіїв вважає осліплення короткочасним, тому не зменшують швидкість руху автомобіля, а лише слідкують за незмінністю положення рульового колеса. Проте автомобіль постійно відхиляється від напрямку руху і внаслідок цілого ряду причин, навіть при низькій швидкості, здатен вийти за межі смуги руху.

Отже, якщо водій рухається з такою швидкістю, при якій відстань, потрібна для зупинки S_0 більша за видимість дороги S_V (рис. 3.22), то він рухається начебто наосліп, оскільки не бачить ту частину дороги, де може потребувати зупинки.

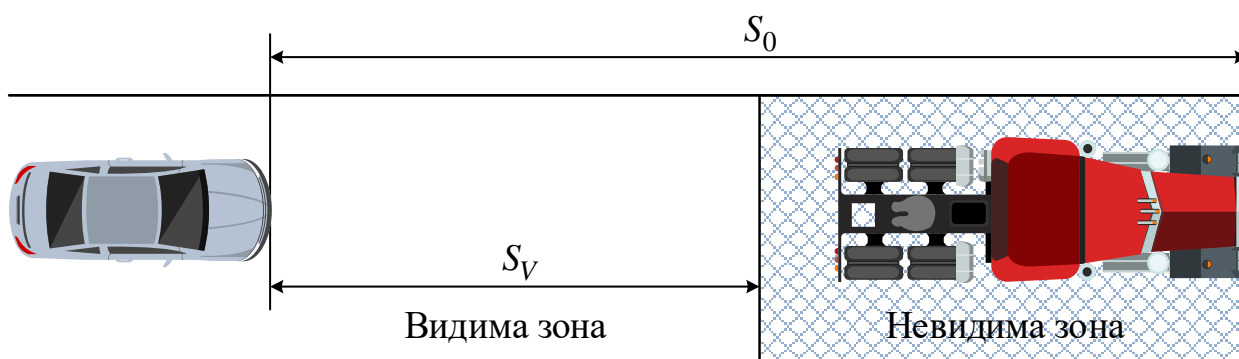


Рисунок 3.22 – Видима і невидима зони зупиночного шляху автомобіля

Видимість дороги, досить часто більша, ніж видимість перешкоди на ній. Це відбувається внаслідок того, що видимість перешкоди визначається контрастністю фону і об'єкту. Слід враховувати, що у разі збігу кольорів

об'єкта і фону (наприклад, мокрий темний асфальт та темний мокрий одяг пішохода), об'єкт слабо відрізняється від фону, а тому його важко розпізнати.

Оскільки водій вибирає швидкість руху за умовами видимості дороги, то в момент появи перешкоди в полі зору, у нього відсутня технічна можливість уникнути ДТП.

Розглянемо більш докладно механізми виникнення ДТП.

При аналізі ДТП, пов'язаних з погіршенням видимості в темну пору доби, необхідно враховувати, що водію потрібен додатковий час Δt_1 для ідентифікації небезпеки та прийняття рішення. Відповідно інформації з Додатку Б, $\Delta t_1 \approx 0,6$ с.

Крім величини S_a , яка в цьому випадку характеризує відстань видимості перешкоди, необхідно також визначити відстань видимості дороги S_V на момент ДТП в дальньому, ближньому світлі фар або в умовах природнього освітлення.

Дальність видимості об'єкта на дорозі S_a повинна визначатись як силуетна, тобто це така відстань до об'єкта, з якої можна розрізнити його обриси (силует) без окремих деталей.

Аналіз особливостей розв'язку задач експертизи ДТП в темну пору доби (при обмеженій видимості) дозволяє виділити такі схеми:

1. Величину безпечної швидкості руху автомобіля можна визначити за умовою рівності відстані видимості зупинному шляху автомобіля, тобто у відповідності з (3.68) для автомобілів з ABS (ВА)

$$S_V = S_0 = (t_1 + t_2 + 0.5t_3) \cdot V_a + \frac{V_a^2 - V_S^2}{2j_{ABS(BA)}} + \frac{V_S^2}{2j_S} - S_{OR}, \text{ а для автомобілів без ABS}$$

у відповідності з (3.77) $S_V = S_0 = (t_1 + t_2 + 0.5t_3) \cdot V_a + \frac{V_a^2}{2j_S} - S_{OR}^b$. Позначивши

час, потрібний для приведення гальмової системи в дію символом T , тобто $T = t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3$, отримаємо

– для автомобілів з ABS (ВА)

$$V_D = j_{ABS(BA)} \cdot T \cdot \left(\sqrt{\frac{2 \cdot (S_V - S_{OR}) + V_S^2 \left(\frac{1}{j_{ABS(BA)}} + \frac{1}{j_S} \right)}{j_{ABS(BA)} \cdot T^2} + 1} - 1 \right), \quad (3.115)$$

– для автомобілів без ABS

$$V_D = j_S \cdot T \cdot \left(\sqrt{\frac{2(S_V + S_{OR}^b)}{j_S \cdot T^2} + 1} - 1 \right). \quad (3.116)$$

2. Якщо фактична величина V_0 в момент ДТП буде меншою за допустиму V_D ($V_0 < V_D$), подальше дослідження може бути проведене за розрахунковою схемою наїзду автомобіля на перешкоду при необмеженій видимості. Виконується розрахунок величини S_0 за фактичною швидкістю з врахуванням додаткового часу Δt_1 і отриманий результат порівнюється зі встановленою дальністю силуетної видимості перешкоди S_a . За результатами порівняння формуються висновки.

3. Якщо фактична швидкість транспортного засобу в момент ДТП V_0 перевищувала допустиму V_D ($V_0 > V_D$) та величина S_0 за цією фактичною швидкістю V_0 з врахуванням Δt_1 буде меншою величини S_a ($S_0 < S_a$), можна зробити висновок, що в такій дорожньо-транспортній ситуації водій мав технічну можливість попередити наїзд на перешкоду.

4. Якщо за п. 3 порівняння величин S_0 та S_a буде зворотнім ($S_0 > S_a$), необхідно визначити величину S_0 при допустимій швидкості V_D (позначимо її S_{0D}) і знову порівняти отриманий результат з S_a .

5. Якщо при допустимій швидкості V_D шлях S_{0D} буде більшим величини S_a ($S_{0D} > S_a$), можна зробити висновок, що в такій дорожньо-транспортній

ситуації і при фактичній швидкості руху V_0 і при допустимій V_D водій транспортного засобу не мав технічної можливості попередити наїзд на перешкоду. В цьому випадку перевищення швидкості ТЗ в момент ДТП не знаходиться в причинному зв'язку з фактом наїзду на перешкоду.

6. При оберненому співвідношенні величин S_{0D} та S_a ($S_{0D} < S_a$) можна стверджувати, що при фактичній швидкості руху V_0 у водія ТЗ не було технічної можливості уникнути наїзду, але при допустимій швидкості V_D така можливість була і саме перевищення швидкості в момент ДТП стало причиною наїзду ТЗ на перешкоду.

Таким чином, якість АТЕ ДТП, скоєних в темну пору доби залежить від точності визначення відстані видимості дороги та дорожніх об'єктів в світлі автомобільних фар.

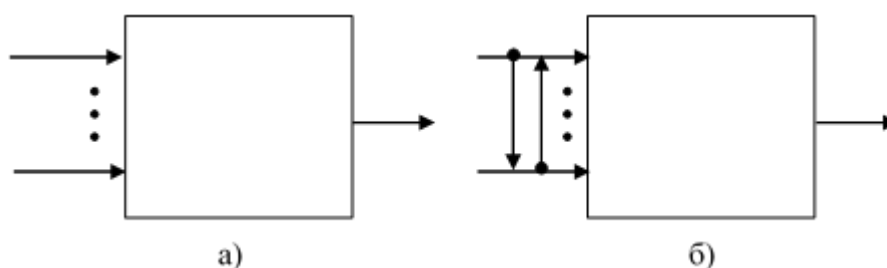
3.5 Модель оцінювання надійності і безпеки функціонування транспортного засобу в системі ВАДС

Надійність та безпека систем людина-машина (якою є система ВАДС) залежать від різнорідних факторів, які мають взаємний вплив один на одного. Ці фактори пов'язані з особливостями людини, технічних засобів, процесу функціонування та обслуговування, зовнішнього середовища тощо. Для розподілу ресурсів із забезпечення надійності системи потрібне ранжування факторів впливу за важливістю. Багато з цих факторів мають якісний характер та вимірюються експертно, що ускладнює застосування методів планування експерименту та регресійного аналізу, традиційних для статистичної теорії надійності систем людина-машина [365-367]. Зручним засобом моделювання багатofакторних залежностей на основі експертної інформації є нечіткі правила «якщо – то» [251], які знаходять широке застосування в аналізі надійності [368-370].

Обмеженням відомих методів емпіричного моделювання, які використовуються для вилучення закономірностей зі спостережень (регресійний аналіз, нечіткі правила, нейро-нечіткі мережі), є припущення про незалежність вхідних змінних, тобто факторів впливу.

Для оцінювання надійності і безпеки функціонування транспортного засобу в системі ВАДС пропонується метод ранжування взаємодіючих факторів, що впливають на надійність людино-машинної системи, на основі нечіткої когнітивної карти (НКК) – нового засобу моделювання, що не одержав поки поширення в теорії надійності.

НКК введені Коско Б. [371] як узагальнення бінарних когнітивних карт Аксельрода Р. [372], призначених для моделювання динаміки причинно-наслідкових зв'язків в соціально-політичних системах. У цих моделях вхідні змінні впливають не тільки на вихід (рис. 3.23, а), але і один на одного (рис. 3.23, б).



а) незалежні входи, б) залежні входи

Рисунок 3.23 – Взаємозв'язок «входи-вихід»

НКК є орієнтований граф зі зваженими дугами, приклад якого показаний на рис. 3.24. 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 .

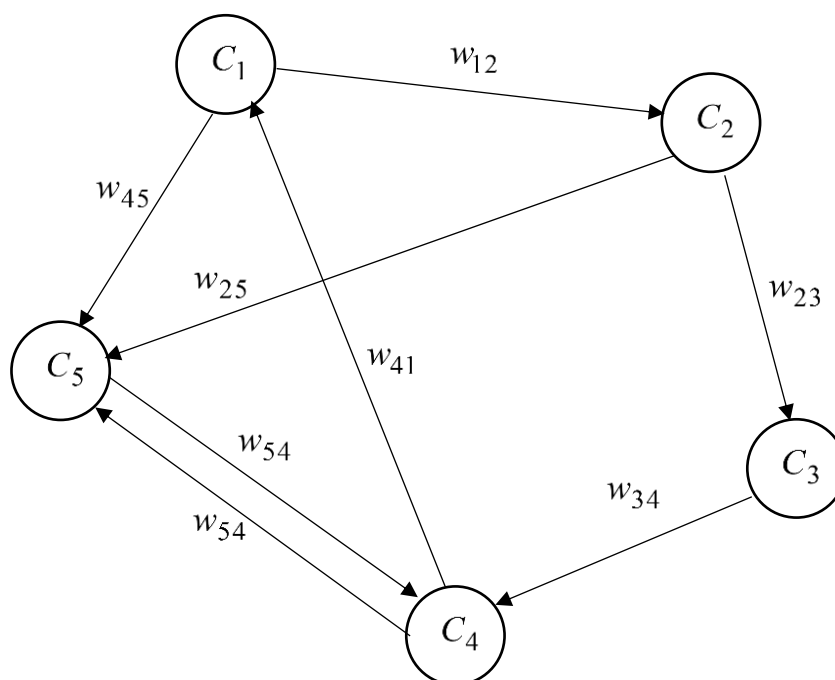


Рисунок 3.24 – Приклад нечіткої когнітивної карти

Термін «когнітивний» говорить про те, що вихідними даними для моделювання служать суб'єктивні думки експерта, виражені словами типу «підвищується» або «знижується», наприклад: «підвищення C_i призводить до зниження C_j ». У бінарних когнітивних картах [372] «Підвищення» оцінюється як «+1», а «пониження» – як «-1».

Термін «нечіткі» говорить про те, що НКК [371] використовують різні рівні «підвищення» і «зниження». Вони задаються числами з інтервалів $[0,1]$ та $[0,-1]$, що відповідає термам «слабо», «середньо», «сильно» тощо з теорії нечітких множин [251].

З точки зору теорії ідентифікації [373, 374], 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. Мистецтво моделювання полягає в тому, щоб компенсувати відсутні експериментальні дані за рахунок високої якості експертних оцінок.

Доречно зіставити НКК і марківські ланцюги (процеси), звичні фахівцям з надійності. Обидва види моделей – це зважені орієнтовані графи. В основі відмінності НКК від марковських моделей надійності лежить принципова відмінність нечіткої логіки (причин) і теорії імовірності (наслідків), показана на рис. 3.25: марківські моделі відображають динаміку імовірностей відмов; НКК моделюють динаміку рівнів факторів, які є причинами відмов і впливають на імовірність їх виникнення.

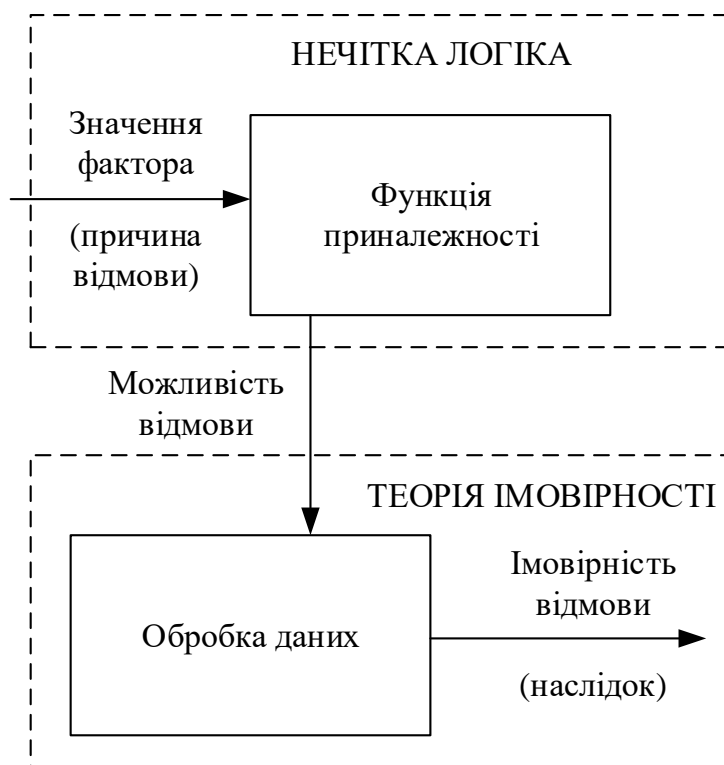


Рисунок 3.25 – Взаємозв’язок теорії імовірності та нечіткої логіки в оцінюванні надійності

Нехай $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ – відома множина концептів, тобто змінних, що використовуються в моделі. Згідно [371], кожний концепт $C_i \in C$ оцінюється

величиною $A_i \in [0,1]$, яка визначає рівень концепту і задається експертно. Для отримання величини A_i пропонується такий спосіб.

Кожний концепт $C_i \in C$ вважатимемо лінгвістичною змінною [250], яка оцінюється величиною x_i на універсальній множині – інтервалі $[\underline{x}_i, \bar{x}_i]$, де \underline{x}_i , (\bar{x}_i) – нижня (верхня) границя. Для оцінки концепта $C_i \in C$ будемо використовувати нечіткий терм «перфектність концепту C_i », який позначається PC_i і являє собою нечітку множину

$$PC_i = \int_{[\underline{x}_i, \bar{x}_i]} \pi(x_i) / x_i, \quad (3.117)$$

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

За допомогою цієї функції кожній абсолютній оцінці $x_i \in [\underline{x}_i, \bar{x}_i]$ ставиться у відповідність число $A_i = \pi(x_i) \in [0,1]$, яке характеризує ступінь близькості значення концепту $C_i \in C$ до деякого ідеалу (0 – найменша перфектність, 1 – найбільша перфектність). Синонімом поняття «нечітка перфектність» є терм «нечітка правильність», для якого функції належності розглядалися в [375]. Варіанти нечітких границь між перфектними і неперфектними значеннями змінної x показані на рис. 3.26, де в міру збільшення значення x відбуваються такі переходи:

- а) «неперфектно» (0) – перфектно (1)»,
- б) « перфектно (1) – «неперфектно (0)»»,
- в) «неперфектно (0) – перфектно (1) – неперфектно (0)».

Вага w_{ij} дуги, що з'єднує концепти C_i та C_j , вказує на силу впливу C_i на C_j . Нехай концепти C_i та C_j характеризуються змінними x_i та x_j , а в результаті експерименту вдається побудувати залежність $x_j = \phi(x_i)$. Тоді вага

w_{ij} визначається як похідна $w_{ij} = dx_j / dx_i$, яка може бути трьох видів (рис. 3.27):

$w_{ij} > 0$, якщо підвищення (зниження) величини x_i призводить до підвищення (зниження) величини x_j (позитивний вплив C_i на C_j);

$w_{ij} < 0$, якщо підвищення (зниження) величини x_i призводить до зниження (підвищення) величини x_j (негативний вплив C_i на C_j);

$w_{ij} = 0$, якщо значення x_j не залежить від значення x_i (відсутність впливу C_i на C_j).

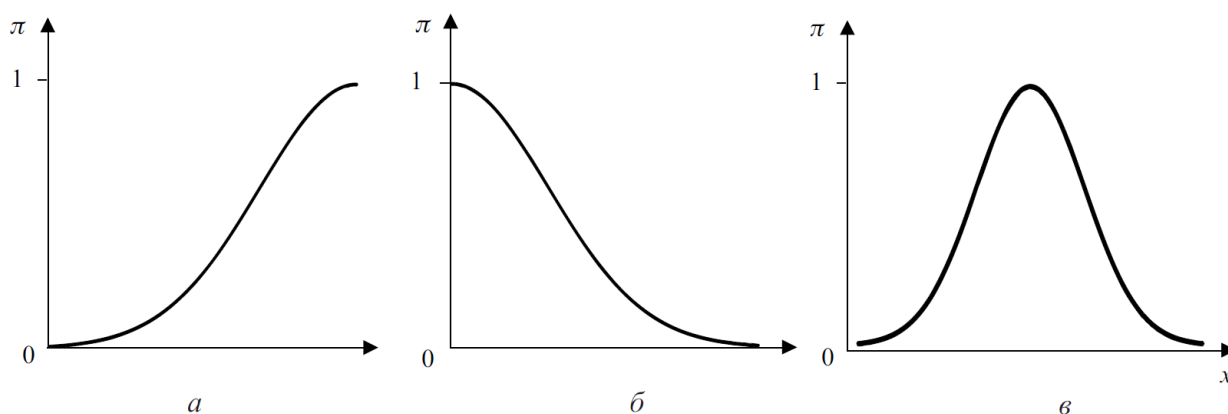


Рисунок 3.26 – Функції належності для нечіткої перфектності

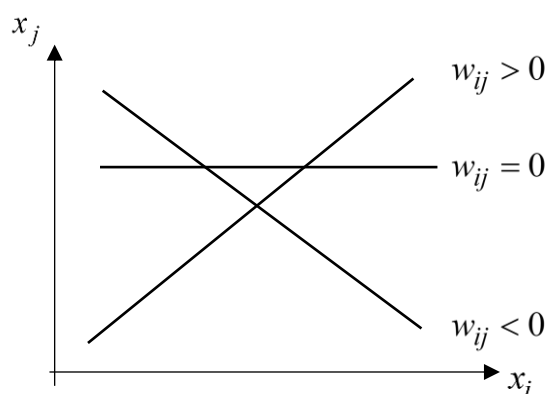


Рисунок 3.27 – Види впливу $C_i \rightarrow C_j$

У разі експертного оцінювання величини w_{ij} використовують 9-ти бальну шкалу сили впливу: $w_{ij} = \{-1$ (негативний дуже сильний), -0.75 (негативний сильний), -0.5 (негативний середній), -0.25 (негативний слабкий), 0 (відсутній), 0.25 (позитивний слабкий), 0.5 (позитивний середній), 0.75 (позитивний сильний), 1 (позитивний дуже сильний) $\}$. Можливі проміжні значення.

Для отримання експертних оцінок можна використати метод найменшого впливу, запропонований в [376].

Відповідно до [371, 377], динаміка зміни величини концептів в НКК визначається співвідношенням

$$A_i^{k+1} = f \left(\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n A_j^k w_{ij} + c A_i^k \right), \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (3.118)$$

де A_i^{k+1} – величина концепта 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 концепта 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.

У цій роботі передбачається, що $c = 1$, а в якості порогової функції використовується невід’ємна частина гіперболічного тангенса (рис. 3.28):

$$f(x) = \begin{cases} \tanh(x) & \text{при } x \geq 0 \\ 0 & \text{при } x < 0, \end{cases} \quad (3.119)$$

$$\text{де } \tanh(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}.$$

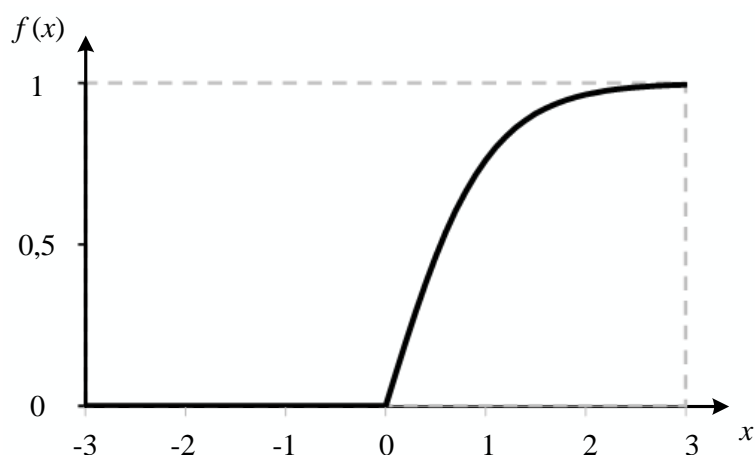


Рисунок 3.28 – Порогова функція

Рекурентне співвідношення (3.118) можна представити в матричній формі

$$A^{k+1} = f(A^k W_0 + cA^k), \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (3.120)$$

де $A^k = [A_1^k, A_2^k, \dots, A_n^k]$ – $(1 \times n)$ вектор стану НКК, елементи якого задають значення концептів на кроці k ;

W_0 – $(n \times n)$ -матриця сил впливу концептів C_i один на одного, в якій діагональні елементи дорівнюють нулю

$$W_0 = \begin{bmatrix} 0 & w_{12} & \dots & w_{1n} \\ w_{21} & 0 & \dots & w_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ w_{n1} & w_{n2} & \dots & 0 \end{bmatrix}. \quad (3.121)$$

Якщо замість матриці (3.121) використовувати $(n \times n)$ -матрицю

$$W = \begin{bmatrix} c & w_{12} & \dots & w_{1n} \\ w_{21} & c & \dots & w_{2n} \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ w_{n1} & w_{n2} & \dots & c \end{bmatrix}, \quad (3.122)$$

в якій всі елементи по головній діагоналі рівні параметру $c \in [0,1]$, то співвідношення (3.120) запишемо так

$$A^{k+1} = f(A^k W), \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (3.123)$$

яке нагадує рекурентне співвідношення для марківського ланцюга, якщо прийняти $f(x) = x$. Принципова відмінність полягає в тому, що марківський ланцюг моделює динаміку зміни ймовірностей подій або події, а НКК моделює динаміку рівня причин, тобто чинників, що призводять до цих станів або подій.

Початковий стан НКК визначається вектором

$$A^0 = [A_1^0, A_2^0, \dots, A_n^0], \quad (3.124)$$

елементи якого відображають значення концептів на кроці $k = 0$. В результаті взаємодії між концептами, НКК входить в стаціонарний режим, який відповідає одному з видів стійкості [378]: стійкий фокус, граничний цикл (орбіта) або хаотичний аттрактор.

При розподілі ресурсів на забезпечення надійності системи використовують кількісні оцінки (ранги) важливості її елементів. У статистичній теорії надійності [379] найбільшого поширення набув індекс важливості елемента по Бірнбауму [380], який має сенс чутливості функції надійності системи до зміни надійності елементів.

У нашому випадку елементами моделі є концепти, які відповідають факторам, що впливають на надійність системи. Тому виникає необхідність обчислення індексів важливості концептів НКК.

В множині концептів $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ будемо припускати наступне: 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 позначимо як

$$A_n^l = F(A_1^0, A_2^0, \dots, A_{n-1}^0), \quad (3.125)$$

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} .

Зауважимо, що 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», форма якої відповідає рис. 3.26, а.

Нехай $I(C_j)$ – індекс важливості концепту C_j . За аналогією з індексом важливості Бірнбаума [380], $I(C_j)$ відповідає градієнту функції (3.125) у напрямку $A_j^0 \in [0,1]$, тобто

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

Таким чином, індекс важливості концепту-фактора $C_j \in C$ по відношенню до концепту-цілі $C_n \in C$ це число $I(C_j) = A_n^l$, де A_n^l – елемент вектора

$$A^l = [A_1^l, A_2^l, \dots, A_n^l], \quad (3.126)$$

отриманого за допомогою співвідношення (3.123) при початковому векторі

$$A_0 = [A_1^0 = 0, \dots, A_j^0 = 1, \dots, A_n^0 = 0] \quad (3.127)$$

на кроці l , на якому $|A_i^{l+1} - A_i^l| < \varepsilon$, де ε – мале додатне число, $i = 1, 2, \dots, n$.

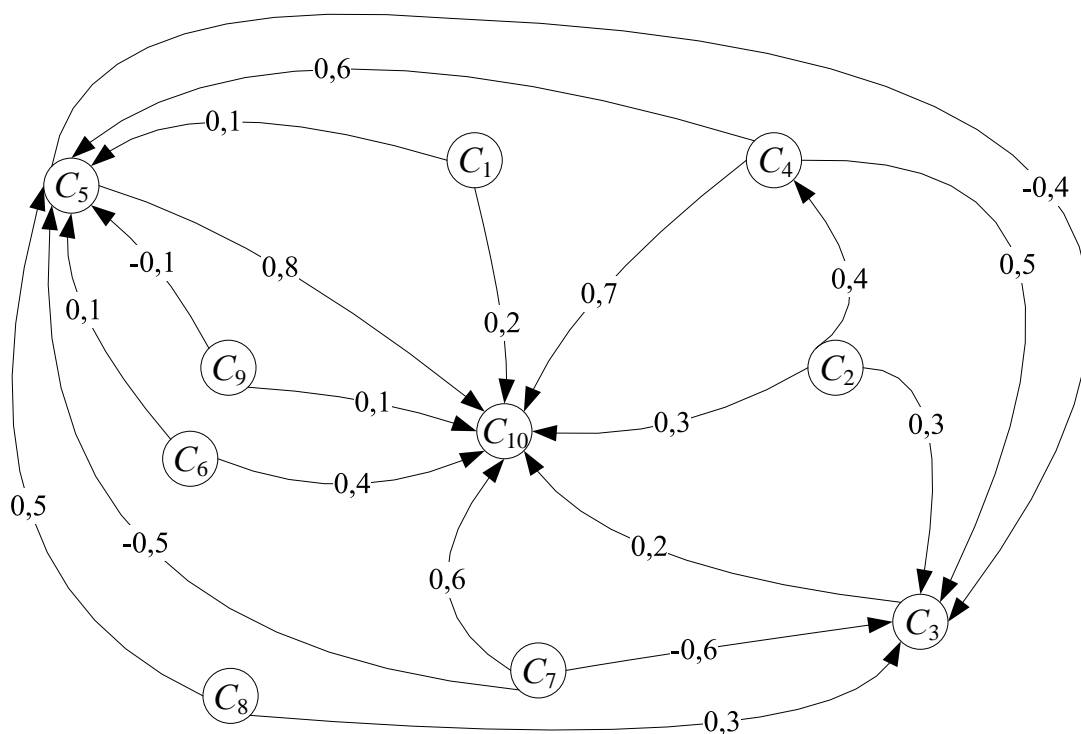
Моделювання надійності і безпеки функціонування транспортного засобу в системі ВАДС виконаємо на основі нечіткої когнітивної мережі, поданої на рис. 3.29.

Матриця W (3.122), в якій приймалось $c = 1$, має вигляд

$$W = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.5 \\ 0 & 1 & 0.3 & 0.4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.2 \\ 0 & 0 & 0.5 & 1 & 0.6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.7 \\ 0 & 0 & -0.4 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.8 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0.4 \\ 0 & 0 & -0.6 & 0 & -0.5 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0.6 \\ 0 & 0 & 0.3 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0.1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0.1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Як видно з рис. 3.29, носієм моделі надійності ТЗ в системі ВАДС є орієнтований граф зі зваженими дугами. Вершини графа – це вхідні і вихідна

змінні, які відповідають рівням факторів впливу та надійності системи. Дуги графа відображають експертні оцінки сили позитивних і негативних впливів змінних моделі один на одного. Ранг фактора обчислюється як стаціонарне значення рівня надійності системи при максимальному (одичному) рівні розглянутого фактора.



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 3.29 – Нечітка когнітивна карта системи ВАДС

Результати моделювання зведені в табл. 3.14, яка містить 9 пар векторів, пов'язаних з обчисленням індексів важливості концептів C_1, \dots, C_9 . Кожна пара містить початковий вектор (3.127) і вектор (3.126) в сталому режимі.

Останній елемент другого вектора в кожній парі відповідає індексу важливості концепту, наприклад $I(C_1) = 0.686$. Покрокову зміну рівня вихідного концепту (C_{10} – надійність та безпека автомобіля) при обчисленні індексів важливості факторів впливу представлено на рис. 3.30. Діаграму індексів важливості показано на рис. 3.31.

Таблиця 3.14 – Значення концептів в стаціонарному стані для різних початкових векторів

Крок	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
...
3040	0,022	0,000	0,000	0,000	0,187	0,000	0,000	0,000	0,000	0,68579
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
...
774	0,000	0,044	0,000	0,365	0,747	0,000	0,000	0,000	0,000	0,94834
1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
...
3717	0,000	0,000	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,22707
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
...
3014	0,000	0,000	0,000	0,022	0,335	0,000	0,000	0,000	0,000	0,79115
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
...
5324	0,000	0,000	0,000	0,000	0,017	0,000	0,000	0,000	0,000	0,33491
1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
...
3196	0,000	0,000	0,000	0,000	0,186	0,022	0,000	0,000	0,000	0,68912
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
...
4953	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,017	0,000	0,000	0,30912
1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
...
2742	0,000	0,000	0,000	0,000	0,321	0,000	0,000	0,023	0,000	0,77418
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
...
3086	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,18667

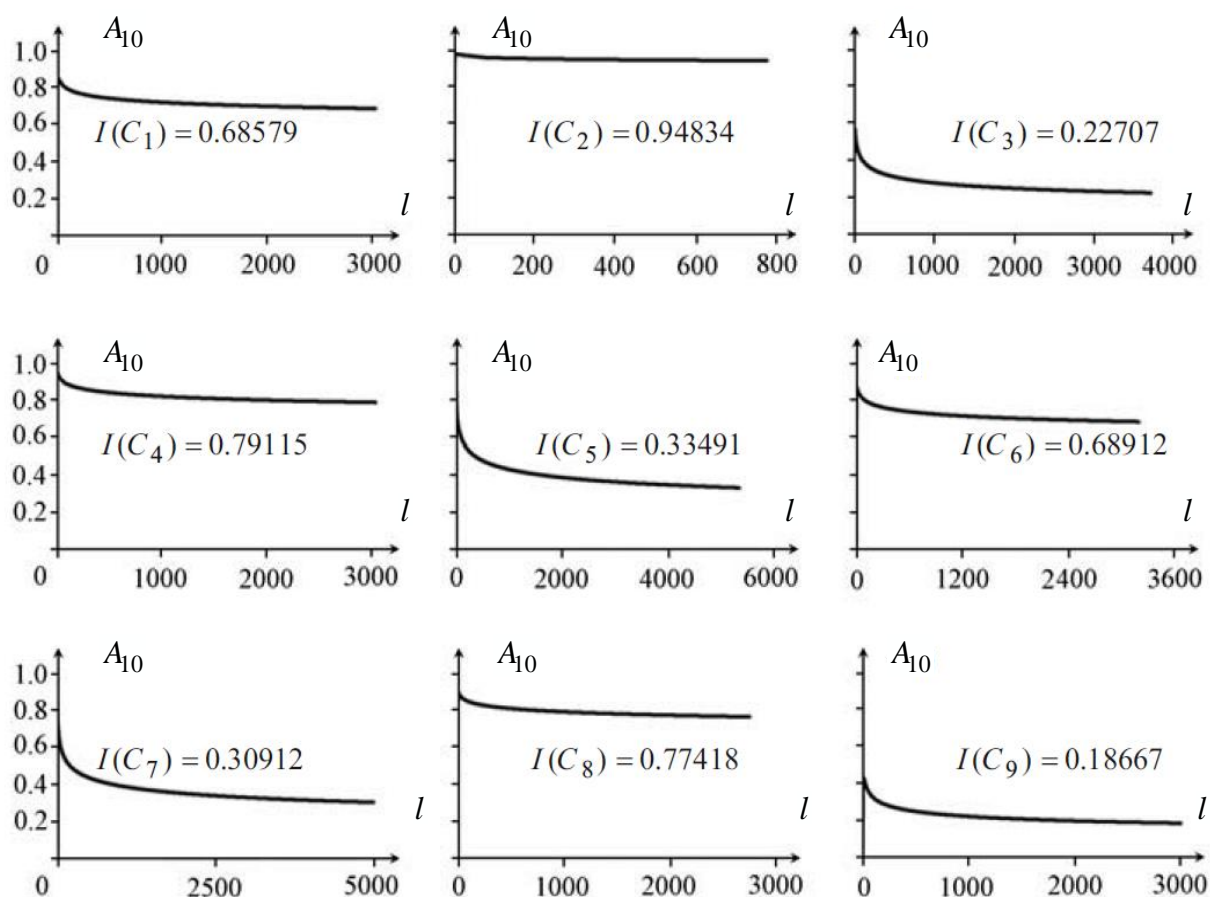


Рисунок 3.30 – Покрокова зміна рівня надійності системи при обчисленні індексів важливості факторів

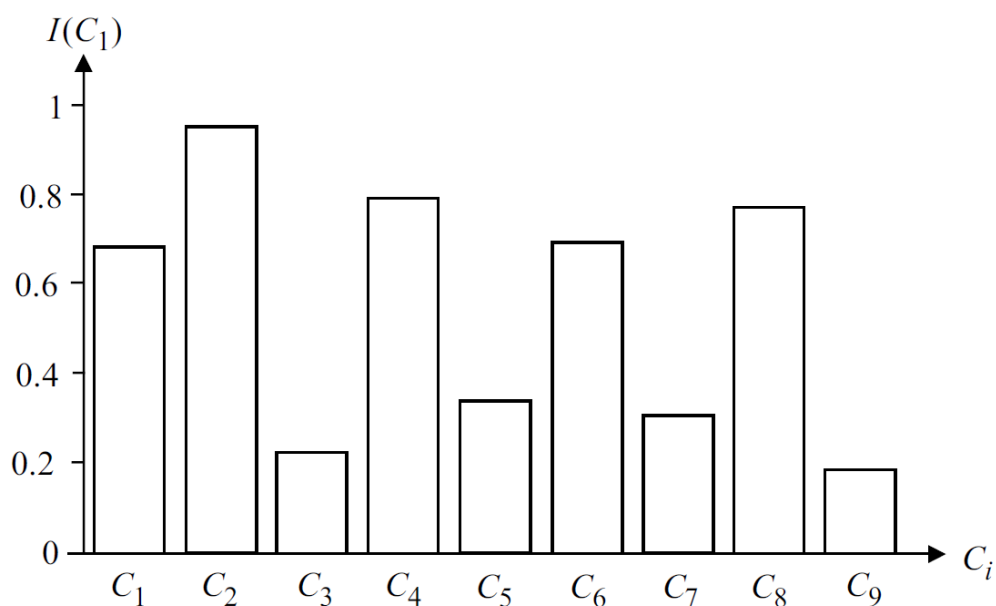


Рисунок 3.31 – Діаграма індексів важливості факторів

Таким чином, запропонований метод ранжування факторів, що впливають на надійність та безпеку ТЗ в системі ВАДС, на основі нечіткої когнітивної карти дозволяє враховувати взаємний вплив факторів один на одного. Перевага запропонованого методу полягає в наступному:

1. На основі єдиного графа враховуються різноманітні кількісні і якісні фактори, з якими пов'язані причини відмов системи: якість матеріалів, культура виробництва, обслуговування, умови експлуатації, кваліфікація персоналу тощо.

2. У порівнянні з нечіткими правилами «якщо-то» спрощується формування експертних знань, необхідних для моделювання.

3. Спрощується процедура розширення числа чинників, які враховуються, за рахунок введення додаткових вершин і дуг графа.

Висновки до розділу 3

1. Синтезовані детерміновані, імовірнісні, регресійні та нейро-нечіткі моделі підвищення об'єктивності експертних досліджень дорожньо-транспортних пригод є інструментальним засобом впровадження розробленої концепції дисертаційного дослідження спрямованої на зменшення невизначеності при формуванні експертних висновків, підвищення їх об'єктивності та достовірності.

2. Удосконалена методика та розроблена адаптивна нейро-нечітка експертна система оцінювання відстані видимості об'єктів при русі автомобіля в темну пору доби дозволяють значно зменшити час, який витрачається на виконання автотехнічної експертизи ДТП: уточнення обставин ДТП, поглиблений аналіз ситуації та проведення натурного слідчого експерименту. Використання запропонованого підходу мінімізує середню відносну похибку моделювання до 1,31%, максимальну відносну похибку до 4,69% та звужує діапазон можливих рішень у 2-3 рази. Створена адаптивна система здатна до самонавчання при поповненні експериментальної бази та може бути ефективною альтернативою діючій методиці при експертизі ДТП.

3. Створена адаптивна нейро-нечітка експертна система, яка здатна до самонавчання, та удосконалена методика оцінювання коефіцієнта зчеплення коліс автомобіля з дорожнім покриттям додатково враховують конструкцію гальмівної системи ТЗ і завдяки новому підходу мінімізують середню відносну похибку моделювання до 1,79%, максимальну відносну похибку до 3,09% та звужують діапазон можливих рішень у 2,21-2,63 рази. Це дозволяє рекомендувати запропонований підхід як альтернативу існуючій методиці для підвищення об'єктивності експертних висновків.

4. Невизначеність значень часу реакції водія при провадженні АТЕ дорожньо-транспортних пригод може призвести до отримання протилежних висновків при тлумаченні аналітичних результатів досліджень і розрахунків. Для підвищення ефективності традиційних методів та зменшення впливу суб'єктивних факторів при підготовці експертних висновків запропоновано до застосування удосконалену математичну модель оцінювання сенсомоторної фази реакції водія, яка додатково враховує вплив тривалості роботи водія та інтенсивності руху. Запропонована модель, порівняно з діючою методикою, зменшує імовірність появи помилок I-го роду на 19% та помилок II-го роду – на 32%.

5. Для оцінювання динаміки екстреного гальмування автомобіля та його траєкторії руху необхідно визначити закони зміни сил і моментів, діючих на автомобіль в процесі гальмування. Основними факторами, які суттєво впливають на зміну траєкторії руху автомобіля при гальмуванні, є нерівномірність дія гальмівних моментів, поперечне зміщення центру мас автомобіля, нерівномірний розподіл коефіцієнта зчеплення по бортам та колесам автомобіля. Розроблена математична модель дозволяє врахувати стохастичну та нечітку невизначеності при встановленні параметрів гальмування, що звужує діапазон можливої похибки моделювання на 39%. Порівняння результатів моделювання (за запропонованою методикою) та експериментальних даних показало середню відносну похибку 4,58%, максимальна похибка не перевищувала 7,82 %.

6. Діючі нормативи та методики визначення показників ефективності екстреного гальмування при експертизі ДТП потребують врахування роботи сучасних електронних систем активної безпеки автомобіля, розвитку конструкції автомобільних шин, психологічних аспектів керування автомобілем в екстрених ситуаціях. Розроблена математична модель для визначення зупиночного та гальмівного шляху автомобіля з урахуванням впливу конструкції гальмівної системи дозволяє мінімізувати похибку моделювання показників ефективності екстреного 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.

7. Конструкція сучасних ТЗ дозволяє застосовувати одночасно маневрування та гальмування за рахунок впровадження ABS, які, як правило, є частиною більш складної електронної системи гальмування, що також може містити: EBD, ESP, BA тощо. В роботі запропоновані математичні моделі оцінювання параметрів маневрування автомобіля придатні до застосування у діючій методиці при необхідності аналізу маневрування з гальмуванням сучасних ТЗ обладнаних ABS та BA.

8. Запропонована модель оцінювання надійності і безпеки функціонування транспортного засобу 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.

Результати досліджень, наведені в розділі 3, опубліковані в роботах [2-6, 8-19, 29, 30, 34, 38, 41-44, 47, 61, 63].

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

4.1 Програма експериментальних досліджень та реєстраційно-вимірювальна апаратура

В процесі проведення слідчого експерименту під час дослідження обставин ДТП мають місце труднощі з об'єктивним визначенням відстані видимості дороги та об'єктів дорожньої обстановки в темну пору доби, оцінюванням зчіпних якостей дорожніх покриттів та автомобільних шин, параметрів ефективності гальмування та маневрування з гальмуванням ТЗ, обладнаних сучасними мехатронними гальмівними системами. Ці обставини стали передумовою формування програми-методики експериментальних досліджень, виконаних в рамках даної дисертаційної роботи.

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

В рамках проведення експериментальних досліджень виконувались такі основні завдання:

- перевірка висунутих у роботі наукових гіпотез;
- перевірка адекватності (налаштування) запропонованих математичних моделей на основі отриманих нових статистичних даних;
- проведення випробувань з метою оцінювання відстані видимості дороги та об'єктів дорожньої обстановки в темну пору доби;
- проведення випробувань з метою оцінювання взаємодії автомобільних шин з дорогою при екстремому гальмуванні ТЗ;
- проведення випробувань з метою оцінювання траєкторії руху ТЗ при екстремому гальмуванні;

– проведення випробувань з метою оцінювання параметрів маневрування з гальмуванням ТЗ, обладнаних сучасними мехатронними гальмівними системами.

Усі експериментальні дослідження проводились у такій послідовності:

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

Обрані показники за видами випробувань та відповідна вимірювальна апаратура представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Досліджувані показники та засоби їх вимірювання

Вид випробування	Показники, що підлягали фіксації	Вимірювальна апаратура та допоміжні засоби
1	2	3
Оцінювання відстані видимості дороги та об'єктів дорожньої обстановки в темну пору доби	Основні: дальність світла фари, контраст об'єкта розрізнення з фоном, розташування перешкоди (об'єкта) в поперечному профілі дороги, режим роботи фари (ближнє, дальнє світло), відстань видимості об'єктів. Додаткові: критична освітленість об'єкта, відстань між зустрічними автомобілями при оцінюванні впливу сліпучої дії фар	Спостерігачі з гостротою зору 0.9-1.0, люксметр Voltcraft MS-1300, люксметр Ю116, лазерний дальномір SNDWAY SW-T100, 20-ти метрова рулетка, жилет зі світловідбивальними елементами, світловідбивач, ліхтар, пронумеровані фішки, крейда для розмітки проїзної частини.



Продовження табл. 4.1

1	2	3
Інерційне оцінювання взаємодії автомобільних шин з дорогою при екстремому гальмуванні ТЗ	Тип і стан дорожнього покриття, тип і стан шин, навантаження на колесо, початкова швидкість гальмування ТЗ, конструкція гальмівної системи ТЗ (наявність ABS, BA), усталене сповільнення ТЗ	Деселерометри МАНА VZM 100, МАНА VZM 300
Оцінювання траєкторії руху ТЗ при екстремому гальмуванні	Початкова швидкість гальмування ТЗ, сповільнення ТЗ, початковий напрямок руху, час гальмування, переміщення в поздовжній та поперечній площині, курсовий кут	Деселерометри МАНА VZM 100, МАНА VZM 300, лазерний дальномір SNDWAY SW-T100
Оцінювання параметрів маневрування з гальмуванням ТЗ, обладнаних сучасними мехатронними гальмівними системами	Прискорення в поздовжній, поперечній та вертикальній площині, початкова швидкість маневрування, поздовжні та поперечні переміщення необхідні для виконання маневру	Вимірювально-реєстраційний комплекс для випробувань мобільних машин та їх елементів «ВДВММ 4-001», лазерний дальномір SNDWAY SW-T100


Технічні параметри вимірювальної апаратури, що використовувалась під час експериментальних досліджень наведені в табл. 4.2-4.5.

Докладний опис проведених експериментальних випробувань, в тому числі обраних режимів та припущень, схем, зареєстрованих параметрів, в залежності від виду випробувань наведені в пунктах 4.2-4.5 розділу 4 даної дисертаційної роботи.

Таблиця 4.2 – Технічна характеристика люкметрів

Прилад/Параметр	Voltcraft MS-1300	Ю116
Загальний вигляд		
Країна виробник	Німеччина	СРСР
Діапазон вимірювань	від 0.01 до 50000 лк	від 0.1 до 100000 лк
Похибка вимірювань	$\pm 5\% + 10$ одиниць в діапазоні (< 10.000 лк); $\pm 10\% + 10$ одиниць в діапазоні (> 10.000 лк)	$\pm 10\%$, (з додатковими насадками $\pm 5\%$)
Робоча температура	від 0 до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$	від -10 до $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$
Вага	160 г	850 г
Габарити приладу	188 x 64.5 x 24.5 мм	210 x 125 x 85 мм
Габарити фотосенсора	115 x 60 x 27 мм	185 x 105 x 55 мм
Живлення	Батарея 12В	–



Таблиця 4.3 – Технічна характеристика дальноміра

Прилад/Параметр	SNDWAY SW-T100
1	2
Загальний вигляд	
Країна виробник	Китай
Тип лазера	Клас II 635 nm, < 1 мВт

Продовження табл. 4.3

1	2
Діапазон вимірювань	від 0.05 до 100 м
Похибка вимірювань	± 2 мм
Додаткові функції	Обчислення площі, обчислення об'єму
Робоча температура	від 0 до $+50$ °С
Захист	IP54 (від дощу, пилу та падінь)
Вага	250 г
Габарити приладу	112 x 50 x 25 мм
Живлення	2 x 1.5V AAA

Таблиця 4.4 – Технічна характеристика деселерометрів

Прилад/Параметр	МАНА VZM 100	МАНА VZM 300
1	2	3
Загальний вигляд		
Країна виробник	Німеччина	Німеччина
Діапазон вимірювань	від 0 до 10 м/с^2	від 0 до 22 м/с^2
Похибка вимірювань	$\pm 0.1 \text{ м/с}^2$	$\pm 0.1 \text{ м/с}^2$
Максимальна величина вимірюваної сили на педалі гальм	1.0 кН	1.0 кН
Максимальна швидкість «кльовка»	30 град/с	40 град/с
Кількість вимірювань в пам'яті	1-6	7-14

Продовження табл. 4.4

1	2	3
Запис величин вимірювання	60 Гц	100 Гц
Робоча температура	від -10 до +50 °С	від 0 до +50 °С
Вага	1100 г	1000 г
Габарити приладу	245 x 120 x 65 мм	260 x 124 x 60 мм
Кількість випробувань при повній зарядці батареї живлення	близько 30 з врахуванням друку результатів	близько 50 з врахуванням друку результатів
Джерело живлення	NiHM 6В/1.2 А·год 230В/9В AC 12В DC	NiHM 6В/1.8 А·год 230В/15В AC 12/24В DC

Таблиця 4.5 – Вимірювально-реєстраційний комплекс для випробувань мобільних машин та їх елементів

Прилад/Параметр	ВДВММ 4-001
1	2
Загальний вигляд	
Акселерометри	ДЛШ № 29093115, ДЛШ № 29093117
Блок обчислювальний (Notebook) з блоком живлення	Процесор – 1.66 GHz, оперативна пам'ять – 1 Гб, відеокарта – 512 МБ, ОС – Win 7, напруга живлення 20В/3,25А
Програмне забезпечення	Vehicle Dynamics V 3.7.1
Країна виробник	Україна, ХНАДУ

Продовження табл. 4.5

1	2
Діапазон контрольованих параметрів прискорення	$\pm 10 \text{ м/с}^2$
Діапазон вимірювання прискорення	Х-вісь, Y-вісь, Z-вісь
Похибка вимірювань	$\pm 1\%$
Габаритні розміри вимірювального блоку обчислювального блоку	150x150 мм 450x450 мм
Маса комплексу вимірювального блоку обчислювального блоку	0.3 кг 2.3 кг
Умови експлуатації: робоча температура навколишнього середовища відносна вологість навколишнього середовища атмосферний тиск	від $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ до $+45 \text{ }^\circ\text{C}$ до 80 % при $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 66.6 – 106.6 кПа 500 – 800 мм рт.ст.
Напруга живлення вимірювального блоку	мінімальна – 2.2В/- оптимальна – 3.3В/0.5А максимальна – 3.6В/0.8А
Автономність роботи	2 години

Обробка результатів виконаних експериментальних випробувань здійснювалась відповідно до методик, описаних у Додатку В та в [364].

4.2 Визначення відстані видимості дорожніх об'єктів в темну пору доби

Основними задачами даного експериментального дослідження є:

- вимірювання відстані видимості дороги та об'єктів дорожньої обстановки в темну пору доби за умов відсутності світла фар зустрічного автомобіля;
- вимірювання відстані видимості дороги та об'єктів дорожньої обстановки в темну пору доби при дії світла фар зустрічного транспортного засобу;
- встановлення значень відстані видимості та відповідних факторів впливу з метою формування навчаючої вибірки для навчання адаптивної нейро-нечіткої моделі.

Експериментальні дослідження 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).

4.2.1 Експериментальне дослідження видимості дороги та об'єктів дорожньої обстановки в темну пору доби за умов відсутності світла фар зустрічного автомобіля

Спрощення та обмеження прийняті при проведенні експериментальних випробувань:

- дослідженню підлягали автомобілі категорії М1 з галогенними фарами з європейським світлорозподілом, які рухались в усталеному режимі;

- дослідження виконувались на автомобільних дорогах шириною 7,5 м, розташованих за межами населених пунктів, штучне освітлення відсутнє;
- електронне та електричне обладнання ТЗ знаходилось в технічно справному стані, налаштування світлорозподілу фар приведені у відповідність вимогам ДСТУ та заводу-виробника.

Експериментальні дослідження проводились на ділянках доріг між Гнівнянським і Барським шосе та Вінниця-Бар (приблизно за 5 км від м. Вінниця). Ці ділянки мають асфальтобетонне покриття, їх дорожні ухили знаходяться в межах $\pm 1,5\%$, а довжина складає близько 500 м. Температура повітря під час випробувань знаходилась в діапазоні $15-25^{\circ}\text{C}$, швидкість вітру – до 4 м/с. Видимості дороги та об'єктів дорожньої обстановки оцінювали 3 спостерігача 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, ліхтар, пронумеровані фішки, крейда для розмітки проїзної частини (рис. 4.1).



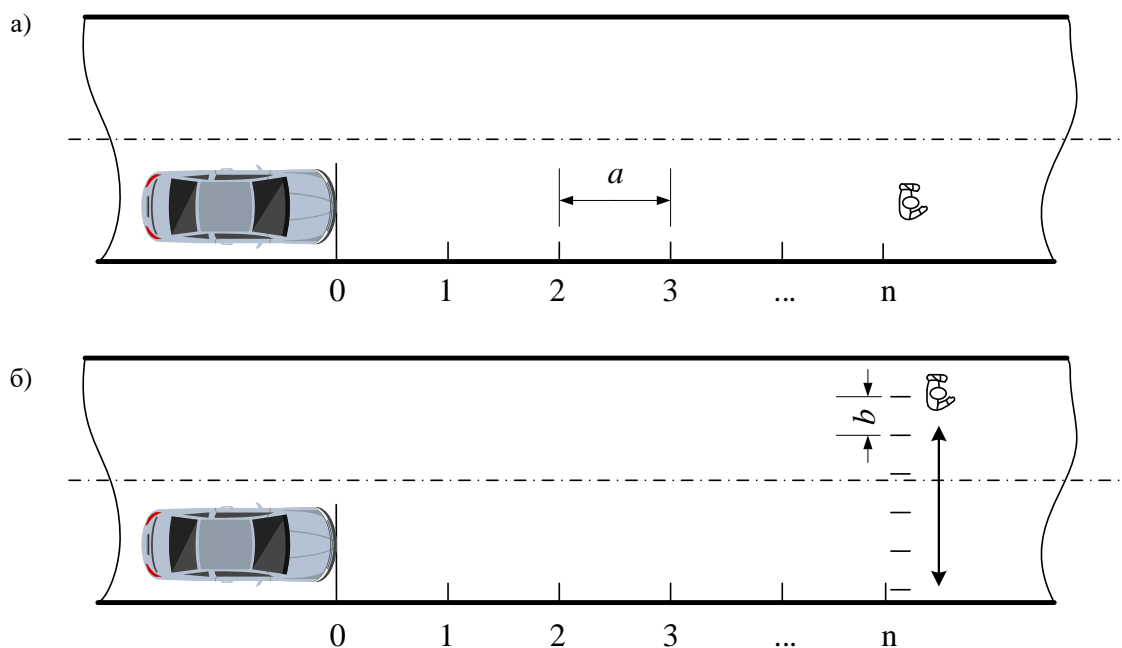
Рисунок 4.1 – Допоміжні засоби при проведенні експериментальних досліджень

Оцінювання видимості виконувалось у прямому та зворотному напрямках дороги трьома спостерігачами окремо, на основі чого визначались усереднені дані.

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 (C5), 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).

Вимірювання значення відстані видимості здійснювалось за допомогою дальноміра та рулетки. Освітленість дороги та об'єктів дорожньої обстановки визначалась за показами люкметрів (Voltcraft MS-1300, Ю116).

Приклад розмітки ділянки для проведення експериментальних досліджень та результати фотофіксації окремих етапів деяких досліджень подані на рис. 4.2–4.5.



а) визначення дальності світла фар; б) визначення видимості тест-об'єкта (пішохода)
 a – крок розміщення фішок; b – крок зміщення пішохода в поперечному профілі дороги;
 (при проведенні слідчого експерименту a і b відповідають пройденій відстані за 1с)

Рисунок 4.2 – Приклад розмітки ділянки для проведення досліджень



Рисунок 4.3 – Визначення дальності світла фар



Рисунок 4.4 – Визначення відстані видимості пішохода в різному одязі



Рисунок 4.5 – Вимірювання освітленості дороги під дією світла фар ТЗ

Алгоритм проведення експерименту:

1. ТЗ встановлюється уздовж дороги в межах смуги руху. З правої сторони відносно напрямку передньої частини ТЗ по краю узбіччя встановлюються пронумеровані фішки.

2. При увімкненому двигуні ТЗ (середні оберти колінчатого валу) та режимі роботи фар – дальнє світло спостерігачі з салону автомобіля слідкують за іншим учасником експерименту зі світловідбивачем, який рухається від автомобіля і тримає світловідбивач в 20 см від землі, повертаючи його то площиною то ребром через крок.

3. Учаснику експерименту подається сигнал зупинитись у момент виходу за межі видимості світловідбивача. Після цього визначається точна межа видимості за даних дорожніх умов та вимірюється відстань від неї до передньої частини транспортного засобу.

4. Учасник експерименту рухається вздовж правого узбіччя і віддаляється від ТЗ аж поки стане невидимим.

5. ТЗ з трьома спостерігачами рухається з невеликою швидкістю (3-4 км/год) на зустріч з учасником експерименту, що вийшов у невидиму

зону. Коли його можна буде розрізнити за зовнішніми ознаками, ТЗ зупиняють. Потім вимірюється відстань між передньою частиною ТЗ і даним учасником експерименту для випадків визначення силуетної та конкретної видимості об'єкта.

6. Експериментальні вимірювання, описані у п. 5 виконуються для пішохода у світлому одязі, у темному одязі та у одязі зі світловідбивальними елементами у визначених місцях його розташування в поперечному профілі дороги. Спостерігачі в ТЗ знаходяться в умовах максимально наближених до умов роботи водія в нічний час, оскільки їм невідомий колір одяжі пішохода, видимість якого вони визначають.

7. За показами люксметра визначається освітленість дороги та пішохода на ній на межі розрізнення та на різних дистанціях до автомобіля.

Дослідження видимості пішоходів на дорозі в режимі роботи фар ТЗ «дальнє світло» показали, що значення відстані видимості для різних автомобілів з галогенними фарами відрізняються в межах 20 % (табл. 4.6).

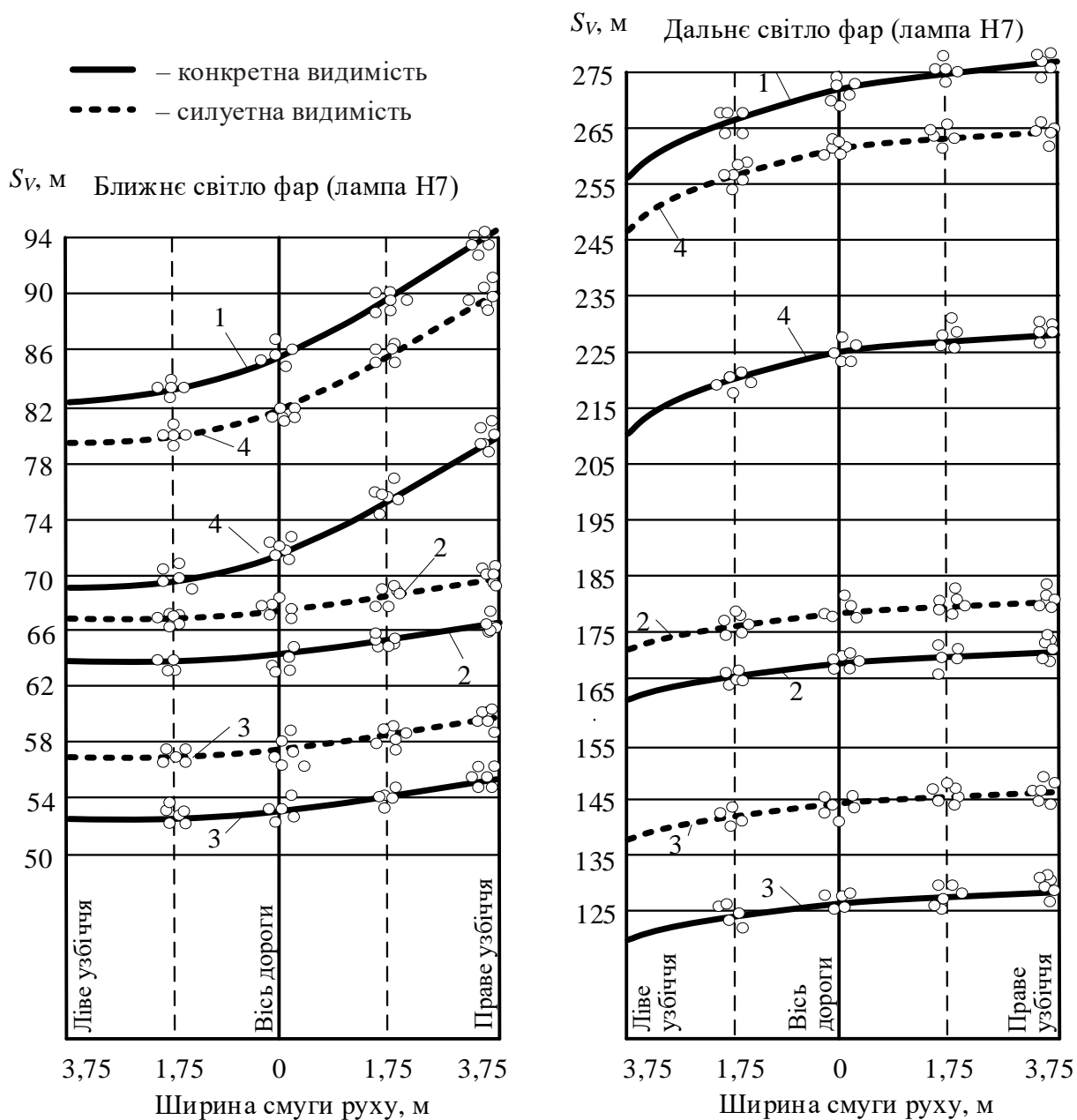
Таблиця 4.6 – Показники видимості пішоходів

Група автомобілів	Значення відстані видимості пішоходів, м					
	Пішохід у темному одязі		Пішохід у світлому одязі		Пішохід у одязі зі світловідбивальними елементами	
	силуетна	конкретна	силуетна	конкретна	силуетна	конкретна
1	2	3	4	5	6	7
Audi A6 (C5)	123-134	106-117	158-169	148-160	240-254	203-219
Opel Vectra B	114-122	96-105	149-158	139-149	228-243	192-206
Wolkswagen Caddy	120-128	99-110	154-163	144-155	234-246	198-211
Mitsubishi Pajero	117-126	102-114	144-151	134-142	215-230	187-202

Продовження табл. 4.6

1	2	3	4	5	6	7
Renault Megane	113-118	94-102	146-154	137-144	225-235	191-208
Peugeot 301	119-125	100-109	157-164	145-153	236-243	198-212
Mercedes Vito	137-148	123-134	172-180	163-174	252-264	215-233
Skoda Octavia	137-146	123-133	175-182	163-174	251-263	214-233
Opel Astra G	116-121	96-104	151-157	138-148	230-241	196-213
Chery Amulet A15	112-121	95-103	146-157	134-146	216-238	193-213
Daewoo Lanos, Sens	106-118	90-104	132-140	121-129	213-235	177-196
BA3 11183, 11193	122-133	105-119	146-157	134-146	214-229	190-206
BA3 21093, 21099, 2113, 2114, 2115, 2121	107-118	90-105	132-140	121-129	207-221	179-196
BA3 2110, 2111, 2112	117-126	100-114	140-151	130-138	214-232	185-201
BA3 2170	119-129	100-115	143-151	131-140	214-231	187-204
ЗА3 110207, 110307, 110557	109-120	92-106	134-143	122-132	208-221	177-196

Проведена серія спланованих натурних експериментів з визначення відстані видимості тест-об'єктів на дорозі в темну пору доби дозволила отримати залежності відстані видимості від характеристик об'єкта розрізнення для фар різних автомобілів в режимі роботи ближнього і дальнього світла, приклад яких наведено на рисунку 4.6, решта результатів представлені у Додатку Е.

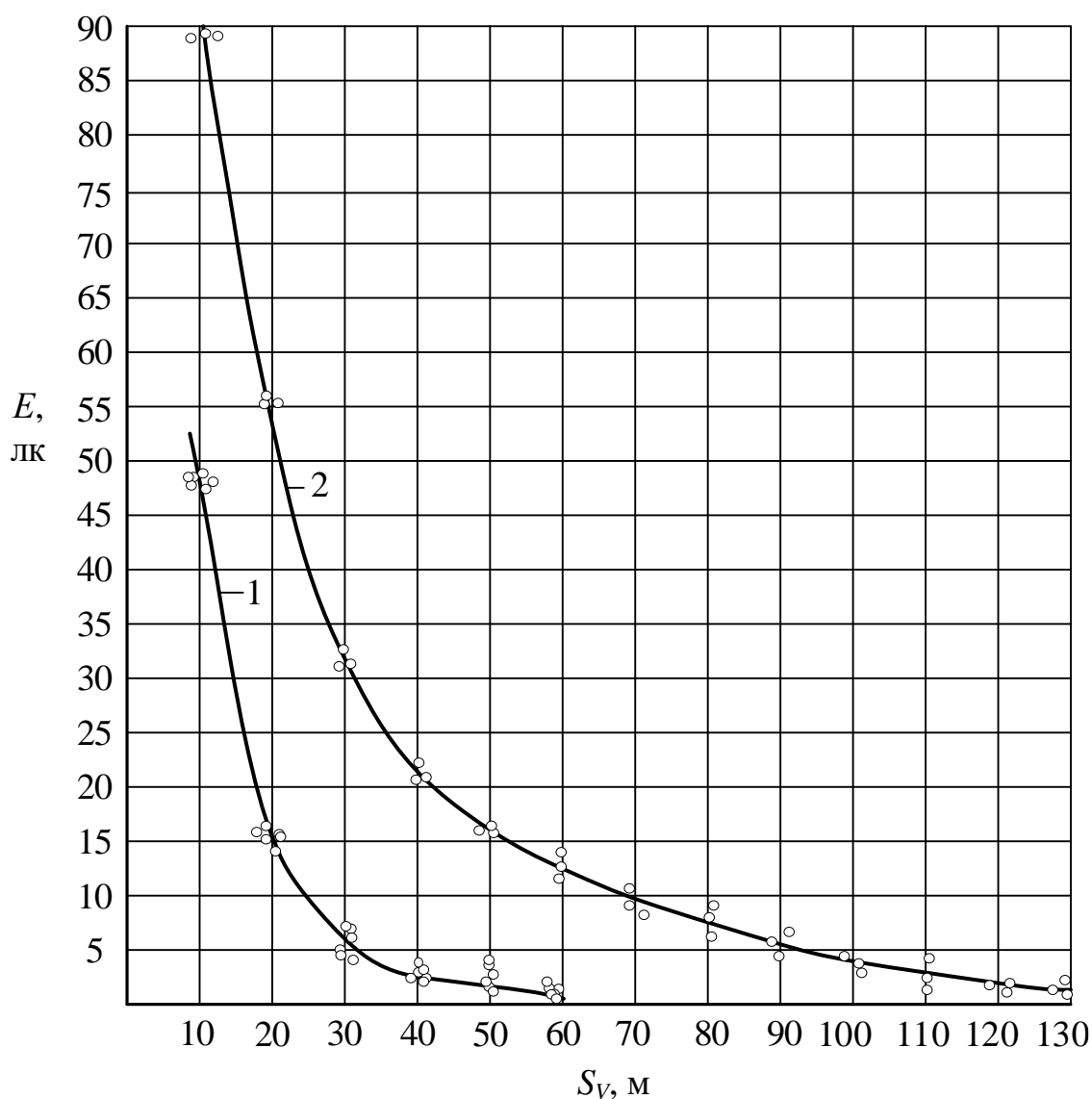


1 – загальна видимість тест-об'єкта; 2 – видимість пішохода у світлому одязі; 3 – видимість пішохода у темному одязі; 4 – пішохід у одязі зі світловідбивальними елементами.

Рисунок 4.6 – Експериментальна залежність відстані видимості від параметрів об'єкта розрізнення для фар з лампами H7 (Skoda Octavia)

Аналіз результатів експериментальних досліджень з оцінювання освітленості дороги E у світлі фар ТЗ (рис. 4.7) показує, що для ближнього світла фар освітленість найінтенсивніше зростає при зменшенні дистанції до

автомобіля з 40 до 10 м, цей показник для дальнього світла фар змінюється відповідно в діапазоні відстаней з 70 до 10 м.



1 – ближнє світло фар (лампа Н7), 2 – дальнє світло фар (лампа Н1)

Рисунок 4.7 – Залежність освітленості дороги від відстані до автомобіля

Освітленість, необхідна для розрізнення об'єкта в певній дорожньо-транспортній ситуації, зростає зі збільшенням відстані до нього (рис. 4.8) та є змінною величиною.

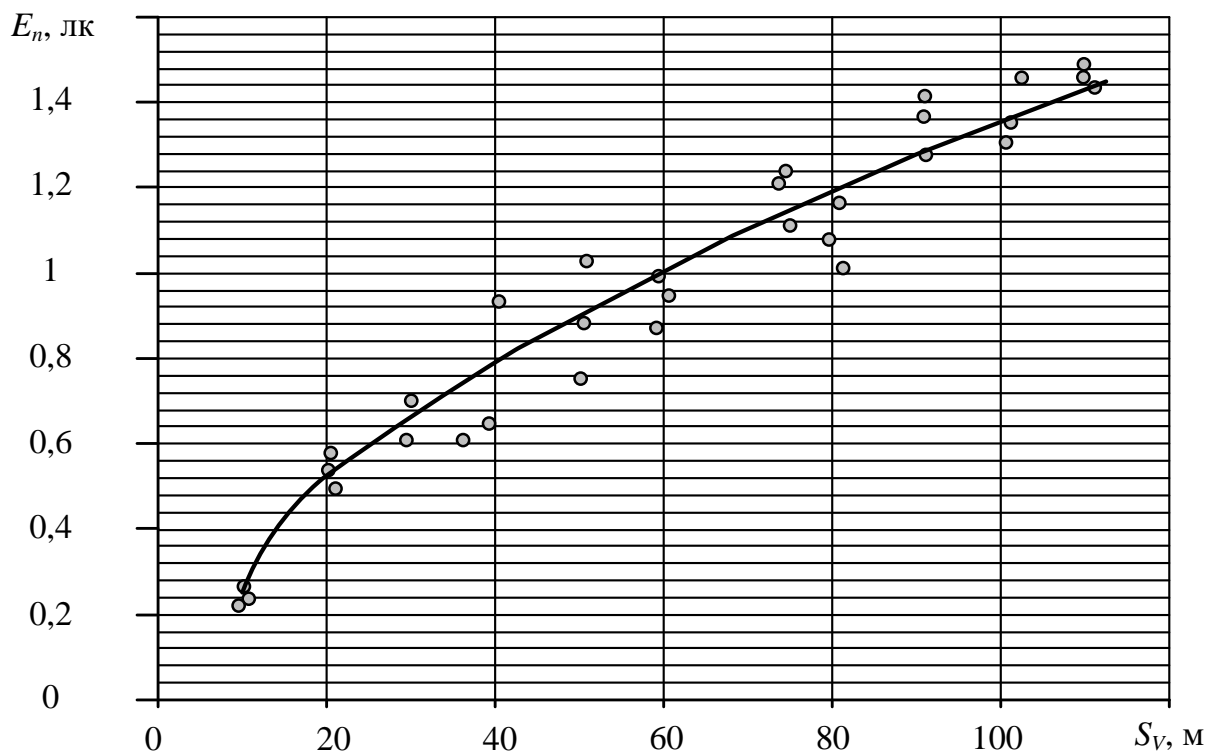


Рисунок 4.8 – Експериментальна залежність відстані видимості S_V від критичної освітленості об'єкта E_n

Очевидно, що для водія ТЗ найкращою буде та система освітлення, яка створює більшу освітленість в характерних точках, віддалених від автомобіля на певні відстані. Але з точки зору безпеки руху, досконалість світлорозподілу системи освітлення слід оцінювати за величиною мінімальної освітленості, створеної системою освітлення ТЗ, яка достатня для виявлення тест-об'єкта.

4.2.2 Експериментальне дослідження видимості дороги та об'єктів дорожньої обстановки в темну пору доби при дії світла фар зустрічного транспортного засобу

Для дослідження впливу дії світла фар зустрічного транспортного засобу на зміну видимості об'єкта в темну пору доби було виконане експериментальне дослідження в дорожніх умовах відповідно до схем, представлених на рис. 4.9, 4.10.

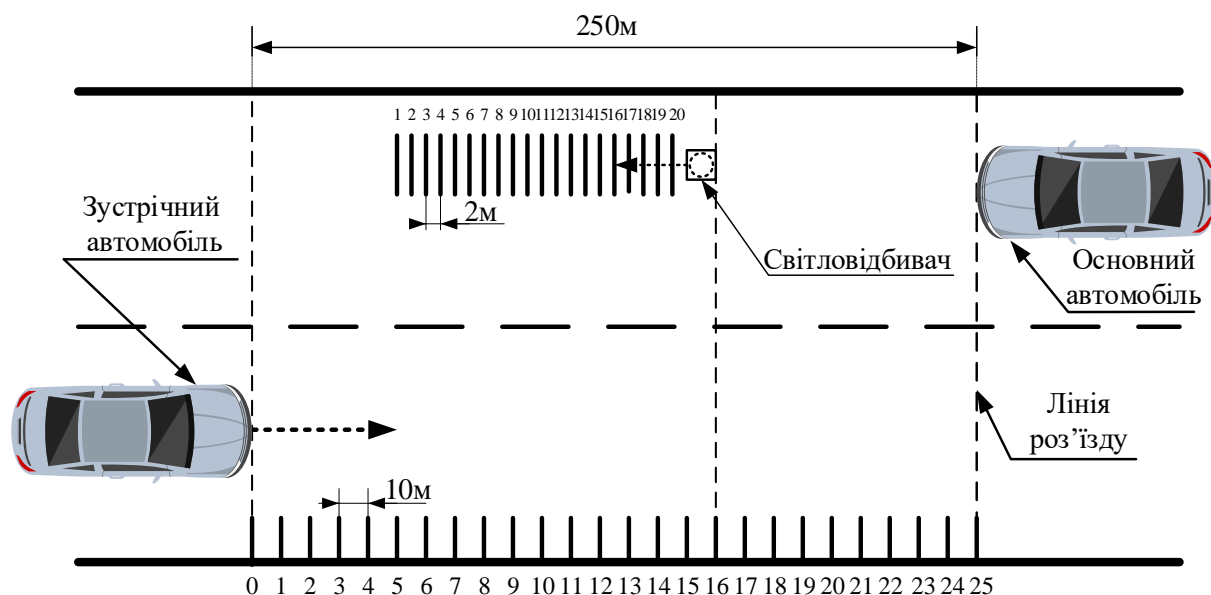


Рисунок 4.9 – Початкове розташування ТЗ

Ділянка автомобільної дороги, на якій проводився експеримент, проходила паралельно міжнародній автомобільній дорозі М12 у напрямку руху з м. Вінниця до м. Хмельницький (в районі с. Якушинці). Дана ділянка горизонтальна (негоризонтальність не перевищує 1,5%), з твердим асфальтобетонним покриттям, має довжину близько 700 м та з обох сторін огорожена лісосмугами. Швидкість вітру при проведенні випробувань знаходилась в межах 0-4 м/с, температура повітря коливалась від 15 до 25°C.

Для виконання даних експериментів було задіяно 5 спостерігачів з гостротою зору 0,9...1,0 та допоміжні засоби: лазерний дальномір SNDWAY SW-T100 (20-ти метрова рулетка), ліхтар, пронумеровані фішки, світловідбивач, крейда для розмітки проїзної частини.

Експериментальні значення відстаней видимості були отримані для фар автомобілів з галогенними лампами типу Н4 (12 В, 55-60 Вт), що пересуваються по двосмуговій дорозі загальною шириною проїзної частини 7.5 м, відстань між автомобілями по ширині 3 м.

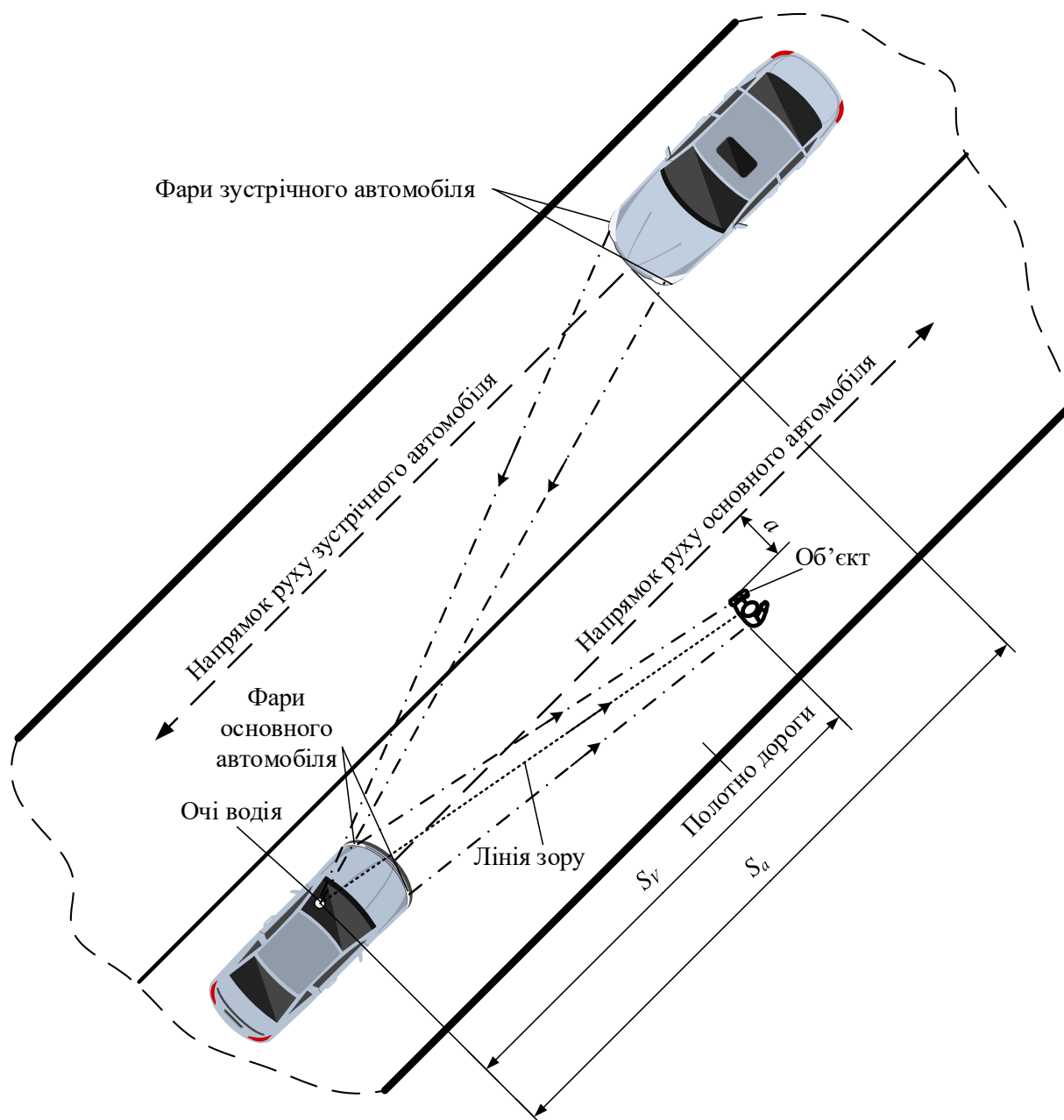


Рисунок 4.10 – Схема встановлення відстані видимості об'єкту на дорозі у світлі фар зустрічного ТЗ при проведенні експерименту в дорожніх умовах

Алгоритм проведення експерименту.

1. Два ТЗ (основний і зустрічний) були розміщені в своїх смугах на відстані 250 м один від одного. Ділянка дороги між автомобілями була розмічена крейдою і фішками на відрізки (див. рис. 4.9).

2. Для підвищення об'єктивності дослідження було задіяно п'ять спостерігачів, які по черзі з місця водія мали можливість визначати відстань, що дозволяє їм розрізнити елементи дороги та світловідбивач.

3. Видимість елементів дороги встановлювалась за максимальною відстанню розрізнення правої границі проїзної частини та узбіччя.

4. Для встановлення відстані видимості елементів дороги один учасник експерименту зі світловідбивачем віддалявся від основного автомобіля вздовж правого узбіччя та періодично повертав світловідбивач активною поверхнею в сторону спостерігачів.

5. Спостерігачі за відсвічуванням світловідбивача відмічали місце, де елементи дороги ще розпізнаються.

6. Відстань від вказаного місця спостерігачами до передньої частини транспортного засобу є видимістю дороги, яку потрібно було знайти.

7. Наступним етапом експерименту було визначення відстані видимості об'єкту на дорозі при зближенні автомобілів, яке виконувалось з відстані між ними у 250 м до моменту їх зустрічного роз'їзду. Під час експерименту рухався один автомобіль, а інший був нерухомим. Хід проведення експерименту повторювався.

Узагальнені експериментальні дані з визначення відстані видимості об'єкта на дорозі у світлі фар зустрічного автомобіля за пунктом 6, отримані для 95% рівня довіри, подані на рисунку 4.11.

Проаналізувавши одержану графічну залежність (рис. 4.11) можна побачити, що з моменту зменшення відстані між автомобілями до 200-250 м починається процес скорочення відстані видимості об'єктів внаслідок дії сліпучої блискучості фар. На ділянці 0,2 км водії тією чи іншою мірою втрачають видимість, при $S_a = 110$ м відстань видимості зменшується на 15 %, при $S_a = 70$ м – на 23 %, що зменшує величину безпечної швидкості руху автомобілів дорогами загальної мережі. Подальше зменшення відстані між автомобілями практично не змінює видимість.

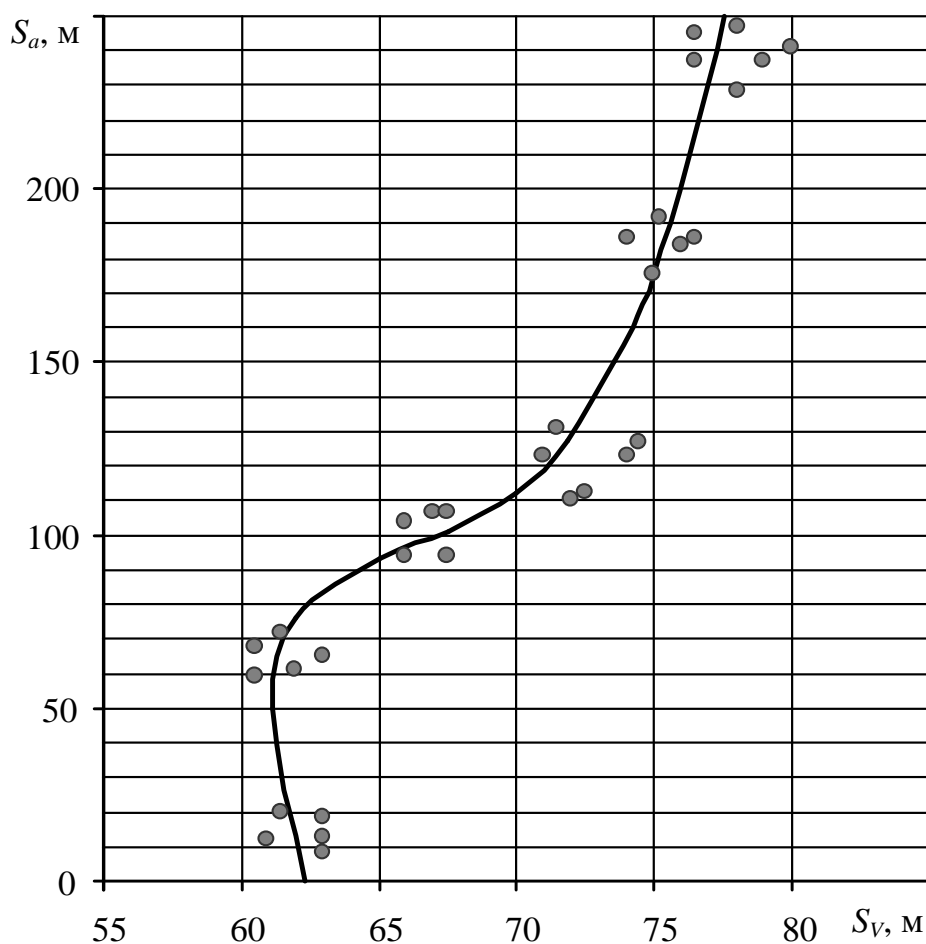


Рисунок 4.11 – Залежність відстані видимості S_V від відстані між ТЗ S_a

Результати встановлення значень відстані видимості та відповідних факторів впливу з метою формування навчаючої вибірки для навчання адаптивної нейро-нечіткої моделі подані в Додатку Е.

Отримані авторами експериментальні дані добре корелюють з іншими результатами досліджень ефективності роботи фар головного освітлення ТЗ [334, 346].

4.3 Інерційне оцінювання взаємодії автомобільних шин з дорогою при екстремому гальмуванні

Основним показником для оцінювання ефективності гальмування автомобілів є усталене сповільнення, на основі значень якого експерт може

визначити довжину гальмівного чи зупинного шляху ТЗ та його швидкість в процесі гальмування. Експериментальні дослідження з динаміки 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 (див. табл. 4.4, рис. 4.12). Особливу увагу було приділено технічному стану ТЗ (відповідності технічним регламентам), конструкції гальмівної системи ТЗ (наявність ABS, ВА) та типу використовуваних шин. Технічний стан ТЗ відповідав вимогам правил дорожнього руху.



Рисунок 4.12 – Одні з багатьох ТЗ, що були задіяні у випробуваннях ефективності гальмівних систем

Випробування проводились самостійно, спільно з експертами Вінницького НДЕКЦ, спільно з експертами Житомирського НДЕКЦ. Приклади протоколів

вимірювання ефективності гальмівних систем представлені на рис. 4.13. Експериментальні дані з інерційного оцінювання динаміки гальмування транспортних засобів подані у Додатку Ж

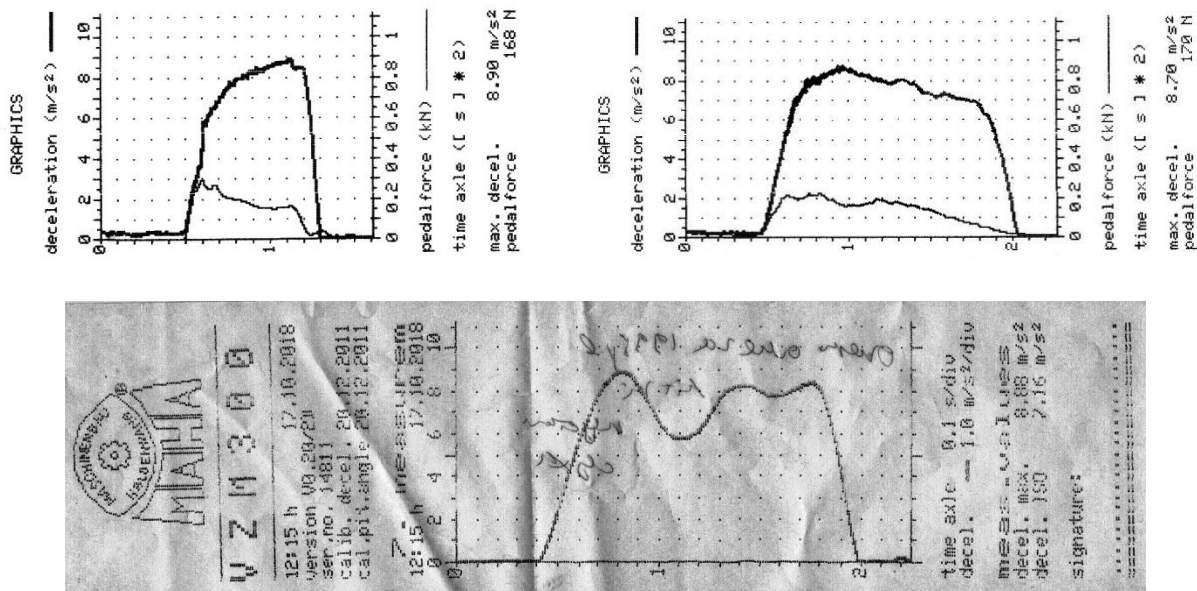


Рисунок 4.13 – Приклади протоколів вимірювання динаміки гальмування ТЗ

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, яка має характеристики подані в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Кількість виконаних дослідів (досліджуваних ТЗ)

Категорія ТЗ	М 1	М 3	Н 1	Н 2	Н 3	Н 3 та О
Дорожнє покриття						
Сухий асфальтобетон	648(182)	48(8)	86(12)	64(11)	52(9)	38(6)
Мокрий асфальтобетон (плівка 0,2мм)	184(52)	34(11)	72(23)	46(14)	8(2)	—
Укочений сніг	96(28)	—	28(7)	10(4)	—	—
Ожеледиця	52(15)	—	16(4)	8(2)	—	—

Результати узагальнення виконаних досліджень для сухого асфальтобетонного покриття подано на рисунку 4.14. Аналіз результатів виконувався засобами MS Excel. Подані показники отримані для 95% рівня довіри. Обробка результатів досліджень показала, що процес гальмування ТЗ є стохастичним і дуже добре описується нормальним законом. Отримані експериментальні дані добре корелюють з іншими результатами досліджень ефективності гальмування ТЗ [84, 184, 185, 187].

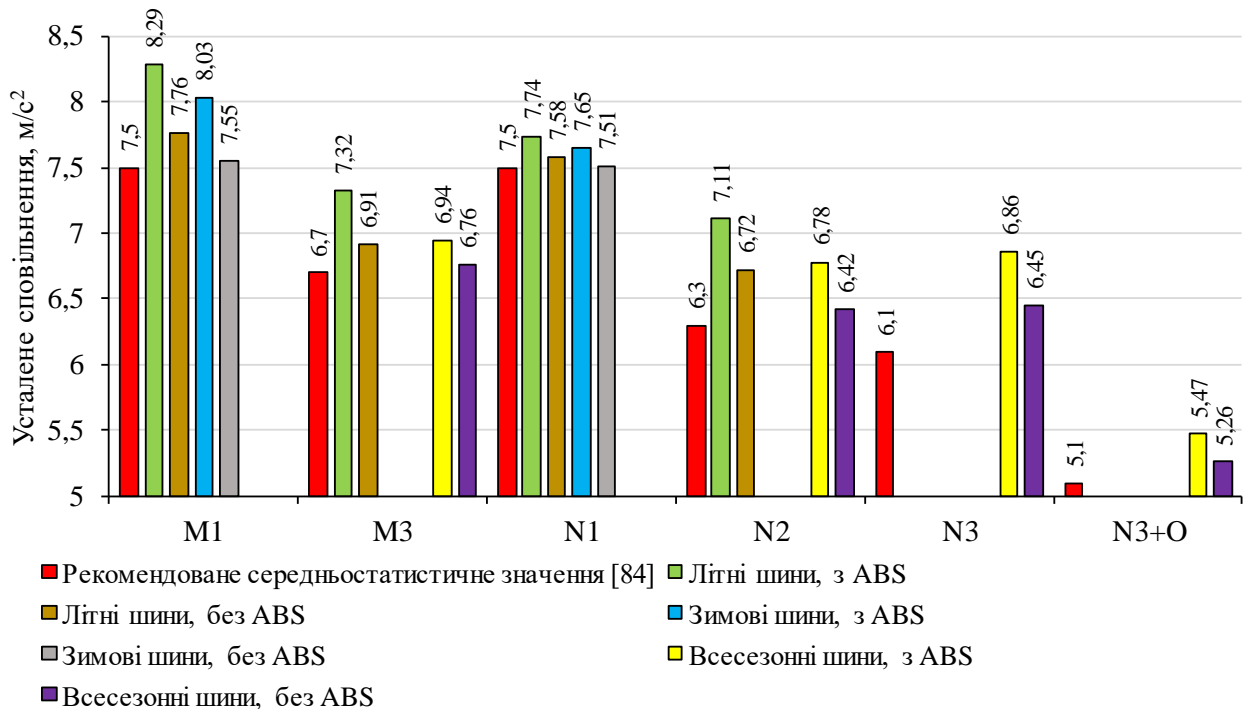


Рисунок 4.14 – Усереднені показники усталеного сповільнення на сухому асфальтобетоні

Експериментальні дані з інерційного оцінювання динаміки гальмування транспортних засобів подані у Додатку Ж.

З метою встановлення впливу конструкції гальмівної системи ТЗ (наявність ABS, ВА) та типу використовуваних шин на ефективність екстреного гальмування було проаналізовано протоколи випробувань ТЗ категорії M1: без ABS – 51 од., з ABS – 63 од., з ABS та ВА – 48 од. Результати

узагальнення експериментальних даних у середовищі MS Excel, отримані для 95% рівня довіри, подано у таблиці 4.8 та на рисунках 4.15, 4.16.

Таблиця 4.8 – Узагальнені показники усталеного сповільнення в м/с² зі швидкості 40 км/год

Тип шин, робота ABS, ВА Дорожнє покриття	Літні шини			Зимові шини			Рекомен- доване значення [84]
	без ABS	з ABS	з ABS, ВА	без ABS	з ABS	з ABS, ВА	
Сухий асфальтобетон ¹	7,76	8,29	9,36	7,55	8,03	9,18	7,5
Мокрий асфальтобетон ¹ (плівка 0,2мм)	5,86	6,71	7,16	6,14	6,83	7,21	5
Укочений сніг ²	–	–	–	2,98	3,11	3,28	2,5
Ожеледиця ²	–	–	–	1,65	1,8	1,9	1,5

1 – при температурі навколишнього середовища 6-15°C;

2 – при температурі навколишнього середовища 0°C і нижче.

З таблиці 4.8 видно, що літні шини мають кращі на 2,7% показники сповільнення при гальмуванні ніж зимові на сухому асфальтобетонному покритті. На мокрому асфальтобетонному покритті (плівка 0,2мм) зимові шини кращі на 2,4% ніж літні за значеннями усталеного сповільнення автомобілів. Дана тенденція буде зростати зі збільшенням товщини водяної плівки [197]. Узагальнені експериментальні значення усталеного сповільнення відрізняються від рекомендованих середньостатистичних даних для експертизи ДТП від 0,7 до 44,2%. Це суттєво для формування експертних висновків щодо конкретної ДТП. З метою підвищення об'єктивності автотехнічної експертизи аварійних ситуацій потрібно враховувати особливості конструкції гальмівної системи ТЗ (роботу ABS, ВА тощо) та тип шин.

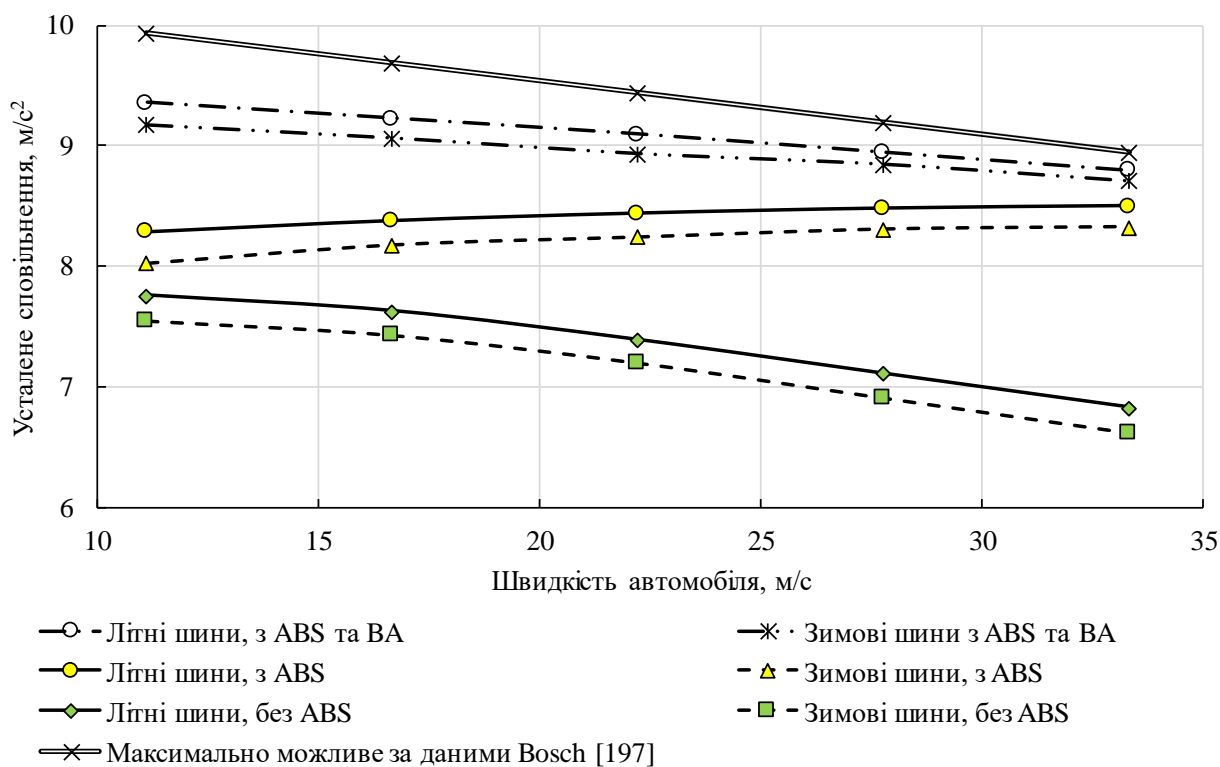


Рисунок 4.15 – Усталене сповільнення ТЗ категорії М1 для сухого асфальтобетонного покриття

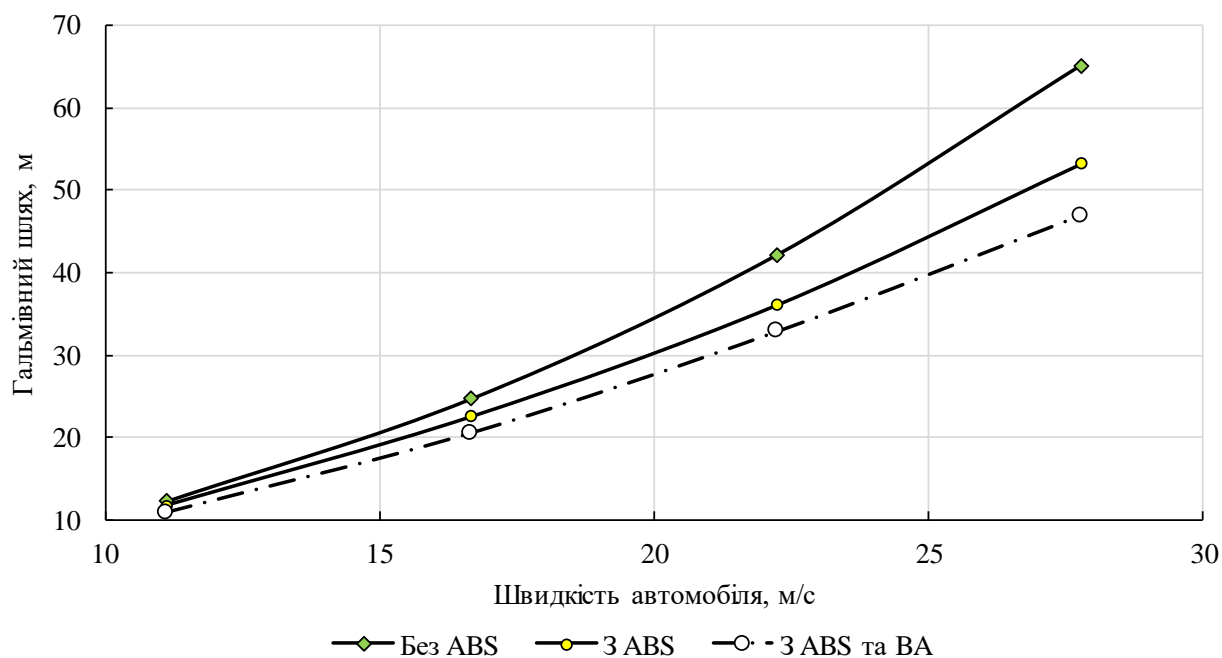


Рисунок 4.16 – Узагальнені показники гальмівного шляху ТЗ категорії М1 на сухому асфальтобетоні

З рисунку 4.15 видно, що усталене сповільнення ТЗ без ABS зменшується з підвищенням початкової швидкості гальмування, що добре узгоджується з результатами досліджень [175, 157]. ТЗ з ABS демонструють протилежну тенденцію, що пояснюється психологією керування людиною-оператором при гальмуванні [383, 384]. Отримані дані для ТЗ з ABS добре корелюють з результатами поданими в [184] та [385]. ТЗ з ABS та ВА мають найближчі показники до максимально можливих, визначених спеціалістами Bosch [197] для автомобілів зі звичайними дорожніми шинами в реальних умовах експлуатації, що пояснюється особливостями роботи даних гальмівних систем [386, 387].

З рисунку 4.16 видно, що гальмівний шлях ТЗ з удосконаленням конструкції гальмівних систем зменшується. Так при швидкості 40 км/год різниця показників для ТЗ з ABS та ВА і ТЗ без ABS складає біля 11% (ТЗ з ABS і ТЗ без ABS – біля 4%). Зі збільшенням початкової швидкості гальмування різниця в показниках гальмівної ефективності зростає. Так при швидкості 100 км/год ці показники відрізняються відповідно на 28% (18%).

4.4 Оцінювання траєкторії руху транспортних засобів при екстремому гальмуванні

Експеримент проводився з автомобілями Skoda Octavia та BMW 520i, загальний вид яких подано на рис. 4.17. Випробування проводились на ділянці асфальтобетонного покриття горизонтального профілю. Стан покриття: сухе, мокре, покрите брудом. Досліджувався вплив нерівномірності розподілу гальмівних сил і коефіцієнта зчеплення між колесами автомобіля, а також зміщення центру мас автомобіля в поперечному напрямку при відключеній ABS. Приклади отриманих експериментальних кривих руху загальмованого автомобіля та результати моделювання за запропонованою і діючою методикою зображено на рис. 4.18, 4.19 та 4.20.



Рисунок 4.17 – Загальний вигляд ТЗ, що приймали участь у випробуваннях

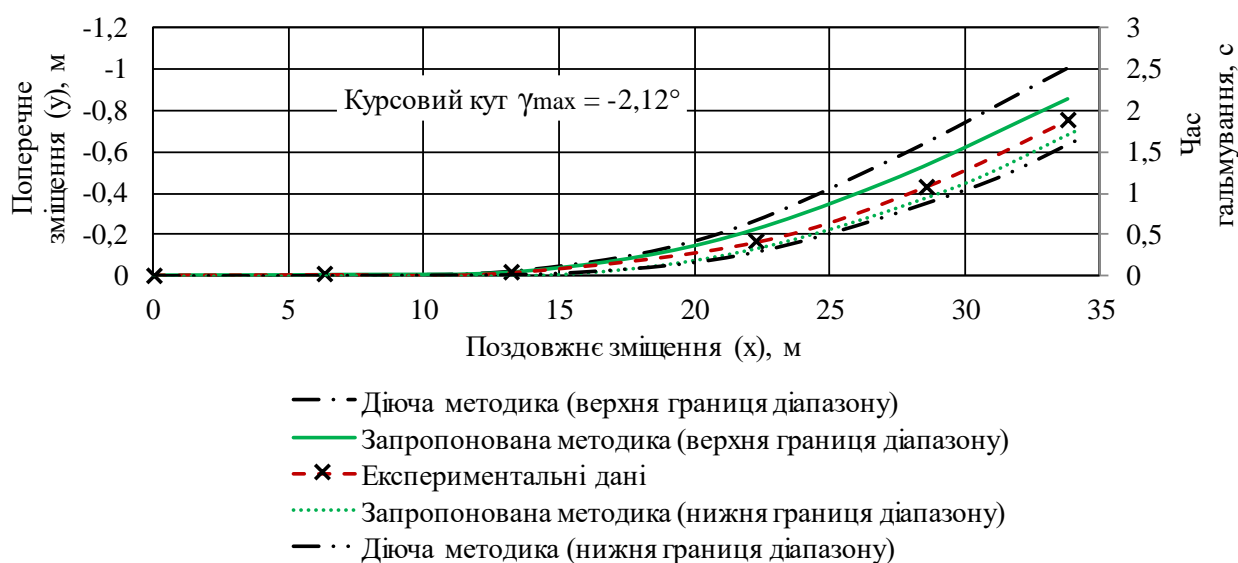


Рисунок 4.18 – Траєкторія руху центра мас загальмованого автомобіля Skoda Octavia при нерівномірній дії гальмівних моментів

Вихідні дані для рис. 4.18: початкова швидкість гальмування 50 км/год; коефіцієнт зчеплення – 0,7 для всіх коліс; гальмові моменти на колесах автомобіля, Н·м: переднє ліве – 465, переднє праве – 395, задні – 368; від’ємні значення курсового кута та бокового зміщення вказують на зміщення автомобіля вліво. Для рис. 4.19: початкова швидкість гальмування 30 км/год; коефіцієнт зчеплення: ліві колеса – 0,7; праві колеса – 0,38 (покритий брудом асфальтобетон); гальмові моменти на колесах автомобіля, Н·м: передні – 945, задні – 828; від’ємні значення курсового кута та бічного зміщення вказують на зміщення автомобіля вліво.

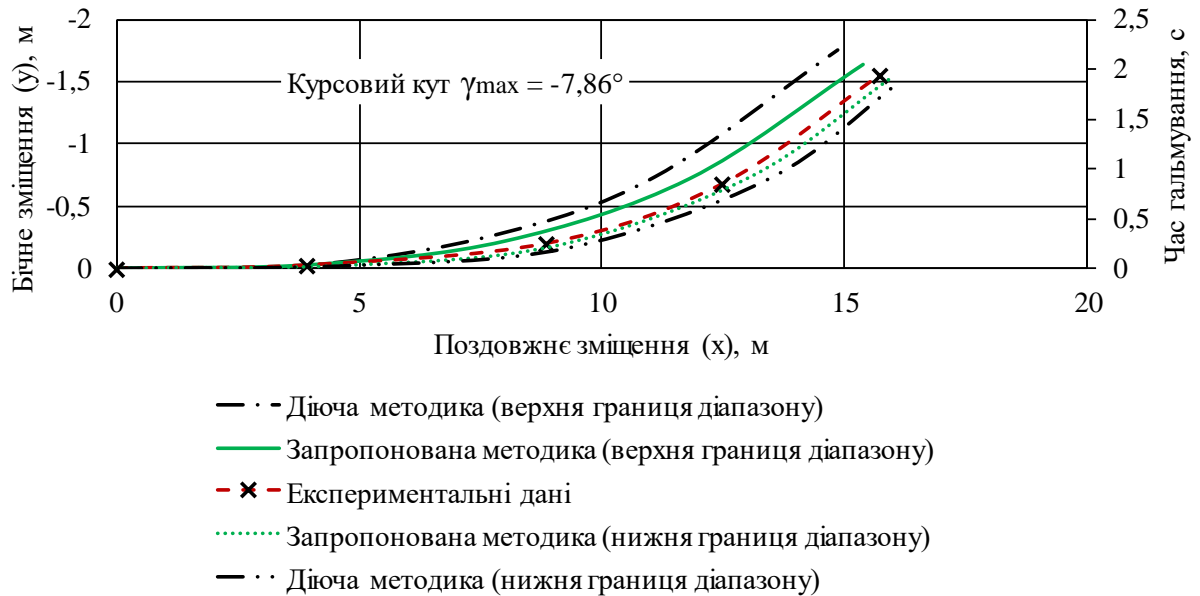


Рисунок 4.19 – Траєкторія руху центра мас загальмованого автомобіля BMW 520i при нерівномірному розподілі коефіцієнтів зчеплення по бортам

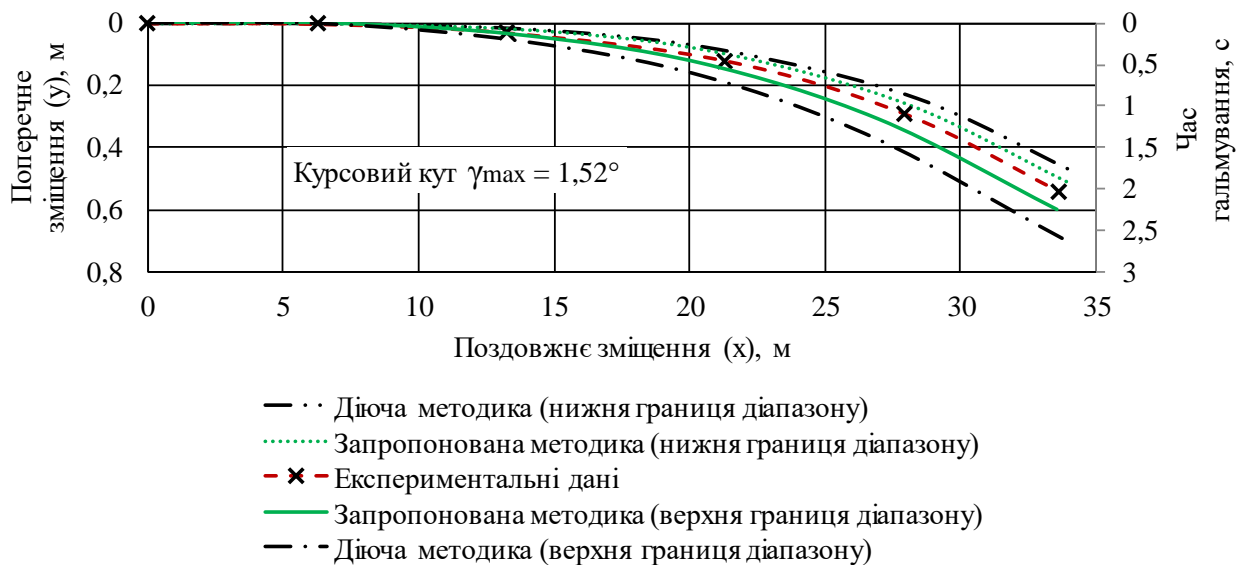


Рисунок 4.20 – Траєкторія руху центра мас загальмованого автомобіля Skoda Octavia при його бічному зміщенні

З метою забезпечення бокового зміщення центра мас автомобіля, по його лівому борту було рівномірно розташовано вантаж масою 200 кг на відстані 0,3 м від поздовжньої осі автомобіля. Початкова швидкість гальмування 50 км/год, Результати розрахунків за розробленими моделями [175] для заданих умов руху:

коефіцієнт зчеплення – 0,7 (для всіх коліс); гальмові моменти на колесах автомобіля, Н·м: передні – 794, задні – 748.

Порівняння результатів моделювання (за запропонованою методикою) та експериментальних даних показало, що середня відносна похибка становить 4,58%, максимальна похибка не перевищувала 7,82 %.

4.5 Дослідження параметрів руху транспортних засобів при маневруванні з гальмуванням

Мета експериментальних досліджень – встановити діапазони зміни сповільнень сучасних ТЗ, конструкція яких дозволяє застосовувати одночасно маневрування та гальмування.

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.

З метою уникнення наїзду на перешкоду водій може застосувати різні маневри (рис. 4.21). В найпростішій ситуації водій різко повертає рульове колесо і автомобіль рухається по дузі, радіус якої зменшується. Такий маневр називається «вхід в поворот». Якщо водій повертає рульове колесо в одну сторону на кут θ_{\max} , а потім знову повертає його в нейтральну позицію, то такий маневр називається «вхід - вихід». Найчастіше водій має обмежену ширину проїзної частини, на якій необхідно об'їхати перешкоду. В такому випадку застосовується маневр «зміна смуги руху». При виконанні цього маневру водій повертає колеса в одну сторону на кут $+\theta_{\max}$, а потім в другу на кут $-\theta_{\max}$. В кінці виконання маневру автомобіль рухається паралельно до початкового напрямку і курсовий кут дорівнює нулю.

Експериментальні дослідження проводились 16-17 травня 2018 року на околиці м. Харків. В якості вимірювального устаткування використовувався вимірювально-реєстраційний комплекс для випробувань мобільних машин та їх елементів ВДВММ 4-001 (див. табл. 4.5).

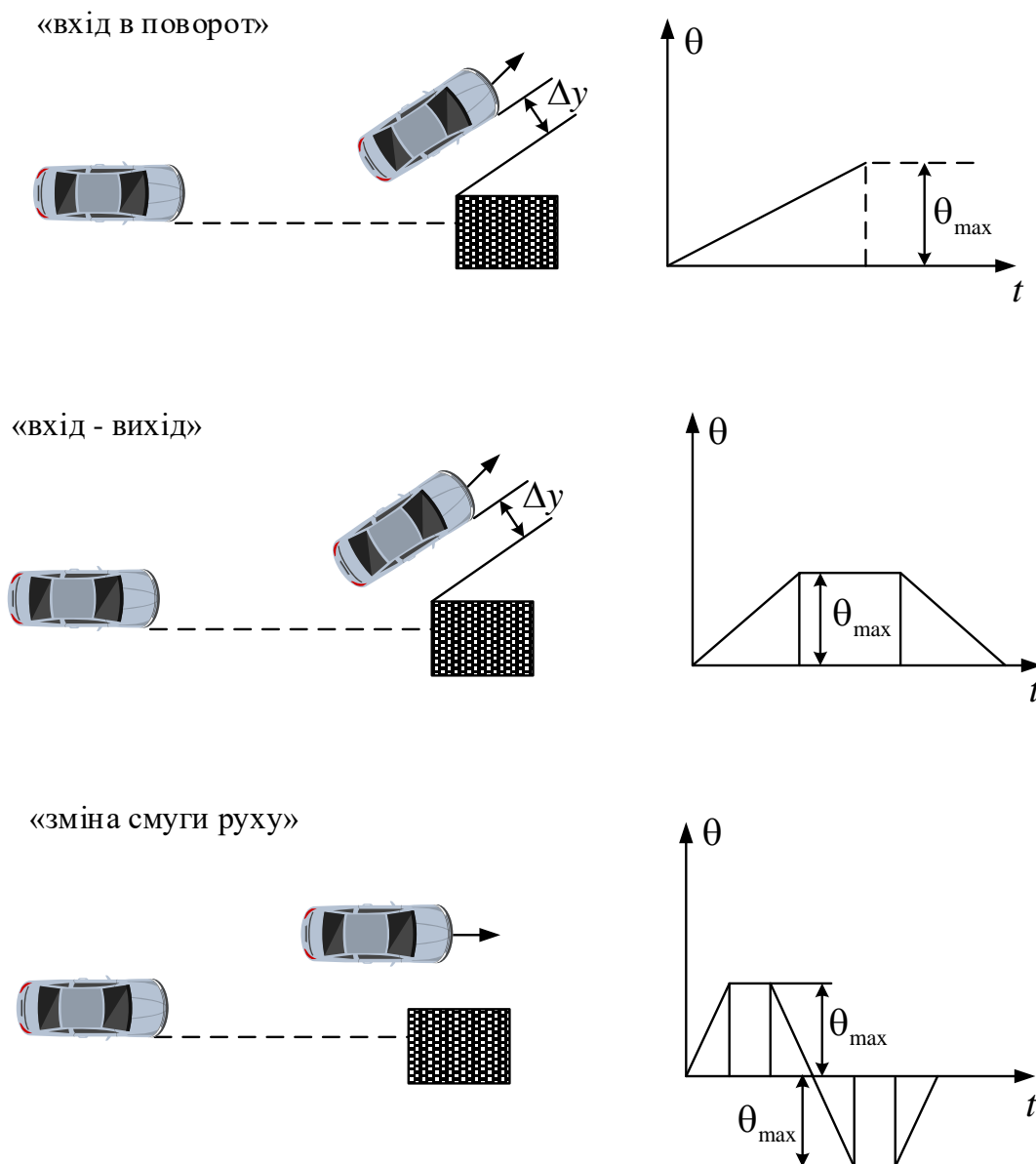


Рисунок 4.21 – Види досліджуваних маневрів

На рис. 4.22-4.24 показано загальний вигляд автомобілів, що брали участь у випробуваннях, місце встановлення вимірювального устаткування та його налаштування.

Обробка результатів експериментальних досліджень проводилась відповідно до методики, детально описаної у роботі [364]. Фільтрація сигналів акселерометрів виконувалась відповідно до адаптованої методики [388, 389], яка підвищує точність обробки даних, отриманих в ході випробувань мобільних машин, за допомогою фільтра Баттерворта.



Рисунок 4.22 – Автомобілі Hyundai i30 та Reno Logan, що приймали участь у випробуваннях



Рисунок 4.23 – Місця встановлення трьохосьових акселерометрів у випробуваних автомобілях

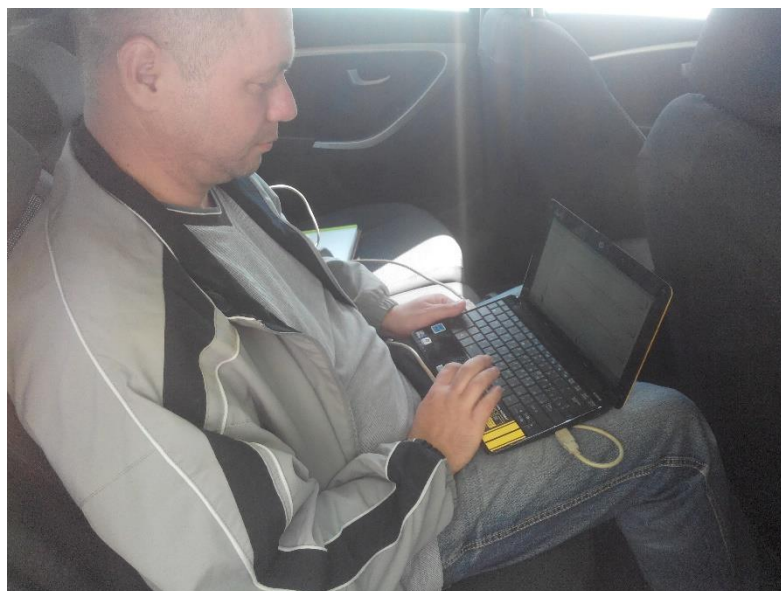


Рисунок 4.24 – Налаштування реєстраційно-вимірювального комплексу

Результати вимірювань сповільнення (прискорення) при маневруванні подано у таблиці 4.9, 4.10. На рис. 4.25 показано приклад такого вимірювання в графічному виді. Решта результатів вимірювань представлено в Додатку И.

Таблиця 4.9 – Поздовжні сповільнення випробуваних автомобілів (Х-вісь), реалізовані при маневруванні, м/с^2

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

Таблиця 4.10 – Розподіл за швидкістю показників сповільнення (прискорення) автомобілів, реалізованих при маневруванні, м/с^2

Напрямок / Швидкість	40 км/год	60 км/год	70 км/год	90 км/год
Поздовжні (Х-вісь)	1,40	4,48	5,45	5,86
Поперечні (У-вісь)	6,82	5,96	5,25	2,33
Нормальні (Z-вісь)	2,25	1,82	1,68	1,34

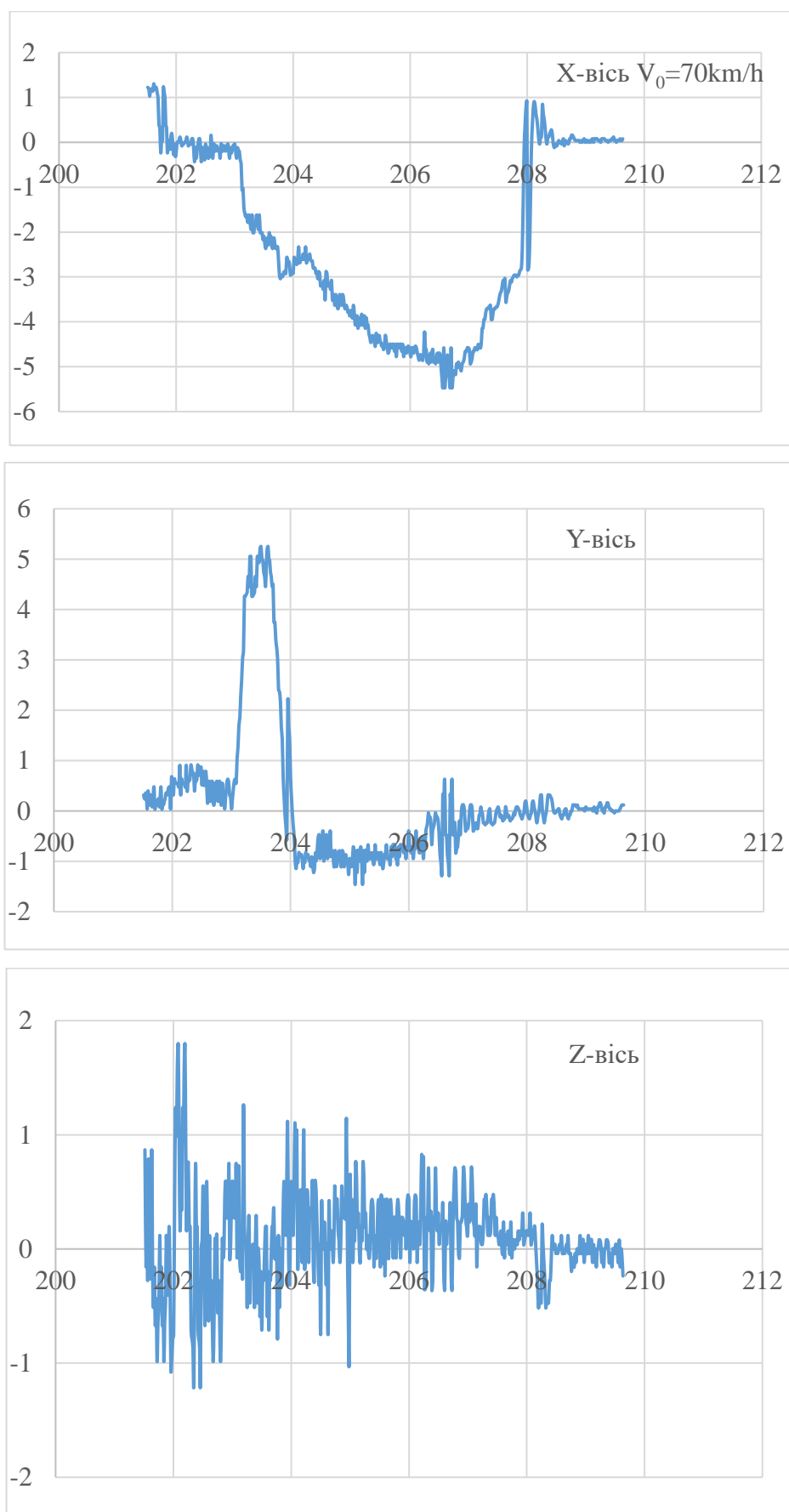


Рисунок 4.25 – Приклад діаграми вимірювання прискорень та сповільнень, що розвивались автомобілем Renault Logan при об'їзді перешкоди

Результати аналізу даних, поданих у таблиці 4.10, представлено на рис. 4.26.

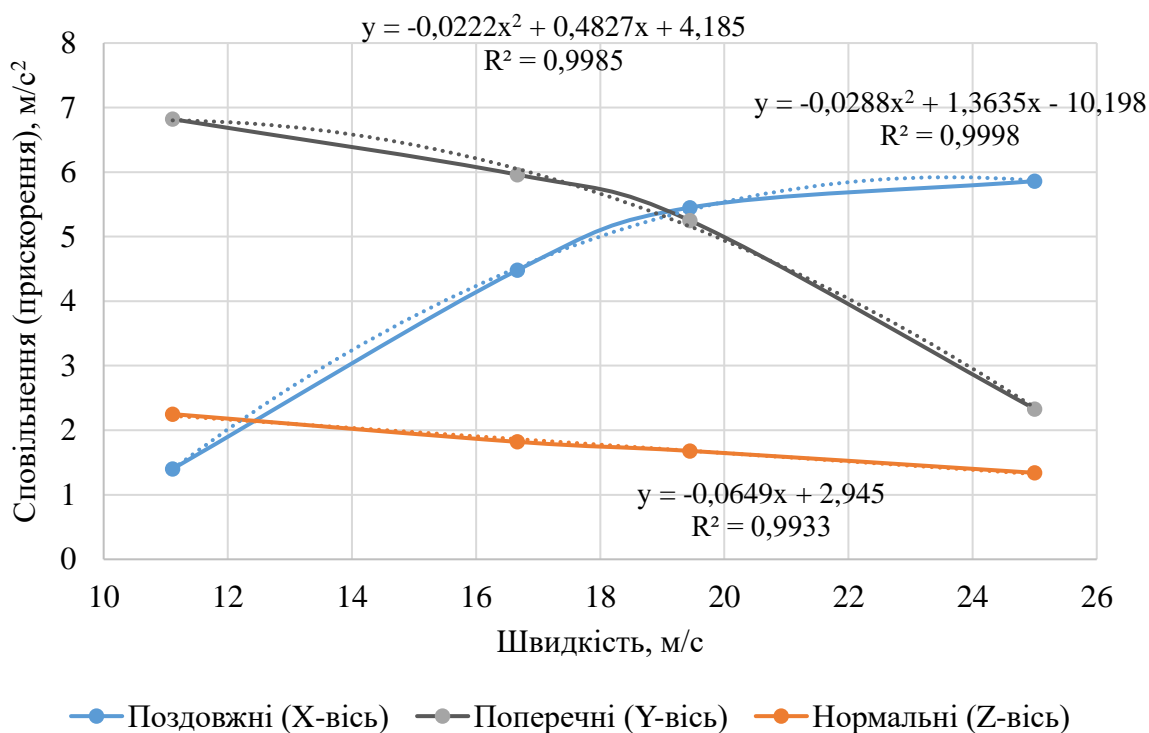


Рисунок 4.26 – Розподіл сповільнень (прискорень) за швидкістю

Аналіз графіків (рис. 4.26) 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 [301, 383, 385]. 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 залежно від швидкості руху ТЗ при маневруванні з гальмуванням.

Висновки до розділу 4

1. Виконані експериментальні дослідження з оцінювання видимості дороги та об'єктів дорожньої обстановки в темну пору доби показали, що:

- при дії світла фар зустрічного транспортного засобу на відрізку дороги 0,2 км водії дещо втрачають видимість, при $S_a = 110$ м відстань видимості скорочується на 15 %, а при відстані $S_a = 70$ м зменшується на 23 %, подальше зближення автомобілів майже не позначається на зміні видимості;
- освітленість, необхідна для розрізнення об'єкта в певній дорожньо-транспортній ситуації, зростає зі збільшенням відстані до нього та є змінною величиною;
- для ближнього світла фар освітленість дороги у світлі фар ТЗ найбільш бурхливо зростає при скороченні відстані до ТЗ з 40 до 10 м, освітленість дороги при роботі дальнього світла фар змінюється аналогічно на відстанях від 70 до 10 м;
- сформована експериментальна база (700 пар даних входи-вихід, Додаток Е) дозволила провести навчання адаптивної нейро-нечіткої система 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 рази.

2. Проведені випробування з оцінювання взаємодії автомобільних шин з дорогою при екстремому гальмуванні ТЗ дозволили:

- сформувані експериментальну базу (5670 пар даних входи-вихід, Додаток Ж), яка дозволила провести навчання адаптивної нейро-

нечіткої система ідентифікації величини коефіцієнта зчеплення коліс автомобіля з дорожнім покриттям та мінімізувати середню відносну похибку моделювання до 1,79% (максимальну до 3,09%), що звужує діапазон можливих рішень порівняно з існуючою методикою у 2,21-2,63 рази та дає змогу рекомендувати її до використання при автотехнічній експертизі ДТП;

- розробити рекомендації для ТЗ категорії М1, які дозволяють врахувати конструкцію гальмівних систем (роботу ABS і ВА) та тип шин при визначенні показників ефективності екстреного гальмування автомобілів з метою мінімізації імовірності надання необ'єктивних висновків автотехнічної експертизи.

3. Результати експериментального оцінювання траєкторії руху транспортних засобів при екстреному гальмуванні підтверджують можливість її моделювання на основі моделей і алгоритмів, розроблених в п. 3.2, 3.4. Порівняння результатів моделювання (за запропонованою методикою) та експериментальних даних показало, що середня відносна похибка становить 4,58%, максимальна похибка не перевищувала 7,82 %.

4. Результати дослідження параметрів руху транспортних засобів при маневруванні з гальмуванням дозволили встановити, що сповільнення при маневруванні можуть досягати 50-55% значень усталеного сповільнення при екстреному гальмуванні. Це дозволило встановити закон зміни швидкості руху автомобіля у часі при маневруванні з гальмуванням та удосконалити існуючі підходи щодо оцінювання параметрів маневрування ТЗ, конструкція яких дозволяє рухатись в такому режимі.

Результати досліджень, наведені в розділі 4, опубліковані в роботах [2, 3, 4, 8, 12-14, 30, 41, 42, 47, 61].

РОЗДІЛ 5

ЗАСТОСУВАННЯ РОЗРОБЛЕНИХ МОДЕЛЕЙ ПІДВИЩЕННЯ ОБ'ЄКТИВНОСТІ ЕКСПЕРТНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ В СТРУКТУРІ АНАЛІЗУ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД

5.1 Визначення ефективності гальмування автомобіля в процесі дослідження дорожньо-транспортної пригоди

Необхідність визначення ефективності гальмування автомобіля в процесі дослідження дорожньо-транспортної пригоди виникає у переважній більшості автотехнічних досліджень ДТП. Питання «Який гальмовий (зупинний) шлях автомобіля був за даної швидкості його руху в умовах певної дорожньої обстановки?» входить до затвердженого Міністерством юстиції України переліку основних питань автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод [109].

Для ілюстрації ефективності розробленого у розділі 3 підходу визначимо величину гальмового та зупинного шляху ТЗ у певних дорожніх обставинах на основі розроблених моделей (п. 3.2, 3.4) та порівняємо отримані величини з результатами розрахунку за формулами (1.10), (1.11) у програмі «Експресс аналіз ДТП» та результатами моделювання у програмі PC-Crash, що відображають діючу методику [81, 89]. При цьому, до уваги візьмемо той факт, що в даному контексті невизначеність довідкових та розрахункових параметрів впливає на інтерпретацію аналітичних результатів.

Якщо виходити з припущення, що величину зміни меж відстані від автомобіля до місця наїзду в момент появи небезпеки для руху було встановлено без врахування невизначеності, при співставленні з верхньою межею можливі чотири ситуації (рис. 5.1):

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

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

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

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

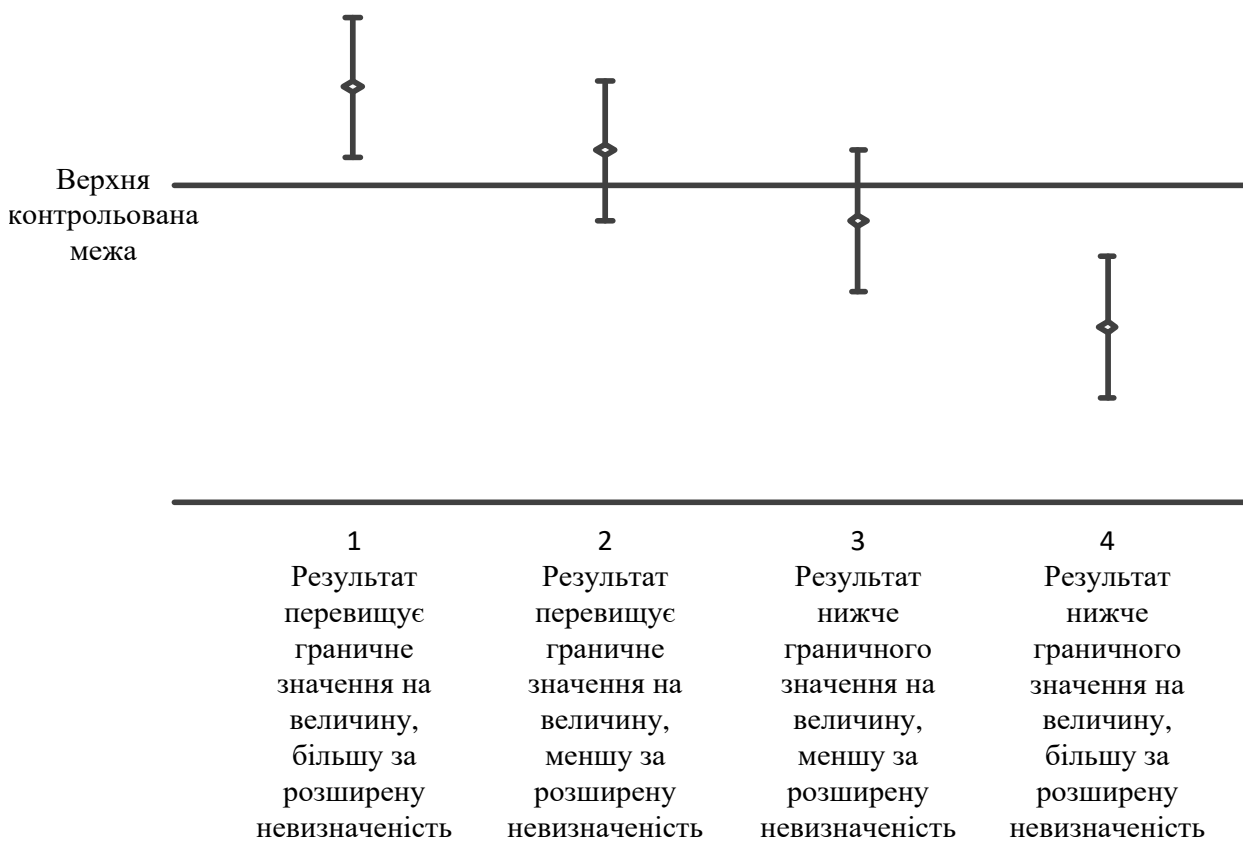


Рисунок 5.1 – Невизначеність та відповідність заданим межам

Випадок 1 звичайно інтерпретується як демонстрація повної впевненості в тому, що водій не мав технічної можливості уникнути наїзду. Навпаки, випадок 4 звичайно інтерпретується як демонстрація повної впевненості в тому, що водій мав технічну можливість уникнути наїзду. Випадки 2 і 3 звичайно потребують окремого поглибленого розгляду. Аналогічні міркування застосовні при роботі з нижньою межею заданого параметра.

Візьмемо за основу обставини ДТП, детально описані у п. К.1 Додатка К, застосуємо їх для автомобілів, які мають різні конструктивні особливості гальмових систем та типи шин та визначимо шлях, необхідний для зупинки ТЗ. В таблиці 5.1, представлені вхідні значення параметрів гальмування адаптовані для розрахунку. В таблиці 5.2 – результати розрахунку за діючою методикою для автомобілів ЗАЗ 110557 (без ABS), Skoda Octavia (з ABS), Audi A6 (з ABS та BA).

Таблиця 5.1 – Значення параметрів гальмування адаптовані для розрахунку

Величина параметра	Вхідний параметр					
	$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$	$t_3, \text{с}$	$V_0, \text{км/год}$	$j, \text{м/с}^2$	$\alpha, ^\circ$
	1	0,2	0,1	35,4-34,4	2,0-2,9	-6

Таблиця 5.2 – Результати розрахунку за діючою методикою з врахуванням стохастичної невизначеності

Аналітична модель (1.10), (1.11)				Імітаційна модель PC-Crash			
Зупинний шлях		Гальмовий шлях		Зупинний шлях		Гальмовий шлях	
$x_{\min}, \text{М}$	$x_{\max}, \text{М}$	$x_{\min}, \text{М}$	$x_{\max}, \text{М}$	$x_{\min}, \text{М}$	$x_{\max}, \text{М}$	$x_{\min}, \text{М}$	$x_{\max}, \text{М}$
ЗАЗ 110557 (без ABS)							
36,85±0,85	59,1±1,5	27,15±0,75	49,4±1,4	36,85±0,88	59,12±1,52	24,25±0,71	46,52±1,34
Skoda Octavia (з ABS)							
36,85±0,85	59,1±1,5	27,15±0,75	49,4±1,4	36,85±0,88	59,12±1,52	24,25±0,71	46,52±1,34
Audi A6 (з ABS та BA)							
36,85±0,85	59,1±1,5	27,15±0,75	49,4±1,4	36,85±0,88	59,12±1,52	24,25±0,71	46,52±1,34

Як видно з таблиці 5.2, діюча методика не враховує конструкцію гальмівної системи та тип і стан використовуваних шин при оцінюванні ефективності гальмування, в межах однієї категорії ТЗ дає однакові рішення.

Застосуємо розроблений математичний апарат, представлений в п. 3.2, 3.4, для оцінювання даної дорожньої ситуації.

В таблиці 5.3 представлені результати розрахунку сповільнення досліджуваних ТЗ на основі моделювання в адаптивній нейро-нечіткій системі оцінювання взаємодії коліс автомобіля з дорожнім покриттям при екстремому гальмуванні

Таблиця 5.3 – Результати розрахунку сповільнення ТЗ за запропонованою методикою з врахуванням стохастичної та нечіткої невизначеності

Модель ТЗ	ЗАЗ 110557	Skoda Octavia	Audi A6
V_0 , км/год	35,4-34,4		
Навантаження на колесо, кг	190	312	420
Тип і стан шин	зимова, до 50% зносу		
Дорожнє покриття	Укочений сніг після проходу грейдера		
Гальмівна система	без ABS	з ABS	з ABS та ВА
φ_{\min}	0,196	0,205	0,221
φ_{\max}	0,226	0,236	0,256
j_{\min}^1 , М/с ²	0,9	1,0	1,1
j_{\max}^1 , М/с ²	1,2	1,3	1,5

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

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

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

3. Оцінювання величини інтегрального показника «шини – дорога» j_q на основі рекомендацій, представлених у табл. 3.9.

4. Встановлюємо величину початкової швидкості гальмування V_0 , км/год.

5. Виходячи з технічної характеристики ТЗ встановлюємо конструктивні особливості його гальмівної системи (без ABS, з ABS або з ABS та ВА) та встановлюємо навантаження на колесо N , кг.

6. На основі залежностей (3.7), (3.8), (3.15), (3.16) виконуємо моделювання за допомогою розробленої нейро-нечіткої системи оцінювання коефіцієнта зчеплення коліс автомобіля з дорожнім покриттям у середовищі Matlab (див. п. 3.2).

Далі, для автомобілів Skoda Octavia та Audi A6 зупинний та гальмовий шлях визначаємо за виразами (3.68) та (3.71). Для автомобіля ЗАЗ 110557 – за виразами (3.77). Результати розрахунку зводимо до таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Результати розрахунку за запропонованою методикою з врахуванням стохастичної та нечіткої невизначеності

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

Аналіз результатів розрахунку, представлених у таблиці 5.4, 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.

Аналіз даних таблиць 5.2 та 5.4 показує, що для даного випадку врахування стохастичної та нечіткої невизначеності сприяє звуженню діапазонів можливих рішень на 49,4%. Імовірність появи помилок I роду скоротиться на 1,75-18,5%, а помилок II роду – на 43,1-67,8%.

5.2 Дослідження наїзду автомобіля на пішохода

В залежності від поведінки пішоходів як учасників дорожнього руху можна виділити такі типові ДТС:

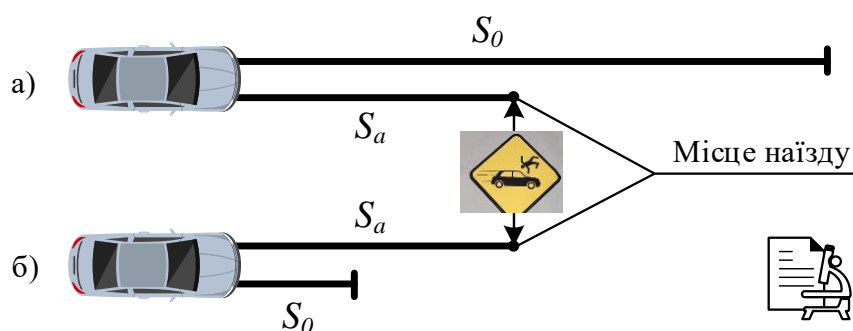
- наїзди ТЗ на пішоходів, що перетинають проїзну частину у поперечному напрямку ($\beta = 90^\circ$, $\beta = 270^\circ$, рис. 3.41);
- наїзди на пішоходів, які рухались по проїзній частині в попутному ($\beta = 0^\circ$) чи косому попутному ($0 < \beta < 90^\circ$, $270 < \beta < 360^\circ$) напрямку;
- наїзди на пішоходів, які рухались по проїзній частині в зустрічному ($\beta = 180^\circ$) чи косому зустрічному ($90 < \beta < 180^\circ$, $180 < \beta < 270^\circ$) напрямку.

Питання про технічну можливість уникнути наїзду найчастіше вирішується на основі порівняння величини шляху, потрібного для зупинення автомобіля (S_0) і відстані, на якій був цей автомобіль від місця наїзду в момент появи небезпеки для руху (S_a). Отже, на основі схем, зображених на рисунку 5.2, можна зробити висновок:

а) у водія відсутня технічна можливість уникнути наїзду шляхом гальмування за умови, що шлях, потрібний для зупинення більший чи дорівнює відстані, від автомобіля до місця наїзду;

б) у водія є технічна можливість уникнути наїзду шляхом гальмування за умови, що шлях, потрібний для зупинки менший за відстань від автомобіля до місця наїзду.

Для ілюстрації ефективності запропонованого у розділі 3 підходу розглянемо приклад оцінювання шляхів S_0 та S_a для вирішення питання про технічну можливість уникнути наїзду на пішохода в рамках розслідування обставин конкретного ДТП.



а) при $S_0 > S_a$, у водія відсутня технічна можливість уникнути наїзду;

б) при $S_0 < S_a$, у водія є технічна можливість уникнути наїзду

Рисунок 5.2 – Комбінації величин шляху, потрібного для зупинки і відстані від автомобіля до місця наїзду

Обставини ДТП такі.

Автомобілем Ford Mondeo 2.0 TDCi на горизонтальній ділянці дороги скоєно наїзд на пішохода, який перетинав дорогу зліва направо відносно руху автомобіля.

Необхідно встановити наявність (відсутність) технічної можливості у водія шляхом гальмування попередити наїзд, якщо відомо:

- тип дорожнього покриття – асфальтобетон з шорсткою обробкою;
- стан дорожнього покриття – мокре брудне;
- тип шин – літні;
- зношеність шин – остаточна висота рисунку протектора близька до мінімально допустимої (1,6 мм);
- особливості конструкції гальмівної системи – наявність ABS;
- навантаження на колесо $N = 395$ кг;
- швидкість автомобіля – 55 км/год.

Ділянка дороги горизонтального профілю. Після наїзду до повної зупинки автомобіль Ford Mondeo в стані гальмування подолав відстань $S_{g2} = 9,2$ м. З моменту появи перешкоди для руху до наїзду пішохід перемістився на

відстань $S_n = 5$ м із швидкістю $V_n = 4,5$ км/год. Пішохода збито передньою частиною транспортного засобу.

Рішення.

Визначимо шлях, необхідний для зупинки автомобіля Ford Mondeo в заданих дорожніх умовах та відстань, на якій знаходився цей автомобіль від місця наїзду в момент появи небезпеки для руху, для чого сформуємо таблицю вихідних параметрів 5.5.

Таблиця 5.5 – Значення вихідних параметрів адаптовані для розрахунку

Вхідний параметр / Величина параметра					
$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$	$t_3, \text{с}$	$V_a, \text{км/год}$	ГС ТЗ	$\alpha, ^\circ$
1	0,2	0,15	55	з ABS	0
$N, \text{кг}$	$h, \text{мм}$	Тип шин	$S_{g2}, \text{м}$	$V_n, \text{км/год}$	$S_n, \text{м}$
395	$\approx 1,6$	літні	9,2	4,5	5

Для ілюстрації ефективності запропонованого у розділі 3 підходу виконаємо розрахунок величин S_0 та S_a двома методами.

Величину S_0 відповідно діючій методиці [81, 89] визначаємо за формулою (1.11), а за запропонованим підходом – за формулою (3.68).

Для величини S_a діюча методика рекомендує використовувати залежність

$$S_a = \frac{V_a}{V_n} \cdot S_n - \left(\sqrt{\frac{V_a^2}{26 \cdot g \cdot \varphi}} - \sqrt{S_{g2}} \right)^2 \text{ м}, \quad (5.1)$$

В запропонованій методиці величина S_a визначається за формулою (3.114).

В формулах для S_0 та S_a є змінна φ – коефіцієнт зчеплення, для даного випадку:

а) з врахуванням стохастичної невизначеності (за діючою методикою) [89, 157]: $\varphi = 0,25-0,55$;

б) з врахуванням стохастичної та нечіткої невизначеності (за запропонованим підходом) діапазон можливих значень складає: $\varphi = 0,21-0,32$.

Області невизначеності величини коефіцієнта зчеплення для даного випадку показані на рис. 5.3.

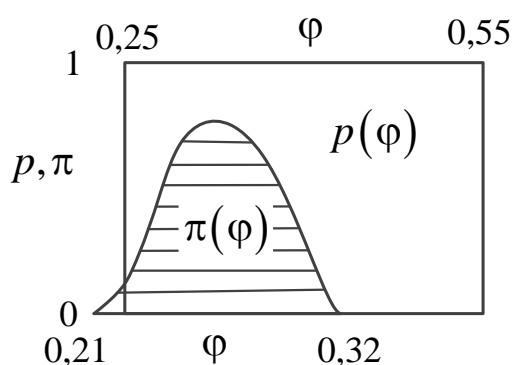


Рисунок 5.3 – Області невизначеності коефіцієнта зчеплення з врахуванням нечіткої та стохастичної невизначеності

Перетворення нечіткого розв'язку $\pi(\varphi)$, у чітку форму відбувається за одного з методів дефазіфікації, найбільш поширеним з яких є метод центра тяжіння [242, 252, 253]:

$$\varphi = \frac{\int \mu(\varphi) \cdot \varphi d\varphi}{\int \mu(\varphi) d\varphi}, \quad (5.2)$$

де $\mu(\varphi)$ – функція належності вихідної величини φ .

Результати оцінювання впливу величини коефіцієнта зчеплення на зупинний шлях та відстань від автомобіля до перешкоди в момент виникнення небезпеки представлені у таблиці 5.6 та на рисунках 5.4, 5.5.

Таблиця 5.6 – Результати оцінювання величин S_0 та S_a

φ	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
S_0^1	138,44	78,96	59,13	49,22	43,27	39,31	36,47	34,35	32,70	31,38
S_a^1	-0,62	39,33	50,52	55,29	57,74	59,12	59,94	60,44	60,75	60,94
S_0^2	137,38	77,90	58,08	48,17	42,23	38,27	35,44	33,33	31,68	30,36
S_a^2	2,93	41,17	51,80	56,29	58,56	59,83	60,57	61,02	61,29	61,44

1 – діюча методика; 2 – запропонований підхід.

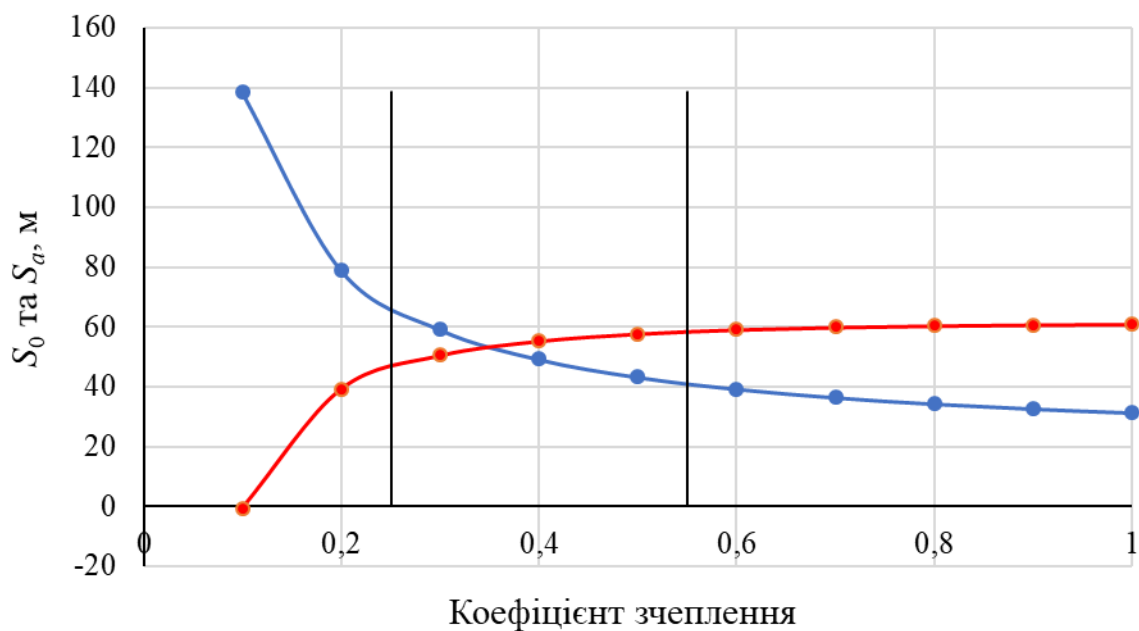


Рисунок 5.4 – Области невизначеності величини величин S_0 та S_a з урахуванням стохастичної невизначеності (діюча методика)

Як видно з таблиці 5.6, розраховані значення зупиночного шляху та відстані від автомобіля до перешкоди в момент виникнення небезпеки для руху близькі за своїми значеннями для діючої методики та запропонованого підходу на усьому діапазоні зміни величини коефіцієнта зчеплення, але для даного випадку врахування зміщуються діапазони визначення коефіцієнта зчеплення (рис. 5.4, 5.5) внаслідок врахування впливу різних видів невизначеності (стохастичної (рис. 5.4) або стохастичної та нечіткої (рис. 5.5)).

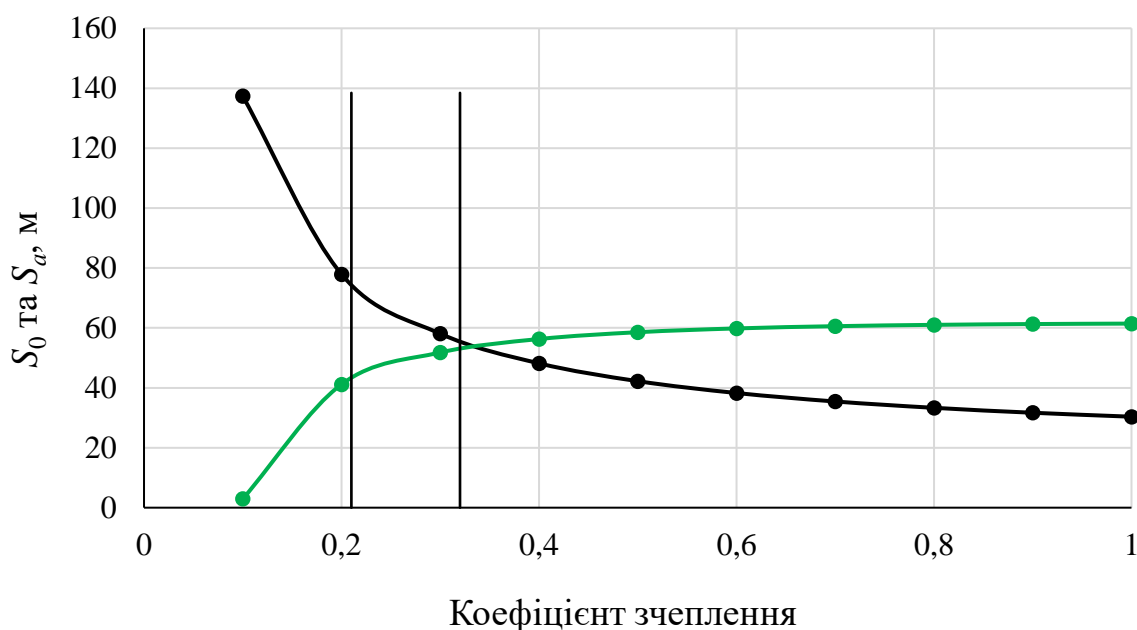


Рисунок 5.5 – Области невизначеності величини величин S_0 та S_a з урахуванням стохастичної та нечіткої невизначеності (запропонований підхід)

Об'єктивність, обґрунтованість, достовірність висновків експерта та можливість їхнього застосування як доказів у суді забезпечується лише за умови достовірності початкових даних. Відома методика, як правило, дозволяє оцінити тільки інтервал можливих значень початкових змінних на основі врахування імовірнісної невизначеності. Це вносить додаткові труднощі щодо прийняття об'єктивного рішення під час дослідження причин ДТП. На відміну від відомої методики, запропонований вище підхід, дозволяє врахувати як нечітку так і стохастичну невизначеність, що звужує інтервал можливих оцінок та підвищує неупередженість прийнятих рішень за рахунок зменшення імовірності появи помилок I і II роду (див. рис. 5.4, 5.5). Таким чином, розроблений підхід можна рекомендувати як альтернативу діючій методиці для рішення практичних задач АТЕ ДТП.

5.3 Аналіз аварійних ситуацій, пов'язаних з погіршенням видимості в темну пору доби

Погіршення видимості в темну пору доби накладає додаткові обмеження на вибір водієм безпечних режимів руху. Основною вимогою п. 12.2. ПДР України є забезпечення можливості зупинити транспортний засіб в межах відстані видимості дороги при обраній швидкості руху. Взявши за основу методичні рекомендації, розроблені у п. 3.4.4, проілюструємо їх ефективність на конкретному прикладі ДТП, описаному у Додатку К (п. К1) та порівняємо отримані результати з результатами застосування діючої методики [80, 89, 157].

В таблиці 5.7, представлені вхідні значення параметрів, які враховуються під час визначення безпечної швидкості руху за діючою методикою, адаптовані для розрахунку.

Таблиця 5.7 – Значення параметрів адаптовані для розрахунку (діюча методика)

Вхідний параметр						
$t_1, \text{с}$	$t_2, \text{с}$	$t_3, \text{с}$	$V_a, \text{км/ГОД}$	$j, \text{м/с}^2$	$\alpha, ^\circ$	$S_V, \text{м}$
0,3	0,2	0,1	40	2,0-2,9	-6	72,4

Визначимо швидкість руху автомобіля, яка є безпечною за даних дорожніх умов та відповідає відстані видимості, з умови рівності відстані видимості шляху зупинки автомобіля

$$V_D = 3,6 \cdot j \cdot T \cdot \left(\sqrt{\frac{2S_V}{j \cdot T^2} + 1} - 1 \right), \quad (5.3)$$

де S_V – відстань видимості – 72,4 м;

j – сповільнення при гальмуванні – $1-1,9 \text{ м/с}^2$ (з урахуванням дорожнього ухилу);

T – час, потрібний для спрацювання гальмової системи, с

$$T = t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3 = 0,3 + 0,2 + 0,5 \cdot 0,1 = 0,55 \text{ с}, \quad (5.4)$$

де t_1 – час сенсомоторної реакції водія при необхідності дати відповідь на питання про відповідність швидкості руху ТЗ видимості дороги – $0,3 \text{ с}$ (див. табл. Б1 Додатку Б);

t_2 – час запізнювання приведення в дію гальмової системи – $0,2 \text{ с}$;

t_3 – час збільшення сповільнення при гальмуванні – $0,1 \text{ с}$;

$$V_D = 3,6 \cdot (1,0 \div 1,9) \cdot 0,55 \cdot \left(\sqrt{\frac{2 \cdot 72,4}{(1,0 \div 1,9) \cdot 0,55^2} + 1} - 1 \right) = 41,4 \div 56,1 \text{ км/год.}$$

Гранично допустима швидкість руху ТЗ, яка відповідає загальній видимості дороги, рівній $72,4 \text{ м}$, складає $41,4 \div 56,1 \text{ км/год.}$, що більше швидкості з якою рухався автомобіль ЗАЗ 110557. Отже швидкість руху 40 км/год. , обрана водієм ТЗ в даних умовах, відповідає видимості дороги, яка дорівнює $72,4 \text{ м}$.

Якщо проаналізувати викладену вище ДТС для автомобілів Skoda Octavia (з ABS), Audi A6 (з ABS та BA), то за діючою методикою максимально допустима швидкість руху, яка відповідає загальній видимості дороги, рівній $72,4 \text{ м}$, складає для цих автомобілів так само $41,4 \div 56,1 \text{ км/год.}$ Цілком очевидно, що діюча методика не враховує конструкцію гальмівної системи та тип і стан використовуваних шин, які суттєво впливають на оцінку ефективності гальмування ТЗ і в значній мірі визначають вибір безпечних режимів руху, а це призводить до однаковості рішень для усіх автомобілів віднесених до однієї категорії ТЗ.

Застосуємо розроблений математичний апарат, представлений в п. 3.1, 3.4, для оцінювання даної дорожньої ситуації.

Для даної ДТС виходячи з результатів моделювання в адаптивній нейро-нечіткій системі оцінювання взаємодії коліс автомобіля з дорожнім покриттям при екстремому гальмуванні, представлених у п. 5.1 (табл. 5.3) величина сповільнення досліджуваних ТЗ з урахуванням ухилу дороги в -6° (спуск) буде складати значення, представлені у таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Результати розрахунку сповільнення ТЗ за запропонованою методикою з врахуванням стохастичної та нечіткої невизначеності

Модель ТЗ	ЗАЗ 110557	Skoda Octavia	Audi A6
j , м/с ²	1,05±0,15	1,2±0,1	1,3±0,2

Якщо вважати відстань видимості однаковою для усіх досліджуваних автомобілів, то величина безпечної швидкості руху, розрахована на основі даних таблиць 5.7 і 5.8 та формул (3.115) і (3.116) прийме значення подані у таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 – Результати розрахунку безпечної швидкості руху в темну пору доби з урахування особливостей роботи гальмівних систем та типу і стану шин ТЗ

Модель ТЗ	ЗАЗ 110557	Skoda Octavia	Audi A6
$V_{D\min}$, км/год	39,8	41,6	43,9
$V_{D\max}$, км/год	44,8	46,6	49,9

Порівнюючи отримані значення V_D для ЗАЗ 110557 за запропонованим підходом (див. табл. 5.9) та діючою методикою (залежності (5.3), (5.4)) можна зробити висновок, що врахування стохастичної та нечіткої невизначеності

дозволяє врахувати особливості конструкції автомобілів в межах однієї категорії ТЗ та звузити діапазони можливих рішень на 59,2-68,0 %.

Якщо врахувати особливості конструкції та роботи систем головного освітлення автомобілів та визначити відстані видимості для даної ДТС в адаптивній нейро-нечіткій системі оцінювання відстані видимості об'єктів при русі автомобіля в темну пору доби (див. п. 3.1), то на основі отриманих даних безпечні швидкості руху будуть приймати значення, подані в таблиці 5.10. Алгоритм методики ідентифікації відстані видимості наведено у п. 3.1.4.

Таблиця 5.10 – Результати розрахунку відстані видимості та безпечної швидкості руху за запропонованою методикою з врахуванням стохастичної та нечіткої невизначеності

Модель ТЗ	ЗАЗ 110557	Skoda Octavia	Audi A6
Швидкість руху V_a , км/год	40		
¹ Дальність світла фари W , м	191,5	197,7	210,2
² Контраст об'єкта розрізнення з фоном K	0,75 (пішохід у темному одязі на вкритому снігом дорожньому покритті)		
Розташування перешкоди F , м	0,4 (ліве узбіччя)		
Режим роботи фари BD	BD1 (ближнє світло)		
Відстань видимості, м	73,42	75,81	80,6
Допустима швидкість руху $V_{D\min}$, км/ГОД	40,1	42,6	46,4
Допустима швидкість руху $V_{D\max}$, км/ГОД	45,1	47,7	52,8

1 – На основі даних експериментальних досліджень (див. п. 4.2 та Додаток Е)

2 – За даними табл. 3.3.

Аналіз результатів розрахунку, представлених у таблиці 5.10, показує, що для ЗАЗ 110557 похибка між модельними та експериментальними даними складає 1,3%. Завдяки врахуванню особливостей конструкції та роботи систем

головного освітлення автомобілів імовірність появи помилок I роду скоротиться на 6-48%, а помилок II роду – на 6-42%, що підвищує об'єктивність експертних рішень.

Таким чином, якість експертизи ДТП, що сталися в темну пору доби залежить від точності визначення відстані видимості дороги та дорожніх об'єктів в світлі автомобільних фар.

5.4 Дослідження руху транспортних засобів при маневруванні

Маневрування, як засіб попередження ДТП, діючі ПДР [77] рекомендують до застосування у разі виникнення перешкоди для руху з метою її безпечного об'їзду. Конструкція сучасних ТЗ дозволяє застосовувати одночасно маневрування та гальмування за рахунок впровадження ABS, які, як правило, є частиною більш складної електронної системи гальмування, що також може містити: систему розподілу гальмівних зусиль (EBD), систему електронного контролю стійкості (ESP), систему екстреного гальмування (BA). Такий вид руху при маневруванні було досліджено в експериментальній частині даної дисертаційної роботи (див. п. 4.5 та Додаток II), на основі результатів яких було отримано залежності мінімального часу маневрування від швидкості початку маневру, представлені на рисунку 5.6.

Аналіз рис. 5.6 показує, що зміна мінімального часу маневрування залежно від швидкості початку маневру відбувається за квадратичною залежністю, а співвідношення між показниками часу для різних видів маневру складають значення, подані у таблиці 5.11.

Таблиця 5.11 – Зміна мінімального часу для маневрів «Вхід-вихід» та «Зміна смуги руху» відносно маневру «Вхід в поворот»

Різниця між показниками часу	Вид маневру	
	«Вхід-вихід»	«Зміна смуги руху»
t_M	1,8 ... 1,9	3,9 ... 4,0

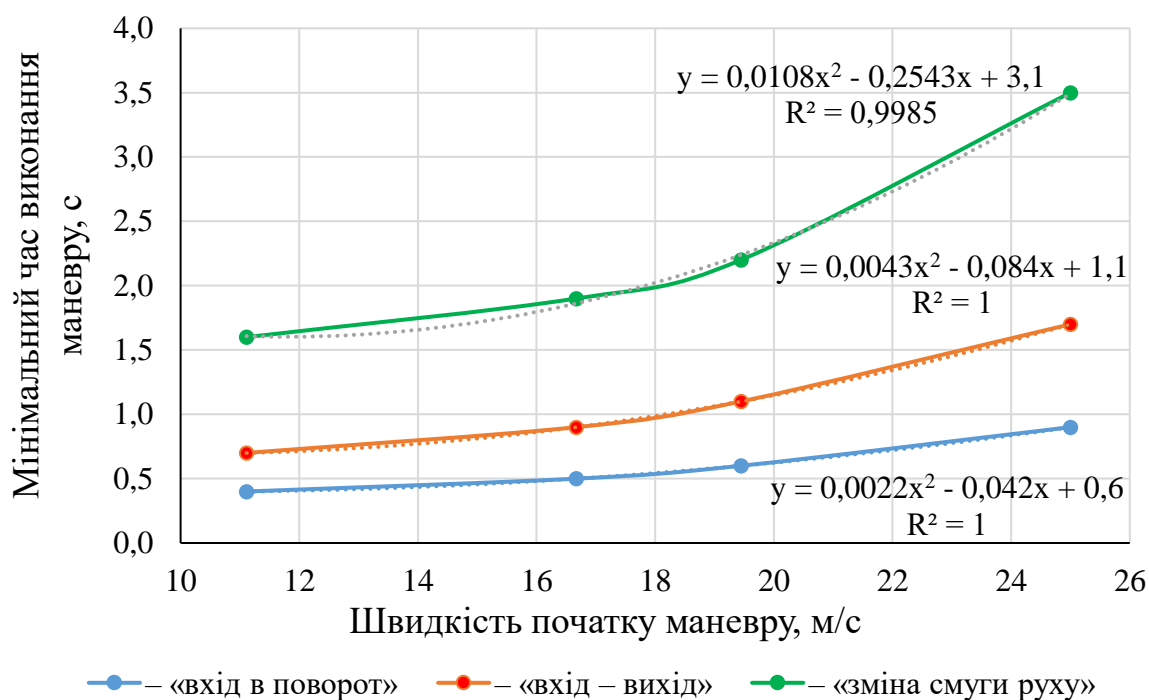


Рисунок 5.6 – Мінімальний час маневрування за умов забезпечення стійкого руху

Як видно з табл. 5.11, отримані експериментальні дані підтверджують припущення В.А. Іларіонова [86, 142], що час, необхідний для повороту передніх керованих коліс на максимальний кут при маневруванні, залежать 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).

Проаналізуємо як впливає зміна реалізованого сповільнення автомобіля на показники маневрування для різних видів маневрів. Розглянемо ДТС для випадку маневрування на асфальтобетонному покритті, оскільки це дасть можливість оцінити вплив сповільнення на усьому можливому діапазоні його реалізації для різних видів дорожнього покриття. Границі зміни сповільнення на горизонтальному відрізку асфальтобетонної дороги приймаємо за результатами експериментальних досліджень, представленими у п. 4.3 та Додатку Ж ($j = 0 \dots 9 \text{ м/с}^2$). На рисунках 5.7-5.9 та у таблиці 5.12 представлені результати розрахунку параметрів маневрування для різних видів маневрів за

розробленими автором залежностями (3.98)-(3.106) при початковій швидкості маневрування 60 км/год та коефіцієнті зчеплення 0.9.

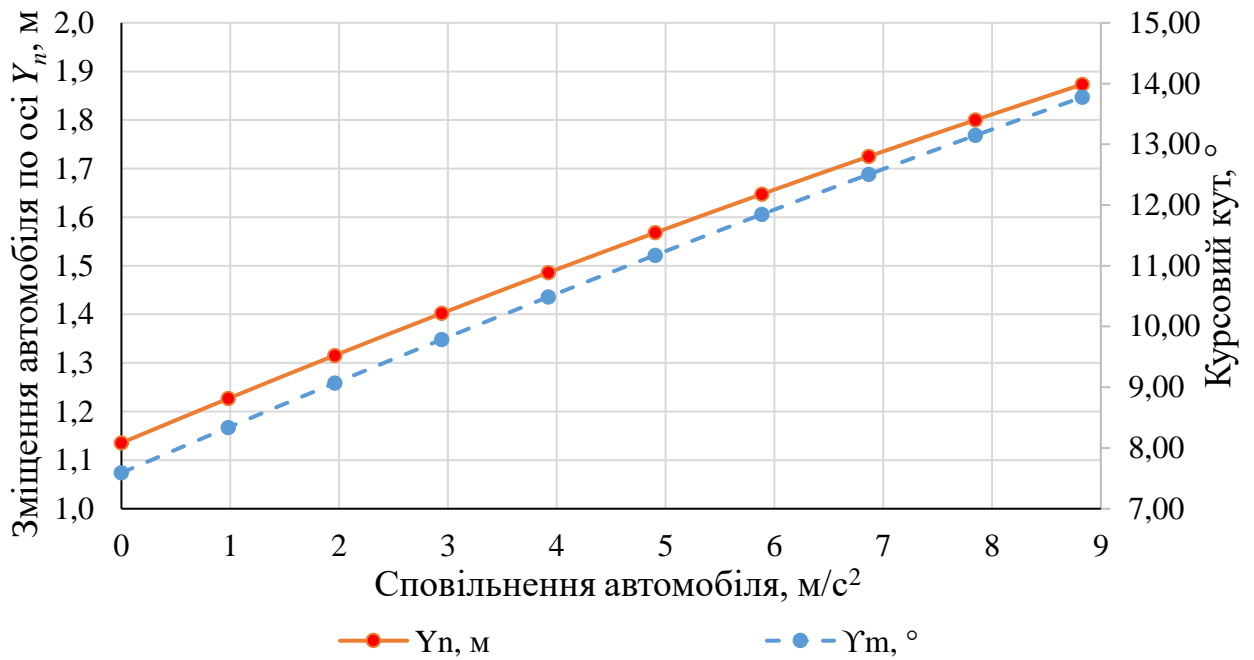


Рисунок 5.7 – Параметри маневрування при маневрі «вхід в поворот»

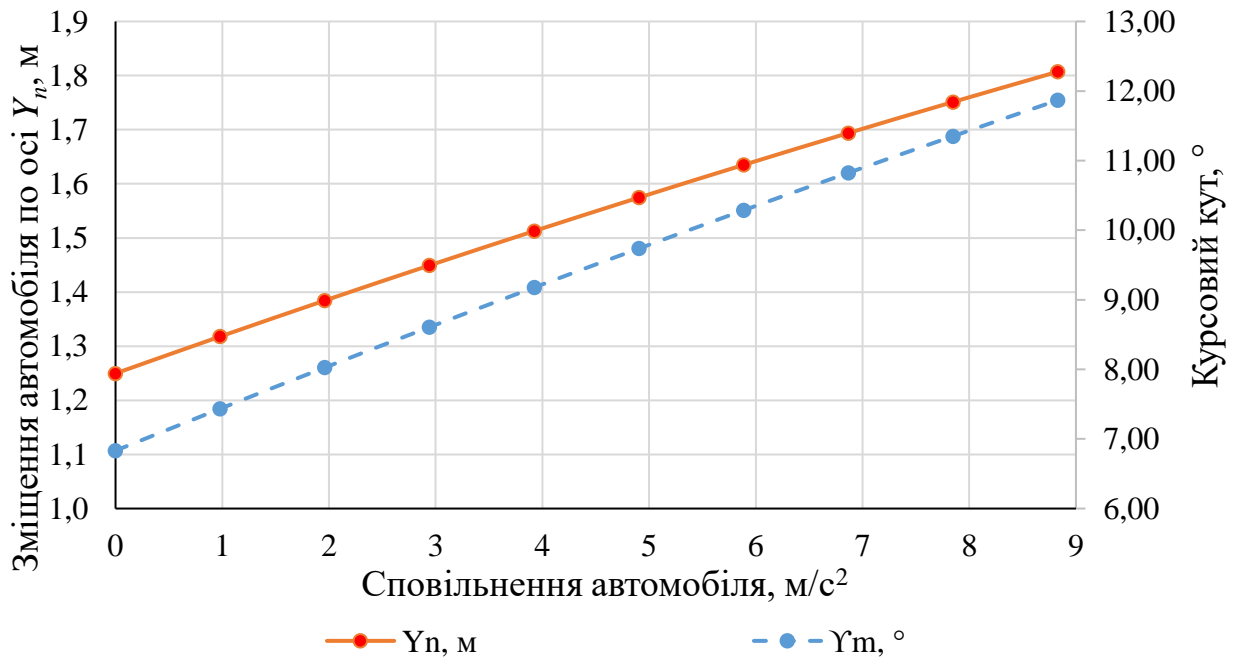


Рисунок 5.8 – Параметри маневрування при маневрі «вхід-вихід»

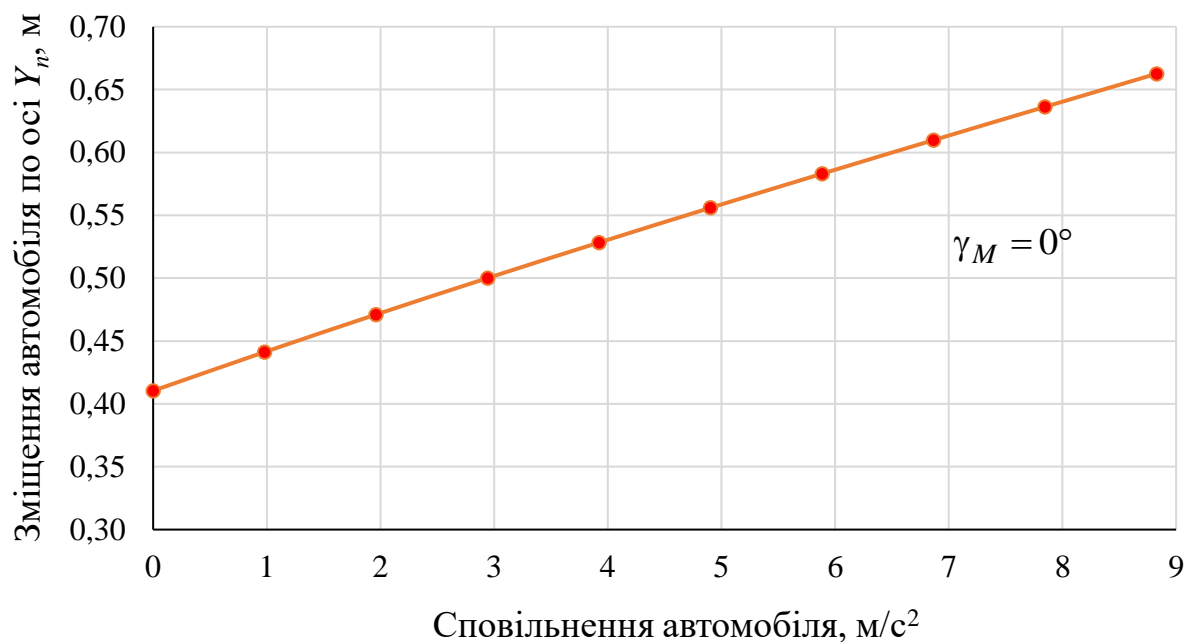


Рисунок 5.9 – Параметри маневрування при маневрі «зміна смуги руху»

Таблиця 5.12 – Показники поздовжнього зміщення ТЗ при виконанні різних видів маневрів та відносно маневру

j , м/с ²	0	0,981	1,962	2,943	3,924	4,905	5,886	6,867	7,848	8,829
«Вхід в поворот»										
γ_M , °	7,59	8,34	9,07	9,79	10,49	11,17	11,85	12,50	13,15	13,77
X_M , м	8,33	8,27	8,21	8,15	8,09	8,03	7,97	7,90	7,84	7,78
Y_M , м	0,57	0,61	0,64	0,68	0,71	0,74	0,77	0,80	0,82	0,85
Y_n , м	1,14	1,23	1,32	1,40	1,49	1,57	1,65	1,72	1,80	1,87
«Вхід-вихід»										
γ_M , °	6,83	7,43	8,03	8,61	9,18	9,74	10,29	10,82	11,35	11,87
X_M , м	7,50	7,40	7,30	7,20	7,10	7,00	6,90	6,80	6,71	6,61
Y_M , м	0,77	0,80	0,82	0,85	0,87	0,89	0,92	0,94	0,96	0,98
Y_n , м	1,25	1,32	1,38	1,45	1,51	1,57	1,63	1,69	1,75	1,81
«Зміна смуги руху»										
X_M , м	7,92	7,70	7,47	7,25	7,03	6,81	6,59	6,37	6,15	5,92
Y_n , м	0,41	0,44	0,47	0,50	0,53	0,56	0,58	0,61	0,64	0,66

Представлені на рис. 5.7-5.9 та у таблиці 5.12 значення γ_M , Y_M та Y_n для $j = 0 \text{ м/с}^2$ отримані за виразами з таблиці 5.13, що відповідають діючій методиці [142].

Таблиця 5.13 – Формули для визначення параметрів маневрування за діючою методикою

Тип маневру	X_M	Y_M	γ_M
Вхід в поворот	$\frac{V_a}{3.6} t' = 0.217 \cdot V_a \sqrt{\frac{Y_M}{\varphi_y}}$	$21.2 \frac{\varphi_y}{V_a^2} X_M^2$	$63.6 \frac{\varphi_y}{V_a^2} X_M$
Вхід-вихід	$\frac{V_a}{1.8} t' = 0.177 \cdot V_a \sqrt{\frac{Y_M}{\varphi_y}}$	$31.3 \frac{\varphi_y}{V_a^2} X_M^2$	$63.6 \frac{\varphi_y}{V_a^2} X_M$
Зміна смуги руху	$\frac{V_a}{1.11} t' = 0.25 \cdot V_a \sqrt{\frac{Y_M}{\varphi_y}}$	$16 \frac{\varphi_y}{V_a^2} X_M^2$	0

Значення параметрів, які входять в формули табл. 5.13:

t' – час повороту передніх коліс на кут, θ_m , с (прийнято для початкової швидкості маневрування 60 км/год відповідно даних, наведених на рис. 5.6);

θ_m – максимальний кут повороту передніх коліс в процесі виконання маневру, рад;

φ_y – коефіцієнт зчеплення шин з дорогою в поперечному напрямку.

Величина Y_n відповідно до рис. 3.40 визначається з виразу

$$Y_n = Y_M + Z_a \cdot \sin\left(\frac{\gamma_M \cdot 180}{\pi}\right), \quad (5.5)$$

де Z_a – відстань від передньої габаритної точки до центру задньої осі автомобіля, м (прийнято в розрахунках $Z_a = 4 \text{ м}$).

Аналіз отриманих залежностей (рис. 5.7-5.9) та даних таблиці 5.12 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 γ_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.

5.5 Дослідження стійкості руху автомобіля при екстремому гальмуванні

Розглянемо рішення задачі дослідження стійкості руху автомобіля Skoda Octavia при екстремому гальмуванні на основі розроблених математичних моделей у п. 3.4. В якості вихідних даних приймемо: маса автомобіля $m = 1305$ кг, момент інерції автомобіля $I = 1952.6$ кг·м², рух здійснюється по горизонтальній поверхні з коефіцієнтом зчеплення коліс з поверхнею дороги $\phi = 0.8$ (сухий асфальт), швидкість автомобіля в початковий момент $V_0 = 40$ км/год, $\omega_0 = 2.5$ с⁻¹. Такий рух може бути як в результаті удару (фаза після роз'єднання автомобілів, див. п. К2 Додатку К) або в результаті виникнення заносу в колії, дії нерівномірності гальмівних моментів, суттєвої різниці коефіцієнтів зчеплення по бортам автомобіля (з'їзд правого борту на обочину в процесі руху ТЗ в гальмівному режимі) тощо.

На рисунках 5.10-5.12 подано введені початкові дані та результат розв'язування цієї задачі в програмі PC-Crash. Програма PC-Crash [189] рекомендована до використання в Європейській мережі криміналістичних установ [89], членом якої є Експертна служба Міністерства внутрішніх справ України.

Таблиця зліва на рис. 5.10 містить параметри автомобіля, а справа – вказані початкові швидкості руху. Точки на рисунку 5.11 є координатною сіткою з кроком 1 м. В початковий момент часу центр тяжіння ТЗ знаходиться в точці з координатами $x = 0$, $y = 0$. Кут між поздовжньою віссю ТЗ та віссю координат x (направлена вправо на рисунку) $\psi = 0^\circ$.

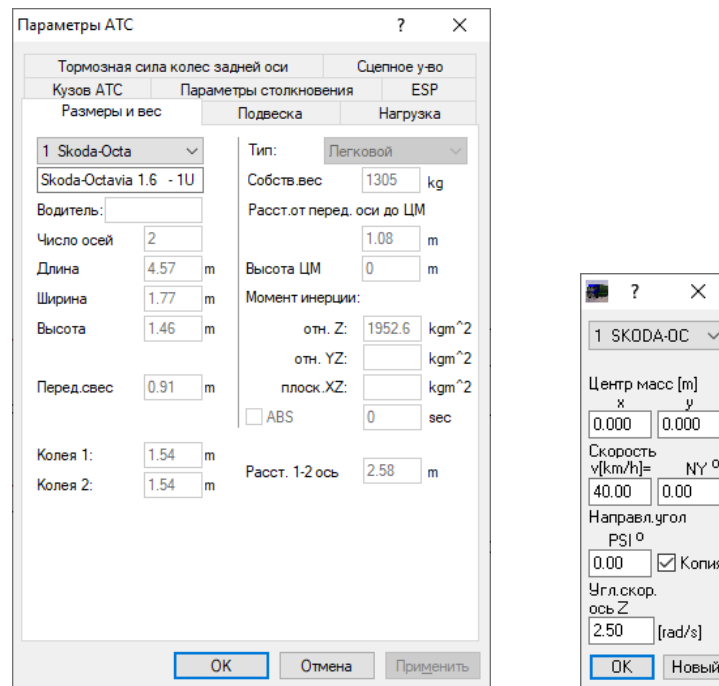


Рисунок 5.10 – Початкові дані для моделювання

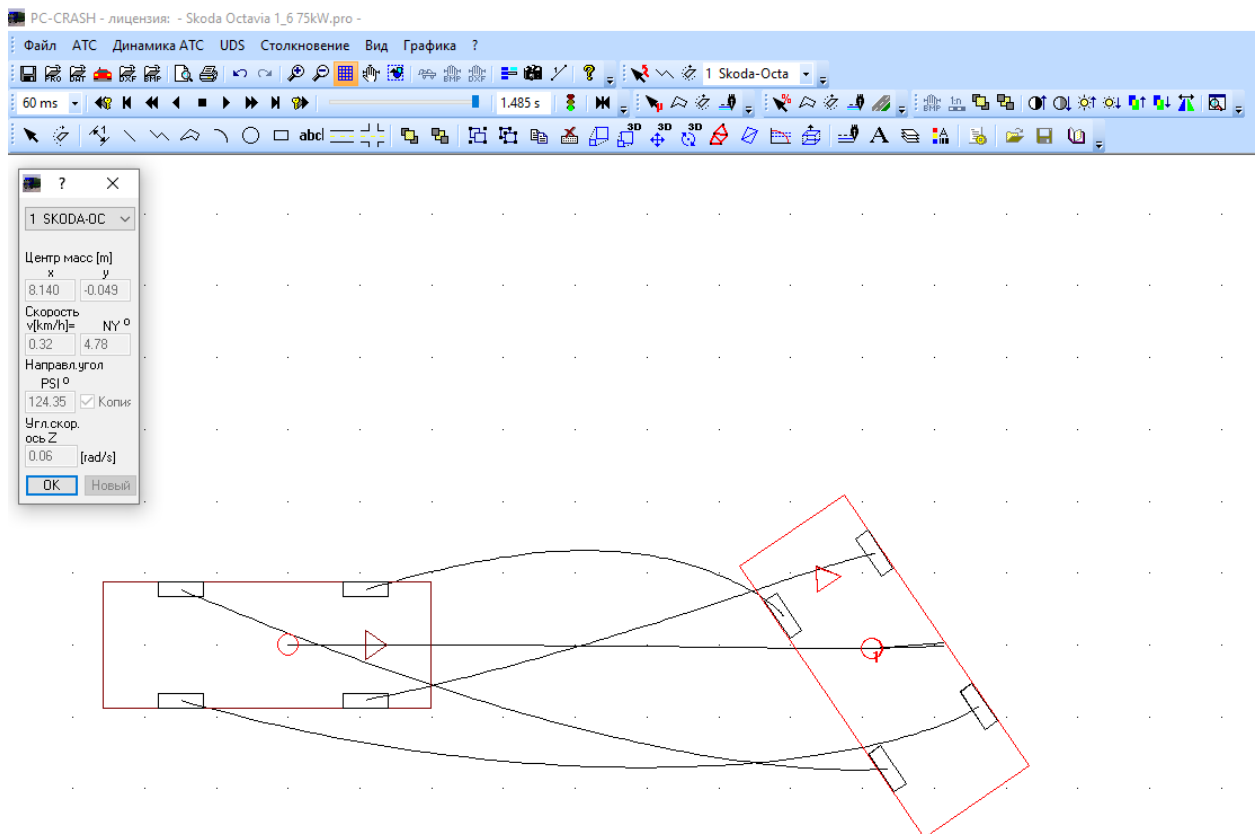


Рисунок 5.11 – Результати дослідження стійкості руху автомобіля Skoda Octavia при екстремому гальмуванні

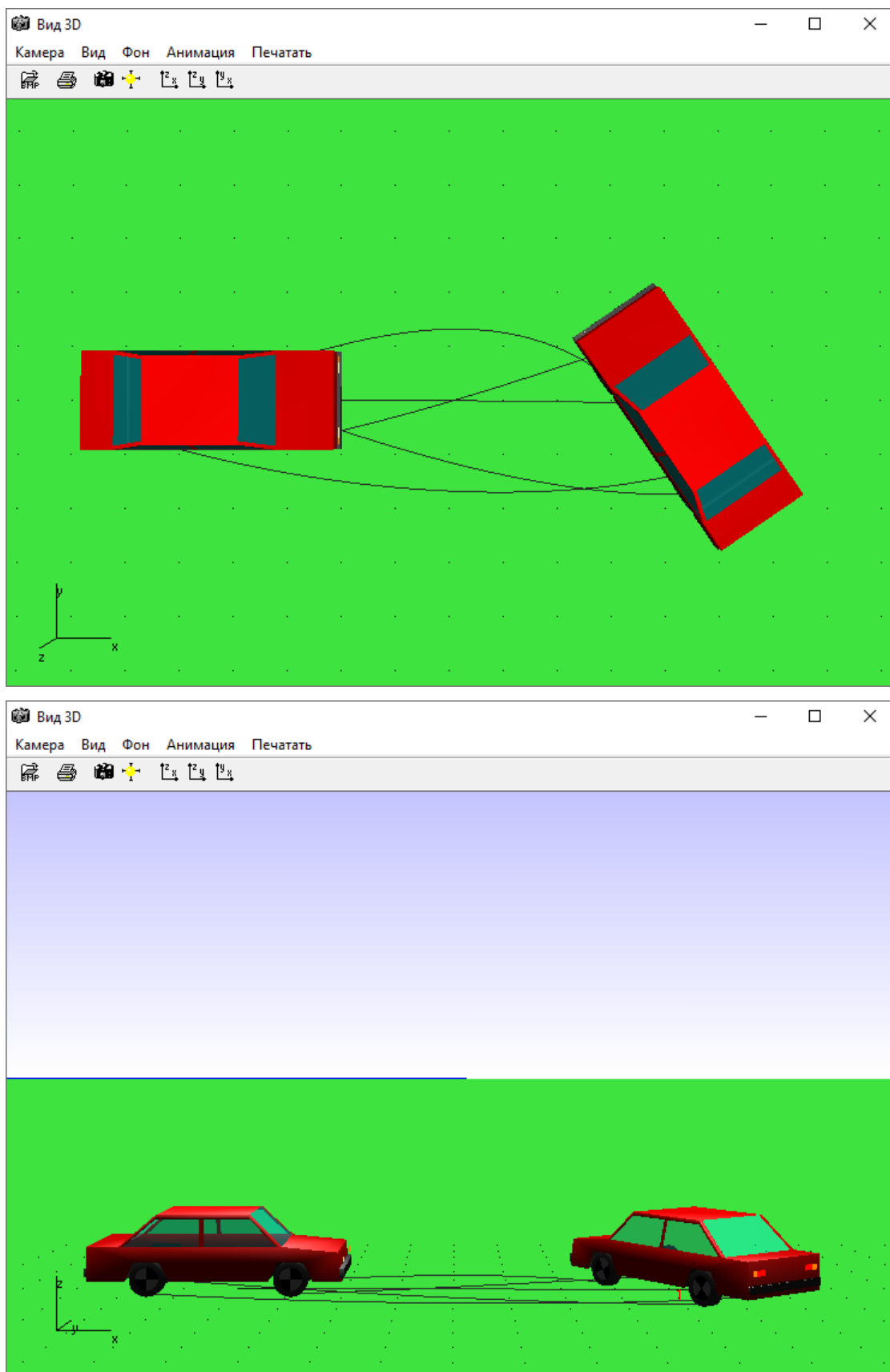


Рисунок 5.12 – Анімація результатів дослідження стійкості руху автомобіля Skoda Octavia при екстремому гальмуванні

Тепер перейдемо до розгляду можливості вирішення поставленої вище задачі за допомогою математичних моделей п. 3.4 у середовищі Mathcad. На рисунку 5.13 подано результат формування вихідних даних для моделювання руху Skoda Octavia при екстремому гальмуванні.

Mathcad - [Model for Skoda.xmcd]

Файл Правка Вид Вставка Формат Инструменты Символьные операции Окно Справка

Normal Arial 10 B I U x² x₂ Мой веб-узел Go

$$\begin{aligned}
 m &:= 1305 & I &:= 1952.6 & f_i &:= 0.8 & L &:= 2.58 & B &:= 1.54 \\
 x_{c0} &:= 0 & y_{c0} &:= 0 \\
 x1_0 &:= 1.08 & x1_0 &= 1.08 \\
 y1_0 &:= \frac{B}{2} & y1_0 &= 0.77 \\
 x2_0 &:= x1_0 & y2_0 &:= -y1_0 & x2_0 &= 1.08 & y2_0 &= -0.77 \\
 x3_0 &:= x2_0 - L & y3_0 &:= y2_0 & x3_0 &= -1.5 & y3_0 &= -0.77 \\
 x4_0 &:= x3_0 & y4_0 &:= y1_0 & x4_0 &= -1.5 & y4_0 &= 0.77 \\
 vx_0 &:= \frac{40}{3.6} & vx_0 &= 11.111 & vy_0 &:= 0 \\
 w_0 &:= 2.5 & \gamma_0 &:= 0 & a_{cx_0} &:= 0 & a_{cy_0} &:= 0 & \varepsilon_0 &:= 0 \\
 t &:= 0 & dt &:= 0.001 \\
 R1 &:= \sqrt{(x1_0)^2 + (y1_0)^2} & R1 &= 1.326 & R2 &:= \sqrt{(x4_0)^2 + (y4_0)^2} & R2 &= 1.686 \\
 a1 &:= \operatorname{asin}\left(\frac{y1_0}{R1}\right) & a1 &= 0.619 & a1 \cdot \frac{180}{\pi} &= 35.487 & a2 &:= -a1 & a2 &= -0.619 \\
 & & & & & & a2 \cdot \frac{180}{\pi} &= -35.487 \\
 a3 &:= \pi + \operatorname{asin}\left(\frac{y4_0}{R2}\right) & a3 &= 3.616 & a3 \cdot \frac{180}{\pi} &= 207.173 \\
 a4 &:= \pi - \operatorname{asin}\left(\frac{y4_0}{R2}\right) & a4 &= 2.667 & a4 \cdot \frac{180}{\pi} &= 152.827 & & & & +
 \end{aligned}$$

Рисунок 5.13 – Формування вихідних даних у середовищі Mathcad для моделювання руху Skoda Octavia при екстремому гальмуванні

Як видно з рис. 5.13, встановлено початкове значення часу $t = 0$, крок інтегрування за часом $dt = 0.001$ с. Значення прискорень центра тяжіння ТЗ вздовж координатних осей x , y та кутове прискорення навколо осі z в початковий момент часу невідомі, тому їх значення прийняті рівними нулю: $acsx_0 = 0$, $acsy_0 = 0$, $\varepsilon_0 = 0$. Колеса автомобіля позначені так: 1 – переднє ліве, 2 – переднє праве, 3 – заднє праве, 4 – заднє ліве. На основі даних таблиці з параметрами автомобіля (див. рис. 5.10) визначені початкові координати його коліс: $x1_0 = 1.08$ м, $y1_0 = 0.77$ м, $x2_0 = 1.08$ м, $y2_0 = -0.77$ м, $x3_0 = -1.5$ м, $y3_0 = -0.77$ м, $x4_0 = -1.5$ м, $y4_0 = 0.77$ м. Також встановлені довжини та кути з віссю x радіус-векторів усіх коліс. Для передніх коліс $R1 = 1.326$ м, для задніх $R2 = 1.686$ м. Кути радіус-векторів усіх коліс з віссю x : $a1 = 0.619$ рад (35.487°), $a2 = -0.619$ рад (-35.487°), $a3 = 3.616$ рад (207.173°), $a4 = 2.667$ рад (152.827°).

Рух ТЗ у площині визначається другим законом Ньютона у формі диференціальних рівнянь другого порядку. Ці рівняння були отримані у п. 3.4.1 та позначені в даній дисертаційній роботі як (3.25). Два перших рівняння в системі (3.25) описують рух центра тяжіння автомобіля відносно осей x та y , а третє – обертання автомобіля навколо його центра тяжіння (вісь z).

Обчислювальний цикл з визначення координат центра тяжіння автомобіля та його курсового кута на основі диференціальних рівнянь руху (3.25) організовується відповідно даних рисунка 5.14. Крок зміни часу в цьому циклі складає 0.001 секунди в інтервалі від 0 до 1.485 секунди (аналогічно обчислювальному процесу в програмі PC-Crash, див. рис 5.11).

Всередині циклу, на i -му кроці, значення прискорень та швидкостей ТЗ, координати його коліс приймаються з попереднього ($i-1$) кроку для розрахунку положення центра тяжіння та курсового кута на поточному кроці шляхом аналітичного інтегрування диференціальних рівнянь руху. Це потрібно для визначення напрямку руху коліс ТЗ та напрямку прикладання до них векторів сил зчеплення з дорогою. Запізнення визначення напрямку сил зчеплення у

часі в такому алгоритмі на величину кроку інтегрування компенсується малою величиною цього кроку.

Mathcad - [Model for Skoda.xmcd]

Файл Правка Вид Вставка Формат Инструменты Символьные операции Окно Справка

Normal Arial 10 B I U x^2 x_2 Мой веб-узел Go

$$i := 1..1485$$

$$асх_i := асх_{i-1} \quad асу_i := асу_{i-1} \quad \epsilon_i := \epsilon_{i-1}$$

$$vx_i := vx_{i-1} \quad vy_i := vy_{i-1} \quad w_i := w_{i-1}$$

$$x1_i := x1_{i-1} \quad y1_i := y1_{i-1} \quad x2_i := x2_{i-1} \quad y2_i := y2_{i-1}$$

$$x3_i := x3_{i-1} \quad y3_i := y3_{i-1} \quad x4_i := x4_{i-1} \quad y4_i := y4_{i-1}$$

$$xc_i := xc_{i-1} + vx_i \cdot dt + \frac{асх_i \cdot dt^2}{2} \quad yc_i := yc_{i-1} + vy_i \cdot dt + \frac{асу_i \cdot dt^2}{2} \quad \gamma_i := \gamma_{i-1} + w_i \cdot dt + \frac{\epsilon_i \cdot dt^2}{2}$$

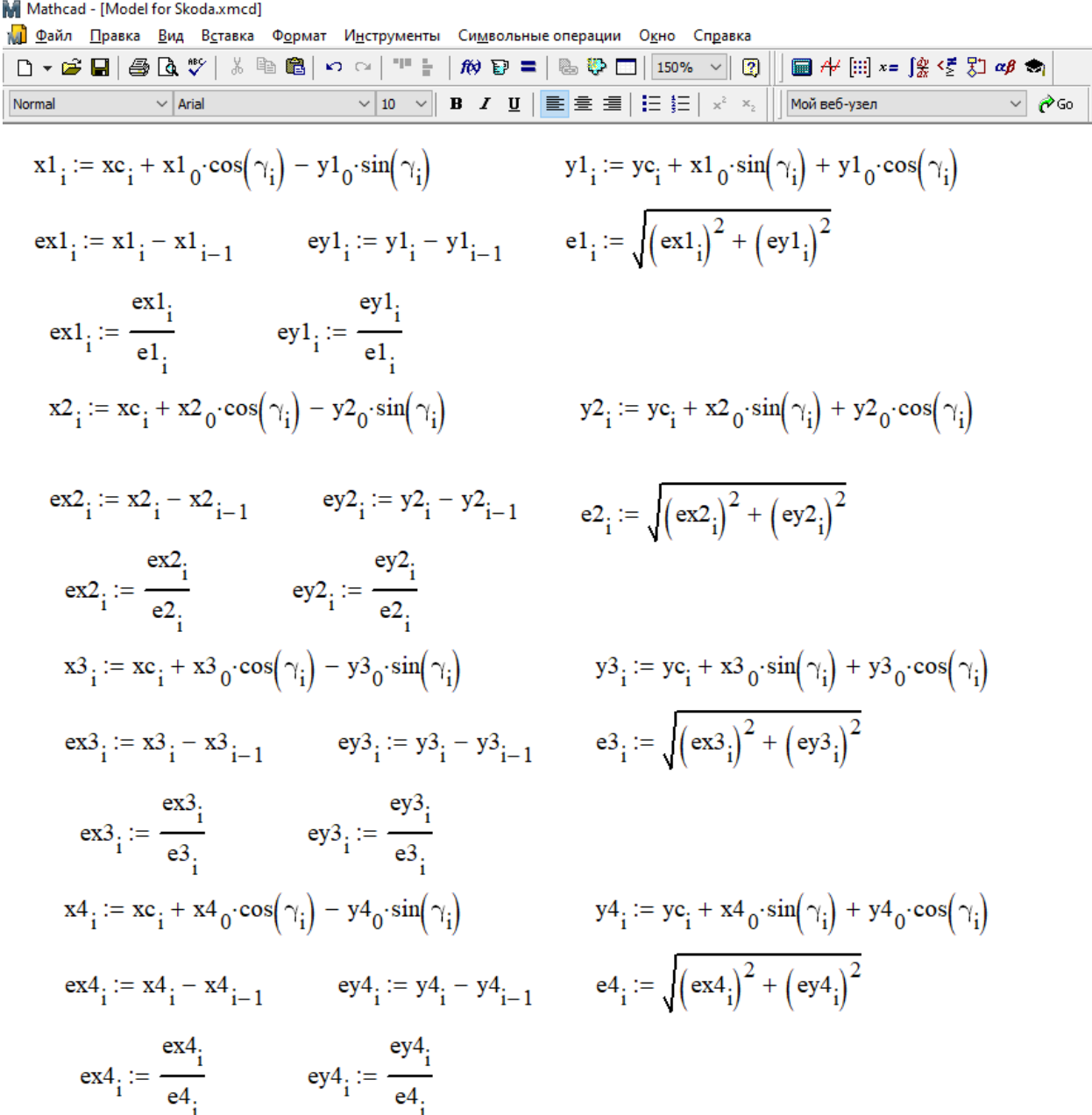
Рисунок 5.14 – Організація розрахункового циклу

В подальшому, як показано на рис. 5.15, на основі значень поточного положення центра тяжіння ТЗ та його курсового кута, шляхом порівняння глобальної системи координат та системи координат ТЗ, визначаються поточні координати кожного колеса автомобіля та одиничні вектори (орти, як це прийнято називати в аналітичній геометрії) напрямку руху кожного колеса ТЗ (сили зчеплення прикладаються у протилежному напрямку до напрямку руху кожного колеса ТЗ).

Величину сили зчеплення коліс автомобіля з дорогою було визначено з урахуванням розміщення його центру ваги та припущення, що коефіцієнт зчеплення шин з дорогою розподілений між колесами ТЗ рівномірно.

При реальному розрахунку експерт може прийняти інші співвідношення (наприклад, визначити коефіцієнт зчеплення для кожного колеса окремо за допомогою нейро-нечіткої моделі, поданої у п. 3.2). Проекції сил зчеплення на

кожному колесі на осі глобальної системи координат визначаються як добуток величини вказаної сили на компоненти ортів напрямку руху колеса зі знаком «мінус».



Mathcad - [Model for Skoda.xmcd]

Файл Правка Вид Вставка Формат Інструменти Символьні операції Одно Справка

Normal Arial 10 B I U x² x₂ Мой веб-узел Go

$$x1_i := xc_i + x1_0 \cdot \cos(\gamma_i) - y1_0 \cdot \sin(\gamma_i) \quad y1_i := yc_i + x1_0 \cdot \sin(\gamma_i) + y1_0 \cdot \cos(\gamma_i)$$

$$ex1_i := x1_i - x1_{i-1} \quad ey1_i := y1_i - y1_{i-1} \quad e1_i := \sqrt{(ex1_i)^2 + (ey1_i)^2}$$

$$ex1_i := \frac{ex1_i}{e1_i} \quad ey1_i := \frac{ey1_i}{e1_i}$$

$$x2_i := xc_i + x2_0 \cdot \cos(\gamma_i) - y2_0 \cdot \sin(\gamma_i) \quad y2_i := yc_i + x2_0 \cdot \sin(\gamma_i) + y2_0 \cdot \cos(\gamma_i)$$

$$ex2_i := x2_i - x2_{i-1} \quad ey2_i := y2_i - y2_{i-1} \quad e2_i := \sqrt{(ex2_i)^2 + (ey2_i)^2}$$

$$ex2_i := \frac{ex2_i}{e2_i} \quad ey2_i := \frac{ey2_i}{e2_i}$$

$$x3_i := xc_i + x3_0 \cdot \cos(\gamma_i) - y3_0 \cdot \sin(\gamma_i) \quad y3_i := yc_i + x3_0 \cdot \sin(\gamma_i) + y3_0 \cdot \cos(\gamma_i)$$

$$ex3_i := x3_i - x3_{i-1} \quad ey3_i := y3_i - y3_{i-1} \quad e3_i := \sqrt{(ex3_i)^2 + (ey3_i)^2}$$

$$ex3_i := \frac{ex3_i}{e3_i} \quad ey3_i := \frac{ey3_i}{e3_i}$$

$$x4_i := xc_i + x4_0 \cdot \cos(\gamma_i) - y4_0 \cdot \sin(\gamma_i) \quad y4_i := yc_i + x4_0 \cdot \sin(\gamma_i) + y4_0 \cdot \cos(\gamma_i)$$

$$ex4_i := x4_i - x4_{i-1} \quad ey4_i := y4_i - y4_{i-1} \quad e4_i := \sqrt{(ex4_i)^2 + (ey4_i)^2}$$

$$ex4_i := \frac{ex4_i}{e4_i} \quad ey4_i := \frac{ey4_i}{e4_i}$$

Рисунок 5.15 – Визначення поточних координат кожного колеса

Після цього, як показано на рисунку 5.16, проекції усіх сил на осі координат додаються. Момент цих сил відносно центра тяжіння визначається як векторний добуток сил зчеплення на радіус-вектор кожного колеса.

Mathcad - [Model for Skoda.xmcd]

Файл Правка Вид Вставка Формат Инструменты Символьные операции Окно Справка

Normal Arial 10 B I U x² x₂ Мой веб-узел Go

$$F_{1_i} := \frac{9.8 \cdot m \cdot f_i \cdot \left(\frac{L - x_{1_0}}{L} \right)}{2} \quad Fx_{1_i} := -ex_{1_i} \cdot F_{1_i} \quad Fy_{1_i} := -ey_{1_i} \cdot F_{1_i}$$

$$F_{2_i} := \frac{9.8 \cdot m \cdot f_i \cdot \left(\frac{L - x_{1_0}}{L} \right)}{2} \quad Fx_{2_i} := -ex_{2_i} \cdot F_{2_i} \quad Fy_{2_i} := -ey_{2_i} \cdot F_{2_i}$$

$$F_{3_i} := \frac{9.8 \cdot m \cdot f_i - F_{1_i} - F_{2_i}}{2} \quad Fx_{3_i} := -ex_{3_i} \cdot F_{3_i} \quad Fy_{3_i} := -ey_{3_i} \cdot F_{3_i}$$

$$F_{4_i} := \frac{9.8 \cdot m \cdot f_i - F_{1_i} - F_{2_i}}{2} \quad Fx_{4_i} := -ex_{4_i} \cdot F_{4_i} \quad Fy_{4_i} := -ey_{4_i} \cdot F_{4_i}$$

$$SFx_i := Fx_{1_i} + Fx_{2_i} + Fx_{3_i} + Fx_{4_i} \quad SFy_i := Fy_{1_i} + Fy_{2_i} + Fy_{3_i} + Fy_{4_i} \quad MF_i := 0$$

$$MF_i := MF_i + R1 \cdot \cos(\gamma_i + a1) \cdot Fy_{1_i} - R1 \cdot \sin(\gamma_i + a1) \cdot Fx_{1_i}$$

$$MF_i := MF_i + R1 \cdot \cos(\gamma_i + a2) \cdot Fy_{2_i} - R1 \cdot \sin(\gamma_i + a2) \cdot Fx_{2_i}$$

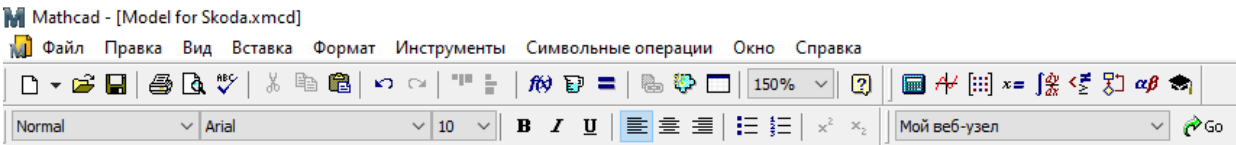
$$MF_i := MF_i + R2 \cdot \cos(\gamma_i + a3) \cdot Fy_{3_i} - R2 \cdot \sin(\gamma_i + a3) \cdot Fx_{3_i}$$

$$MF_i := MF_i + R2 \cdot \cos(\gamma_i + a4) \cdot Fy_{4_i} - R2 \cdot \sin(\gamma_i + a4) \cdot Fx_{4_i}$$

Рисунок 5.16 – Визначення моменту сил, що діють на ТЗ, відносно його центра тяжіння

Реальне прискорення (сповільнення) центра тяжіння автомобіля та його кутове прискорення (сповільнення) на поточному кроці визначається на основі другого закону Ньютона. На основі цих даних обчислюються значення реальних швидкостей центра тяжіння в проекції на осі координат та швидкість обертання автомобіля, а потім (на основі них) реальні координати центра тяжіння та курсового кута автомобіля на поточному кроці. Отримані значення вважаємо реальними оскільки для визначення напрямку сил зчеплення на

кожному колесі ці значення приймалися із попереднього кроку інтегрування. Процедура визначення вищезгаданих величин показана на рисунку 5.17.



Mathcad - [Model for Skoda.xmcd]

Файл Правка Вид Вставка Формат Инструменты Символьные операции Окно Справка

Normal Arial 10 B I U x² x₂ Мой веб-узел Go

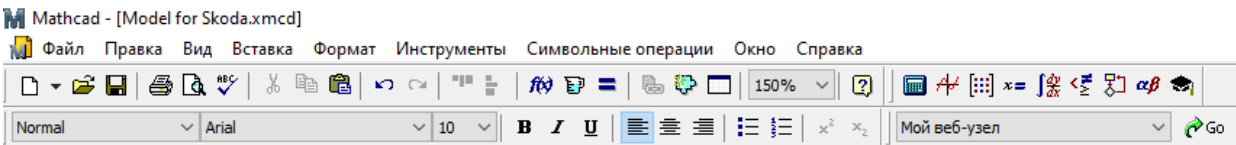
$$acx_i := \frac{SFx_i}{m} \quad acy_i := \frac{SFy_i}{m} \quad \epsilon_i := \frac{MF_i}{I}$$

$$vx_i := vx_{i-1} + acx_i \cdot dt \quad vy_i := vy_{i-1} + acy_i \cdot dt \quad w_i := w_{i-1} + \epsilon_i \cdot dt$$

$$xc_i := xc_{i-1} + vx_i \cdot dt + \frac{acx_i \cdot dt^2}{2} \quad yc_i := yc_{i-1} + vy_i \cdot dt + \frac{acy_i \cdot dt^2}{2} \quad \gamma_i := \gamma_{i-1} + w_i \cdot dt + \frac{\epsilon_i \cdot dt^2}{2}$$

Рисунок 5.17 – Визначення прискорень, швидкостей, координат центра тяжіння ТЗ та його курсового кута

Визначення положення коліс на поточному кроці виконувалось шляхом послідовного обчислення виразів, поданих на рисунку 5.18, які закінчують обчислювальний цикл інтегрування.



Mathcad - [Model for Skoda.xmcd]

Файл Правка Вид Вставка Формат Инструменты Символьные операции Окно Справка

Normal Arial 10 B I U x² x₂ Мой веб-узел Go

$$x1_i := xc_i + x1_0 \cdot \cos(\gamma_i) - y1_0 \cdot \sin(\gamma_i) \quad y1_i := yc_i + x1_0 \cdot \sin(\gamma_i) + y1_0 \cdot \cos(\gamma_i)$$

$$x2_i := xc_i + x2_0 \cdot \cos(\gamma_i) - y2_0 \cdot \sin(\gamma_i) \quad y2_i := yc_i + x2_0 \cdot \sin(\gamma_i) + y2_0 \cdot \cos(\gamma_i)$$

$$x3_i := xc_i + x3_0 \cdot \cos(\gamma_i) - y3_0 \cdot \sin(\gamma_i) \quad y3_i := yc_i + x3_0 \cdot \sin(\gamma_i) + y3_0 \cdot \cos(\gamma_i)$$

$$x4_i := xc_i + x4_0 \cdot \cos(\gamma_i) - y4_0 \cdot \sin(\gamma_i) \quad y4_i := yc_i + x4_0 \cdot \sin(\gamma_i) + y4_0 \cdot \cos(\gamma_i)$$

Рисунок 5.18 – Визначення реального положення коліс ТЗ на поточному кроці інтегрування

В результаті інтегрування, виконаного в середовищі Mathcad, отримуємо таблицю даних, яка містить 1485 рядків, а кількість стовбців відповідає кількості обчислених величин з нижнім індексом i . Результат візуалізації цієї таблиці у вигляді розрахункового положення коліс ТЗ та його центра мас у різні моменти часу з координатною сіткою 2 м подано на рисунку 5.19 (де траєкторія центра мас показана помаранчевим пунктиром, лівого переднього колеса червона, правого переднього синя, правого заднього фіолетова, лівого заднього коричнева).

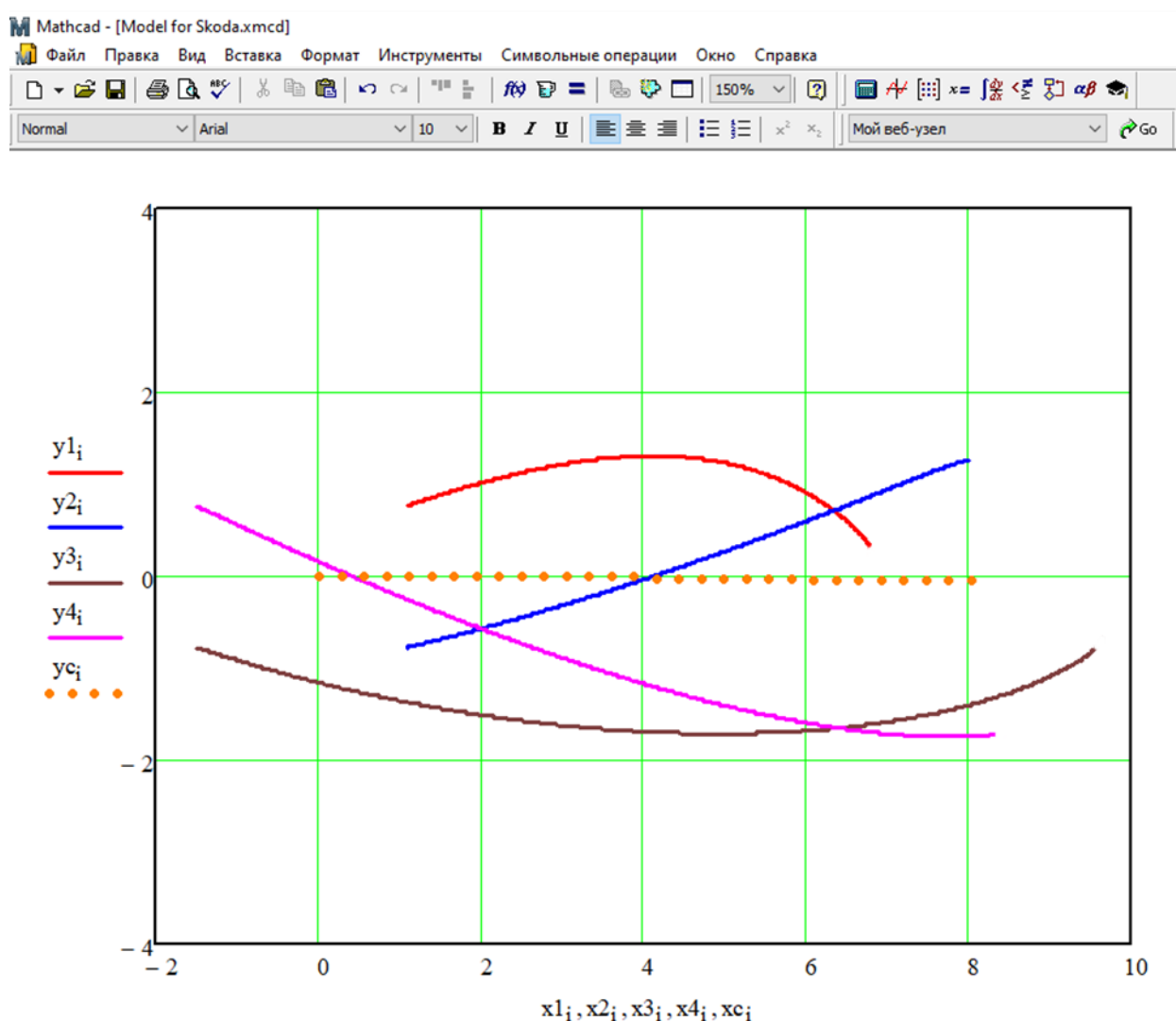


Рисунок 5.19 – Траєкторії коліс ТЗ за результатами моделювання

З метою порівняння отриманих результатів моделювання з рішенням цієї ж задачі в програмі PC-Crash було виконане масштабне суміщення отриманих траєкторій коліс ТЗ (рис. 5.11, рис. 5.19), результати якого представлені на рисунку 5.20.

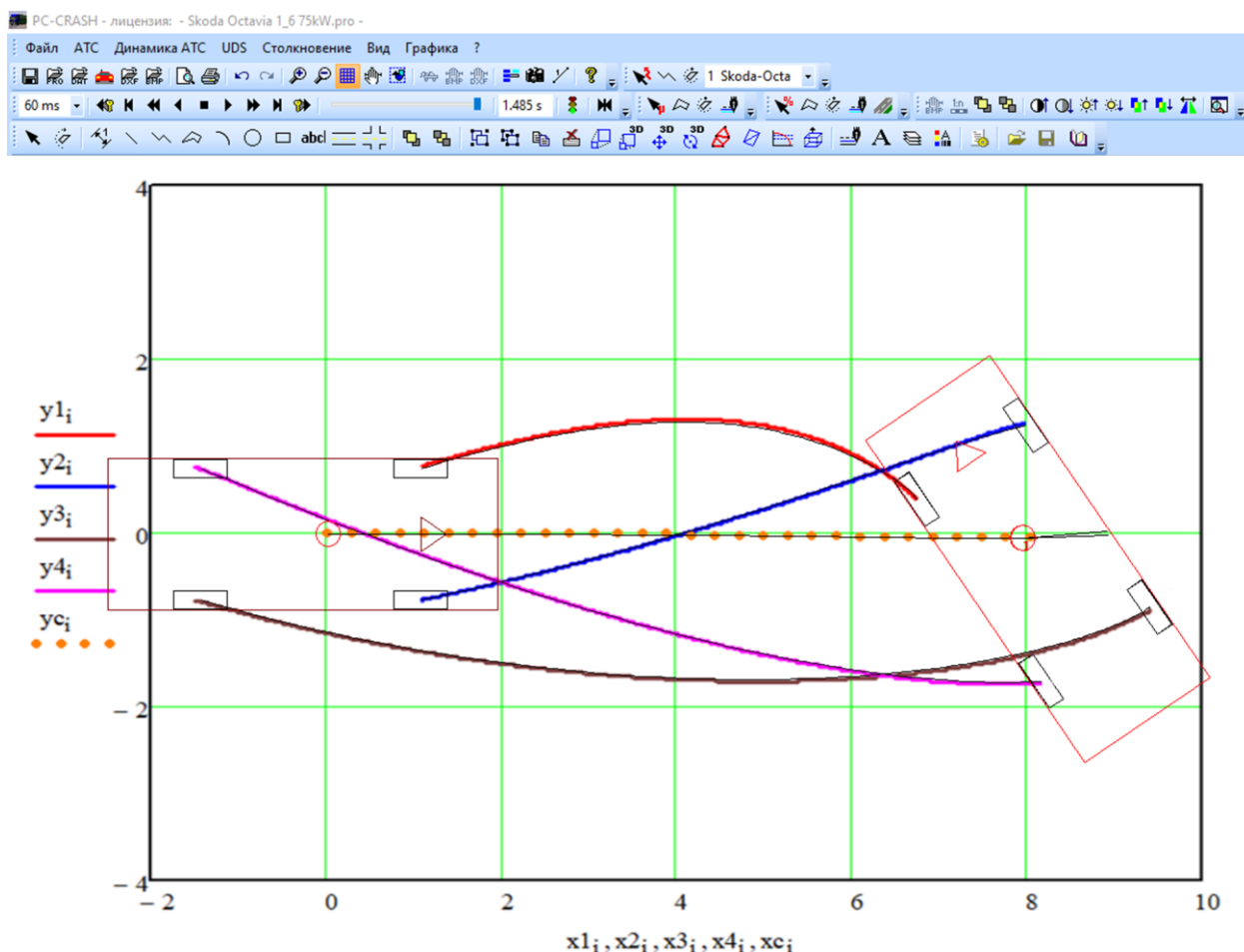


Рисунок 5.20 – Порівняння результатів моделювання з рішенням цієї ж задачі в програмі PC-Crash

Порівняння результатів показує, що траєкторії коліс, отримані різними способами, повністю збігаються.

Отже, наведений приклад розрахунку стійкості руху автомобіля Skoda Octavia при екстремому гальмуванні в програмі 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. Крім того, 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).

Висновки до розділу 5

1. Визначення ефективності гальмування автомобіля в процесі дослідження дорожньо-транспортної пригоди на основі розроблених у дисертаційному дослідженні моделей і алгоритмів 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 %.

2. Аналіз наїзду автомобіля на пішохода на основі розроблених моделей підвищення об'єктивності експертних досліджень дозволяє звужити діапазон можливих оцінок до 63%, що підвищує об'єктивність прийняття рішень за рахунок зменшення імовірності появи помилок I і II роду і може бути рекомендованим як альтернатива діючій методиці для використання в практиці АТЕ ДТП.

3. 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 конструкції та роботи 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.

4. Аналіз руху транспортних засобів при маневруванні дозволив встановити закони зміни мінімального часу маневрування від швидкості ТЗ за умов забезпечення стійкого руху. 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.

5. Виконане дослідження стійкості руху автомобіля при екстремому гальмуванні за допомогою розроблених математичних моделей 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).

Результати досліджень, наведені в розділі 5, опубліковані в роботах [15, 18-19, 21, 29, 42, 52, 57].

РОЗДІЛ 6

УЗАГАЛЬНЕНА МЕТОДИКА ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ КОНЦЕПЦІЇ ОЦІНЮВАННЯ ТА ЗМЕНШЕННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ В ЗАДАЧАХ АВТОТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД

6.1 Вплив вибору методики аналізу та реконструкції обставин ДТП на точність розрахунків та категоричність висновків експерта

На основі теоретичних досліджень, виконаних у розділі 2 даної дисертаційної роботи, задачу аналізу та реконструкції обставин ДТП можна представити так.

Нехай задана сукупність можливих варіантів виконання певної АТЕ ДТП X : $X = \{x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\}$. Кожний варіант описується множиною показників оцінення якості Y : $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_m\}$. Між кожним елементом сукупності X і кожним елементом множини Y існує нечітке відношення, яке позначається як x_i чи μ_{ij} . Тобто, μ_{ij} є показником міри відповідності i -го варіанта АТЕ ДТП вимогам за j -м показником ($\mu_{ij} \in [0,1]; i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$). Якщо узяти разом всі нечіткі відношення x_i 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 тобто

$$x^* = opt(X, Y, R, M), \quad (6.1)$$

де M – модель рішення задачі, обрана ОПР для використання в певному випадку провадження АТЕ ДТП.

Залежно від використовуваної моделі M результати вирішення поставленої задачі можуть відрізнятися навіть при однакових початкових даних. Таким

чином, якість процесу напрацювання рішень залежить від повноти обліку усіх параметрів, які чинять вплив на апотеози прийнятих рішень. Позбавитись невизначеності можна повністю чи частково такими шляхами: набуттям інформації, якої не вистачає або поглибленим вивченням наявної інформації.

Аналіз літературних джерел з експертизи ДТП [83-89, 137-159] дозволяє зробити висновок, що під час пошуку розв'язання задачі (6.1) можуть використовуватись шість груп моделей: математичні, імітаційні, інформаційні, ситуаційні, лінгвістичні та фізичні. Якщо провести ранжування цих груп моделей за властивостями стійкості, складності, повноти, абстрактності та точності (рис. 6.1), то можна побачити, що в міру зміни мови опису об'єкта від математичної до лінгвістичної відбувається зростання стійкості, складності та повноти і спадання точності та абстрактності. При цьому слід пам'ятати, що границі між різними методами побудови моделей динамічні та умовні.

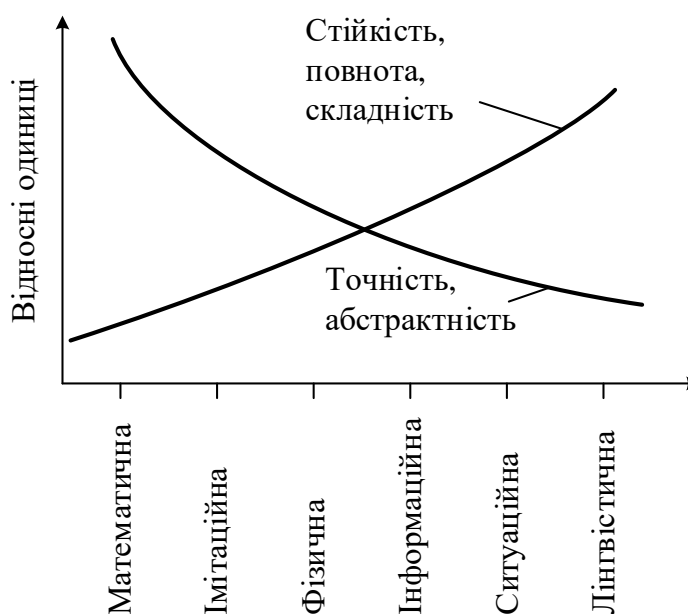


Рисунок 6.1 – Графік зміни властивостей моделі залежно від мови опису

Надійність і точність (однозначність) результатів експертизи ДТП є важливим фактором, який визначає категоричність висновків експерта-автотехніка та впливає на рішення про ступінь винності учасників пригоди, що

приймається судом. Сучасна АТЕ потребує застосування методик і технологій, які гарантують не тільки потрібну точність виконуваних обчислень, але й дають можливість всебічно вивчити механізм ДТП. В США та країнах ЄС автотехнічне дослідження із використанням спеціалізованого комп'ютерного забезпечення є стандартним процесом аналізу та візуалізації механізму ДТП, оскільки вони сприймаються як комп'ютеризовані версії відомих законів механіки, а також фундаментальних досліджень в галузі механіки удару та динаміки автомобілів. Такі програми зазвичай не потребують апробації чи сертифікації, оскільки спеціаліст з АТЕ несе повну відповідальність за науковість та неупередженість експертних висновків, а отже сам обирає методики для дослідження.

Загальноприйняті методики аналізу і реконструкції обставин ДТП, які використовують в світовій практиці, базуються на математичних моделях, що характеризують два основних процеси, які відбуваються з автомобілями в аварійних ситуаціях – процес удару та процес руху [80, 81, 89]. Обидва процеси описують моделями, які побудовані на науковій основі та базуються на використанні відомих законів механіки, а також враховують результати відомих експериментальних даних. Для забезпечення певного рівня точності розрахунків та категоричності висновків експерта потрібно, щоб одержані таким шляхом математичні моделі теж були наукові. Науковість застосовуваних моделей можна оцінити шляхом використання поняття інтерполяційної та екстраполяційної моделі.

Постановку задачі інтерполяції можна подати так.

Нехай функція $y = f(x)$ задана таблицею: $y_0 = f(x_0)$, $y_1 = f(x_1)$, ..., $y_n = f(x_n)$. Необхідно знайти многочлен $P(x) = P_n(x)$ ступеня не вище n , значення якого в точках x_i ($i = 0, 1, 2, \dots, n$) співпадають зі значеннями даної функції, тобто $P(x_i) = y_i$.

Геометрично це означає, що необхідно знайти алгебраїчну криву виду $y = a_0x^n + a_1x^{n-1} + \dots + a_n$, яка проходить через задану систему точок

$M_i(x_i, y_i)$, $i = 0, 1, 2, \dots, n$ (рис. 6.2). Многочлен $P(x)$ називається інтерполяційним многочленом. Точки x_i ($i = 0, 1, 2, \dots, n$) називаються вузлами інтерполяції.

Доведено [243, 247, 261], що дана постановка задачі інтерполяції завжди має єдине рішення. Інтерполяційні формули звичайно використовують під час пошуку невідомих значень $f(x)$ для перехідних значень аргументу. В таких випадках розрізняють інтерполяцію, коли x знаходиться між x_0 і x_n , та екстраполяцію, коли x знаходиться поза відрізком $[x_0, x_n]$. В процесі оцінювання похибки результатів потрібно враховувати не тільки похибку методу інтерполяції, а і похибку заокруглення результатів розрахунку.

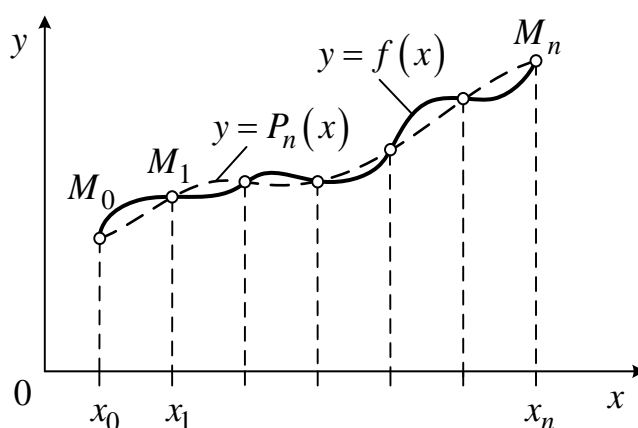


Рисунок 6.2 – Геометричний зміст інтерполяції

Таким чином, інтервал $[x_0, x_n]$ складає область визначення, на якій будується інтерполяційна математична модель. Наприклад, експериментальне визначення значень гальмівного шляху спорядженого автомобіля та при завантаженні його на 25%, 50%, 75% і 100% при певних дорожніх умовах дозволяє з достатньою точністю визначити значення гальмівного шляху при інших значеннях завантаження автомобіля в межах області визначення (0-100%). Відомо, що значення гальмівного шляху збільшується при рості завантаження автомобіля, однак це не означає, що значення гальмівного

шляху буде прямувати до нескінченності при деякому завантаженні понад 100% та те, що загальмований автомобіль не зможе зупинитися.

Математична модель, на основі якої визначають величину реакції об'єкта за межами області визначення $[x_0, x_n]$, є екстраполяційною тобто призначеною для прогнозування величини реакції на базі деякої гіпотези, точність результатів якої можна знайти статистично при великому числі випробувань, а точність результату в певному випробуванні невідома. Цей висновок підтверджується відомими працями [189, 217] та самими розробниками програми Crash [188], в якій в моделі удару використовується гіпотеза тристоронньої уніфікованої жорсткості, що призводить в окремих випадках до понад 40% похибку встановлення швидкості автомобіля. Якщо використати цю ж гіпотезу в сполученні з гіпотезою Кудліха-Слібара можна отримати множину можливих рішень, коли однаковий рух автомобілів після удару може визначатися широким спектром сполучення можливих параметрів їх руху в момент зіткнення [217].

Екстраполяційний та імовірнісний характер моделей не означає, що вони взагалі не можуть застосовуватись в САТЕ. Вони можуть успішно застосовуватись як джерела версій ДТП. А для подання неупередженого та однозначного висновку по певній ДТП на основі використання екстраполяційних моделей спеціалісту потрібно довести неможливість інших варіантів розвитку подій без посилення на гіпотези, на основі яких побудовані ці моделі.

6.2 Особливості оцінювання інформаційної невизначеності методичного забезпечення автотехнічної експертизи ДТП

В процесі створення методичного забезпечення концепції дисертаційного дослідження були синтезовані детерміновані, імовірнісні, регресійні та нейронні 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.

Оцінювання невизначеності при експертизі ДТП можливе на основі застосування детермінованих або імовірнісних методів [274-280], причому найбільш універсальним для застосування, як слідує з результатів розділу 1 даної роботи, є детермінований метод екстремальних значень [173, 218, 280], а найбільш точним є імовірнісний метод опису стохастичних процесів [291].

Базуючись на теоретичних розробках, представлених у розділі 2, оцінювання інформаційної невизначеності методологічного забезпечення автотехнічної експертизи ДТП можна виконувати за показниками узагальненої інформаційної ентропії, яка є критерієм оцінювання невизначеності втрат від прийнятого рішення

$$H_y(y) = \int_{\Lambda} \beta(\lambda / y) \log_b \beta(\lambda / y) d\lambda, \quad (6.2)$$

де Λ – система узагальнюючих функцій переваг (втрат) при прийнятті рішення;

b – основа логарифму;

y – рішення;

λ – функція невизначених параметрів задачі.

В даному випадку слід пам'ятати, що ентропія не є власною властивістю прийнятої системи автотехнічної експертизи ДТП, вона залежить від способу опису цієї системи.

Ентропія параметрів, які встановлюються при експертизі ДТП, пов'язана з інформаційною ентропією [381]. При цьому порядок встановлення ентропії параметрів, які мають стохастичну природу невизначеності, відрізняється від порядку для параметрів, у яких природа невизначеності нечітка.

Для дискретного статистичного розподілу імовірностей P_k інформаційної ентропії справедливо

$$H_{yd}^S = - \sum_{k=1}^n P_k \log_b P_k, \text{ при } \sum_{k=1}^n P_k = 1. \quad (6.3)$$

Для неперервної випадкової величини x , що має функцію розподілу $\beta(x) = f_x(x)$ інформаційна ентропія буде складати

$$H_{yn}^S = - \int_{\underline{x}}^{\bar{x}} \beta(x) \log_b \beta(x) dx, \text{ при } \int_{\underline{x}}^{\bar{x}} \beta(x) dx = 1. \quad (6.4)$$

Можливість визначення інформаційної ентропії нечітких величин забезпечується застосуванням методу перехресної ентропії, розробленого у 1997 році Р. Рубінштейном [382], оскільки в цьому випадку існує необхідність врахування двох різних розподілів: імовірності та можливості.

Таким чином, для нечіткого дискретного x , значення якого задається функцією належності $\mu(x)$ та імовірністю $p(x)$ ентропія буде складати

$$H_{yd}^N = - \sum_{l=1}^m p(x_l) \log_b \frac{\mu(x_l)}{\sum_{i=\underline{x}}^{\bar{x}} \mu(x_i)}. \quad (6.5)$$

Для нечіткої неперервної величини x , значення якої задається функцією належності $\mu(x)$ та функцією розподілу імовірностей $q(x)$ ентропія буде складати

$$H_{yn}^N = \int_{\underline{x}}^{\bar{x}} q(x) \log_b \left(\frac{\mu(x)}{\int_{\underline{x}}^{\bar{x}} \mu(x) dx} \right) dx. \quad (6.6)$$

Враховуючи властивість адитивності ентропії, загальна ентропія прийнятої системи автотехнічної експертизи ДТП складе

$$\sum H_S^{TA} = H_{yd}^S + H_{yn}^S + H_{yd}^N + H_{yn}^N. \quad (6.7)$$

Оскільки кількість інформації, яку відображає ентропія, залежить від вибору основи логарифму, для усунення цього недоліку доцільно застосувати процес нормалізації. Після його застосування ефективність прийнятої системи автотехнічної експертизи ДТП (нормалізована ентропія) складе

$$\eta(\sum H_S^{TA}) = \sum_{k=1}^n \frac{P(x_k) \log_b \frac{1}{P(x_k)}}{\log_b(n)} + \sum_{l=1}^m \frac{p(x_l) \log_b \frac{\sum_{i=x}^{\bar{x}} \mu(x_i)}{\mu(x_l)}}{\log_b(m)}. \quad (6.8)$$

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.

Для перевірки адекватності запропонованого підходу було здійснено порівняльний аналіз результатів розрахунку невизначеності зупинного шляху автомобіля (1.11) за формулами (6.2)-(6.8) з результатами дослідження, отриманими спеціалістами SAE Інтернешнл, Інституту судових експертиз в Кракові та науковцями Варшавського технологічного університету [280]. Підсумкові значення вихідних даних та порівнюваних параметрів представлені в таблицях 6.1 та 6.2.

Таблиця 6.1 Значення параметрів гальмування адаптовані для розрахунку

Параметр	Методи оцінювання невизначеності					
	Різниць		Екстремальних значень		Імовірнісні	
	$x_{(0)}$	Δx	x_{\min}	x_{\max}	\bar{x}	σ_x
$t_1 + t_2, \text{ c}$	1.0	0.2	0.8	1.2	1.0	0.067
$t_3, \text{ c}$	0.2	0.02	0.15	0.25	0.2	0.017
$V_0, \text{ м/с}$	25	1.0	24	26	25	0.333
φ	0.6	0.05	0.55	0.65	0.6	0.017

Таблиця 6.2 Порівняння невизначеності рішень під час оцінювання довжини зупинного шляху (м), отриманої різними методами

Метод	Похибка оцінювання		Можливий діапазон	
	ΔS_g	$\Delta S_g / S_g$	$S_{g \min}$	$S_{g \max}$
Екстремальних значень:				
аналітична модель (1.11)	13.53	0.185	59.40	86.45
прикладна програма Auto.PC3 ¹	12.70	0.179	58.30	83.80
прикладна програма ZL3DSYM ¹	12.64	0.178	58.36	83.64
прикладна програма PC-CRASH ¹	13.27	0.184	58.83	85.37
Різниць ²	13.49	0.187	58.66	85.63
Гаусса ^{2,3}	7.58	0.105	64.57	79.72
Опису стохастичних процесів ^{2,3}	7.50	0.104	64.59	79.61
Монте-Карло ²	11.03	0.153	61.07	83.13
Нормалізованої ентропії А ^{2,4,6}	9.08	0.126	63.02	81.18
Нормалізованої ентропії В ^{2,5,6}	6.85	0.095	65.25	78.95

1 – Для імітаційної математичної моделі;

2 – Для аналітичної математичної моделі (1.11);

3 – Рівень довіри 99,7% [308];

4 – Нормалізована ентропія А враховує стохастичну невизначеність;

5 – Нормалізована ентропія В враховує стохастичну та нечітку невизначеність;

6 – Запропонований метод.

Як видно з таблиці 6.2, застосування запропонованого методу нормалізованої ентропії А дозволяє досягти усереднених показників існуючих імовірнісних методів. Застосування запропонованого методу нормалізованої ентропії В показує, що врахування стохастичної та нечіткої невизначеності, дозволяє покращити результати на 20%, а порівняно з детермінованим підходом діапазон невизначеності звужується на 46-48%.

6.3 Концептуальні засади удосконалення технологій експертного аналізу обставин дорожньо-транспортних пригод

Специфіка ДТП визначає рівень складності встановлення причинно-наслідкових зв'язків між діями учасників дорожнього руху, причетних до аварійної ситуації, та їх наслідками. В таких ситуаціях при проведенні САТЕ необхідно враховувати велику кількість факторів, що забезпечують можливості експертного аналізу обставин ДТП, в тому числі використання сучасних інструментальних засобів отримання вихідних даних та спеціалізованого програмного забезпечення для їх обробки.

Процес експертного аналізу обставин ДТП (її причин, механізму та наслідків) складається з множини підпроцесів, пов'язаних з обміном та обробкою інформації за певними алгоритмами. Інформаційний простір експертного аналізу обставин ДТП складається з баз знань та навичок роботи з ними, об'єктів просторово-слідової інформації, інформації на природних носіях (речової інформації), інформаційного поля інструментальних засобів виконуваних досліджень.

На основі виконаних вище досліджень та аналізу відповідної технічної літератури [1-3, 80-89, 137-191] можна зробити висновок, що експертизі ДТП, як виду діяльності людини, що постійно розвивається, властиві такі тенденції:

- максимальна автоматизація процесу збору, обробки, зберігання та передачі даних з місця ДТП з використанням комп'ютерної техніки, фотограмметрії, технологій GPS, лазерного сканування; підвищення точності

первинних вимірювань на місці ДТП (в тому числі за рахунок участі в них експертів); зберігання отриманих даних у форматі *.dwg для розширення кола використання різного програмного забезпечення;

- підвищення точності та достовірності математичного моделювання процесів ДТП за рахунок застосування сучасних комп'ютерних засобів та програмних продуктів;

- використання енергетичних методів реконструкції ДТП, що базуються на складних просторових математичних моделях (в тому числі міцнісних та деформаційних), розроблених на основі методу кінцевих елементів;

- використання в дослідженнях результатів стендових і натурних краш-тестів, імовірнісних та нейро-нечітких оцінок зміни розрахункових параметрів руху учасників ДТП, забезпечення наочності висновків;

- алгоритмізації процесів експертного аналізу обставин ДТП (в тому числі раніше створених та удосконалюваних і доповнюваних по наш час).

Дані тенденції потребують підвищення кваліфікації експертів та їх переходу від інженерного рівня діяльності та використання методів розв'язування поставлених задач до наукового, що супроводжується збільшенням обсягів обробки інформації та освоєнням технологій експертного аналізу обставин ДТП з використанням сучасної інструментальної бази та програмного забезпечення.

На рисунках 6.3, 6.4 представлені структурні схеми процесу експертного аналізу обставин ДТП, які враховують використання сучасних досягнень в області інструментального, інформаційного та програмного забезпечення процедур їх дослідження.

Наведені структурні схеми відображають зміст етапів експертного аналізу обставин ДТП – підпроцесів отримання, обробки і подання інформації. Вони містять інноваційні для України елементи (позначені *) інформаційної обробки, моделювання та аналізу ДТП. На даний час в світі існує багато програм, які застосовуються для аналізу ДТП та дозволяють реалізувати відмічені інновації, але в Україні вони майже не використовуються, що обмежує можливості реалізації поданого алгоритму (рис. 6.3, рис. 6.4).

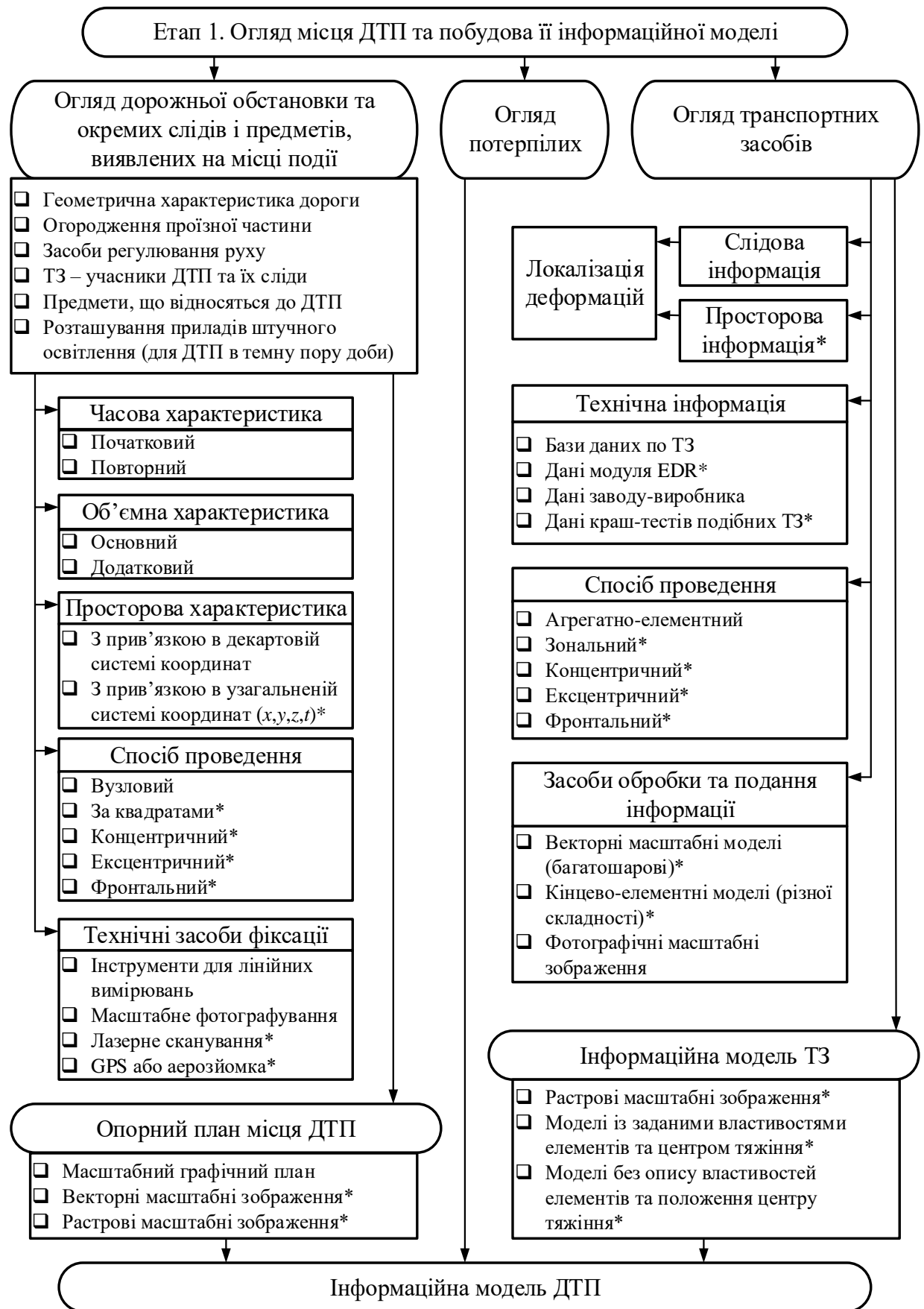


Рисунок 6.3 – Уточнена типова структура огляду місця ДТП та побудови її інформаційної моделі

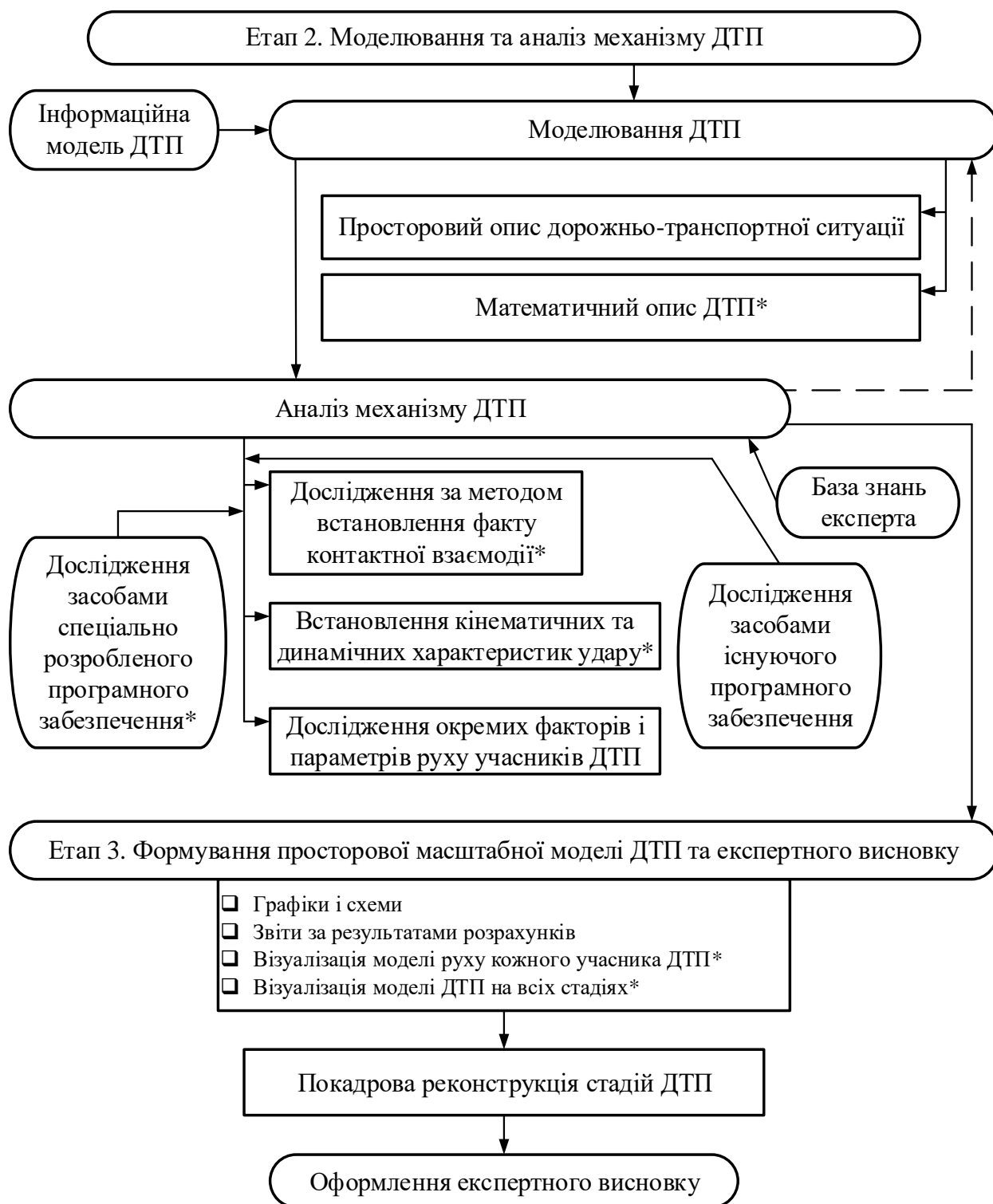


Рисунок 6.4 – Уточнена типова структура моделювання та аналізу ДТП, формування експертного висновку

Багатоманіття видів ДТП, складність та відсутність необхідних сформованих понять про кожен з них, необхідність в швидкій та якісній реакції на скоєні ДТП

з боку органів нагляду та дізнання, збереженість високого рівня необ'єктивності експертів в оціненні обстановки перед ДТП і прийнятих рішеннях, високий інформаційний об'єм експертно-аналітичної діяльності та недостатній рівень використання в ній комп'ютерного забезпечення призводить до необхідності постановки та вирішення завдань автоматизації досліджень в АТЕ ДТП, як засобу покращення суворості формалізації елементів його процесу, уніфікації використовуваного математичного апарату, програм та алгоритмів, майже повної автоматизації процедур.

За останні роки комп'ютерна техніка знайшла широке використання у виконанні низки експертних досліджень, які проводяться при розслідуванні найрізноманітніших злочинів. Безпосереднє застосування комп'ютерів в судовій експертизі здійснюється в таких напрямках: математизація окремих ланок експертного дослідження; дослідження речових доказів на основі повної автоматизації; створення діалогових систем. У САТЕ з'явилися методики комп'ютерного моделювання і дослідження механізму аварійних ситуацій, встановлення місця зіткнення ТЗ, оцінки ДТС тощо.

Один з перспективних напрямків покращення процедур виконання автотехнічних експертиз дорожньо-транспортних пригод пов'язаний з використанням електронно-обчислювальних машин. Метою цього напрямку є автоматизація експертних досліджень шляхом виконання певних етапів без участі експертів. Значимість автоматизації АТЕ ДТП визначається тим, що вона є базисом забезпечення стабільно високої якості експертиз аварійних ситуацій, підвищення продуктивності праці експертів та суттєвого скорочення строків виконання експертиз.

Під час розв'язування задач АТЕ дорожньо-транспортних пригод напрацювання рішень здійснюється в умовах неповноти інформації, а отже в умовах невизначеності, тому розробка концептуальних засад підвищення ефективності автотехнічних експертиз ДТП базувалась на використанні теорії нечітких множин та нейронних мереж (див. п. 2.4).

Комплексне використання спеціалізованого комп'ютерного забезпечення для встановлення механізму ДТП та автоматизованих систем доекспертного розрахунку і вимірювання початкових параметрів (реєстратори даних про події, які фіксують показники руху автомобілів до та після ДТП; комплекси лазерного сканування місця аварії; спеціальна цифрова апаратура) можна вважати набором модулів, який складається із сукупності стандартних модулів (див. п. 2.5). Кожний окремий модуль, що виконує свої функції, вносить вклад в досягнення загальної мети інтегральної системи АТЕ ДТП. Модульність інтегрованої системи є основою забезпечення якості виконання експертизи: спроможності до адаптації в різних умовах, забезпечення комплексності виконаних досліджень; підвищеної ефективності процесів та високої економічності процедур.

Подана концепція удосконалення технологій експертного аналізу обставин ДТП повинна 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 аварійних ситуацій з урахуванням можливостей автоматизації процесів фіксації вихідних характеристик скоєної ДТП на основі інформації з EDR-модулів автомобілів (середньострокова перспектива).

3. Розробка нових методів експертизи ДТП, запровадження інтегральної (комплексної інформаційної) системи автотехнічної експертизи ДТП та

системи багатокритеріального оцінювання якості варіанта її реалізації, запропонованих в розділі 2 даної дисертаційної роботи (довгострокова перспектива).

6.4 Обґрунтування сучасних засобів збору, обробки, збереження та передавання даних з місця дорожньо-транспортної пригоди

Об'єктивність оцінки дій учасників ДТП суттєво залежить від своєчасного виїзду експертів на місце події (несвоєчасність, як правило, призводить до втрати доказів), встановлених у ході огляду місця ДТП дійсних обставин події, точної характеристики дорожніх умов і отриманих на їх основі конкретних вихідних даних.

Виконані дослідження в рамках даної дисертаційної роботи та експертна практика діяльності відділень автотехнічних експертиз НДЕКЦ при УМВС України [1-3, 84, 168, 186, 196] показують, що більшість довідкових нормативно-технічних даних, використовуваних в сучасній практиці, мають суттєвий розкид рекомендованих значень, і дійсні (фактичні) значення досліджуваних параметрів можуть відчутно відрізнятися від довідкових (систематизованих).

Ефективним способом мінімізації імовірності експертної помилки і досягнення максимальної об'єктивності досліджень є використання приладів, які можуть оперативно отримувати потрібні для дослідження ДТП початкові дані безпосередньо на місці пригоди, та подальше використання отриманих даних при виконанні моделювання та дослідження механізму ДТП. Отже, виникає задача створення сучасної мобільної автотехнічної лабораторії, призначеної для збору, обробки, зберігання та передачі даних з місця автопригоди про ситуаційну картину ДТП, технічний стан транспортних засобів – учасників пригоди, дорожню обстановку. Такі мобільні лабораторії у наш час знайшли застосування при НДКЦ МВС України в різних регіонах.

Позитивний досвід роботи НДЕКЦ при УМВС України в Харківській області, а саме відділення автотехнічних експертиз та оцінювальної діяльності

щодо організації огляду місць ДТП став основою для розробки Державним науково-дослідним експертно-криміналістичним центром Міністерства внутрішніх справ України рекомендацій із застосування в практичній діяльності та комплектування мобільної автотехнічної лабораторії [170]. Згідно до затверджених рекомендацій, мобільна спеціалізована автотехнічна лабораторія може використовувати як основу легковий автомобіль (рис. 6.5) чи мікроавтобус (рис. 6.6) залежно від потреб.



Рисунок 6.5 – Спеціалізована автотехнічна лабораторія відділення автотехнічних експертиз НДЕКЦ при МВС України у Харківській області



Рисунок 6.6 – Пересувна лабораторія з проведення автотехнічної експертизи на місці ДТП НДЕКЦ при МВС України у Волинській області

Перелік обов'язкового обладнання, необхідного для комплектування спеціалізованої мобільної автотехнічної лабораторії такий [170]:

- електронний вимірювач відстані;
- цифровий прилад для контролю ефективності процесів гальмування ТЗ;
- масштабний стенд для контролю регулювання світла фар ТЗ;
- номерки, рулетки, спеціальні масштабні лінійки (з метою забезпечення якісної фіксації слідової інформації та провадження транспортно-трасологічних досліджень;
- технічні засоби для фіксації обставин ДТП та слідової інформації: відеокамера та цифрові фотоапарати;
- гідравлічні домкрати та комплект інструмента автослюсаря (для якісного аналізу технічного стану ТЗ);
- експертна майстерня (лабораторія) для якісного дослідження деталей ТЗ (з необхідним комплектом електроінструментів та обладнанням).

В інтересах розв'язування задачі покращення мобільної автотехнічної лабораторії дослідження дорожньо-транспортних пригод на місці пригоди пропонується на основі існуючого переліку обов'язкового обладнання, поданого вище, створити новий (табл. 6.3), який враховує запропоновані типові схеми експертного аналізу обставин ДТП (див. рис. 6.3, 6.4).

Рекомендований склад комплекту обладнання для мобільної лабораторії реконструкції ДТП (табл. 6.3) необхідно періодично переглядати з врахуванням потреб часу та розвитку науки, забезпечувати можливість проведення досліджень спеціально розробленими програмними засобами (наприклад, програма для встановлення показників якості зчеплення автомобільних шин з дорожнім покриттям [3], програма оцінювання дальності видимості дороги та об'єктів на ній в темну пору доби [2], програма комплексного оцінювання гальмових властивостей ТЗ в умовах експлуатації [19]).

Таблиця 6.3 – Рекомендований склад сукупності обладнання для пересувної лабораторії дослідження ДТП

Назва обладнання	Призначення	Марка	Виробник
1	2	3	4
Прилади для дослідження дорожніх умов			
Прилад для вимірювання коефіцієнтів зчеплення	Орієнтовна оцінка коефіцієнтів зчеплення колеса з різними видами опорних поверхонь	“PKC-КАДІ”	Україна
Електронний вимірювач відстані	Лінійні вимірювання	MD-21E	Польща
Рейка дорожня універсальна	Вимірювання геометричних параметрів елементів дорожнього полотна	КП-231С	Україна
Прилади для фіксації дорожньої обстановки			
Лазерний 3D сканер	Сканування місця ДТП, вимірювання та 3D-документування результатів	FARO Focus3D 120	США
Універсальна валіза експерта-криміналіста	Виявлення і збір на місці події речових доказів для подальших досліджень і проведення експертиз	UA-EXP-FK101	Україна
Набір для фото-відео зйомки	Фото-відео зйомка місця ДТП, речових доказів на місці події	3005	Україна
Рулетка вимірювальна	Лінійні вимірювання	Vogel	Німеччина

Продовження табл. 6.3

1	2	3	4
Прилади для технічного діагностування АТЗ			
Електронний прилад для контролю ефективності гальмування транспортних засобів	Вимірювання параметрів ефективності гальмування та стійкості АТЗ при гальмуванні	МАНА VZM-300 (AMX-520)	Німеччина (Польща)
Стенд для контролю регулювання світла фар транспортних засобів	Перевірка та фіксація технічного стану приладів освітлення	Bosch MLD 9	Німеччина
Багатокомпонентний електрохімічний газоаналізатор	Вимірювання температури газу і концентрації аналізованих компонентів	604EX14	Україна
Універсальний мультибрендовий діагностичний прилад	Діагностування електронних систем керування АТЗ	Launch X-431 PRO	Китай
Електронний модуль	Дешифрування даних, що зберігаються в пам'яті модуля EDR (подушок безпеки)	Bosch CDR Inerface Module	Німеччина
Засоби візуалізації та моделювання дорожньої обстановки			
Персональний комп'ютер	Обробка вихідної інформації та моделювання ДТП	Asus	Тайвань
Програмний продукт	Складання масштабних схем на місці ДТП	Crash Zone	США
Програмний продукт	Перетворення фотографій з місця ДТП у графічний рисунок (масштабну схему)	PC-Rect	Австрія

Продовження табл. 6.3

1	2	3	4
Програмний продукт	Обчислення параметрів руху ТЗ за типовими алгоритмами та складання проекту висновку	НАСТ	Казахстан
Програмний продукт	Реконструкція механізму ДТП. Обчислення параметрів зіткнення ТЗ та відновлення їх руху після зіткнення (до зупинки)	PC-Crash Carat	США Німеччина

Використання рекомендованого комплекту обладнання для мобільної лабораторії реконструкції ДТП створить передумови для підвищення якості та об'єктивності розслідування аварійних ситуацій та забезпечить реалізацію запропонованих удосконалень типових схем експертного аналізу обставин ДТП (рис. 6.3, 6.4).

В перспективі в Україні для забезпечення об'єктивності оцінки дій учасників ДТП буде запроваджено позитивний досвід США та Європи [204, 205], де інформація електронних систем керування, безпеки і комфорту транспортних засобів вже більше 15 років успішно використовується в цілях встановлення обставин дорожньо-транспортних пригод, а також все більша комп'ютеризація транспортних засобів, оснащення їх електронними системами, здатними вмішуватись в процес керування автомобілем, переконує в необхідності розвитку технологій використання записів електронних бортових систем під час розслідування дорожньо-транспортних пригод.

Сучасні автомобілі мають багато датчиків, які передають данні про різні показники функціонування ТЗ на автомобільний бортовий комп'ютер, який називають Electronic Control Modules (ECM). Інформація, яка поступає з сенсорів

і датчиків та обробляється ЕСМ, застосовується для забезпечення роботи алгоритмів функціонування підсистем автомобіля на різних режимах, наприклад: керування антиблокувальною системою гальм (ABS), керування системою подачі палива двигуна автомобіля, керування системою курсової стійкості (ESP), керування системою подушок безпеки на різних швидкостях руху ТЗ. Системи і підпрограми ЕСМ забезпечують запуск діагностування автомобіля, а також запис помилок, у разі їх виникнення при роботі систем автомобіля, роботу лампочок аварійної сигналізації на панелі приладів ТЗ.

ЕСМ з функцією EDR не здатна забезпечити великий обсяг даних за тривалий період. Спочатку EDR містили лише данні про швидкість руху ТЗ в момент ДТП. Сучасні EDR здатні зберігати данні про передаварійний стан роботи систем ТЗ, а також дані датчиків швидкості руху автомобіля в діапазоні 5-20 секунд до і після зіткнення.

Фіксований модулем EDR об'єм інформації (рис. 6.7), залежить від конструкції та комплектації транспортного засобу, але, зазвичай, містить такі групи даних (рис. 6.8): технічні дані, положення органів керування водія, дані по зіткненню [1, 36, 151, 158, 203-205]. Деякі види модулів EDR здійснюють неперервний запис даних, аж до зупинки запису в результаті ДТП, інші активують запис у визначених ситуаціях, які модуль розпізнає як зіткнення (наприклад, різке гальмування, раптова різка зміна швидкості, спрацьовування датчиків удару). В таких випадках інформація в модулі пам'яті залишається збереженою до його перепрограмування.

Сучасні модулі EDR запам'ятовують інформацію всередині своєї плати у вигляді шістнадцятирічного коду на мікросхемі типу EEPROM. При цьому похибка та точність запису параметрів за основними реєстрованими показниками: втрата швидкості на удар (рис. 6.9), швидкість руху ТЗ та частота обертання колінчатого валу, знаходяться в прийнятних межах для проведення моделювання механізму ДТП [158, 203 205]. В перспективі, об'єм інформації, фіксованої модулем EDR буде розширюватись за рахунок впровадження на АТЗ нових систем підвищення безпеки руху.

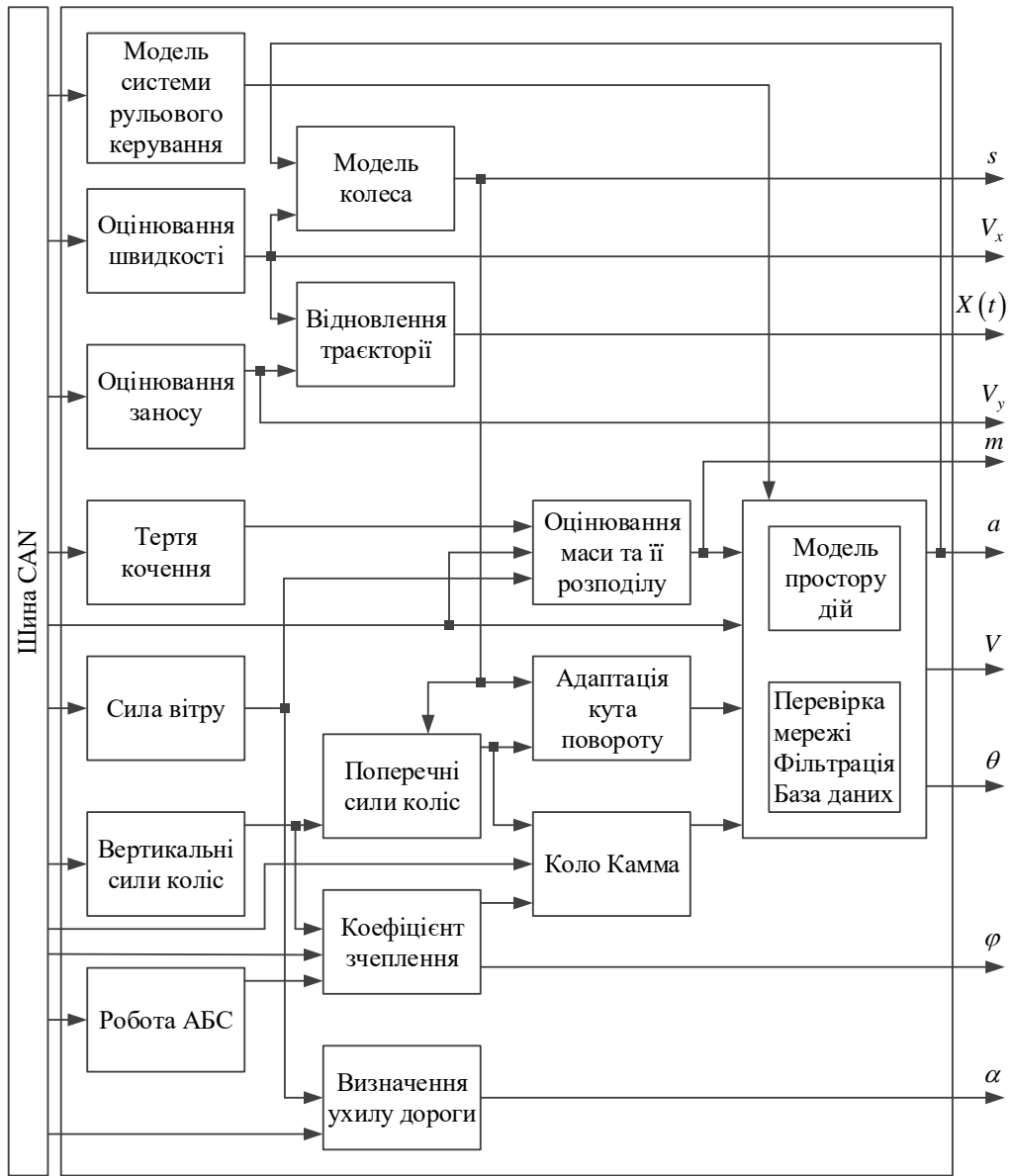


Рисунок 6.7 – Схема збору даних для модуля EDR



Рисунок 6.8 – Типовий перелік параметрів, що зберігаються в модулі EDR

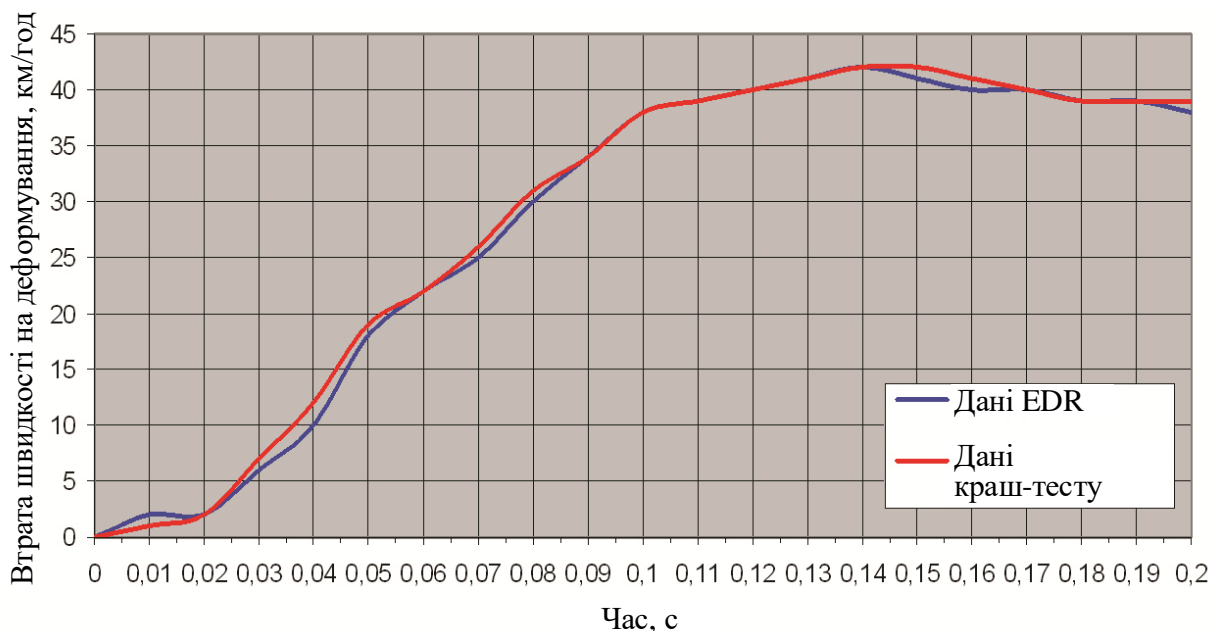


Рисунок 6.9 – Порівняння втрати швидкості на деформування отриманої з модуля EDR з даними краш-тесту [158]

Методи отримання даних EDR можна поділити на 3 групи [151, 158, 204, 205]:

Група 1. Через діагностичний порт та канал зв'язку для передачі даних через (SAE J1962, OBD-II, connector). Як правило, обмежені в протоколі доступу протоколом безпеки, для недопущення небажаного доступу до записаних даних.

Група 2. Через кабель підключений напряму до цільового ECU через послідовний шлях передачі даних. Цей метод прямого з'єднання з ECU не задовільняє вимоги Guide to collecting non-volatile vehicle on-board computer data – ASTM E2493-07. Це пов'язано з виникненням проблеми неповного системного оточення EDR / ECU, яка проявляється в результаті розбирання блоку та часто спричиняє неможливість проведення перевірки зміни даних, що викликані розбиранням. Прикладом такої ситуації є згенеровані коди несправностей для неіснуючих датчиків.

Група 3. З'єднання через врізання в плату EDR напряму з метою зчитування необроблених двійкових кодів безпосередньо на контактних клемах. Цей процес є більш трудомістким порівняно з попередніми, але обходить заборону системи безпеки та дозволяє уникнути проблем перевірки, спричинених зміною даних через підключення пристроїв. Отже, ці методи відповідають ASTM E2493-07, тому що працюють незалежно від серійних портів передачі даних.

Взагалі методика обробки даних можна подати у вигляді закритої процедури з дешифрування шістнадцятирічного або двійкового коду, текстового файлу у форматі *.log (текстовий файл може бути переведений у формат *.txt зміною розширення). Обробка даних виконується виключно на програмному рівні, ручне втручання і обробка даних EDR повинно бути заборонене за для збереження незмінності поля даних.

Узагальнюючи проведений аналіз методів отримання та обробки інформації, що зберігається в EPROM пам'яті модулів EDR [1, 36, 151, 158, 203-205], які штатно встановлюються на ТЗ виробництва Audi, BMW, General Motors, Ford, Fiat, Isuzu, Mercedes-Benz, Toyota, Volkswagen, Volvo та інших виробників, що використовують системну шину Bosch, можна виділити такі недоліки.

1. До 10% відсотків досліджень закінчується помилкою сканування пам'яті, що призводить до неможливості отримання збережених даних.
2. Відсутність уніфікованої системної архітектури модулів EDR, оскільки кожен виробник керується виключно нормами стандартів ISO 12097.
3. Відсутність уніфікованої системи підключення до модулів EDR, так штатний набір з'єднувальних кабелів для систем сканерів (дешифраторів) Bosch CDR Tool DLC Kit, включає понад 200 позицій і вкладається в окремий кейс, розмірами 0,5x0,4x0,25 м.
4. Різний об'єм і формат зберігання даних від 12 до 36 показників, в вигляді двійкового чи шістнадцятиричного коду або у вигляді текстового log-файлу, відсутність уніфікації (стандартизації) в точності вимірювання і частоті запису контрольованих даних.
5. Отримання даних можливе лише спеціалістом в умовах інструментального доступу до ТЗ з частковим демонтажем вузлів, тобто поліцейський чи слідчий при огляді місця ДТП та об'єкта дослідження не зможе отримати інформацію з ТЗ без спеціальної підготовки та спеціального обладнання.
6. Присутня можливість доступу третіх осіб до блоку EDR з метою знищення записаних даних.
7. Відсутня можливість передачі повідомлень EDR у випадку знаходження автомобіля поза зоною покриття оператора мобільного зв'язку.
8. Не всі із штатних систем EDR дозволяють записувати наступні події після першого, тобто записуються дані лише пов'язані з першим контактом, наприклад при першому зіткненні з іншим ТЗ, наступні (вторинні) контакти не зберігаються (наприклад в наслідок первинного контакту при ексцентричному ударі ТЗ здійснив наїзд на стовп чи інший об'єкт тощо).
9. Момент переходу на автономне живлення в різних EDR реалізований по-різному, при цьому в деяких випадках можлива повна витрата енергії на спрацьовування систем пасивної безпеки, коли на запис даних після ДТП необхідного рівня струму в мережі вже не буде.

Враховуючи вищесказане, стандартна процедура отримання даних з EDR повинна бути доведена до відома осіб, які виконують огляд ТЗ та мати стандартну обов'язкову послідовність дій, що унеможливило б підробку даних.

Для України практика отримання даних з модулів EDR повинна забезпечуватись шляхом затвердження стандартів, які визначають вимоги до форматів даних EDR, та законодавства, яке встановлює порядок використання даних з модулів співробітниками страхових компаній, експертами, органами поліції, або прокуратури.

6.5 Інтегровані інформаційні системи покращення технологій експертних досліджень ДТП

Розвиток апаратної бази електронних обчислювальних машин та програмних продуктів, що використовуються в експертизі ДТП, підвищують роль інформаційних технологій, які реалізуються в спеціалізованих програмних засобах. При цьому під інформаційною технологією в експертних дослідженнях аварійних ситуацій слід розуміти цілу сукупність взаємопов'язаних процедур обробки початкової інформації про компоненти системи ВАДС.

Взаємозв'язок елементів та адекватність інтегрованих інформаційних систем підвищення ефективності експертних досліджень ДТП обумовлюється якістю та обсягом інформації, що обробляється. Комплексне застосування спеціалізованого комп'ютерного забезпечення для моделювання механізму ДТП та систем автоматизованого вимірювання та доекспертного розрахунку початкових даних (спеціальна цифрова апаратура; EDR, які реєструють параметри руху автомобільної техніки до та після ДТП; комплекси лазерного сканування місця ДТП) можна вважати набором модулів, складених із сукупності стандартних елементів. Кожний модуль забезпечує досягнення загальної мети, виконуючи свої функції в інтегрованій системі, взаємозв'язки в якій відображає схема (рис. 6.10). На цій схемі пунктиром показані інформаційно-потоківі та суцільною лінією керуючі взаємозв'язки в інтегрованому часовому циклі.

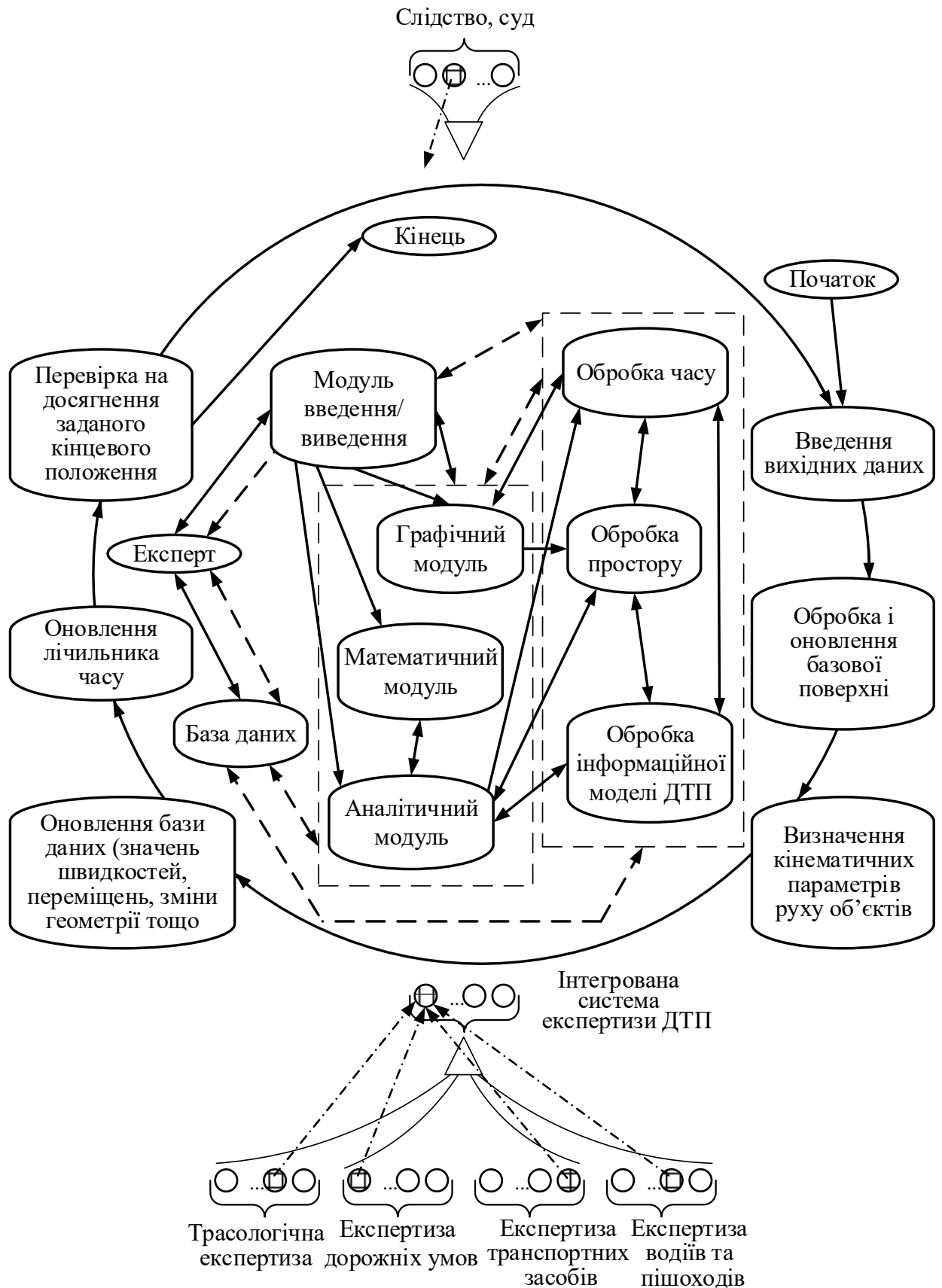


Рисунок 6.10 – Взаємозв'язок елементів інтегрованої інформаційної системи експертизи ДТП (ІСЕДТП) в часовому циклі

Модульність інтегрованої системи забезпечує високу якість виконання АТЕ ДТП:

- високу гнучкість для адаптації до різних умов;
- комплексність дослідження;
- ефективність внаслідок автоматизації операцій однотипного характеру;
- економічність за рахунок скорочення витрат.

Відповідно до рівнів управління процесом провадження САТЕ (табл. 6.4) можна виділити такі підсистеми: обробки даних, управління, підтримки прийняття рішень (ППР).

Таблиця 6.4 – Характеристика рівнів ІСЕДТП

Підсистема/показник	Обробка даних	Управління	ППР
Базова технологія	Оперативна обробка даних	Інтерактивна аналітична обробка	Методи статистичного аналізу, експертних систем, математичного та імітаційного моделювання, інтелектуального аналізу даних
Виконавці	Експерти	Спеціаліст з організаційно-технічного забезпечення	Керівник підрозділу
Мета	Оперативне виконання робіт на робочому місці	Аналіз показників діяльності, формування планів та контроль за ними	Вирішення задач управління на стратегічному рівні
Завдання	Вирішення окремих задач експертизи ДТП	Формування виробничої програми	Освоєння нових методів та видів експертиз, інжиніринг та реінжиніринг
Витрати часу	Від одного до декількох днів	Від декількох днів до декількох тижнів	Рік і більше

Зрозуміло, що зі збільшенням інтеграції розширюються еventуальні можливості системи, зростає ступінь альтернативності та різноманіття. Це спричиняє виникнення проблем, пов'язаних з якістю функціонування системи, формалізацією процесу формування інтегрованої системи автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод та оцінки її якості.

Побудова інтегрованої системи АТЕ ДТП (рис. 6.10) здійснюється на базі аналізу запитів органів суду чи слідства та різних обставин та умов виникнення ДТП. В процесі побудови визначаються функції системи, які вона повинна виконувати. За мету системи АТЕ дорожньо-транспортних пригод зазвичай приймають такі параметри, як гарантування прав громадян на об'єктивне та неупереджене розслідування обставин ДТП, підвищення якості та зменшення суб'єктивізму при підготовці експертних висновків, оптимізація матеріальних та трудових затрат на провадження експертизи тощо.

Модель інтегрованої системи автотехнічної експертизи ДТП в математичному виді та процес її формування детально описані в другому розділі даної дисертаційної роботи.

Висновки до розділу 6

Автоматизація як процедура передачі машинам, усіх функцій, які виконуються людиною, потребує при застосуванні її принципів до любых процесів, у тому числі і експертних, формування гранично чітких уявлень про механізм трансформації інформації на кожному кроці експертного дослідження виконуваного людиною. Вона дозволяє аналізувати ті види ДТП, дослідження яких здійснювалося на основі інтуїції і досвіду експерта, а саме, формалізувати складні обчислювальні та логічні завдання, які практично не вирішуються «вручну», збільшити об'єктивність та точність дослідження, відійти від стереотипів суб'єктивного досвіду окремої особи експерта.

Сучасні автоматизовані системи реєстрації параметрів руху транспортних засобів дозволяють дослідити обставини дорожньо-транспортної пригоди на

всіх етапах експертизи, однак їх впровадження в Україні супроводжується рядом таких проблем: брак досвіду застосування методів дослідження ДТП та відповідних автоматизованих засобів (АЗ); результати дослідження ДТП за традиційною методикою можуть суттєво відрізнятися від результатів дослідження того ж ДТП за допомогою АЗ.

Потрібно розвивати та удосконалювати діючі експертні методики дослідження обставин ДТП на основі використання можливостей автоматизації процесів фіксації вихідних даних з місця ДТП, проведення натурних вимірювань і виконання моделювання дорожньо-транспортної ситуації (реконструкції ДТП) за інтегрованим часовим циклом, з метою забезпечення адекватності моделі (гібриду моделей), підвищення ефективності методів аналізу ДТП та мінімізації впливу суб'єктивних факторів.

Розроблена концепція підвищення ефективності технологій експертного аналізу обставин ДТП базується:

- на визначених напрямках вдосконалення сучасних методів організації процесу отримання та обробки інформації з місця ДТП, які застосовуються в експертній практиці в Україні;

- на запропонованих типових структурних схемах огляду місця ДТП, огляду транспортних засобів після ДТП і моделювання ДТП, що базуються на використанні передового світового досвіду, сучасної інструментальної бази та нових програмних продуктів;

- на розроблених підходах щодо оцінювання ефективності запровадження нових методів встановлення того чи іншого параметра в автотехнічній експертизі ДТП.

Реалізація створеної концепції повинна провадитись в декілька етапів, на короткострокову (2-3 роки), середньострокову (5 років) та довгострокову перспективу (10 років).

Результати досліджень, наведені в розділі 6, опубліковані в роботах [1, 27, 31, 33, 36, 49, 50, 56, 58, 59, 63].

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 сформуванню експериментальної бази (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 разів. 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 конструкції та роботи

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 на 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 системи людина-машина, 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 на 46-48%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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., Ребедайло 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. *Вимірювальна 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(101). 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) (Частина 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.121/2011. 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 дорожньо-транспортних пригод. *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/АТ.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.

42. Кашканов А. А., Кашканов В. А., Кашканова А. А. Моделювання траєкторії руху автомобіля при дослідженні дорожньо-транспортних пригод. *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.

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.

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

47. Кашканов А. А., Кушель 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: СНУ 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 дорожньо-транспортних пригод. *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 дорожньо-транспортних пригод. *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. *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 дорожньо-транспортних пригод. *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 зчіпної здатності дороги і шини при екстремому 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.

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.

70. Road traffic injuries. World Health Organization. Веб-сайт. URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs358/en/> (дата звернення 01.10.2018).

71. Статистика. Патрульна поліція України. Веб-сайт. URL: <http://patrol.police.gov.ua/statystyka/> (дата звернення 15.01.2020).

72. Оpubлікована статистика ДТП в Україні в 2018 году // Первый автоклуб «Автоуа». Веб-сайт. URL: <http://autonews.autoua.net/novosti/20627-opublikovana-statistika-dtp-v-ukraine-v-2018-gody.html#!> (дата звернення 08.05.2019).

73. Не за склом: стан справ з ДТП в Україні за 2017 рік. AUTO.RIA.com™: Веб-сайт. URL: <https://auto.ria.com/uk/news/autolaw/236137/ne-za-steklom-kak-obstoyali-dela-s-dtp-v-ukraine-v-2017-godu.html> (дата звернення 03.10.2018).

74. Про схвалення Стратегії підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні на період до 2020 року. Законодавство України. Веб-сайт. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/481-2017-%D1%80> (дата звернення 05.10.2018).

75. Рейтинг країн за рівнем смертності у ДТП: Україна в десятці (інфографіка). Інформаційне агентство УНІАН. Веб-сайт. URL: <https://www.unian.ua/society/2088789-reyting-krajin-za-rivnem-smertnosti-u-dtp-ukrajina-v-desyattsy-infografika.html> (дата звернення 01.10.2018).

76. В Україні – найвища смертність від ДТП в Європі (ІНФОГРАФІКА). ТЕКСТИ.org.ua. Веб-сайт. URL: http://texty.org.ua/pg/news/textynewseditor/read/87057/V_Ukrajini__najvyshha_smertnist_vid_DTP (дата звернення 01.10.2018).

77. Правила дорожнього руху України. Київ : *Укрспецвидав*, 2020. 64 с.

78. Статистичні дані по галузі автомобільного транспорту. Міністерство інфраструктури України. Веб-сайт. URL: <https://mtu.gov.ua/content/statistichni-dani-po-galuzi-avtomobilnogo-transportu.html> (дата звернення 05.10.2018).

79. Який середній вік автопарку буде в Україні через 5 і 10 років? AUTO.RIA.com™: Веб-сайт. URL: <https://auto.ria.com/news/autolaw/232129/kakoj-srednij-voznrast-avtoparka-budet-v-ukraine-cherez-5-i-10-let.html> (дата звернення 05.10.2018).

80. Інструкція про призначення та проведення судових експертиз та експертних досліджень. Наказ Міністерства юстиції України 08.10.98 № 53/5 (у редакції наказу Міністерства юстиції України від 26.12.2012 № 1950/5 зі змінами № 1350/5 від 27.07.2015, № 1420/5 від 26.04.2017).

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

82. Три тисячі смертей щорічно: чи покращиться дорожня безпека в Україні? AUTO.RIA.com™. Веб-сайт. URL: <https://auto.ria.com/news/autolaw/236184/tri-tysyachi-smertej-ezhegodno-uluchshitsya-li-dorozhnaya-bezopasnost.html> (дата звернення 08.10.2018).

83. Смирнова С. А. Судебная экспертиза на рубеже XXI века. Состояние, развитие, проблемы. 2-е изд-е, пер. и доп. СПб.: *Питер*, 2004. 875 с.

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

85. Суворов Ю. Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза. Судебно-экспертная оценка действий водителей и других лиц, ответственных за обеспечение безопасности дорожного движения, на участках ДТП: Учеб. пособие. Москва : Экзамен, 2003. 208 с.

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

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

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

89. Best Practice Manual for Road Accident Reconstruction, ENFSI-BPM-RAA-01. Version 01 - November 2015. *European Network of Forensic Science Institutes*. 21 p.

90. Закон України «Про судову експертизу». Документ № 4038-ХІІ. Поточна редакція від 07.11.2015 : офіційний веб-сайт Верховної Ради України URL: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/4038-12> (дата звернення 16.12.2015).

91. Жуковский Н. Е. Теория упругости. Железные дороги. Автомобили // Полное собрание сочинений. Т. 8 под ред. А. П. Котельникова. М. ; Л. : ОНТИ НКТП СССР, 1937. 291 с.

92. Певзнер Я. М. Теория устойчивости. М. : Машигиз, 1947. 156 с.

93. Чудаков Е. А. Теория автомобиля. М. : Машигиз, 1950. 344 с.

94. Бухарин Н. А., Голяк В. К. Испытание автомобиля с использованием электрических методов измерения. М.: Машигиз, 1955. 132 с.

95. Зимелев Г. В. Теория автомобиля. М.: Машигиз, 1959. 312 с.

96. Фалькевич Б. С. Теория автомобиля. М. : Гос. науч.-техн. изд-во машиностр. лит., 1963. 239 с.

97. Гредескул А. Б. Динамика торможения автомобиля : дис... д-ра техн. наук. Москва: МАДИ, 1964. 334 с.
98. Розанов В. Г. Торможение автомобиля и автопоезда. – М. : *Машиностроение*, 1964. 243 с.
99. Иларионов В. А. Эксплуатационные свойства автомобиля. – М. : *Машиностроение*, 1966. 280 с.
100. Закин Я. Х. Прикладная теория движения автопоезда. М. : *Транспорт*, 1967. 254 с.
101. Литвинов А. С. Управляемость и устойчивость автомобиля. М. : *Машиностроение*, 1971. 416 с.
102. Литвинов А. С., Фаробин Я. Е. Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств. М. : *Машиностроение*, 1989. 237 с.
103. Нефедов А. Ф., Высочин Л. Н. Планирование эксперимента и моделирование при исследовании эксплуатационных свойств автомобилей. Львов : *Вища школа*, 1976. 160 с.
104. Динамика системы дорога–шина–автомобиль–водитель / А. А. Хачатуров, В. Л. Афанасьев [и др.] ; под ред. А. А. Хачатурова. М. : *Машиностроение*, 1976. 536 с.
105. Гуревич Л. В., Меламуд Р. А. Тормозное управление автомобиля. М.: *Транспорт*, 1978. 152 с.
106. Мацкерле Ю. Автомобиль сегодня и завтра / пер. с чеш. К. К. Семенова. М.: *Машиностроение*, 1980. 384 с.
107. Федосов А. С., Подригало М. А. Исследование потенциальных сцепных возможностей автомобиля при действии боковой силы в процессе торможения. *Автомобильный транспорт*. 1980. Вып. 17. С. 73–78.
108. Мартынюк А. А., Лобас Л. Г., Никитина Н. В. Динамика и устойчивость движения колесных транспортных машин. К. : *Техніка*, 1981. 222 с.
109. Вонг Дж. Теория наземных транспортных средств. М.: *Машиностроение*, 1982. 285 с.

110. Фаробин Я. Е., Шупляков В. С. Оценка эксплуатационных свойств автопоездов для международных перевозок. М. : *Транспорт*, 1983. 200 с.
111. Антонов Д. А. Расчет устойчивости движения многоосных автомобилей. М. : *Машиностроение*, 1984. 164 с.
112. Гришкевич А. И. Автомобили. Теория. Минск : *Вышэйша школа*, 1986. 207 с.
113. Алёкса Н. Н., Алексеенко В. Н., Гредескул А. Б. Теория эксплуатационных свойств автотранспортных средств в примерах и задачах: учеб. пособ. К. : *УМК ВО*, 1990. 100 с.
114. Основенко М. Ю., Сахно В. П. Автомобілі : навчальний посібник. К. : *НМК ВО*, 1992. 344 с.
115. Burckhardt M. Fahrwerktechnik: Radschlupf-Regelsysteme. Wurzburg: *Vogel*, 1993. 432 p.
116. Dixon J. C. Tires, Suspension, and Handling. Second ed. 1996, Warrendale, Pa: *Society of Automotive Engineers*. 621 p.
117. Туренко А. Н., Ходырев С. Я., Шепеленко И. Г., Ужва А. В. Исследование динамических нагрузок, действующих на несущую систему гоночного автомобиля, в процессе соревнований. *Автомобильный транспорт*. 2002. Вып. 10. С. 5–9.
118. Туренко А. Н., Ломака С. И., Рыжих Л. А., Леонтьев Д. Н., Быкадоров А. В. Методы расчета реализуемого коэффициента сцепления при качении колеса в тормозном режиме. *Автомобильный транспорт*. 2010. Вып. 27. С. 7-12.
119. Туренко А. Н., Шуклинов С. Н., Михалевич Н. Г. Моделирование динамики колесной машины с адаптивным электропневматическим приводом тормозов. *Весник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета*. 2012. Вып. 56. С. 66-74.
120. Подригало М. А., Волков В. П., Кирчатый В. И. Устойчивость колесных машин при торможении. Харьков : *ХГАДТУ*, 2000. 180 с.

121. Маневренность и тормозные свойства колесных машин / М. А. Подригало, В. П. Волков, В. И. Кирчатый, А. А. Бобошко; под. ред. М. А. Подригало. Харьков: *ХНАДУ*, 2003. 403 с.
122. Подригало М. А., Шелудченко В. В. Нове в теорії експлуатаційних властивостей автомобілів та тракторів: Навч. посібн. Суми.: *Сумський національний аграрний університет*, 2015. 213 с.
123. Клименко В. И., Сараев А. В. Совершенствование измерительного комплекса для исследования эксплуатационных свойств автомобиля. *Автомобильный транспорт*. 2003. Вып. 13. С. 206–209.
124. Reimpell J., Betzler J. W. The Automotive Chassis: Engineering Principles. Oxford: *Butterworth-Heinemann*, 2001. 456 p.
125. Pacejka H. B. Tyre and vehicle dynamics. Oxford: *Butterworth-Heinemann*, 2005. 621 p.
126. Вахламов В. К. Автомобили: Эксплуатационные свойства: учеб. для студ. вузов. М.: *Издательский центр «Академия»*, 2006. 240 с.
127. Jazar R. N. Vehicle Dynamics: Theory and Application. NY: *Springer*, 2008. 1015 p.
128. Genta G., Morello L. Automotive chassis. Volume 1: Components design. *Springer*, 2009. 621 p.
129. Genta G., Morello L. Automotive chassis. Volume 2. System design. *Springer*, 2009. 825 p.
130. Волков В. П., Вільський Г. Б. Теорія руху автомобіля : підручник. Суми : *Університетська книга*, 2010. 320 с.
131. Солтус А. П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля: Навчальний посібник для ВНЗ. К.: *Арістей*, 2010. 155 с.
132. Saraiev O. and Gorb Y. A Mathematical Model of the Braking Dynamics of a Car, *SAE Technical Paper 2018-01-1893*, 2018.
133. Danez S., Saraiev O. Mathematical modeling of speed change of vehicles at emergency braking. *Technology audit and production reserves*. 2018. №3/1(41). P. 22–28.

134. Долматовский Ю. А. Автомобиль в движении. М. : *Машигиз*, 1957. 232 с.
135. Леру М. Сцепление колеса автомобиля с дорогой и безопасность движения / пер. с фр. Г. И. Мачковского и Г. П. Гербурт-Гейбович. М.: *Изд-во Минавтотранспорта и шоссейных дорог*, 1959. 158 с.
136. Бена Э., Госковец И., Штикер И. Психология и физиология шофера / ред. Л. А. Богданович, пер. с чеш. Т. П. Завьяловой. М.: *Транспорт*, 1965. 192 с.
137. Бекасов В. А., Боград Г. Я., Зотов Б. Л., Индиченко Г. Г. Автотехническая экспертиза. М.: *Юридическая литература*, 1967. 254 с.
138. Коллинз Д., Моррис Д. Анализ дорожно-транспортных происшествий / пер. с англ. А. Шалатова. М.: *Транспорт*, 1971. 128 с.
139. Кристи Н. М. Методические рекомендации по производству автотехнической экспертизы. М.: *ЦНИИСЭ*, 1971. 126 с.
140. Кристи Н. М. Решение отдельных типовых задач судебной автотехнической экспертизы / под ред. В. Ф. Алексеева. М.: *ВНИИСЭ*, 1983. 71 с.
141. Джонс И. С. Влияние параметров автомобиля на дорожно-транспортные происшествия. М.: *Машиностроение*, 1979. 207 с.
142. Судебная автотехническая экспертиза: Пособие для экспертов-автотехников, следователей и судей. / Под ред. В. А. Иларионова. М.: *ВНИИСЭ*, 1980. 491 с.
143. Байэтт Р., Уоттс Р. Расследование дорожно-транспортных происшествий; пер. с англ. А. Шалатова. М.: *Транспорт*, 1983. 288 с.
144. Боровский Б. Е. Безопасность движения автомобильного транспорта. Анализ дорожно-транспортных происшествий. Л.: *Лениздат*, 1984. 304 с.
145. Danner M., Halm J. Technische analyse von verkehrsunfalten. Eurotax (Internationale) AG CH-8808 *Plaffikon*, 1994. 570 p.

146. Экспертний аналіз дорожньо-транспортних пригод. / Галаса П. В., Кисельов В. Б., Куйбіда А. С. [та інші]; за заг. ред. П. В. Галаси. К. : *Експерт-сервіс*, 1995. 192 с.
147. Лукошьявичене О. В. Моделирование дорожно-транспортных происшествий. Москва : *Транспорт*, 1998. 96 с.
148. Russell C. G. Equations and Formulas for the Traffic Accident Investigator and Reconstructionist. *Lawyers & Judges Publishing Company Inc.*, 1999.
149. Ермаков Ф. Х. Безопасность участников дорожного движения: совершенствование его организации и расследования ДТП. Казань: *Изд-во Казан. ун-та*, 2001. 438 с.
150. Домке Э. Р. Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий : учебное пособие. Пенза: *ПГУАС*, 2005. 260 с.
151. Brach M., Brach R. Vehicle Accident Analysis and Reconstruction Methods. *SAE International, Warrendale*, 2005.
152. Говорущенко Н. Я., Волков В. П., Шаша И. К. Обеспечение безопасности движения на автомобильном транспорте: монография. Харьков: *ХНАДУ*, 2007. 361 с.
153. Чава И. И. Судебная автотехническая экспертиза. Исследование обстоятельств дорожно-транспортного происшествия : учебно-методическое пособие. Москва: *РФЦСЭ*, 2007. 97 с.
154. Сумець О. М., Голодний В. Ф. Основи експертизи дорожньо-транспортних пригод: автотехнічна експертиза : Навчальний посібник. К.: *Хай-Тек Прес*, 2008. 160 с.
155. Franck H., Franck D. Mathematical methods for accident reconstruction: a forensic engineering perspective. Boca Raton: *CRC Press*, 2009. 328 p.
156. Steffan H. Accident reconstruction methods. *Vehicle System Dynamics*. 2009. Volume 47. Issue 8: P. 1049-1073. DOI: 10.1080/00423110903100440.

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

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

159. Burg H., Moser A. Handbook of Accident Reconstruction, *Kindle Edition*, 2013. 1215 p.

160. Про затвердження переліків рекомендованої науково-технічної та довідкової літератури, що використовується під час проведення судових експертиз. Наказ Міністерства юстиції України від 30 липня 2010 року № 1722/5. К., 2010. 94 с.

161. Rotshtein A., Rebedailo V., Kashkanov A. Fuzzy Logic-based Identification of Car Wheels Adhesion Factor with a Road Surface. *Fuzzy Systems & A.I. Reports and Letters*. 1997. 6(1-3), P. 53-64.

162. Rotshtein A., Kashkanov A. Fuzzy Expert System for Identification of Car Wheels Adhesion Factor with a Road Surface. *Proceeding of the 6-th European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing*, Aachen, Germany, 1998. p. 1735 - 1740.

163. Расследование обстоятельств дорожно-транспортных происшествий: методические рекомендации Главного следственного управления МВД Украины / С. О. Шевцов, К. В. Дубонос. Харьков : Факт, 2002. 174 с.

164. Ксенофонтова В. А. Разработка метода определения скорости транспортного средства до столкновения в результате ДТП : дис. ... канд. тех. наук. Севастополь, 2003. 233 с.

165. Использование специальных познаний в расследовании дорожно-транспортных происшествий / [Кривицкий А. М., Шапоров Ю. И., Фальковский В. В. и др.] : под общ. ред. : канд. техн. наук Кривицкого А. М. и канд. юрид. наук Шапорова Ю. И. Мн. : Харвест, 2004. 128 с.

166. Стороженко М. С., Кияшко И. В., Корчан Н. С. Проблемные вопросы экспертного исследования дорожных условий при экспертизе дорожно-транспортного происшествия. *Теорія та практика судової експертизи і криміналістики*. 2004. Вип. 4. С. 323–331.

167. Огородников В. А, Киселев В. Б., Сивак И. О. Энергия. Деформации. Разрушения (задачи автотехнической экспертизы) : монография. Винница : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. 204 с.

168. Возможности использования специальных знаний при расследовании дорожно-транспортных пригод / Авт.-уклад. С. О. Шевцов. – Х.: СПД-ФО Чальцев О. В., 2005. 308 с.

169. Методи оцінки кінематичних і динамічних параметрів транспортних засобів під час зіткнення з урахуванням їх деформування і руйнування. Київський науково-дослідний інститут судових експертиз (КНДІСЕ). К.: КНДІСЕ, 2005. 64 с.

170. Рекомендації щодо використання в практичній діяльності та комплектування пересувної автотехнічної лабораторії (позитивний досвід роботи відділення автотехнічних експертиз та оцінювальної діяльності НДЕКЦ при УМВС України в Харківській області з організації огляду місць дорожно-транспортних пригод). Київ: Державний науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України, 2006. 32 с.

171. Дубонос К. В., Клименко В. И., Решетников Е. Б., Сараев А. В. Расчет механизма наезда на пешехода при ограниченной обзорности в режиме торможения автомобиля. *Криміналістичний вісник*. 2007. №1(7). С. 66–79.

172. Кашканов В. А. Удосконалення методу визначення коефіцієнта зчеплення при автотехнічній експертизі : дис. ... канд. техн. наук. Харків: ХНАДУ, 2008. 187 с.

173. Вахидов У. Ш., Молев Ю. И., Прошин Д. Н. Некоторые вопросы математического моделирования криволинейного движения транспортных средств. *Приоритеты развития отечественного автотракторостроения и подготовки инженерных и научных кадров*: материалы 65-ой Международной

научно-технической конференции Ассоциации автомобильных инженеров международного научного симпозиума «Автотракторостроение – 2009». Книга 4. Москва : МГТУ «МАМИ», 2009. С. 39-45.

174. Кужель В. П. Визначення дальності видимості дорожніх об'єктів в темну пору доби при експертизі ДТП : дис. ... канд. тех. наук. Харків: ХНАДУ, 2009. 257 с.

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

176. Кашканов А. А., Ребедайло В. М., Кашканова Г. Г. Оцінка траєкторії руху загальмованого автомобіля в умовах неточності вихідних даних. *Автомобільний транспорт*. 2001. №6. С. 43-46.

177. Дячук В. І. Оцінка слідчим висновку експерта-автотехніка як джерела доказів. *Право і Безпека*. 2011. № 1. С. 168-173.

178. Склярів Н. В. Аналіз проблем совершенствования автотехнических экспертиз дорожно-транспортных происшествий. *Автомобільний транспорт*. 2011. № 29. С. 250-253.

179. Галак І. І. Особливості призначення та проведення технічної експертизи та її роль при розслідуванні ДТП. *Вісник Національного транспортного університету*. 2012. Вип. 26. С. 84-88.

180. Трофименко Н. С. Питання призначення та проведення деяких видів судових експертиз (за матеріалами узагальнення експертної практики). *Вісник Академії митної служби України. Серія: «Право»*. 2013. № 1 (10). С. 107-112.

181. Евтюков С. С. Оценка скорости транспортных средств при проведении дорожно-транспортных экспертиз : дис. ... канд. тех. наук. Санкт-Петербург, 2014. 173 с.

182. Ковригин В. А. Повышение безопасности автомобилей в условиях эксплуатации на основе анализа характеристик сцепления их шин со льдом : дис. ... канд. техн. наук. Омск, 2014. 203 с.

183. Куракина Е. В. Научно-методическое обеспечение автотехнической экспертизы, учитывающей техническое состояние автомобиля и дорожной среды: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2014. 208 с.

184. Туренко А. М., Сараєв О. В. Оцінка ефективності гальмування транспортних засобів при дослідженні дорожньо-транспортної пригоди: монографія. Х.: ХНАДУ, 2015. 350 с.

185. Сараєв О. В. Метод оцінки ефективності гальмування транспортних засобів при дослідженні дорожньо-транспортної пригоди: дис. ... докт. тех. наук. Харків: ХНАДУ, 2016. 418 с.

186. Матеріали циклу з підвищення кваліфікації судових експертів: «Дослідження обставин і механізму дорожньо-транспортних пригод: застосування сучасних науково-технічних засобів» / К. В. Дубонос, С. І. Перлін та ін. Харків, 2018. 76 с.

187. Данець С. В. Оцінка параметрів руху транспортних засобів при реконструкції дорожньо-транспортних пригод: дис. ... канд. тех. наук. Харків: ХНАДУ, 2018. 321 с.

188. CRASH-3 Technical manual. U.S. Department of Transportation. National Highway Traffic Safety Administration. National Center for Statistics and Analysis Accident Investigation Division. 1986.

189. Cliff W. E., Moser A. Reconstruction of Twenty Staged Collisions with PC-Crash's Optimizer. *SAE Paper* №2001-01-05-07.

190. Сараєв О. В. Новітні технології дослідження обставин дорожньо-транспортної пригоди. *Вісник Національного транспортного університету*. 2013. Вип. 28. С. 405-414.

191. Косяков В. В., Кучерявенко О. Б. Використання комп'ютерної програми CARAT-3 при проведенні автотехнічних експертиз : метод. рек. К.: ДНДЕКЦ МВС України, 2010. 40 с.

192. The Cad Zone. Веб-сайт. URL: <http://www.cadzone.com> (дата звернення 26.09.2019).

193. CYBID V-SIM 3.0. Веб-сайт. URL: <http://www.cyborgidea.com.pl>. (дата звернення 26.09.2019).
194. Данець С. В. Застосування новітніх технологій лазерного сканування під час огляду місця дорожньо-транспортної пригоди. *Криміналістичний вісник*. 2014. Вип. 2. (22). С. 166–171.
195. Перлін С. І., Шевцов С. О., Кучерявенко О. Б., Буряк С. А. Системи лазерного сканування. Документування обставин дорожньо-транспортних пригод (інформаційний лист). Х.: *НДЕКЦ при ГУМВС України в Харківській області*, 2011. 44 с.
196. Голубов С. Г. Щодо впровадження в Україні міжнародного досвіду застосування засобів фото та відео фіксації порушень правил дорожнього руху. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2013. Вип. 61–62. С. 19–23.
197. Bosch Automotive Handbook. 9th Edition. / [Reif K., Dietsche K.-H. & others]. Karlsruhe : *Robert Bosch GmbH*, 2014. 1544 p.
198. Luis Serrano, Donghyun Kim, and Richard B. Langley, Kenji Itani and Mami Ueno. A GPS Velocity Sensor: How Accurate Can It Be? – A First Look. *Proceedings of the 2004 National Technical Meeting of The Institute of Navigation*, January 26 - 28, 2004. The Catamaran Resort Hotel San Diego, California. P. 875-885.
199. Измерение скорости с помощью GPS-приемника. Веб-сайт. URL: http://carinfo.kiev.ua/sand_box/gps_speed (дата звернення 18.08.2019).
200. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС / [под ред. В. Н. Харисова, А. И. Перова, В. А. Болдина]. М. : *ИПРЖР*, 1998. 400 с.
201. Пржибыл П., Свитек М. Телематика на транспорте. М. : *МАДИ (ГТУ)*, 2003. 540 с.
202. Алексієв В. О. Управління розвитком транспортних систем. Харків : *ХНАДУ*, 2008. 268 с.

203. Ананьев П. О., Пясецький Ю. В. Реєстратор даних про події («Even Data Recorder») – нове джерело отримання інформації про параметри руху транспортного засобу під час дорожньо-транспортної пригоди (інформаційний лист). К.: ДНДЕКЦ МВС України, 2011. 40 с.

204. Marco P daSilva. Analysis of Event Data Recorder Data for Vehicle Safety Improvement. *U.S Department of Transportation National Highway Traffic*. 2008. 588 p.

205. Hynd D., McCarthy M. Study on the benefits resulting from the installation of Event Data Recorders. *Directorate-General for Mobility and Transport (European Commission)*. 2014. 224 p.

206. Волков В. П., Грицук І. В., Грицук Ю. В., Волков Ю. В., Володарець М. В. Інформаційні системи моніторингу технічного стану автомобілів. Харків: ФОП Панов А.М., 2018. 299 с.

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

208. Кримінальний процесуальний кодекс України. Документ № 4651-17. Редакція від 17.06.2020. Офіційний веб-сайт Верховної Ради України. URL: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/4651-17>.

209. Про метрологію та метрологічну діяльність. Документ № 1314-18. Редакція від 06.06.2019. Офіційний веб-сайт Верховної Ради України URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1314-18>.

210. H.4. International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology. ISO, Geneva, 1993.

211. Руководство ЕВРАХИМ/СИТАК. Количественное описание неопределенности в аналитических измерениях. 2-е издание, 2000. Пер. с англ. С.-Петербург: *ВНИИМ им. Д.И. Менделеева*, 2002. 149 с.

212. Новицкий П. В. Оценка погрешностей результатов измерений. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: *Энергоатомиздат*. 1991. 304 с.

213. Васілевський О. М., Поджаренко В. О. Актуальні проблеми метрологічного забезпечення : навчальний посібник. Вінниця : *ВНТУ*, 2010. 214 с.
214. Васілевський О. М., Кучерук В. Ю., Володарський Є. Т. Основи теорії невизначеності вимірювань : підручник. Вінниця : *ВНТУ*, 2015. 230 с.
215. Галушко В. Г. Случайные процессы и их применение на автотранспорте. К. : *Вища школа*, 1980. 271 с.
216. Клепик Н. К. Статистическая обработка эксперимента в задачах автомобильного транспорта: Учебное пособие. Волгоград: *ВГТУ*, 1995. 96 с.
217. Никонов В. Н. Классификация математических моделей ДТП и их допустимость в судебном процессе. *Законность*. 2007. № 5. С. 30–34.
218. Митунявичус В. К вопросу о точности расчетов и категоричности выводов при производстве автотехнических экспертиз. *Проблемные вопросы развития современных методологий экспертного анализа ДТП. Возможности экспертных исследований в установлении фальсификации ДТП ДЕКРА (Германия) и ДЕКРА Эксперт (Украина)*. Киев, 2006. URL: <http://docplayer.ru/31322291-К-вопросу-о-точности-расчетов-и-категоричности-выводов-pri-proizvodstve-avtotekhnicheskikh-ekspertiz.html>.
219. Кашканов А. А., Кашканов В. А. Аналіз використання математичних методів в практиці автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*. 2000. №4. С. 178-181.
220. Безпека дорожнього руху та деякі правові аспекти: навч. пос. МОН України / Кищун В. А., Кузнецов Р. М., Мурований І. С., Лаба О. В. Луцьк: *РВВ ЛНТУ*, 2010. 226 с.
221. Волошин Г. Я., Мартынов В. П., Романов А. Г. Анализ дорожно-транспортных происшествий. М.: *Транспорт*, 1987. 240 с.
222. PC-Rect. Веб-сайт. URL: <https://www.pc-crash.com/pc-rect/> (дата звернення 18.10.2019).

223. PhotoModeler: Photogrammetry | 3D Measurements from Photos. Веб-сайт. URL: <https://www.photomodeler.com> (дата звернення 18.10.2019).
224. Photorect. Веб-сайт. URL: <https://cyborgidea.com.pl/oprogramowanie/wypadki-drogowe/photorect/> (дата звернення 18.10.2019).
225. Cybid Titan. Веб-сайт. URL: <http://80.82.16.133/product-TITAN-1.aspx> (дата звернення 18.10.2019).
226. Cybid Slibar+. Веб-сайт. URL: <http://80.82.16.133/product-SLIBAR-1.aspx> (дата звернення 18.10.2019).
227. Autocad. Веб-сайт. URL: <https://www.autodesk.com/products/autocad/overview> (дата звернення 18.10.2019).
228. Аземша С. А., Галушко В. Н., Скирковский С. В. Совершенствование экспертного анализа дорожно-транспортных происшествий с помощью компьютерных программ моделирования. *Наука и техника*, 2015. №4. С. 18-24.
229. Cybid Plan. Веб-сайт. URL: <http://80.82.16.133/product-PLAN-1.aspx> (дата звернення 20.10.2019).
230. MapScenes Forensic CAD. Веб-сайт. URL: http://www.mapscenes.com/software_cad.php (дата звернення 20.10.2019).
231. Accident Reconstruction Professional 14 for Windows 10, 8, 7. Веб-сайт. URL: <https://www.dirigosoftware.com/arpro14.php> (дата звернення 20.10.2019).
232. Discover AnalyzerPro! Веб-сайт. URL: <https://analyzer.at/analyzer/?lang=en> (дата звернення 20.10.2019).
233. WinKol. Веб-сайт. URL: <https://www.colliseum.net/wiki/WinKol> (дата звернення 20.10.2019).
234. REC-TEC ACCIDENT RECONSTRUCTION SOFTWARE. Веб-сайт. URL: <http://www.rec-tec.com/> (дата звернення 20.10.2019).
235. Застосування інтелектуальної інформаційної системи моніторингу і прогнозування параметрів технічного стану при дослідженні обставин дорожньо-транспортних пригод / В. П. Волков, О. В. Сараєв, І. В. Грицук та ін. *Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного*

університету транспорту. Серія «Транспортні системи і технології». 2017. Вип. 30. С. 73–83.

236. Krulec R., Batista M. User interface for the smac traffic accident reconstruction program. *Promet Traffic&Transportation*. 2003. Vol. 15. P. 375-380

237. Sybid eSURV. Веб-сайт. URL: <http://80.82.16.133/product-eSURV-1.aspx> (дата звернення 20.10.2019).

238. Система Экспертиза ДТП. Компания АвтоСофт. Веб-сайт. URL: <http://www.autosoft.ru/products/expertdtp/> (дата звернення 21.10.2019).

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

240. Дубовой В. М., Ковалюк О. О. Моделі прийняття рішень в управлінні розподіленими динамічними системами : монографія. Вінниця : Універсум-Вінниця, 2008. 185 с.

241. Hoffmann A. G. Paradigms of Artificial Intelligence: a methodological and computational analysis. Singapore: *Springer-Verlag*, 1998. 234 p.

242. Гнатієнко Г. М., Снитюк В. Є. Експертні технології прийняття рішень: монографія. К.: ТОВ «Маклаут», 2008. 444 с.

243. Снитюк В. Є. Прогнозування. Моделі. Методи. Алгоритми: навчальний посібник. К.: ТОВ «Маклаут», 2008. 364 с.

244. Дубовой В. М. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів і систем керування : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2012. 308 с.

245. Говорущенко Н. Я., Варфоломеев В. Н. Техническая кибернетика транспорта. Харьков : РИО ХГАДТУ, 2001. 271 с.

246. Глушков В. М. Введение в кибернетику. К. : Изд-во АН УССР, 1964. 324 с.

247. Коршунов Ю. М. Математические основы кибернетики. М. : Энергия. 424 с.

248. Говорущенко Н.Я., Туренко А. Н. Системотехника транспорта. Харьков: РИО ХГАДТУ, 1998. 468 с.

249. Волков В. П., Мігаль В. Д. Технічна кібернетика транспорту: навчальний посібник. Харків: ХНАДУ, 2007. 308 с.
250. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 165 с.
251. Zadeh L. Fuzzy sets. *Information and Control*. 1965. №8. P. 338–353.
252. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети: монография. Винница: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. 320 с.
253. Зайченко Ю. П. Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах. Киев: Издательський дом «Слово», 2008. 344 с.
254. Борисов А. Н., Крумберг О. А., Федоров И. П. Принятие решений на основе нечетких моделей. Примеры использования. Рига : Зинатне, 1990. 184 с.
255. Орлов А. И. Задачи оптимизации и нечеткие переменные. М. : Знание, 1980. 53 с.
256. Малышев Н. Г., Бернштейн Л. С., Боженьюк А. В. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР. М. : Энергоатомиздат, 1991. 136 с.
257. Rotshtein A. Design and Tuning of Fuzzy Rule-Based System for Medical Diagnosis. In *Fuzzy and Neuro-Fuzzy Systems in Medicine* (Eds.: Teodorescu N. H., Kandel A. and Jain L. C.). USA, Boca-Raton: CRC-Press. 1998. P. 243-289.
258. Литвак Б. Г. Экспертная информация : методы получения и анализа. М. : Радио и связь, 1982. 184 с.
259. Захаров И. П., Кукуш В. Д. Теория неопределенности в измерениях : учеб. пособие. Харьков : Консум, 2002. 256 с.
260. Поджаренко В. О., Васілевський О. М., Кучерук В. Ю. Опрацювання результатів вимірювань на основі концепції невизначеності : навч. посібник. Вінниця : ВНТУ, 2008. 128 с.
261. Копченова Н. В., Марон И. А. Вычислительная математика в примерах и задачах. Москва: Наука, 1972. 367 с.

262. Завадский Ю. В. Решение задач автомобильного транспорта и дорожно-строительных машин с помощью регрессионно-корреляционного анализа. Москва : *МАДИ*, 1981. 116 с.
263. Львовский Е. Н. Статистические методы построения эмпирических формул. Москва : *Высшая школа*, 1982. 224 с.
264. Растрингин Л. А. Вычислительные машины, системы, сети. Москва: *Наука*, 1982. 223 с.
265. Методы и системы принятия решений. Системы, основанные на знаниях / под ред. А. Н. Борисова. Рига : *РПИ*, 1989. 175 с.
266. Братко И. Программирование на языке ПРОЛОГ для искусственного интеллекта. М. : *Мир*, 1990. 560 с.
267. Доорс Дж., Рейблен А. Р., Вадера С. Пролог – язык программирования будущего. М. : *Финансы и статистика*, 1990. 68 с.
268. Малпас Дж. Реляционный язык Пролог и его применение. М. : *Наука*, 1990. 463 с.
269. Стерлинг Л., Шапиро Э. Искусство программирования на языке ПРОЛОГ. М. : *Мир*, 1988. 235 с.
270. Логический подход к искусственному интеллекту. М. : *Мир*, 1990. 32 с.
271. Новиков П. С. Элементы математической логики. М. : *Наука*, 1973. 400 с.
272. C. von Altrock, B. Krause, and H.-J. Zimmermann. Advanced fuzzy logic control of a model car in extreme situations. *Fuzzy Sets and Systems*. 1992. Vol. 1 (48), P. 41–52.
273. Ivanov V. A Review of Fuzzy Methods in Automotive Engineering Applications. *European Transportation Research Review*. 2015. Vol. 7 (29). DOI: 10.1007/s12544-015-0179-z
274. Guzek M. Methods of computational error determination in an analysis of selected pre-accident situations in road traffic. PhD thesis. Warsaw University of Technology, Transportation Faculty. Warsaw, 2002. (in the Polish language).

275. Brach M., Brach R. Vehicle Accident Analysis and Reconstruction Methods. *SAE International*, 2011. 442 p.
276. Metz L. D., Metz L. G., Sensitivity of accident reconstruction calculations. *SAE Technical Paper 980375*, 1998.
277. Brach R., Dunn P. Uncertainty analysis for forensic science. *Lawyers and Judges Publishing Company Inc*, USA, 2003.
278. Wach W. Wiarygodność strukturalna rekonstrukcji wypadków drogowych. Kraków: *Wydawnictwo Instytutu Ekspertyz Sądowych*. 2014. 194 s.
279. Wach W. Calculation reliability in vehicle accident reconstruction. *Forensic Science International*. 2016. Vol. 263, P. 27-38, DOI: 10.1016/j.forsciint.2016.03.038.
280. Brach M. R., Guzek M., Lozia Z. Uncertainty of road accident reconstruction computations. *Proceedings of the 16th Annual EVU Congress, Institute of Forensic Research Publisher*. Kraków, 2007. P. 35-50.
281. Taylor J. R. An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements, 2nd Ed., *University Science Books*, Sausalito, CA, 1997.
282. Bartlett W., Fonda A. Evaluating uncertainty in accident reconstruction with finite differences, *SAE Technical Paper* No. 2003-01-0489, Warrendale, PA, 2003, DOI:10.4271/2003-01-0489.
283. Wicher J. Influence of the second order partial derivatives in total differential method. *Proceedings of the 16th Annual EVU Congress, Institute of Forensic Research Publisher*. Kraków, 2007. P. 23-26.
284. Wach W. Uncertainty in calculations using Lambourn's critical speed procedure, *SAE Technical Paper* 2013-01-0779, Warrendale, PA, 2013, DOI:10.4271/2013-01-0779.
285. Marks Ch. C. O'N. An introduction to the use of Bayes' theorem for analysis of motor vehicle crash evidence. *ITAI Conference 2011 Leeds, ITAI Publisher*. Shrewsbury, 2011. P. 87-96.
286. Davis G. A. Bayesian reconstruction of traffic accidents. *Law, Probability and Risk*. 2003. Vol. 2 (2), P. 69-89. DOI: 10.1093/lpr/2.2.69.

287. Wach W. Bayesian networks for hypothesis assessment in road accident reconstruction. *ITAI Conference 2011 Leeds, ITAI Publisher*. Shrewsbury, 2011. P. 87-96.

288. Kimbrough S. Determining the relative likelihoods of competing scenarios of events leading to an accident. *SAE Technical Paper* No 2004-01-1222. Warrendale, PA, 2004. DOI: 10.4271/2004-01-1222.

289. Hänsel H. The basis of error calculus. *WNT*, Warsaw, 1968. (in the Polish language).

290. Sobczyk K. Methods of statistic dynamics. *PWN*, Warsaw, 1973. (in the Polish language).

291. Guzek M. An analysis of rectilinear braking of a vehicle as a stochastic process. *Scientific bulletins of the Świętokrzyska Technical University. Mechanika*. 2000. Vol. 71. P. 147-156. (in the Polish language).

292. Wach W., Unarski J. Determination of collision location – uncertainty analysis by means of Monte Carlo simulation. *Proceedings of the 16th Annual EVU Congress, Institute of Forensic Research Publisher*. Kraków, 2007. P. 73-93.

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

294. Fleck G., Daily J. Sensitivity of Monte Carlo modeling in crash reconstruction, *SAE Journal of Passenger Cars. Mechanical Systems*. 2010. Vol. 3 (1). P. 100-112. DOI: 10.4271/2010-01-0071.

295. Moser A., Steffan H., Spek A., Makkinga W. Application of the Monte Carlo methods for stability analysis within the accident reconstruction software PC-Crash. *SAE Technical Paper* No. 2003-01-0488. Warrendale, PA, 2003. DOI: 10.4271/2003-01-0488.

296. Жарко Ю. Г., Захаров И. П., Сакало С. Н. Оценивание неопределенности измерений тормозного пути при испытаниях автотранспортных средств. *Системи обробки інформації*. 2012. Вип. 1 (99). С. 70-73.

297. Bartlett W., Wright W., Masory O., Brach R., Baxter A., Schmidt B., Navin F., Stanard T. Evaluating the uncertainty in various measurement tasks common to accident reconstruction. *SAE Technical Paper* No. 2002-01-0546. Warrendale, PA, 2002. DOI: 10.4271/2002-01-0546.

298. Brach R. M. Design of experiments and parametric sensitivity of planar impact mechanics. *Proceedings of the 16th Annual EVU Congress, Institute of Forensic Research Publisher*. Kraków, 2007. P. 9-21.

299. Zou T., Cai M., Du R., Liu J. Analyzing the uncertainty of simulation results in accident reconstruction with Response Surface Methodology. *Forensic Sci. Int.* 2012. Vol. 216. P. 49-60. DOI: 10.1016/j.forsciint.2011.08.016.

300. Tubergen G. The technique of uncertainty analysis as applied to the momentum equation for accident reconstruction. *SAE Technical Paper* 950135. 1995.

301. Boff K., Lincoln J. Engineering data compendium: Human perception and performance. *Wright-Patterson Air Force Base, OH: Armstrong Medical Research Laboratory*. 1988.

302. Sens M., Cheng P., Weichel J., Guenther D. Perception/reaction time values for accident reconstruction. *Society of Automotive Engineers*. Paper N. 890732, 1989.

303. Muttart J. W. Development and Evaluation of Driver Response Time Predictors Based upon Meta Analysis. *SAE Technical Paper* 2003-01-0885. Warrendale, PA, 2003. DOI: 10.4271/2003-01-0885.

304. Guzek M, Jaśkiewicz M., Jurecki R. S., Lozia Z., Zdanowicz P. Driver reaction time under emergency breaking a car- research in the driving simulator, *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*. 2012. Vol. 14(4), P. 295–301.

305. Старіков Є. Л. Вдосконалення методів дослідження маневру транспортного засобу. *Криміналістичний вісник*. 2013. № 2 (20), С. 201-209.

306. Brach R. M. Tire models for vehicle dynamic simulation and accident reconstruction. *SAE Technical Paper* No. 2009-01-0102, Warrendale, PA, 2009. DOI: 10.4271/2009-01-0102.

307. Bernard J. E., Clover C. L. Validation of computer simulations of vehicle dynamics. *SAE Technical Paper* No. 940231, Warrendale, PA, 1994. DOI: 10.4271/940231
308. Grzeżożek W. The modelling of vehicle dynamics with stabilizing control of braking forces : monograph. Cracow: *Cracow University of Technology Publisher*, 2000. 275 p.
309. Lozia Z. Rollover of the biaxial vehicle—the influence of the model complexity on computation results. *Warsaw University of Technology – Proceedings of the Institute of Vehicles*. 2010. Vol. 3 (79). P. 19–27.
310. Bogdanovic V., Milutinovic N., Kostic S., Ruskic N. Research of the influences of input parameters on the result of vehicles collision simulation. *Promet Traffic Transp.* 2004. Vol. 24. P. 243-251. DOI: 10.7307/ptt.v24i3.317
311. Wach W. Vehicle collision analysis in terms of modeling uncertainty, *Proceedings of the Kielce University of Technology – Technology – Design and Maintenance of Machines*. 2008. Vol. 8. P. 273-285.
312. Fonda A. The effects of measurement uncertainty on the reconstruction of various vehicular collisions. *SAE Technical Paper Series*. vol. SP-1873, no. 2004-01-1220, Jan 2004.
313. Guzek M., Lozia Z. Possible errors occurring during accident reconstruction based on car 'black box' records. *SAE Transactions*. 2002. Vol. 111 (6), P. 677-696. DOI: 10.4271/2002-01-0549.
314. Davis G. A. Crash reconstruction and crash modification factors, *Accident Analysis and Prevention*. 2014. Vol. 62. P. 294-302. DOI: 10.1016/j.aap.2013.09.027.
315. Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение. М. : *Наука*, 1970. 707 с.
316. Вилкас Э. И., Майлинас Е. З. Решения: теория, информация, моделирование. М. : *Радио и связь*, 1981. 328 с.
317. Глонь О. В., Дубовой В. М. Моделювання систем керування в умовах невизначеності: монографія. Вінниця: *УНІВЕРСУМ-Вінниця*, 2004. 170 с.

318. Колмогоров А. Н., Фомин С. В. Элементы теории функций и функционального анализа. М. : *Физматиз*, 1968. 469 с.
319. Ротштейн О. П, Кательніков Д. І. Ідентифікація нелінійних об'єктів нечіткими базами знань. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 1997. №4. С. 98-103.
320. Хайкин С. Нейронные сети : полный курс. М. : *Вильямс*, 2006. 1104 с.
321. Мелихов А. Н., Берштейн Л. С., Коровин С. Я. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. М. : *Наука*, 1990. 272 с.
322. Снитюк В. Е., Рифат Мохаммед Али. Модели процесса принятия адаптивных решений композиционной структуры с детерминированными и вероятностными характеристиками. *Радиоэлектроника и информатика*. 2002. № 4. С. 123-127.
323. Снитюк В. Е. Эволюционный метод восстановления пропусков в данных. *Интеллектуальный анализ информации: сб. трудов VI международной конференции*. Киев, 2006. С. 262-271.
324. Skurikhin A. N., Surkan A. J. Identification of parallelism in neural networks by simulation with language. *Proceedings of the International Conference on KPL, APL Quote Quad*. Toronto, Canada. 1993. Vol. 24. № 3. Pp. 2301237.
325. Wasserman P. D. Combined backpropagation. Cauchy machine : *Proceedings International Neural Network Society*. New York: Pergamon Press, 1988. P. 254-261.
326. Шегал Б. Р., Гринберг А. С. Компенсация риска оценки нечетких переменных в экспертных системах. *Управляющие системы и машины*. 1994. № 1/2. С. 70-75.
327. Бучинський М.Я., Горик О.В., Чернявський А.М., Яхін С.В. Основи творення машин / [За редакцією О.В. Горика]. Харків : *НТМТ*, 2017. 448 с.
328. Zwicky F. Discovery Invention, Research Through the Morphological Approach. *McMillan*, 1969.
329. Транспортная логистика: Учебник для транспортных вузов / Под общей редакцией Л. Б. Миротина. М.: *Экзамен*, 2002. 400 с.

330. Ребрин Ю. И. Управление качеством: учебное пособие. Таганрог: *Изд-во ТРТУ*, 2004. 174 с.
331. Пеньшин Н. В. Эффективность и качество как фактор конкурентоспособности услуг на автомобильном транспорте : монография под науч. ред. В. П. Бычкова. Тамбов: *Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та*, 2008. 224 с.
332. Шаповал М. І. Менеджмент якості: підручник. К. : *Знання*, 2003. 475 с.
333. Моніторинг ДТП за III квартали 2018 року. Веб-сайт. URL: <http://dorndi.org.ua/ua/monitoring-dtp-za-iii-kvartali-2018-roku>. (дата звернення 20.11.2019)
334. Comparison of European and U.S. specification automotive headlamp performance. *American Automobile Association, Inc.* 2019. 58 p.
335. Sang Suh, Thomas Anthony. Big Data and Visual Analytics. Cham: *Springer*, 2018.
336. O'Malley, Ronan & Glavin Martin & Jones Edward. A review of automotive infrared pedestrian detection techniques. 2008. P. 168-173. DOI: 10.1049/cp:20080657.
337. DAI, Pang-da; ZHANG, Yu-jun; LU, Chang-hua; ZHOU, Yi; LIU, Jing; XIAO, XueLIU Wen-qing; WANG, Jing-li. Research on Night Visibility Estimation Method Based on Image Features of Dual Light Sources. *Spectroscopy and Spectral Analysis*. 2014. Vol. 34, Num. 1, pp. 1-5. DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2014)01-0001-05
338. Iparraguirre Gil O., Nuñez Barrionuevo B., Puerta Prieto J., Matey Muñoz L., Bores I., Brazalez Guerra A. Multi-sensor Tracking System: Towards More Intelligent Roads. *Pirovano A. et al. (eds) Communication Technologies for Vehicles. Nets4Cars/Nets4Trains/Nets4Aircraft 2017. Lecture Notes in Computer Science*, vol 10222. *Springer*, Cham. DOI: 10.1007/978-3-319-56880-5_12.
339. Christina Drake, Harish Chintakunta, Christopher Coughlin, Ezequiel Garcia, Scott Hoos, Kristyn Ardrey, Paul Luckey and Aubury Erickson. A Sensor for Visibility Determination under Fog Conditions. *Proceedings of the 31st Florida*

Conference on Recent Advances in Robotics, May 10-11, 2018, University of Central Florida, Orlando, Florida, USA. P. 34-38.

340. Whetsel Borzendowski S. A., & Campbell A. O. Applying the Twilight Envelope to the Forensic Analysis of Pedestrian and Bicyclist Conspicuity in the Dark. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. 2017. Vol. 61(1), P. 479-483. DOI: 10.1177/1541931213601603.

341. Pars Mukish, Pierrick Boulay, Eric Virey. Automotive Lighting. Technology, Industry and Market Trends. *Yole Développement*. 2016. 5 p.

342. Ashutosh Tiwari. Automotive Lighting Sector. *Equirus Securities analytic report*. 2018. 41 p.

343. Mazzae E. N., Baldwin G. H. S., Andrella A., & Smith L. A. Adaptive driving beam headlighting system glare assessment. (Report No. DOT HS 812 174). Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration, 2015, August.

344. Automotive Lighting Market Analysis By Technology (Halogen, Xenon, LED), By Application (Front/Headlamps, Rear, Side, Interior) And Segment Forecasts To 2022. (Dec, 2015). *Grand View Research, Inc.* San Francisco, California, United States (Report ID: 978-1-68038-657-8).

345. Ютт В. Е. Электрооборудование автомобилей : учеб. М. : *Горячая линия – Телеком*, 2006. 440 с.

346. Heitbrink David, Schwarz Chris, Wang Wanxin. Simulation of Automotive Headlights for Human Factors Research. *IMAGE 2017 Conference*, Dayton, Ohio. 27-28 June 2017.

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

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

349. Лобанов Е.М. Время реакции водителя. *Труды МАДИ*. 1975. Вып. 95. С. 84 -110.

350. Евтюков С. А., Васильев Я. В. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий. Справочник. СПб. : ДНК, 2006. 536 с.
351. Спинов А. Р., Кристальный С. Р., Попов Н. В. Учебные дорожные испытания автомобиля: методические указания к лабораторным работам по курсу «Теория наземных транспортно-технологических средств». М.: МАДИ, 2015. 48 с.
352. Залуга В. П. Оборудование автомобильных дорог для безопасности движения ночью. М. : Транспорт, 1970. 196 с.
353. Методика обґрунтування рівнянь вимірювань та оцінки методичної складової похибки (невизначеності) результатів вимірювань : МІ 13.002-2003. Офіц. вид. Харків : ХДНДІМ, 2003. 11 с.
354. Васілевський О. М. Алгоритм оцінювання невизначеності у вимірюваннях при виконанні метрологічних робіт. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2006. № 3 (7). С. 147-151.
355. Singh KB, Ali Arat M, Taheri S. An Intelligent Tire Based Tire-Road Friction Estimation Technique and Adaptive Wheel Slip Controller for Antilock Brake System. *ASME. J. Dyn. Sys., Meas., Control*. 2013. 135(3):031002. 26 p. DOI: 10.1115/1.4007704.
356. Kanwar Bharat Singh & Saied Taheri. Estimation of tire-road friction coefficient and its application in chassis control systems. *Systems Science & Control Engineering*. 2015. №3:1. P. 39-61. DOI: 10.1080/21642583.2014.985804.
357. Laugier, C., Paromtchik, I. E., Perrollaz M., Yoder J.-D., Tay, C., Yong, M., Nègre, A., Mekhnacha, K. Probabilistic analysis of dynamic scenes and collision risks assessment to improve driving safety. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*. 2011. №3. P. 4-19.
358. Andersson, M., Bruzelius, F., Casselgren, J., Hjort, M., Löfving, S., Olsson, G., ... Yngve, S. Road friction estimation. Part II. *IVSS project report. Volvo Technology*. 2010. 32 p.
359. Mark Denny. The dynamics of antilock brake systems. *European Journal of Physics*. 2005. Vol. 26(6). P. 1007-1016. DOI: 10.1088/0143-0807/26/6/008.

360. Bosch analysis: driver assistance systems continue their strong advance. Веб-сайт. URL: <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/en/bosch-analysis-driver-assistance-systems-continue-their-strong-advance-148032.html> (дата звернення 30.01.2020).

361. Косолапов Г. М., Сидоров Е. Н. Исследование устойчивости движения автомобиля при торможении. *Автомобильная промышленность*. 1973. №2. С. 26-30.

362. Smiley R. and Horne W. B. Mechanical properties of pneumatic tires with special reference to modern aircraft tires. *NACA*, 1957, N 4110.

363. Крук А.С. Теоретичні засади розрахунку транспортного засобу, обладнаного антиблокувальною системою, при виконанні маневру з одночасним застосуванням гальмування. *Судова інженерно-транспортна експертиза*. Вип. 11. 2011. С. 443-449.

364. Пат. 51031 Україна, МПК G01P 3/00 25.06.2010. Система для визначення параметрів руху автотранспортних засобів при динамічних (кваліметричних) випробуваннях. Подригало М. А., Коробко А. И., Клец Д. М., Файст В.Л. Заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. університет. № u201001136; заявл. 04.02.10; опубл. 25.06.10, Бюл. №12.

365. Губинский А.И. Надежность и качество функционирования эргатических систем. Ленинград: *Наука*, 1982, 270 с.

366. Ротштейн А.П., Кузнецов П.Д. Проектирование бездефектных человеко-машинных технологий. Киев: *Техника*, 1992. 180 с.

367. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: исследование, проектирование, испытание. Под ред. А.И. Губинского и В.Г. Евграфова. Москва: *Машиностроение*, 1994. 528 с.

368. Cai K.Y. Introduction on Fuzzy Reliability. Boston: *Kluwer Acad. Publ.*, 1996. 311 p.

369. Ротштейн А.П., Штовба С.Д. Нечеткая надежность алгоритмических процессов. Винница: *Континент – Прим*, 1997. 142 с.

370. Уткин Л.В., Шубинский И.Б. Нетрадиционные методы анализа надежности информационных систем. С.-Петербург: *Любавич*, 1998, 173 с.
371. Kosko B. Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*. 1986. Vol. 24. P. 65-75.
372. Axelrod R. Structure of Decision: The Cognitive Maps of Political Elites: *Princeton University Press*. NJ, 1976. 422 p.
373. Ципкин Я.З. Основы информационной теории идентификации. Москва: *Наука*, 1984, 320 с.
374. Rotshtein A., Rakytyanska H. Fuzzy Evidence in Identification, Forecasting and Diagnosis. Berlin: *Springer*, 2012. 340 p.
375. Ротштейн А.П. Нечетко-алгоритмический анализ надежности сложных систем. *Кибернетика и системный анализ*. 2011. №6. С. 102-115.
376. Ротштейн А.П. Ранжирование элементов системы на основе нечеткого отношения влияния и транзитивного замыкания. *Кибернетика и системный анализ*. 2017. №1. С. 68-78.
377. Kosko B. Neural Network and Fuzzy Systems. Englewood Cliffs, NJ: *Prentice – Hall*. 1992. 449 p.
378. Бутенин Н.В., Неймарк Ю.И. Фуфаев Н.А. Введение в теорию нелинейных колебаний. Москва: *Наука*, 1987, 382 с.
379. Barlow R. Proschan F. Statistical theory of reliability and life testing. New York: *Holt, Rinehart and Winston*, 1975, 327 p.
380. Birnbaum Z.W. On the importance of different components in a multicomponent system. P.R.Krishnaiah (ed), *Multivariate analysis – 2*, New York: *Academic Press*, 1969, P. 581-592.
381. Shannon C. E. A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*. 1948. Vol. 27. P. 379-423.
382. Rubinstein R.Y. Optimization of Computer Simulation Models with Rare Events. *European Journal of Operations Research*. 1997. Vol. 99. P. 89-112.

383. Greibe, P. Determination of Braking Distance and Driver Behaviour based on Braking Trials. *Presented at 87th Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Washington D.C. 2008.

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

385. Nerijus Kudarauskas. Analysis of emergency braking of a vehicle. *Transport*. 2007. Vol. 22:3. P. 154-159. DOI: 10.1080/16484142.2007.9638118.

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

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

388. Подригало М. А., Клец Д. М., Коробко А. І. Метрологічне забезпечення динамічних (кваліметричних) випробувань автомобілів. *Перспективи розвитку озброєння і військової техніки сухопутних військ : тези доповідей п'ятої Всеукраїнської науково-технічної конференції Академії сухопутних військ ім. гетьмана П. Сагайдачного*. 15-17 травня 2012 р. Львів, 2012. С. 316-317.

389. Клец Д. М. Метод повышения точности обработки данных, полученных в ходе испытаний мобильных машин, с помощью фильтра Баттерворта. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (серія: Автомобіле- та тракторобудування)*. 2012. № 60 (966). С. 98-104.

Додаток А. Статистичні дані про дорожньо-транспортні пригоди

Дорожньо-транспортна пригода (ДТП) – подія, що сталася під час руху транспортного засобу, внаслідок якої загинули або поранені люди чи завдані матеріальні збитки [77].

Таблиця А1 – Дорожньо-транспортні пригоди за 2018-2019 роки [71]

Регіон	Усього ДТП			ДТП з постраждалими								
				усього			загинуло			травмовано		
	2018	2019	%	2018	2019	%	2018	2019	%	2018	2019	%
АР Крим	0	0		0	0		0	0		0	0	
Вінницька	3002	3408	13,5	651	692	6,3	133	150	12,8	865	882	2,0
Волинська	2695	2909	7,9	716	807	12,7	110	124	12,7	884	984	11,3
Дніпропетровська	10357	11301	9,1	2008	2102	4,7	220	189	-14,1	2588	2583	-0,2
Донецька	3399	4100	20,6	878	1028	17,1	117	123	5,1	1148	1308	13,9
Житомирська	3738	3919	4,8	924	1002	8,4	165	180	9,1	1156	1283	11,0
Закарпатська	2819	3065	8,7	606	508	-16,2	126	86	-31,7	761	657	-13,7
Запорізька	5497	6140	11,7	1159	1168	0,8	138	150	8,7	1554	1471	-5,3
Івано-Франківська	2945	3336	13,3	735	813	10,6	127	147	15,7	960	1037	8,0
Київська	11474	12384	7,9	1655	1893	14,4	258	334	29,5	2207	2430	10,1
Київ	38073	40750	7,0	2179	2278	4,5	139	137	-1,4	2524	2655	5,2
Кіровоградська	1705	1967	15,4	397	532	34,0	58	70	20,7	491	662	34,8
Луганська	818	879	7,5	257	305	18,7	23	22	-4,3	384	392	2,1
Львівська	10779	11292	4,8	2036	2095	2,9	292	283	-3,1	2722	2844	4,5
Миколаївська	3643	3692	1,3	959	972	1,4	107	128	19,6	1300	1233	-5,2
Одеська	13594	14107	3,8	2017	1972	-2,2	273	233	-14,7	2410	2405	-0,2
Полтавська	3583	3764	5,1	880	995	13,1	131	123	-6,1	1110	1305	17,6
Рівненська	2306	2614	13,4	565	752	33,1	110	131	19,1	684	891	30,3
Сумська	1779	1935	8,8	532	603	13,3	55	79	43,6	674	720	6,8
Тернопільська	2222	2293	3,2	421	513	21,9	84	107	27,4	551	674	22,3
Харківська	11461	11902	3,8	1492	1807	21,1	159	182	14,5	1749	2185	24,9
Херсонська	3068	3295	7,4	747	708	-5,2	113	93	-17,7	934	876	-6,2
Хмельницька	2979	3118	4,7	685	664	-3,1	97	87	-10,3	902	887	-1,7
Черкаська	3652	3662	0,3	786	765	-2,7	125	113	-9,6	1025	956	-6,7
Чернігівська	2240	2506	11,9	585	583	-0,3	108	108	0,0	775	724	-6,6
Чернівецька	2292	2337	2,0	424	495	16,7	82	75	-8,5	526	692	31,6
Севастополь	0	0		0	0		0	0		0	0	
ЗАГАЛОМ	150120	160675	7,0	24294	26052	7,2	3350	3454	3,1	30884	32736	6,0
ЗА ДОБУ	411	440	7,1	67	71	6,0	9	10	11,1	85	90	5,9

Найбільш небезпечними районами України в плані кількості ДТП є області, де центрами є великі міста такі, як Дніпро, Київ, Львів, Одеса, Харків, де відбувається більш 10 тис. ДТП на рік (Таблиця А1).



Рисунок А1 – Відомості щодо скоєних ДТП за 2006-2018 роки [72]

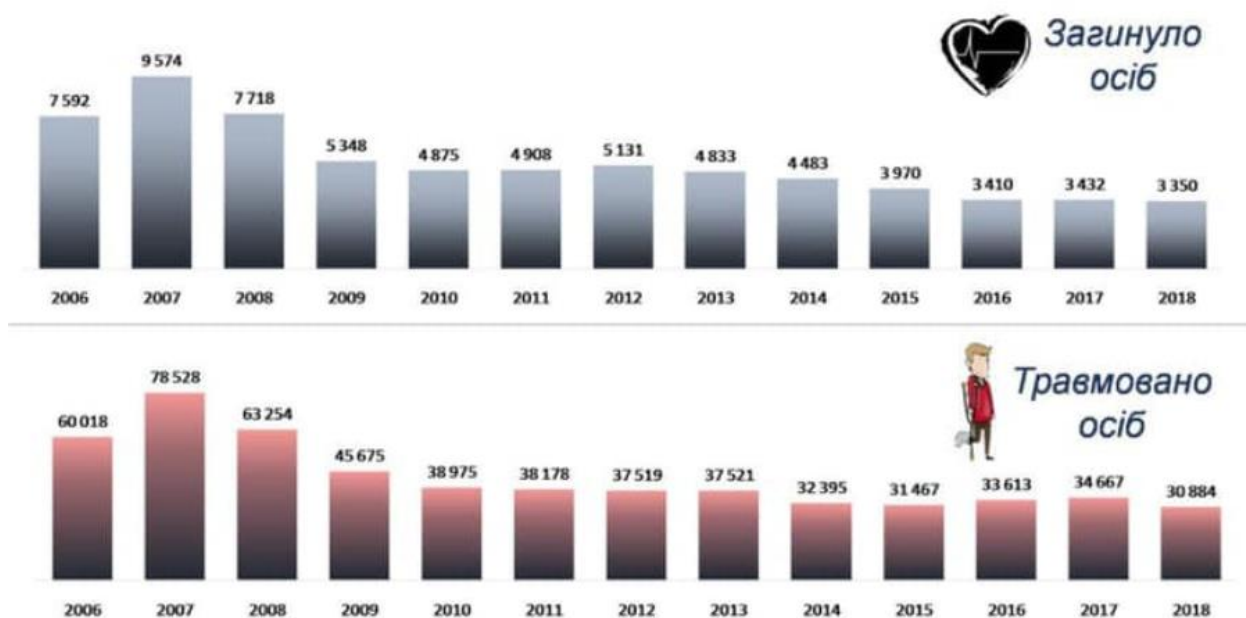


Рисунок А2 – Відомості щодо потерпілих осіб в ДТП за 2006-2018 роки [72]

на 1млн населення

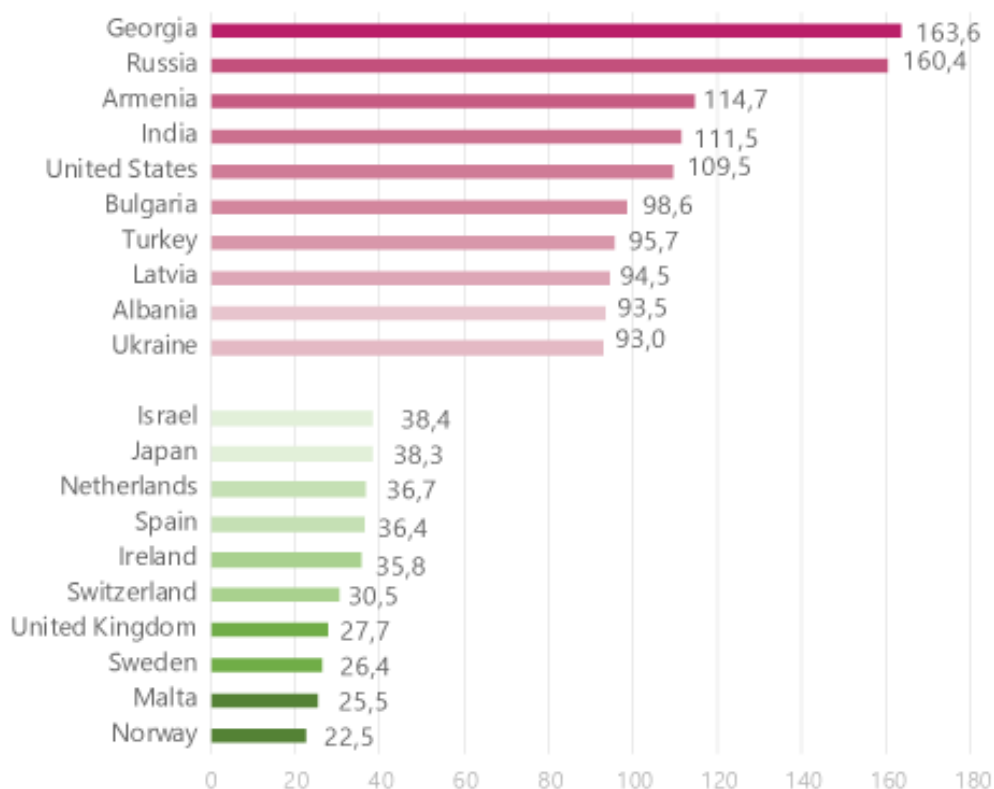


Рисунок А3 – ТОП країни по смертності в результаті ДТП [75].

Дорожньо-транспортні події класифікують за видами і за ступенями тяжкості наслідків. Розрізняють 9 видів ДТП:

- зіткнення;
- перекидання;
- наїзд на перешкоду;
- наїзд на пішохода;
- наїзд на велосипедиста;
- наїзд на; тварину; наїзд на гужовий транспорт;
- наїзд на транспортний засіб, що стоїть;
- інші події.

Залежно від ступеня тяжкості наслідків ДТП діляться на ті, що призвели: матеріальний збиток; легкі тілесні ушкодження; тілесні ушкодження середнього ступеня тяжкості і тяжкі; смерть потерпілого; особливо тяжкі наслідки (загинуло 4 і більш або поранено 15 і більш людей).

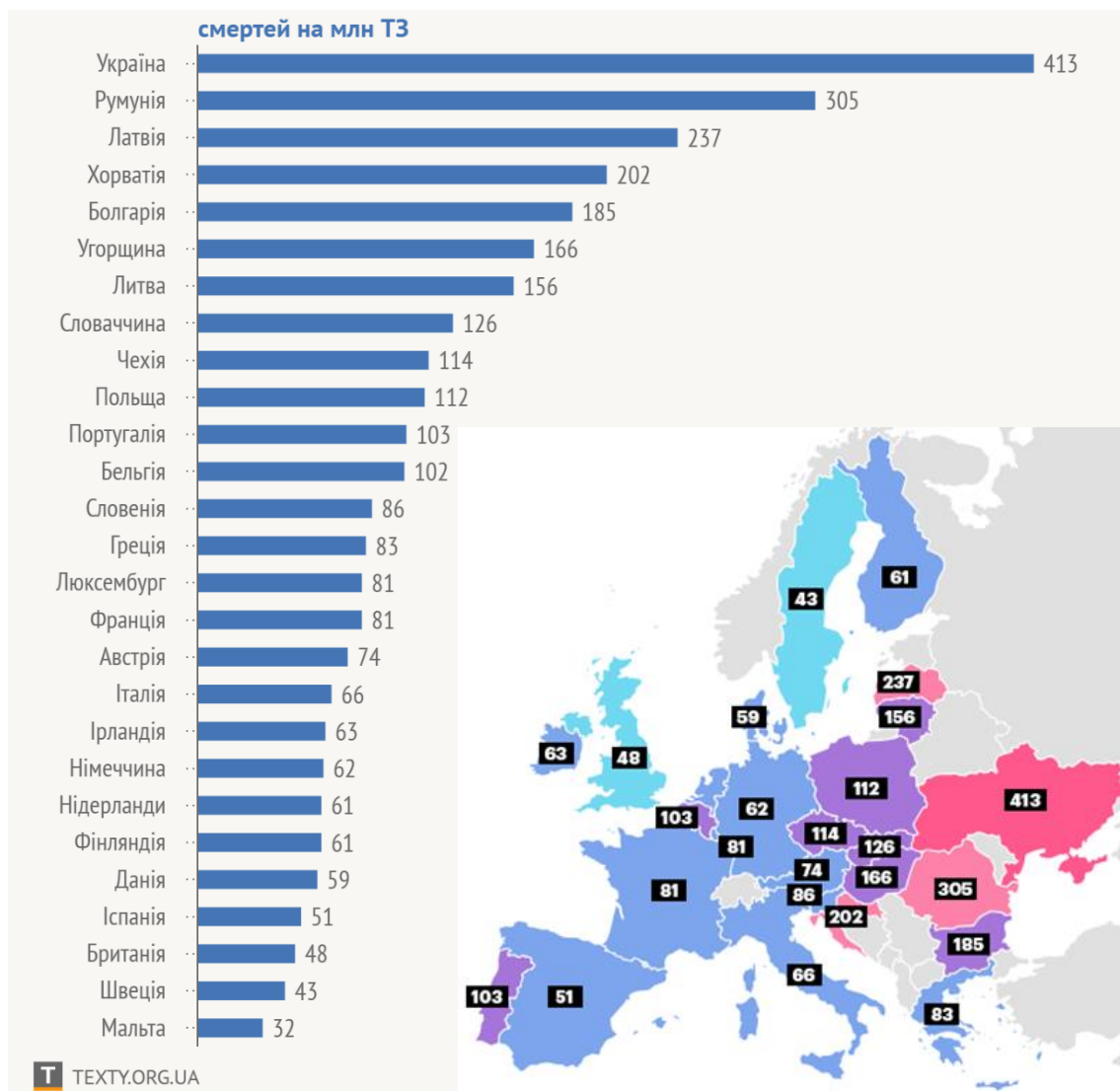


Рисунок А4 – Кількість смертей на 1 мільйон ТЗ на рік [76].

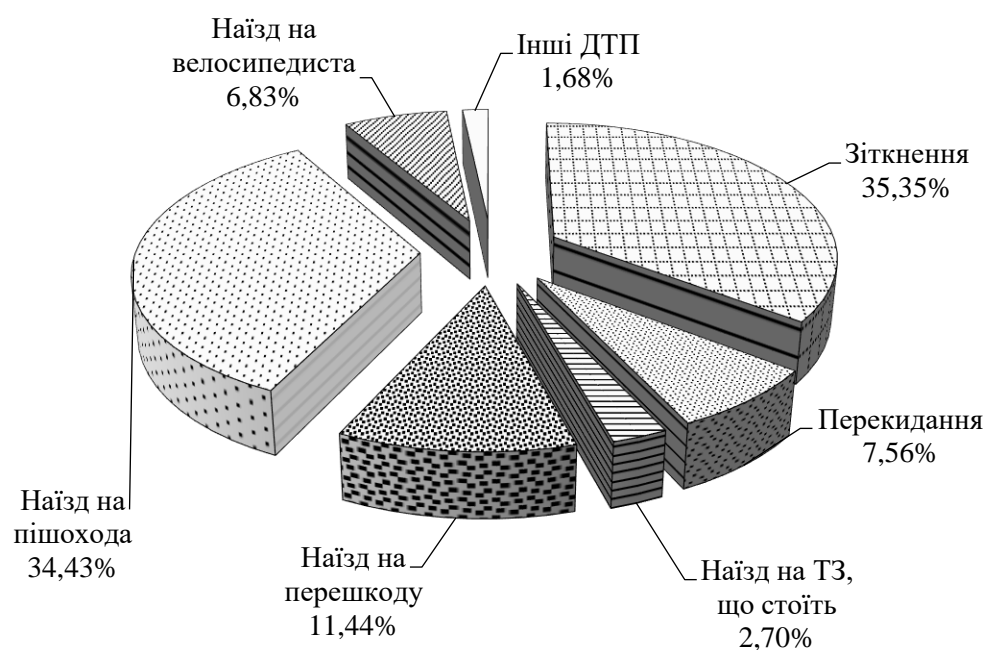


Рисунок А5 – Розподіл ДТП за видами (за 2010-2019 рр.) [71-73]

Таблиця А2 – Офіційно зареєстровані причини ДТП у 2019 році, % [71].

Керування транспортним засобом у нетверезому стані	6,67
Перевищення встановленої швидкості	1,98
Перевищення безпечної швидкості	31,56
Невиконання вимог сигналів регулювання	1,65
Порушення правил маневрування	20,09
Порушення правил проїзду пішохідних переходів	5,53
Порушення правил надання безперешкодного проїзду	1,17
Порушення правил обгону	1,53
Виїзд на смугу зустрічного руху	3,21
Порушення правил проїзду перехресть	10,38
Недодержання дистанції	9,07
Перехід у невстановленому місці	2,98
Неочікуваний вихід на проїзну частину	1,52
Інші	2,66

Средний возраст авто

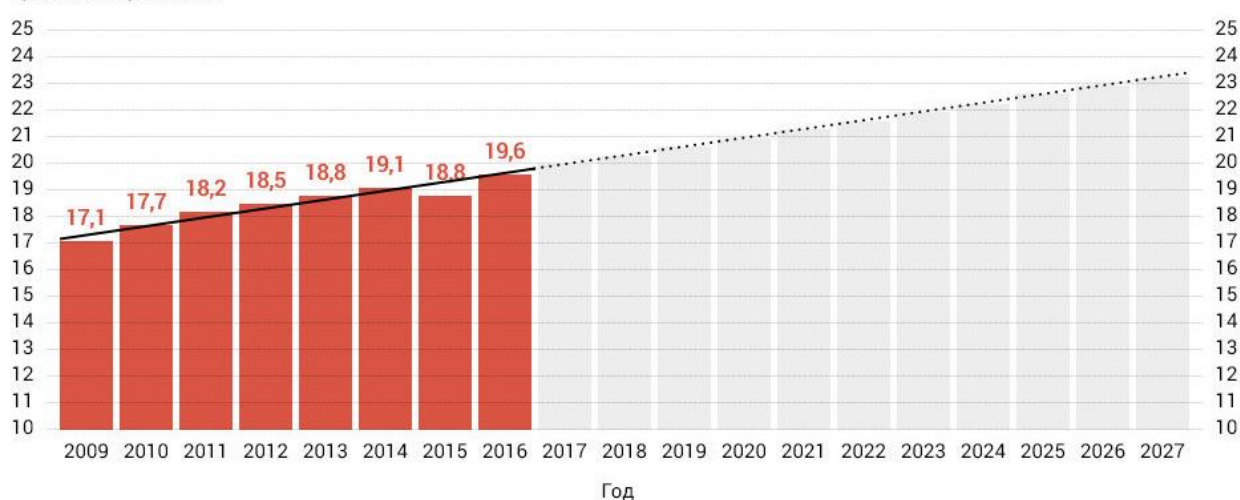


Рисунок А6 – Тенденції зміни середнього віку автопарку в Україні [79].

Таблиця А3 – Розподіл ДТП за видами технічних несправностей ТЗ [1, 6, **ПОМИЛКА! ИСТОЧНИК ССЫЛКИ НЕ НАЙДЕН.**]

Несправність	Кількість ДТП, %
Гальмівна система	47,1
Рульове керування	16,4
Шини	13,9
Прилади освітлення і сигналізації	7,4
Ходова частина	6,2
Дзеркала заднього огляду, склоочисники, дефекти скла	1,9
Зчпного пристрою	1,5

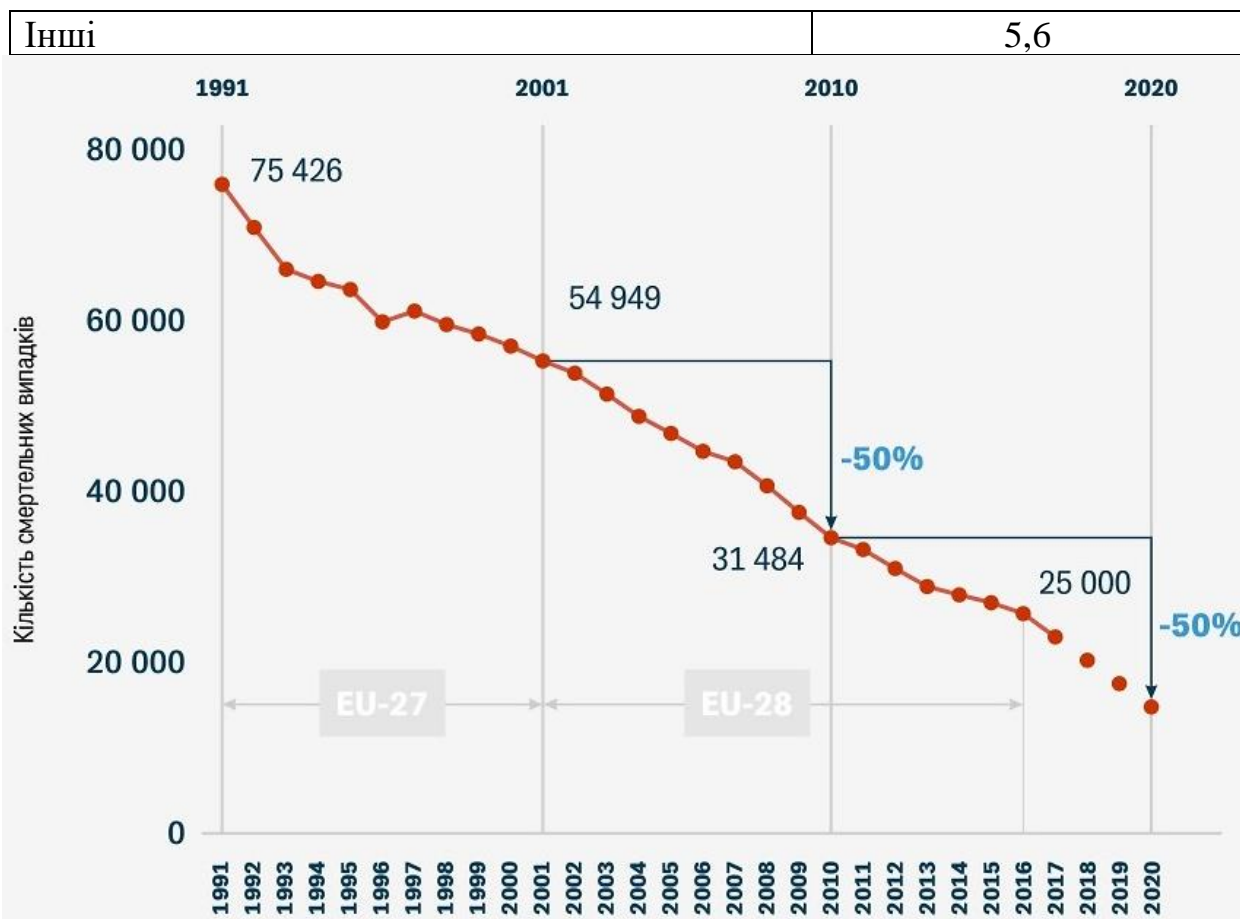


Рисунок А7 – Кількість людей, що загинули в ДТП в Євросоюзі [82].

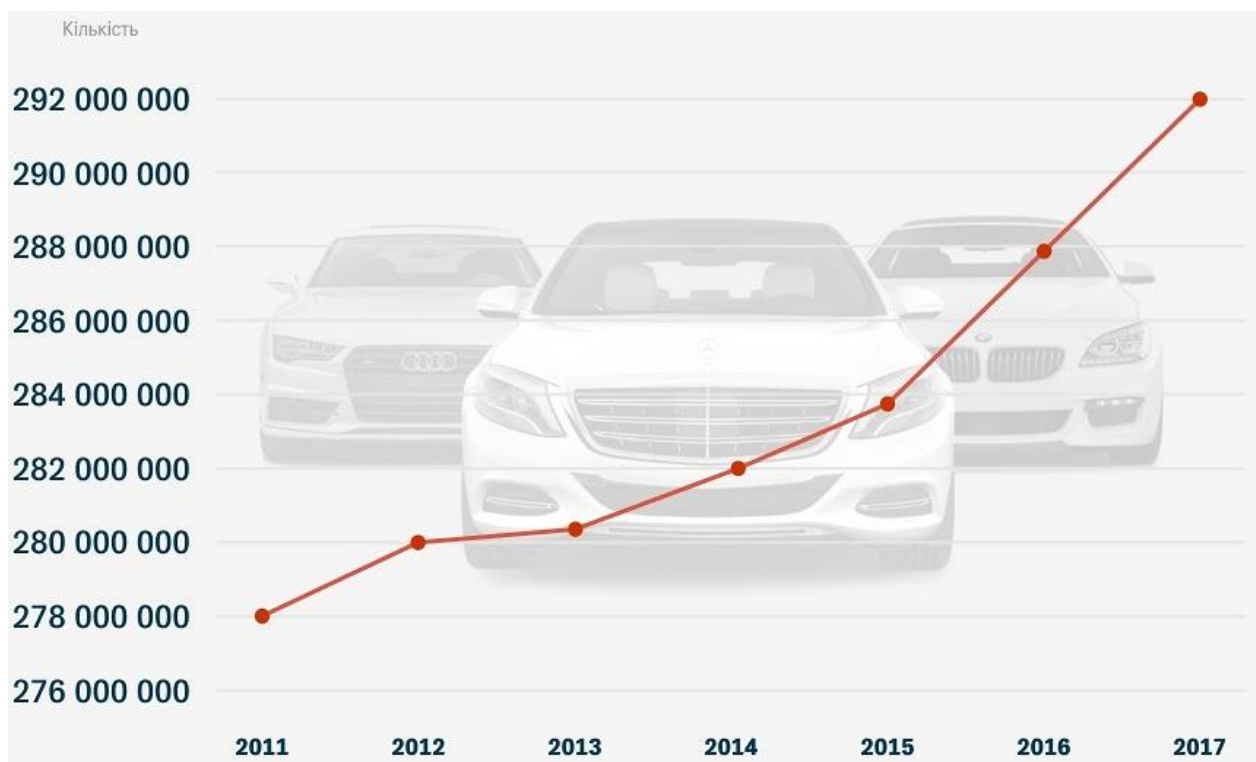


Рисунок А8 – Чисельність автопарку в Євросоюзі [82].

Додаток Б. Результати аналізу невизначеності вхідних величин, що використовуються при розслідуванні ДТП

Довідкові дані, параметри і коефіцієнти є результатом статистичної обробки множини результатів вимірювань відповідних величин, виконаних для множини однорідних об'єктів. На даний час відсутня можливість надати інтервальні оцінки розсіювання довідкових даних і параметрів, оскільки в існуючій літературі [83-89, 134-160] практично не міститься інформації про закони розподілу цих величин.

З метою оцінювання розсіювання вхідних величин, що використовуються при розслідуванні ДТП, скористаємося рекомендаціями з вираження невизначеності вимірювань [210, 211], розробленими міжнародними організаціями: BIPM (Міжнародне бюро мір і ваг); IEC (Міжнародна електротехнічна комісія); IFCC (Міжнародна федерація клінічної хімії); ISO (Міжнародна організація зі стандартизації); IUPAC (Міжнародний союз з чистої і прикладної хімії); IUPAP (Міжнародний союз з чистої і прикладної фізики); OIML (Міжнародна організація законодавчої метрології); ILAC (Міжнародна організація з акредитації лабораторій та інспекційних органів). Поняття невизначеності вимірювань в міжнародних рекомендаціях і стандартах було введено для опису точності вимірювання як ступеня довіри до отриманого результату. Відповідно до вище згаданих рекомендацій, там, де це можливо, розсіювання даних по відношенню до номінального значення X_N будемо характеризувати симетричними граничними відхиленнями ΔX з метою представлення їх у вигляді $X = X_N \pm \Delta X$.

Б.1 Невизначеність довідкових значень часу реакції водія

Реакція – це дія організму у відповідь на який-небудь подразник. Вся діяльність водія являє собою суцільний ланцюг різних реакцій [136, 207, 302-304]. Несвоєчасні або неточні реакції приводять до підвищення небезпеки руху.

Час реакції людини в різних аспектах вивчається психологами, фізіологами та інженерами. Реакції бувають прості і складні. Проста реакція – це дія у відповідь на одиночний сигнал (світловий, звуковий, тактильний), яка характеризує, насамперед, швидкість передачі сигналів у нервовій системі. Контроль простої реакції часто використовується в психології та фізіології як індикатор стану центральної нервової системи людини та є одним із критеріїв професійної придатності спеціаліста – водія автомобіля, машиніста електропоїзда, пілота літака. Якщо при виконанні рушійного процесу необхідно вибрати одну або кілька конкретних дій із ряду можливих, то реакція називається складною. Саме така реакція цікавить експерта-автотехніка при проведенні автотехнічної експертизи ДТП.

Ситуаційний час реакції водія t_1 (рис. Б.1), тобто інтервал часу від моменту появи подразника в полі зору водія до початку впливу останнього на органи керування автомобілем (важель гальма, зчеплення, акселератора, кермо), залежить від багатьох факторів:

- вік і стать водія, його індивідуальні особливості;
- рівень професійної підготовки;
- стаж роботи (досвід);
- умови руху (вдень, вночі, в гірських умовах, по ковзкій дорозі, інтенсивність руху, дистанція тощо);
- швидкість руху автомобіля;
- інтенсивність інформаційного навантаження;
- тривалість робочого часу;
- конструктивні особливості автомобіля.

Розрізняють латентний і моторний періоди часу реакції. Латентний (скритий) період – час, необхідний водію для усвідомлення, оцінювання ситуації і прийняття рішення про початок моторної (рушійної) реакції. Відповідно, моторний період – інтервал часу від початку рушійної реакції до початку впливу на орган керування автомобілем.

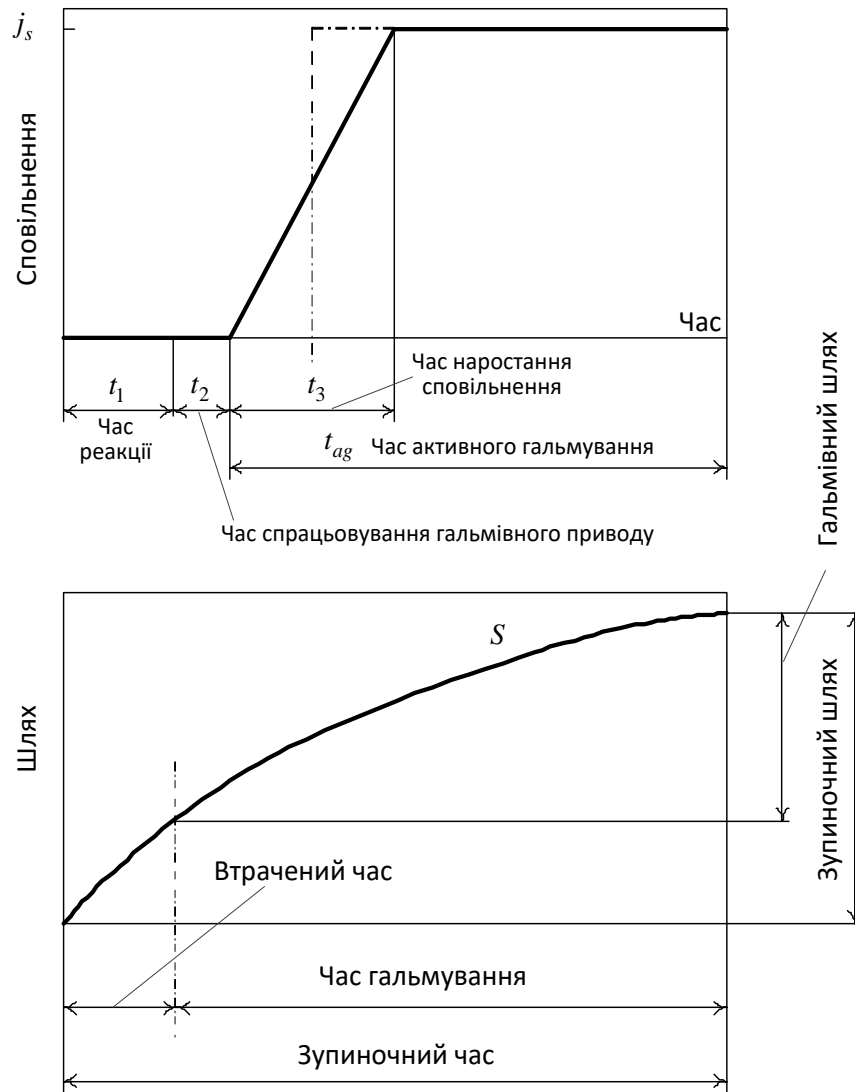


Рисунок Б.1 – Сповільнення і зупинний шлях автомобіля

На сьогодні в практиці САТЕ України використовуються диференційовані значення часу реакції водія [84, 85, 146], методично обґрунтовані та затверджені до використання в експертній практиці СРСР у 1983 році. Вони були отримані на основі експериментальних досліджень, проведених в дорожніх умовах, що відповідають характеристикам і варіантам дорожньо-транспортних ситуацій (ДТС), наведеним в таблиці Б.1. Дослідження проводились під керівництвом Е. М. Лобанова (Московський автодорожній інститут - МАДИ), Н. М. Крісті (Всесоюзний науково-дослідний інститут судових експертиз - ВНИИСЭ), О. В. Лукошявичене (Вільнюський інженерно-будівельний інститут), В. М. Сегеркранца (Талліннський політехнічний

інститут), Р. Т. Мушегіяна (Науково-дослідний інститут автомобільного транспорту - НИИАТ), Ю. Б. Суворова, А. К. Гордєєвої (ВНИИСЭ).

Таблиця Б.1 – Диференційовані значення часу реакції водія

Характеристика ДТС та їх типові варіанти	t_1, c
1	2
I. Складні ДТС	
<p>Водій мав об'єктивну можливість наперед виявити вірогідну небезпеку та постійно слідкувати за нею, а також визначити заходи з попередження ДТП:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> вихід пішохода з поза об'єкта, що обмежує оглядовість, безпосередньо вслід за іншим пішоходом; <input type="checkbox"/> початок чи зміна руху в напрямку смуги руху ТЗ пішохода, що знаходився на проїзній частині в полі зору водія; <input type="checkbox"/> виїзд ТЗ, водій якого мав переважне право на рух. 	0,6
<p>Водій міг помітити явні ознаки небезпеки чи перешкоди, від нього була потрібна підвищена увага:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> вихід пішохода на нерегульований пішохідний перехід чи на проїзну частину даного напрямку на перехресті в місці, де перехід дозволено; <input type="checkbox"/> вихід пішохода на регульований пішохідний перехід чи проїзну частину на регульованому перехресті на дозвільний сигнал світлофора (регульовальника); <input type="checkbox"/> вихід на проїзну частину пішохода, що рухався до цього в тому ж напрямку в полі зору водія (з тротуару, обочини, від розділової смуги, трамвайного полотна чи резервної зони); <input type="checkbox"/> вихід пішохода на проїзну частину на ділянці, де перехід дозволено (якщо пішохід до виходу на проїзну частину рухався в іншому напрямку, стояв чи вийшов з групи людей); <input type="checkbox"/> поява пішохода на проїзній частині на ділянці, де перехід дозволено, з поза нерухомого об'єкта, що обмежує оглядовість, чи з групи людей, що знаходилась на проїзній частині; <input type="checkbox"/> поява пішохода на проїзній частині на ділянці, де перехід дозволено, з поза ТЗ, що рухався по крайній смузі руху; <input type="checkbox"/> рух пішохода до громадського транспорту та від нього на зупинках громадського транспорту; <input type="checkbox"/> виникнення перешкоди (небезпеки), про яку водій був попереджений відповідним дорожнім знаком; <input type="checkbox"/> виїзд ТЗ, водій якого був вимушений зробити це через дорожні обставини; <input type="checkbox"/> рух ТЗ проти дозволеного напрямку; <input type="checkbox"/> зміна траєкторії руху ТЗ, що слідував попереду, в процесі його обгону; <input type="checkbox"/> екстрене гальмування ТЗ, що рухався попереду, під час зміни траєкторії заднього для обгону 	0,8
<p>Не було явних ознак небезпеки, але від водія була потрібна увага до дорожньої ситуації:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> раптовий вихід пішохода на проїзну частину на ділянці, де перехід не дозволено (якщо пішохід до виходу на проїзну частину рухався в іншому напрямку, стояв чи вийшов з групи людей); <input type="checkbox"/> раптова поява пішохода на проїзній частині на ділянці, де перехід не дозволено, з поза ТЗ, що рухався по крайній смузі руху; <input type="checkbox"/> поява пішохода на проїзній частині на ділянці, де перехід дозволено, з поза ТЗ, що рухався не по крайній смузі руху; 	1,0

Продовження табл. Б.1

1	2
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> раптова поява пішохода на проїзній частині на ділянці, де перехід не дозволено, з поза нерухомого об'єкта, що обмежує оглядовість, чи з групи людей, що знаходилась на проїзній частині; <input type="checkbox"/> виїзд ТЗ, водій якого не мав переважного права на рух; <input type="checkbox"/> поворот ТЗ на перехресті без подачі сигналу повороту. 	1,0
<p>Від водія не вимагалось підвищеної уваги:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> раптова поява пішохода на проїзній частині на ділянці, де перехід не дозволено, з поза ТЗ, що рухався не по крайній смузі руху; <input type="checkbox"/> раптовий вихід пішохода на проїзну частину з обочини поза населеним пунктом при відсутності пішохідного руху (якщо пішохід до виходу на проїзну частину рухався в іншому напрямку чи стояв); <input type="checkbox"/> рух по проїзній частині в напрямку смуги ТЗ пішохода, що почав перехід при заборонному сигналі світлофора (регулювальника); <input type="checkbox"/> виїзд ТЗ при заборонному сигналі світлофора (регулювальника); <input type="checkbox"/> раптова поява ТЗ на проїзній частині дороги населеного пункту (з поза об'єкта, що обмежує оглядовість); <input type="checkbox"/> раптова зміна напрямку руху зустрічного чи попутного ТЗ за межами перехрестя (коли ознаки можливого здійснення маневру були відсутні); <input type="checkbox"/> гальмування ТЗ, що рухався попереду, без включення стоп-сигналу зі сповільненням 3-6 м/с². 	1,2
<p>Мінімальна вірогідність виникнення небезпеки або перешкоди:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> раптова поява пішохода чи ТЗ на проїзній частині дороги поза населеним пунктом (з поза об'єкта, що обмежує оглядовість); <input type="checkbox"/> гальмування ТЗ, що рухався попереду, без включення стоп-сигналу зі сповільненням до 3 м/с²; <input type="checkbox"/> нерівності та руйнування проїзної частини, об'єкти, що знаходились на проїзній частині, не передбачені в розглянутих типових варіантах (люди, тварини, нерухомі об'єкти, предмети). 	1,4
II. Вільні ДТС	
<p>ДТС, в яких не виникає перешкод для руху ТЗ і сам водій не створює перешкод (його автомобіль не являється перешкодою) для інших учасників руху:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> раптова відмова фар; <input type="checkbox"/> перемикання сигналу світлофора на червоний (після жовтого); 	0,6
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> раптове відкриття капота чи кришки багажника ТЗ, що рухається попереду; <input type="checkbox"/> раптове осліплення водія світлом фар зустрічного ТЗ 	0,8
<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> раптова відмова чи неефективність органа керування ТЗ, поява інших несправностей, що загрожують безпеці руху; <input type="checkbox"/> фізичне втручання пасажира в процес керування ТЗ 	1,2
III. Оцінювання вибору швидкості та дистанції	
<p>Оцінювання водієм дорожніх умов та обставин:</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> вибір водієм швидкості ТЗ за умовами видимості елементів дороги в напрямку руху; <input type="checkbox"/> вибір водієм дистанції при русі за ТЗ-лідером. 	0,3

Інколи об'єкт (перешкода) малопомітний (наприклад, при світлі фар зустрічних ТЗ; неконтрастному фарбуванні об'єкта, коли він зливається з фоном; при недостатньому освітленні об'єкта). В цьому випадку в

узагальненій дорожньо-транспортній ситуації, характеристика якої наведена в ч. I (складні ДТП) табл. Б.1, час реакції водія слід збільшити на 0,6 с. В таких випадках час реакції збільшується, в основному, внаслідок погіршення умов сприйняття і, відповідно, більшої тривалості виявлення водієм об'єкта.

Мінімальні та максимальні значення часу реакції водіїв подані в табл. Б.2.

Таблиця Б.2 – Значення часу реакції водіїв за віковими групами

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

Застосування в експертній практиці диференційованих значень часу реакції водія при дослідженні ДТП, скоєних в темну пору доби, пов'язано з необхідністю розмежування понять і величин дальності видимості дороги (її елементів) та дальності видимості перешкоди.

Дальність видимості дороги залежить від її параметрів, освітлення і дорожніх (атмосферних) умов. Оскільки на проїзній частині дороги не повинно бути перешкод, які водій не може завчасно виявити, водій при виборі швидкості має право орієнтуватися лише на очікуваний подразник одного типу – зміну видимості елементів дороги. Тому при визначенні максимально допустимої швидкості за умовами видимості дороги мінімальний час простої сенсомоторної реакції рекомендується приймати рівним 0,3 с.

При виникненні в полі зору конкретної перешкоди водію, відповідно до вимог ПДР, слід вживати заходи для попередження пригоди. Видимість перешкоди на дорозі залежить від контрастності та розмірів перешкоди на фоні дороги, об'єктів придорожньої обстановки тощо. Тому дальність

видимості конкретної перешкоди може відрізнятися від дальності видимості дороги. Її рекомендовано визначати шляхом слідчого експерименту як відстань від передньої частини ТЗ, з якого перешкода може бути чітко впізнана за характерними ознаками з місця водія [2, 12, 13, 83-88, 146, 157, 158]. Результати порівняння часу реакції водія в умовах темної пори доби за даними [158, 301, 302] подані на рис. Б.2.

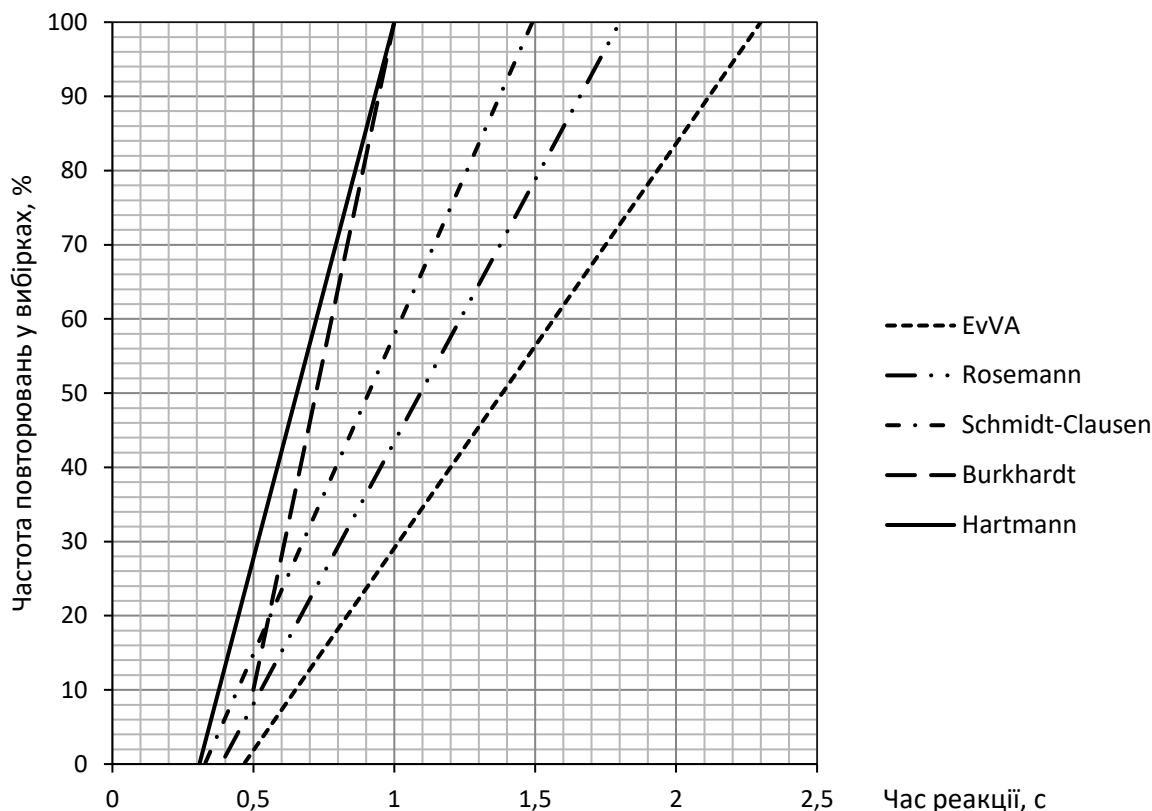


Рисунок Б.2 – Порівняння часу реакції водія в умовах темної пори доби

Істотний вплив на час реакції чинить втома водія протягом робочого дня. Втома людини знижує її працездатність. Розрізняють фізіологічну та психічну втоми [136, 151, 159]. Фізіологічна втома пов'язана з впливом на нервову систему продуктів розпаду речовин в організмі людини. Психічна втома обумовлена перевантаженням нервової системи. Обидва види втоми діють на людину спільно і проявляються в тому, що:

- знижується сприйняття людини, в результаті чого окремі подразники вона взагалі не сприймає;

- мислення людини стає уповільненим і неточним;
- знижується здатність концентрувати увагу і свідомо її регулювати, людина відволікається та робить помилки;
- під впливом втоми виникають небажані порушення психіки – напруженість, роздратованість, емоційна нестійкість;
- втома створює перешкоди для здійснення сенсомоторних функцій людини.

В результаті спільної дії усіх цих факторів, обумовлених втомою водія, час його реакції збільшується. Одночасно збільшується і розсіювання часу реакції відносно середнього значення. На рис. Б.3 подана зміна часу реакції водія протягом робочого дня [207] та результати апроксимації експериментальних даних.

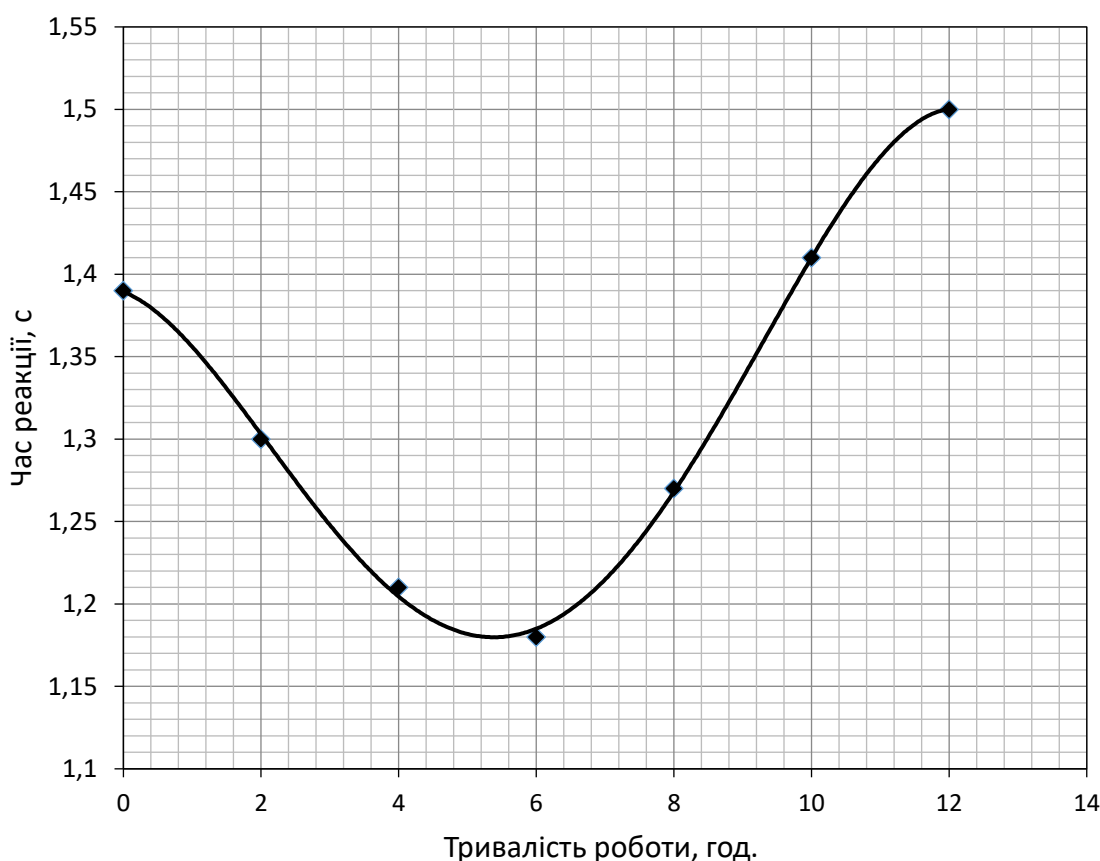


Рисунок Б.3 – Залежність часу реакції від тривалості роботи

Як видно з рис. Б.3, в початковий період роботи час реакції зменшується, але по мірі накопичення втоми він спочатку стабілізується, а потім починає зростати.

Чим вища інтенсивність руху, тим більше об'єктів попадає в поле зору водія і тим складніше йому оцінити певний сигнал та вибрати правильне рішення. На дорогах з двома чи трьома смугами для руху в обох напрямках мінімальний час реакції відповідає інтенсивності 120-200 авт./год., а максимальний – при русі по вільній від транспортних засобів дорозі. Така дорога характерна монотонністю, що знижує інтенсивність уваги та емоційну напругу водія. При появі втоми час реакції водія збільшується зі збільшенням інтенсивності руху [207, 302, 349] (табл. Б.3).

Таблиця Б.3 – Вплив тривалості роботи та інтенсивності руху на час реакції водія

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

Час сенсомоторної фази реакції водія t_1 на гальмування вимірюється з моменту впливу стимулу на орган відчуття до торкання важеля гальма (початку руху педалі) можна визначити із залежності [158, 350]:

$$t_1 = t_0 + t_{mk}(RV) + \Delta t(V_a, B), \quad (\text{Б.1})$$

де t_0 – час виявлення, впізнання, прийняття рішення тощо, с (табл. Б.4);

Таблиця Б.4 – Нормативний час t_0

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

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

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

$$\Delta t(V_a, B) = 0,1 \cdot \lg((1 + 0,005V_a)0,04B). \quad (\text{Б.2})$$

Б.2 Невизначеність результатів вимірювання швидкості автомобіля

Під час руху водій контролює швидкість автомобіля за показниками спідометра. В момент ДТП початкова швидкість автомобіля може бути також зафіксована водієм за спідометром. При відсутності такої можливості для отримання інформації про швидкість автомобілів та інших транспортних засобів в момент пригоди можна користуватись показами свідків, результатами слідчого експерименту або даними технічних засобів, які дозволяють фіксувати рух ТЗ в процесі ДТП: відеореєстратори, навігатори, системи EDR – Event Data Recorder (реєстрація даних про події) [1, 35, 36, **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, 84, 89].

Розглянемо питання невизначеності результатів вимірювання власної швидкості автомобіля спідометром. Спідометри усіх видів, встановлені на транспортні засоби, не відносяться до класу точних приладів [207, 213, 214]. Для кожного виду даних приладів встановлені допустимі похибки, які стосуються самих приладів і не враховують конструктивні зміни та фізичний знос вузлів автомобіля. За технічними вимогами ЄЕК ООН №39 спідометри не можуть занижати покази, їх середня похибка може бути лише позитивною та не повинна перевищувати дійсну швидкість транспортних засобів категорій М та N більше ніж на $10\% + 6 \text{ км/год}$ при температурі вимірювання $23 \pm 5^\circ\text{C}$ та нормальному тиску в шинах, встановленому заводом-виробником.

При температурах навколишнього повітря, що відрізняються від нормальної, виникає додаткова похибка вимірювань швидкості спідометром [207]. Для кожних 10 градусів відхилення температури повітря від нормальної додаткова похибка спідометра не перевищу значень, вказаних в таблиці Б.5.

Таблиця Б.5 – Додаткова похибка вимірювань швидкості спідометром

Діапазон температур, °С	Додаткова похибка (%) від верхньої межі показань
Від –25 до +60	± 2
Від –25 до –40	± 5

Особливістю спідометрів як засобів вимірювання власної швидкості автомобіля є те, що вони протягом усього періоду експлуатації автомобіля не підлягають і не піддаються періодичній повірці органами метрологічної служби та ремонту, тобто метрологічні характеристики спідометрів, в тому числі похибка вимірювань, контролюються лише під час випуску їх на виробництві. Виробник гарантує відповідність спідометрів технічним вимогам при дотриманні умов експлуатації. При цьому вказується, що гарантійний строк та гарантійне напрацювання спідометрів повинні бути рівними гарантійному строку та гарантійному напрацюванню автомобіля на якому вони встановлені. Гарантійний строк зберігання спідометрів складає три роки, тому, враховуючи реальні терміни експлуатації автомобілів, не можна виключити вихід за допустимі межі характеристик похибки вимірювань спідометрів за весь термін служби.

Як оцінити сумарну граничну похибку вимірювання швидкості спідометром? Слід звернути увагу, що основна похибка спідометра нормована лише зі знаком «плюс». Таке одностороннє нормування похибки протирічить метрологічним правилам оцінювання похибки симетричним інтервалом [209-211]. Це означає, що кожна відмітка шкали штучно зсунута в сторону більших значень швидкості на величину, рівну половині розмаху основної похибки, та любій відмітці шкали насправді відповідає менше дійсне значення швидкості (рис. Б.4). Так при похибці спідометра +18 км/год показам спідометра 120 км/год насправді відповідає швидкість 111 км/год (рис. Б.5).

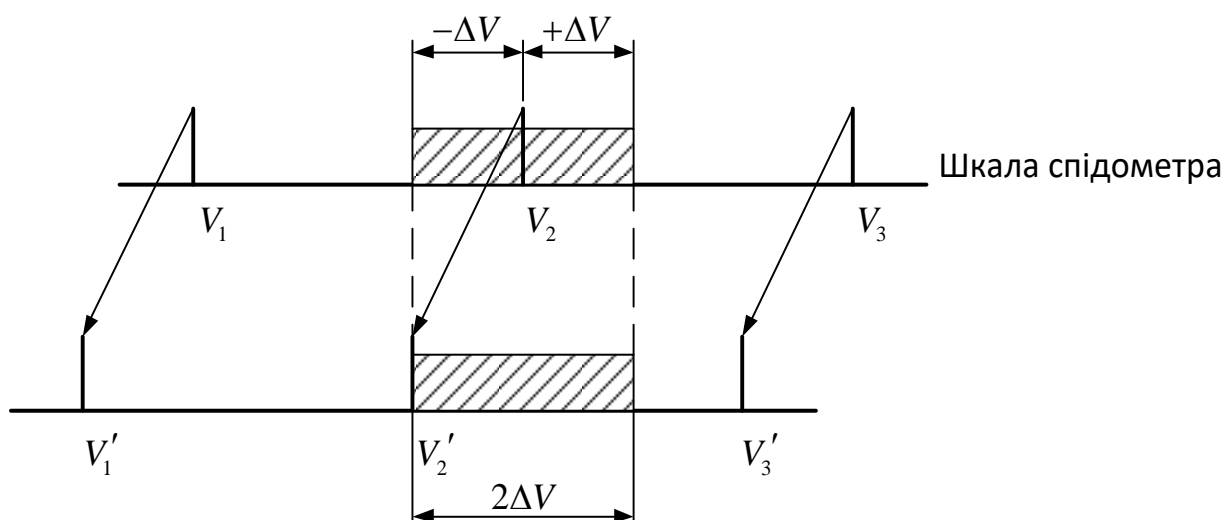


Рисунок Б.4 – До нормування похибки спідометра

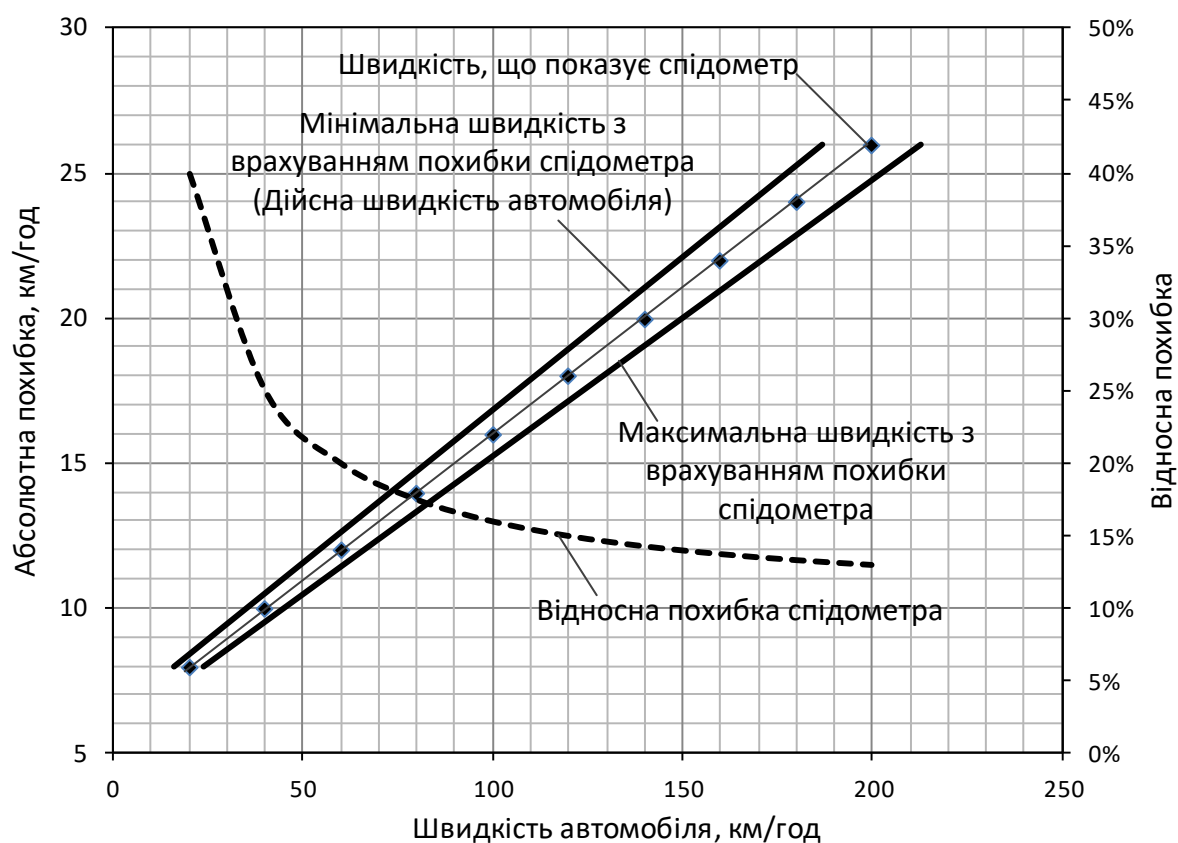


Рисунок Б.5 – До визначення похибки спідометра

Таким чином, щоб підрахувати сумарну похибку вимірювання, необхідно спочатку прийняти за основу відраховане за шкалою значення швидкості v_a .

Після цього основна похибка може бути представлена симетричним інтервалом $\pm(0,1V_a + 6)/2$ км/год. Тоді сумарна гранична похибка спідометра визначиться як сума скорегованої основної похибки та додаткової похибки (див. табл. 3.5) без врахування знаку. Наприклад, при швидкості 80 км/год і температурі навколишнього середовища 40 °С похибка складе $\pm(7+1,6)$ км/год, тобто $\pm 8,6$ км/год.

Як видно з наведених даних, похибка вимірювань швидкості автомобіля спідометром в багатьох випадках може бути значною, що необхідно враховувати як невизначеність при розв'язанні питань САТЕ.

На даний час існує можливість встановлення швидкості автомобіля за допомогою сучасних електронних приладів. Так науковці Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (ХНАДУ) та науково-дослідного експертно-криміналістичного центру (НДЕКЦ) при ГУМВС України в Харківській області провели експерименти з визначення швидкості руху ТЗ за допомогою запису з відеореєстратора, який не обладнаний GPS-навігатором [84]. Відеозаписи детально аналізувались за допомогою програмного забезпечення «Кіностудія Windows Live». У таблиці Б.6 наведено результати розрахунків абсолютної і відносної похибки виміру швидкостей ТЗ за даними відеореєстратора в порівнянні з даними спідометра.

Отримані результати показали, що на ділянці запису 30-100 м у діапазоні швидкостей 40-130 км/год відносна похибка розрахункової середньої швидкості руху ТЗ складала 0,06-4,39 %, при цьому абсолютна похибка не перевищувала 0,29-5,0 км/год, що цілком допустимо.

Використання сучасних можливостей GPS дозволяє визначати точність положення на місцевості в радіусі не менше 13 метрів при постійному положенні GPS-приймача. При русі автомобіля можна розраховувати на радіус кола від 5 метрів у випадку відсутності суттєвих перешкод для прийому сигналу із супутників – щільна міська забудова, щільна хмарність, сильний снігопад тощо [65, 159, 181, 197-201]. Але навіть ці 5 метрів на автомобільних

швидкостях руху можуть, і вносять, суттєву похибку у визначення дійсної швидкості руху автомобіля.

Таблиця Б.6 – Результати експерименту з визначення середньої швидкості ТЗ за даними з відеореєстратора, що не обладнаний GPS-навігатором [84]

Марка автомобіля	Швидкість за спідометром км/год	Розрахункова швидкість, км/год	Абсолютна похибка розрахунку швидкості, км/год	Відносна похибка розрахунку швидкості, %	Відстань між орієнтирами м
Skoda Fabia	55	55,38	0,38	0,7	70
Skoda Fabia	60	62,22	2,22	3,7	70
Skoda Fabia	70	72,22	2,22	3,17	70
Daewoo Lanos	53	54,21	1,21	2,28	100
Daewoo Lanos	63	62,71	0,29	0,46	100
BMW 520	51	51,87	0,87	0,06	33
BMW 520	40	37,05	2,95	0,27	35
BA3-21099	91	87	4,0	4,39	50
BA3-21099	121	126	5,0	4,13	50

У переважній більшості сучасних GPS-пристроїв дані про місцеположення оновлюються з частотою один раз в секунду [198, 199]. Визначимо можливу похибку показань швидкості для випадку руху з фактичною швидкістю 20 м/с (72 км/год) протягом 3-х секунд. З даною швидкістю за 3 секунди автомобіль пройде 60 метрів. При похибці визначення місцеположення с точністю до 5 метрів можемо отримати розрахункову пройдену відстань в межах від 50 до 70 метрів. Відповідно похибка визначення швидкості складає $\pm 16.67\%$, що приводить до можливого визначення швидкості в діапазоні від 60 до 84 км/год (рис. Б.6).

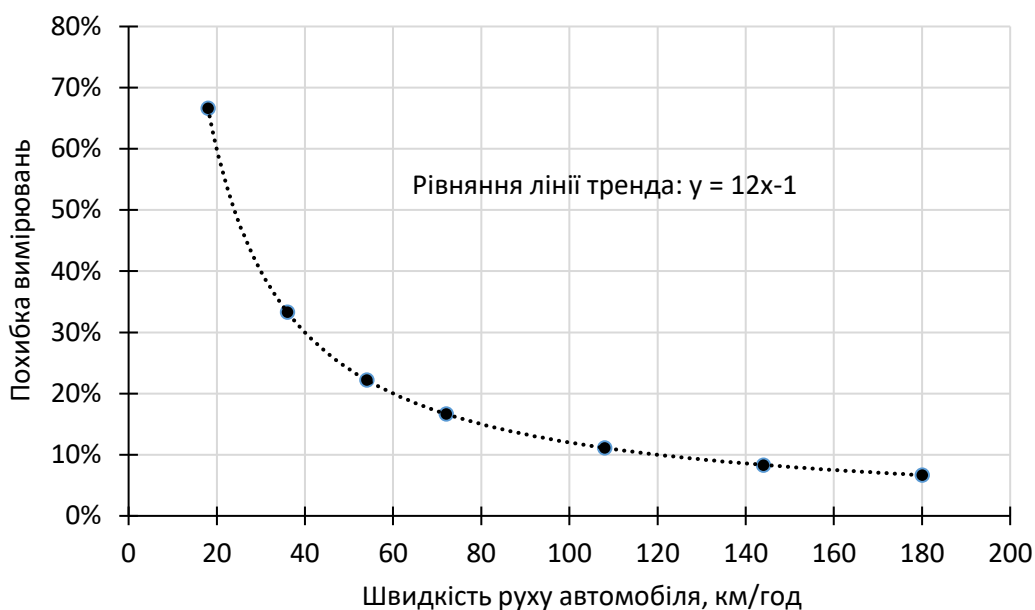


Рисунок Б.6 – Похибки визначення швидкості GPS-пристроями

Для зменшення похибки показань GPS-приймача застосовують програмну апроксимацію, яка показує поточну швидкість, спираючись в том числі і на попередні показу. В результаті навігаційні програми при рівномірному русі зі швидкістю 80-90 км/год постійно змінюють свої покази в діапазоні $\pm 3-8$ км/год навіть при візуально нерухомій стрілці спідометра. Оскільки похибка визначення місцеположення постійна, то зі зростанням швидкості руху її вплив на визначення швидкості зменшується. Так, при швидкості руху 40 м/с (144 км/год), максимальна похибка зменшується в два рази – до 8,33%, що підтверджується досвідом [197-201]: при русі зі швидкостями 110 і більше кілометрів на годину скачки показань швидкості в навігаційних програмах практично відсутні. З іншого боку, при різкій та суттєвій зміні швидкості руху (наприклад, гальмуванні) поточні покази швидкості за GPS можуть істотно відрізнятись від фактичної швидкості. Так, на одному з відео з відеореєстратора при фактичній швидкості біля 40 км/год на відео зафіксована швидкість 74 км/год.

Таким чином, точність показів швидкості за GPS суттєво залежить від якості прийому сигналу із супутників та якості алгоритмів апроксимації цього сигналу.

На сьогоднішній день у державах з розвинутими технологіями, слідчими при розслідуванні ДТП активно використовується інформація, отримана з автомобільних реєстраторів вхідних даних про події – EDR модулів. Об'єм інформації, фіксованої модулем EDR, залежить від моделі устрою та комплектації транспортного засобу, але, як правило, містить три групи даних [36, 158, 197, 204, 205] (рис. Б.7).



Рисунок Б.7 – Основні параметри, що зберігаються в модулі EDR

Деякі види EDR модулів виконують неперервний запис даних, поки запис не буде зупинена в результаті ДТП, інші активують запис в певних ситуаціях, що розпізнає модуль як зіткнення (наприклад, раптова різка зміна швидкості, різке гальмування, спрацювання датчиків удару). При цьому інформація в модулі пам'яті зберігається до його перепрограмування. Сучасні EDR модулі зберігають інформацію всередині своєї плати на мікрочіп типу EEPROM у вигляді шістнадцятирічного коду. Точність і похибка запису даних за трьома основними реєстрованими показниками подані в табл. Б.7.

Таблиця Б.7 – Приклади похибки запису даних EDR

Параметр	Діапазон вимірювання	Мінімальна реєстрована одиниця	Похибка	Частота оновлення
Втрата швидкості на удар	±89,44 км/год	0,64 км/год	±10%	Запис кожні 0,01 с, вимірювання кожні 0,00125 с
Швидкість руху ТЗ	253,4 км/год	0,96 км/год	±4%	Зміна швидкості на $\geq 0,2$ км/год
Частота обертання колінчатого валу	16383 об/хв	$\frac{1}{4}$ об/хв	±1 об/хв	Зміна частоти на ≥ 32 об/хв

В більшості серійних транспортних засобів, що випускаються в США, вже є системи безпроводних комунікацій (такі наприклад, як OnStar від GM, Mbrace від Mercedes-Benz або BlueLink від Hyundai), які можуть передавати деякі дані, наприклад сигнал, що спрацювали подушки безпеки, у віддалений центр. Зокрема в 2008 році, General Motors випустила на ринок додаткову Автоматизовану систему повідомлення про ДТП (Automated Crash Notification – ACN). Основне завдання впровадження цієї системи – це обладнання автомобілів свого роду «датчиком ДТП», який може виявити, що ДТП мало місце, зафіксувати час ДТП і за допомогою бортової системи GPS позиціонувати місцезнаходження ТЗ, після чого сформував короткий текстовий звіт і через безпроводний модем, автоматично повідомити поліцію, швидку медичну допомогу і страхову компанію про серйозність інциденту та вказати його точне географічне місце розташування.

Потенційні споживачі (а саме особи та організації, пов'язані з організацією безпеки дорожнього руху, аналізом та експертизою ДТП) даних EDR, що зберігаються та (або) передаються через системи зв'язку подані в табл. Б.8.

Таблиця Б.8 – Приклади використання даних EDR за сферами діяльності людини

Потенційні споживачі	Сфера застосування даних, що зберігаються в ECU
Виробники	Удосконалення систем пасивної безпеки автомобілів
Уряд	Отримання статистичних даних про дорожньо-транспортні пригоди
	Розв'язання завдань державних програм
	Удосконалення законодавства
Поліція	Отримання фактичних даних про дорожньо-транспортні пригоди
	Автоматична реєстрація подій
Страхові компанії	Автоматичне повідомлення про настання події та її обставини
Прокуратура та адвокатські компанії	Можливість виключити любі суб'єктивні дані про обставини ДТП в обвинуваченні та захисті
Суспільні організації	Просування соціальних програм
Водій та пасажир	Формування критичної оцінки та позначення ролі учасника дорожнього руху ще на заняттях в автошколі
Медицина та Міністерство надзвичайних ситуацій	Автоматичне повідомлення про настання події
	Формування аналітичного банку даних про тяжкість тілесних пошкоджень в залежності від інформаційного сигналу про зіткнення
Продаж/покупка транспортних засобів на вторинному ринку	Можливість визначити історію автомобіля за записаними подіями
Експертні організації	Отримання об'єктивних даних безпосередньо з об'єкта дослідження
	Можливість повної адекватної реконструкції механізму ДТП

Також варто відмітити, що елементи даних, що передаються системами ACN, є додатковим джерелом корисної дослідницької інформації при

проведенні експертиз ДТП. Оскільки тільки у 80% випадків, дані записані в пам'ять EDR вдається отримати і обробити (причому в 2% саме пошкодження корпусу, плати або роз'єму EDR призводило до неможливості отримання даних, а приблизно в 17% до неможливості отримання даних призводило відключення бортової мережі і різке падіння запасу електроенергії ще на початку зіткнення, при цьому увесь запас в конденсаторах модуля системи керування розкриттям подушок безпеки був повністю витрачений на розгортання подушок безпеки і тільки 1% склали випадки, коли сам власник ТЗ заборонив доступ до модуля) [204, 205]. Таким чином, дані ACN можуть бути також використані експертами, у разі неможливості отримати дані з EDR.

Проведені національною адміністрацією безпеки дорожнього руху США (NHTSA) багаторічні дослідження та випробування підтвердили надійність і високу точність даних, що фіксуються модулями EDR, і цим даним надається велике значення при встановленні обставин та механізму дорожньо-транспортної пригоди [204].

Питанням застосування EDR у судовій автотехнічній експертизі в Україні займалися Ананьєв П.О. і Пясецький Ю.В. [203]. Отримання інформації за допомогою EDR має процесуальні обмеження. По-перше, автовиробники надають право доступу до вищевказаної інформації лише своїм уповноваженим сертифікованим станціям технічного обслуговування та дослідницьким центрам, що мають відповідне обладнання. По-друге, така інформація надається лише за постановою слідчого (ухвалою суду), або за заявою власника автомобіля, а також, якщо отримання такої інформації зумовлено проведенням автовиробником власних досліджень з метою модернізації систем безпеки.

Ще більша невизначеність у визначенні швидкості автомобіля перед ДТП виникає у випадку неможливості оцінити швидкість за показами спідометра, різних електронних приладів чи розрахунковим шляхом. Як вихід з положення в літературі з розслідування ДТП [83-86, 137-151, 153-160, 163]

рекомендується використання показів свідків, потерпілих та обвинувачених. Безперечно, що це будуть дуже наближені оцінки швидкості від V_{\min} до V_{\max} . В цьому випадку, як показано в [207, 210-214], за найбільш ймовірне значення швидкості доцільно прийняти середнє арифметичне значення $(V_{\min} + V_{\max}) / 2$, вказавши граничні відхилення: $V = V_{cp} \pm \Delta V$.

Автор підручника та посібника [86, 142] повідомляє про цікаву особливість візуального оцінювання швидкості автомобіля людиною. На основі дослідів, проведених за участі декілька тисяч людей, встановлено, що більшість спостерігачів занижують швидкість автомобіля, що рухається повільно, і, навпаки, завищують швидкість автомобіля, що рухається швидко. Максимальне співпадіння візуального оцінювання V_{pok} із дійсною швидкістю автомобіля V_{dav} спостерігається при швидкостях руху в діапазоні 45-55 км/год (12-15 м/с). В середньому В. А. Іларіонов рекомендує приймати $V_{dav} = 1,25V_{pok} - 3,5$ (м/с).

Б.3 Невизначеність значень коефіцієнта зчеплення шин з дорогою

Під час обчислення параметрів руху автомобіля, що є учасником ДТП, важливо правильно визначити коефіцієнт зчеплення шин з дорогою, оскільки він має сильну залежність від багатьох факторів і умов та володіє чи не найбільшою невизначеністю серед інших використовуваних при експертизі ДТП факторів і параметрів [1, 3, 83-87, 137-151, 153-160, 163]. В процесі гальмування автомобіля приймають участь та взаємодіють як мінімум два об'єкта: дорога та автомобіль. Від властивостей кожного з них залежить ефективність гальмування. З одного боку, коефіцієнт зчеплення шин з дорожнім покриттям залежить від якості та стану шин автомобіля (тип протектора та ступінь його зносу, тиск повітря в шинах, швидкість і завантаженість автомобіля), з іншого боку, цей коефіцієнт змінюється в залежності від виду дорожнього покриття, структури та температури його поверхні, наявності вологи, забруднень на поверхні покриття.

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

Питаннями зчеплення автомобільного колеса з дорожнім покриттям займалися та внесли вагомий вклад В.І. Кнороз, Є.А. Чудаков, І.П. Петров, В.А. Асторов, Е.Г. Подліх, А.Б. Гредескул, О.С. Федосов, Б. Сабей, Д. Мур та інші (див. п. 1.2 даної дисертаційної роботи). В результаті цих досліджень встановлено багато закономірностей, які відображають особливості взаємодії автомобіля з дорогою.

Коефіцієнт зчеплення є відношенням максимальної дотичної реакції в зоні контакту до нормальної реакції (навантаження), яка діє на колесо [197].

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

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

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

Методи визначення коефіцієнта зчеплення за довжиною гальмівного шляху та за величиною усталеного сповільнення мають вагомні недоліки, головний з яких – неможливо проводити вимірювання при високих швидкостях руху навіть на сухій дорозі. На вологій дорозі через різке гальмування при високих швидкостях може виникнути занос та перекидання автомобіля навіть при невеликій різниці у зчепленні шин з покриттям. Другий недолік методу використання довжини гальмівного шляху – це неможливість встановити дійсне значення коефіцієнта, оскільки довжина гальмового шляху складається з руху загальмованого колеса без ковзання і з ковзанням. Співвідношення між цими шляхами залежить від інтенсивності гальмування. Крім того, коефіцієнт зчеплення, розрахований за довжиною гальмівного шляху, є деяким середнім значенням для інтервалу швидкостей – від високої швидкості на початку гальмування до близької до нуля безпосередньо перед зупинкою автомобіля.

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

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

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

В зв'язку з цілим рядом зрозумілих причин найчастіше експериментальне визначення коефіцієнта зчеплення неможливе і для розрахунків використовують табличні дані про значення коефіцієнтів зчеплення для основних видів дорожніх покриттів [89, 160].

Цікаво, що табличні значення коефіцієнта зчеплення в різних літературних джерелах часто відрізняються. Так, в одній частині літературних джерел [83-86, 135, 139, 142, 144] вказується максимальне значення коефіцієнта поздовжнього зчеплення – 0,8, причому для 100% проковзування колеса, у той час, як у інших [84, 88, 89, 118, 125, 127, 128, 150, 151, 157-159, 172, 173, 184, 185, 187, 197] максимальне значення варіюється від 0,9 до 1,2. Крім того, табличні значення коефіцієнта зчеплення представляють у формі діапазонів «від-до». Якщо крайні значення коефіцієнта зчеплення для асфальтобетонного покриття відрізняються на 11%, то для ожеледиці вони відрізняються на 100% (див. табл. 1.4). Виникає сумнів, що при такій різниці даних можна отримати достовірні результати розрахунків і експерт вправі вибирати дані при експертизі ДТП на основі свого досвіду чи інтуїції з абсолютною впевненістю.

Можна впевнено сказати, що граничні значення коефіцієнта зчеплення, представлені в довідкових таблицях, знайдені в результаті статистичної обробки експериментальних даних. Але тоді будь-яке обране екпертом значення коефіцієнта є лише конкретною реалізацією випадкової величини, яка має велике розсіювання. Відповідно дослідженням [207] локальні значення

коефіцієнта, виміряні через 15-20 см гальмівного шляху, можуть мати відхилення в 30-50%, при цьому розподіл локальних значень коефіцієнта зчеплення підлягає нормальному закону. Отже, при використанні усереднених значень коефіцієнта зчеплення експерт повинен виконати оцінювання невизначеності обраного ним значення у відповідності до Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [209]. Оскільки в літературі та довідкових таблицях оцінки невизначеності довідкових значень коефіцієнта зчеплення в генеральній сукупності не наводяться, а лише вказуються нижня і верхня границі значень коефіцієнта, можна скористатись «Керівництвом з вираження невизначеності вимірювань» [210, 211].

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

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

Останній підхід відображає випадкову природу явища і здатний при розрахунках дати більш об'єктивні результати, оскільки враховується невизначеність коефіцієнта зчеплення. Ефективність викладеного вище підходу підтверджується дослідженнями, результати яких опубліковані автором та в розгорнутому вигляді представлені в 2-4 розділі даної дисертаційної роботи.

Б.4 Невизначеність значень усталеного сповільнення та гальмівного шляху ДСТУ 3649:2010 «Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпеки технічного стану та методи контролювання» встановлює показники ефективності гальмування: сповільнення j_s та гальмівний шлях S_g . На відміну від інших параметрів, вказаних у стандарті, усталене сповільнення та гальмівний шлях – це нормативи, які повинна задовольняти гальмівна система автомобіля під час його випробувань в заданих умовах. За методикою стандарту випробування проводяться на горизонтальній ділянці дороги з рівним, сухим, чистим цементобетонним чи асфальтобетонним покриттям, початкова швидкість гальмування має бути в межах від 35 км/год до 45 км/год. Стандартом передбачений також розрахунковий метод визначення показників.

У відповідності до вимог ДСТУ 3649:2010 гальмівна система в таких дорожніх умовах повинна забезпечити нормативні значення сповільнення (табл. Б.9) та гальмівного шляху (табл. Б.10). Під час випробувань в дорожніх умовах усталене сповільнення або вимірюється безпосередньо при гальмуванні за допомогою відповідного приладу (пряме вимірювання), або розраховується за результатами вимірювання інших величин (непряме вимірювання). В обох випадках результат вимірювання сповільнення повинен містити оцінку похибки, виконану особою, що проводила випробування. Пункт 7.4.7 стандарту встановлює, що похибка визначення усталеного сповільнення (тобто похибка його вимірювання $\pm \Delta j$) не повинна перевищувати $\pm 4,0$ %. Таким чином, з врахуванням гранично допустимої похибки, виміряне значення сповільнення автомобіля може знаходитись в інтервалі $j \pm \Delta j$. Наприклад, для легкового автомобіля зі справною гальмівною системою у відповідності до табл. Б.7 мінімальне значення $j = 4,75 \dots 5,25$ м/с² або $(5 \pm 0,25)$ м/с². Це означає, що легковий автомобіль, у якого виміряне значення сповільнення складає не 5,0 м/с², а 4,75 м/с² і більше, слід вважати таким, що витримав випробування за параметром «усталене сповільнення».

Таблиця Б.9 – Показники j_s за методом дорожніх випробувань

Категорія КТЗ	Усталене сповільнення j_s м/с ² , не менше ніж	Тривалість спрацьовування ГС, с, не більше ніж ⁶⁾
M ₁ , M ₁ G	5,0	0,8 ⁵⁾
M ₂ , M ₂ G, M ₃ , M ₃ G	5,0 ¹⁾	
N ₁ , N ₁ G	5,0 ²⁾	
N ₂ , N ₂ G, N ₃ , N ₃ G	4,5 ³⁾	
O ₂ , O ₃ , O ₄	4,3 ⁴⁾	

¹⁾ Для КТЗ, не обладнаних антиблокувальною ГС, $j_s \geq 4,8$ м/с².

²⁾ Для КТЗ, випуску до 1988 р., $j_s \geq 4,5$ м/с².

³⁾ Для КТЗ, випуску до 1988 р., $j_s \geq 4,3$ м/с².

⁴⁾ Для КТЗ, випуску до 1988 р., $j_s \geq 4,0$ м/с².

⁵⁾ Для КТЗ та автопоїздів із гідравлічним приводом - не більше ніж 0,5 с.

⁶⁾ Для КТЗ, випуску до 1988р., можливе збільшення нормативу тривалості спрацьовування на 10 %.

Таблиця Б.10 – Показники за методом дорожніх випробувань

Тип КТЗ	Категорія КТЗ (тягача)	Гальмівний шлях (S_g) для початкової швидкості гальмування (V_0), не більше ніж, м ¹⁾	
		$V_0 = 40$ км/год	$V_0 \neq 40$ км/год
Одиночні	M ₁	14,7	$V_0 \times (0,10 + V_0 / 150)$
	M ₂ , M ₃ , N ₁ , N ₂	18,3	$V_0 \times (0,15 + V_0 / 130)$
	N ₃	19,5	$V_0 \times (0,18 + V_0 / 130)$
Автопоїзди	M ₁	16,6	$V_0 \times (0,15 + V_0 / 150)$
	N ₁ , N ₂ , N ₃	19,5	$V_0 \times (0,18 + V_0 / 130)$

¹⁾ Для КТЗ, випуску до 1988 р., допускають збільшення нормативу гальмівного шляху на 10 %.

Примітка. За потреби, значення гальмівного шляху обчислюють за параметрами гальмівної діаграми відповідно до додатка Б ДСТУ 3649:2010.

Ці нормативні показники величини усталеного сповільнення тільки встановлюють межу між справною та несправною гальмівною системою ТЗ і не дають повної інформації про процес гальмування автомобіля під час ДТП. Якщо оцінка похибки вимірювання сповільнення виконана, але похибка перевищує допустимі стандартом границі, то результати випробувань вважаються такими, що не відповідають метрологічним вимогам стандарту.

Оцінку невизначеності можна виконати для норми гальмівного шляху. У пункті 7.4.7 ДСТУ 3649:2010 вказано, що похибка вимірювання гальмівного шляху не повинна перевищувати $\pm 5,0 \%$. А отже стандарт вважає таку похибку визначення гальмівного шляху допустимою. Тоді, з врахуванням допустимої похибки, гальмівний шлях автомобіля $S_g \pm \Delta S_g$ під час випробувань у вказаних вище умовах повинен бути не більше:

- для категорії M_1 – $(14,7 \pm 0,7)$ м;
- для категорій M_2, M_3, N_1, N_2 – $(18,3 \pm 0,9)$ м;
- для категорії N_3 – $(19,5 \pm 1,0)$ м.

Загальним недоліком розрахункового методу визначення показників ефективності гальмування є використання параметрів, величина кожного з яких знаходиться в деякому діапазоні. За даними проф. Іларіонова В.А., значення усталеного сповільнення автомобіля, що буде розраховане двома різними експертами, може відрізнятись за величиною на 30 %. Тому, починаючи з 80-х років, щоб уникнути значних розбіжностей у розрахунках, експертам пропонується керуватися систематизованими середньостатистичними даними при визначенні усталеного сповільнення ТЗ на горизонтальній поверхні дороги [83-86, 137-140, 142, 144, 146, 157].

Значення параметрів гальмівної ефективності автомобіля можна визначити в процесі експериментального випробування з використанням спеціального устаткування. Для дослідження гальмівної динаміки автомобіля в дорожніх умовах широко використовуються три основні способи вимірювання: за допомогою приладу «п'яте колесо»; з використанням оптичного датчика; з використанням деселерометра (датчика прискорення).

Головна перевага вимірювальної системи з «п'ятим колесом» її невисока вартість і точність виміру. Прилад «п'яте колесо» служить для вимірювання пройденого шляху з подальшим розрахунком швидкості, сповільнення й гальмового шляху автомобіля. Істотний недолік такого способу виміру полягає в утрудненні кріплення до автомобіля приладу «п'яте колесо» і великих габаритах та маси цього приладу в порівнянні з пристроями, що використовують інші способи вимірювання [84]. Відносні похибки вимірювання системи «п'яте колесо» такі [351]:

- швидкості – $\pm 0,5\%$;
- пройденого шляху – $\pm 0,5\%$;
- прискорення – $\pm 1,5\%$.

Використання оптичного датчика, який на кронштейнах з присосками кріпиться до кузова автомобіля, вигідно відрізняється тим, що він передбачає безпосередню обробку одержаної інформації в цифровому вигляді на комп'ютері. Датчик може виконувати вимірювання пройденого шляху з точністю до 0,1 %. Найважливішою перевагою цього способу вимірювання є можливість швидкого монтажу приладів системи на автомобілі будь-якого виду та класу. Одна з проблем, яка розв'язується розробниками цієї системи, полягає в необхідності зменшення похибки вимірювання при низьких і високих швидкостях руху. Визначення параметрів руху автомобіля вимірювальними системами з оптичними датчиками швидкості чи GPS-приймачем здійснюється безконтактно, але в першому випадку велика ймовірність збоїв під час роботи на деяких видах покриттів, наприклад на льоду в сонячну погоду, а також на мокрих поверхнях, під час проїзду над калюжами тощо, а в другому випадку може не забезпечуватися необхідна точність вимірювання.

Третій спосіб вимірювання динамічних властивостей гальмуючого автомобіля передбачає використання деселерометра (датчика прискорення), який дозволяє отримати гальмівні діаграми, виміряти силу натискання на

педаль гальма. Сучасні деселерометри мають похибку вимірювання сповільнення $\pm (1 \div 4)\%$ [3, 123, 185, 351].

Під час визначення гальмівного шляху розрахунковим методом найбільший вклад у невизначеність значень гальмівного шляху вносять похибки вимірювання початкової швидкості (3,75%), усталеного сповільнення (3,2%), часу зростання сповільнення (1,64%), часу спрацьовування гальм (1,02%) [296].

У разі використання систематизованих середньостатистичних даних під час визначення усталеного сповільнення ТЗ на горизонтальній поверхні дороги [83-86, 137-140, 142, 144, 146, 157], слід враховувати, що вони отримані при випробуваннях застарілих конструкцій автомобілів радянського виробництва і на даний час вимагають доповнення й подальшого методичного розвитку з урахуванням вдосконалення гальмівної системи автомобіля. Це підвищить точність експертних розрахунків та обґрунтованість висновків у цілому.

Існуюча методика випробувань із визначення ефективності робочої гальмівної системи по суті створює оптимальні умови для оцінки ефективності гальмування автомобіля. Тому в перспективі є необхідність у розробці методики слідчого експерименту з визначення гальмівної ефективності автомобіля, що буде пристосована до умов, максимально наближених до будь-яких обставин ДТП.

Б.5 Невизначеність значень часових параметрів гальмівної системи

Довідкові дані про часові параметри гальмівної системи (час спрацьовування гальмівної системи t_2 та час наростання сповільнення t_3) представлені їх середніми значеннями без вказання можливого інтервалу розсіювання. Тому для цих параметрів виникає питання про невизначеність довідкових значень. У відповідності до норм ДСТУ 3649:2010 допустима похибка вимірювання параметрів часу не повинна перевищувати $\pm 0,01$ с. Неважко підрахувати, що при результаті вимірювання часового параметра

0,1 с його дійсне значення може знаходитися в інтервалі від 0,09 до 0,11 с, а при результаті 0,4 с – в інтервалі від 0,39 до 0,41 с. В першому випадку розкид значень параметра лише за рахунок похибки вимірювання може досягати $\pm 10\%$, а в другому $\pm 2,5\%$.

Кожне довідкове значення часового параметра характеризує відповідну властивість не одного конкретного автомобіля, а усієї сукупності автомобілів даного типу в даних умовах (генеральну сукупність). Саме тому необхідно знати розсіювання цього параметра в генеральній сукупності, оскільки значення параметра кожного окремо взятого автомобіля в принципі не могли бути однаковими. Деякі дані про розсіювання параметрів t_2 і t_3 та коефіцієнта зчеплення φ , отримані Є. І. Калініним (МАДІ, 1981) для легкового автомобіля і сухого асфальтобетонного дорожнього покриття, представлені в таблиці Б.11 [207].

Таблиця Б.11 – Розсіювання параметрів t_2 і t_3 та коефіцієнта зчеплення φ

Параметр	t_2	t_3	φ
Середнє значення, с	0,10	0,30	0,70
Середньоквадратичне відхилення, с	0,02	0,10	0,10

Неважко підрахувати, що при нормальному законі розподілу параметрів, розкид значень, який відповідає довірчій ймовірності 0,95, може досягати $\pm 20\%$ для t_2 , $\pm 33,3\%$ для t_3 та $\pm 14,3\%$ для φ . Як видно, для даного випадку розсіювання параметрів часу та коефіцієнта зчеплення достатньо велике.

Нажаль достовірні дані про розсіювання довідкових значень t_2 і t_3 в генеральній сукупності виявити в літературних джерелах та мережі Internet не вдалося. Але деяку уяву про це можна отримати, проаналізувавши інформацію про значення часових параметрів, що наводяться в технічній та довідковій літературі з питань експертизи ДТП.

Що стосується інтервалу часу спрацьовування гальмівної системи t_2 , то в даний час відсутня одноманітність у його оцінці [83-86, 146, 158]. Він залежить від типу гальмового приводу, конструкції гальмівних механізмів і бази автомобіля (табл. Б.12). Всі перераховані чинники варіюються залежно від категорії ТЗ.

Таблиця Б.12 – Час спрацьовування гальмівної системи t_2

Категорія ТЗ	Значення часу t_2 , с		
	за даними Іларіонова В.А. [86]	за даними Галаси П.В. [146]	за даними Євтюкова С.А. [158] та Суворова Ю.Б. [85]
M_1	0,2	0,2	0,1
M_2	0,2	0,2	0,1
M_3	0,3	0,4	0,2
N_1	0,3	0,4	0,2
N_2	0,3	0,4	0,2
N_3	0,3	0,4	0,2
N_3 (автопоїзда)	0,4	0,6	0,2

Аналізуючи дані таблиці Б.12, вимоги ДСТУ 3649:2010 та правил СЕК ООН №13 можна побачити велике розсіювання величини часу t_2 , що викликає необхідність передивлятися його значення і корегувати для підвищення точності та об'єктивності автотехнічних досліджень ДТП.

Час наростання сповільнення t_3 варіюється в залежності від коефіцієнта зчеплення φ , категорії ТЗ, його завантаження та типу гальмового приводу (табл. Б.13) [83-86, 137-140, 142, 144, 146, 157].

Таким чином, якщо орієнтуватися на наведені в таблиці Б13 дані, то можна побачити, що значення часу наростання сповільнення t_3 може відхилитися від нормованих ДСТУ 3649:2010 значень до 20% (без врахування похибки

вимірювання даного параметра), що підкреслює необхідність подальшого дослідження питання в інтересах підвищення достовірності результатів САТЕ.

Таблиця Б.13 – Час наростання сповільнення t_3

φ	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8 і >	
Категорія ТЗ, завантаженість ¹⁾ , тип приводу гальм ²⁾	$M_1, N_1; П; Г$	0,05	0,10	0,10	0,15	0,15	0,20	0,25	0,25
	$M_1, N_1; З; Г$	0,10	0,10	0,15	0,15	0,20	0,25	0,30	0,30
	$M_2; П; Г$	0,05	0,10	0,10	0,15	0,15	0,20	0,25	0,25
	$M_2; З; Г$	0,10	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,35
	$M_3; П; Г$	0,10	0,25	0,30	0,40	0,45	0,50	0,50	0,50
	$M_3; З; Г$	0,10	0,25	0,40	0,45	0,50	0,55	0,55	0,55
	$M_3; П; Пн$	0,10	0,20	0,30	0,40	0,45	0,50	0,55	0,55
	$M_3; З; Пн$	0,10	0,20	0,30	0,40	0,45	0,60	0,60	0,60
	$N_2; П; Г$	0,10	0,15	0,20	0,30	0,30	0,35	0,40	0,40
	$N_2; З; Г$	0,10	0,20	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,50
	$N_2; П; Пн$	0,10	0,20	0,30	0,40	0,45	0,50	0,50	0,50
	$N_2; З; Пн$	0,15	0,25	0,40	0,45	0,50	0,55	0,55	0,55
	$N_3; П; Пн$	0,10	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,45
	$N_3; З; Пн$	0,10	0,20	0,25	0,30	0,35	0,45	0,50	0,50
	N_3 (автопоїзди); П; Пн	0,10	0,25	0,35	0,45	0,50	0,50	0,50	0,50
	N_3 (автопоїзди); З; Пн	0,15	0,30	0,45	0,50	0,55	0,60	0,60	0,60

¹⁾ П – порожній, З – завантажений;
²⁾ Г – гідропривід, Пн – пневмопривід.

Б.6 Невизначеність значень відстані видимості в темну пору доби

Основною причиною підвищення аварійності в нічний час є зменшення інформації про ситуацію на дорозі, що надходить до водія. Цьому сприяють такі фактори [2, 8-14, 341, 343, 346]:

- незадовільне освітлення проїзної частини, а для більшості доріг – повна його відсутність;

- незадовільний технічний стан системи освітлення транспортних засобів;

- підвищена втомлюваність водія вночі, засліплювання його світлом фар зустрічного автомобіля;

- відсутність фізіологічного методу для водіїв на перебудову свого режиму для роботи вночі;

- відсутність досвіду і професійних прийомів керування автомобілем, відсутність у свідомості водія повної реальної оцінки нічної дорожньої обстановки, аналогічної керуванню автомобілем вдень.

Аналіз закономірностей функціонування зорового аналізатора водія, вивчення результатів досліджень систем автомобільного освітлення, проведених у нашій країні і за кордоном, а також власний досвід роботи щодо проведення дорожніх досліджень ефективності автомобільних фар дозволяють виділити ряд основних факторів, що характеризують систему освітлення з урахуванням вимог безпеки руху [2, 8-14, 87, 89, 140, 142, 146, 157, 159, 341, 343, 346]:

- дальність видимості елементів дорожньої обстановки (варто розрізняти дальність видимості при напруженій увазі – при дослідженнях або в екстремальних ситуаціях, а також дальність видимості при розсіяній увазі – при тривалій їзді вночі);

- видимість (ступінь видимості) елементів дорожньої обстановки як відношення їх контрастів до граничного значення контрасту;

- кутова ширина пучка, що характеризує видимість дороги по ширині (узбіччя, дорожні заокруглення, перетинання і т.п.);

- сліпуча дія (засліпленість інших учасників руху), що обумовлена блискучістю і розмірами поверхонь фар, що світять;

- рівномірність освітлення (як по ширині, так і уздовж дороги).

Найголовніша особливість, яка ускладнює сприйняття дорожньої обстановки при освітленні фарами, полягає в тому, що збільшення швидкості

руху автомобіля призводить до скорочення дальності видимості дороги й об'єктів на ній.

Наведемо емпіричну залежність, яка описує це явище [352]:

$$S_B = S_{60} - 0,4(v - 60), \quad (\text{Б.3})$$

де S_B – відстань видимості при освітленні фарами (при $v = 40 - 100$ км/год.), м; S_{60} – відстань видимості (при $v = 60$ км/год.), м.

В свою чергу багаторічні дорожні дослідження автомобільних фар підтвердили факт скорочення відстані видимості об'єктів при швидкості руху більше 40 км/год. Залежність, що описує це явище, вийшла іншою [174]:

$$S_B = S_{40} [1 - 0,002(v - 40)]. \quad (\text{Б.4})$$

Похибка апроксимації цієї функції в діапазоні швидкостей руху 40–100 км/год. складає 15 %.

Необхідність збільшення розмірів зони, яка освітлюється фарами, до більшого значення, ніж зупинний шлях $S_{зуп}$ зазначена в [86], де відзначається, що відстань видимості вночі повинна збільшуватися пропорційно швидкості руху автомобіля:

$$S_B = S_{зуп} + \Delta S = S_{зуп} + \mu_0 v, \quad (\text{Б.5})$$

де μ_0 – емпіричний коефіцієнт, значення якого запропоновано приймати рівним 0,2-0,5.

В загальному випадку складність визначення дальності видимості об'єктів і складність створення математичних моделей пояснюється тим, що при визначенні такого поняття як видимість, необхідно пов'язувати між собою параметри, які характеризують: об'єкт розрізнення, світлотехнічні параметри

світлового приладу, рівень зорового сприйняття водія, засліплюючу дію джерел блискучості.

З великої кількості факторів впливу на дальність видимості на основі досвіду експертів-автотехніків та власного досвіду розробника можна виділити вісім найвагоміших факторів впливу, які повною мірою характеризують елементи системи ВАДС при визначенні дальності видимості об'єктів на дорозі в темну пору доби [2, 8-14, 87, 89, 140, 142, 146, 157, 159, 174, 341, 343, 346].

Розіб'ємо обрані фактори (з урахуванням можливості їх визначення при експертизі та занесення в удосконалений протокол ДТП) на три групи в залежності від елемента системи ВАДС, який характеризується:

1. Фактори впливу на дальність видимості, які характеризують водія: B – гострота зору водія; T – тривалість роботи за кермом, год.; C – коефіцієнт засліплення.

2. Фактори впливу на дальність видимості, які характеризують автомобіль: G – рівень завантаження автомобіля, кг; E – освітленість дороги, яка забезпечується автомобільними фарами, лк.

3. Фактори впливу на дальність видимості, які характеризують дорогу та середовище руху: W – прозорість атмосфери, м; F – розташування перешкоди на дорозі, м; K – контраст об'єкта розрізнення з фоном.

Аналіз взаємного впливу даних факторів на дальність видимості об'єктів на дорозі в темну пору доби при освітленні автомобільними фарами показує, що за різних умов похибка підсумкової оцінки вихідної величини (значення видимості) може досягати 50%.

Додаток В. Методи обробки результатів вимірювань та обчислення похибок вихідних матеріалів для автотехнічної експертизи

Невизначеність результату вимірювання відображає відсутність точного знання значення вимірюваної величини. Формальне означення терміну «невизначеність вимірювання» таке: невизначеність вимірювання – параметр, пов'язаний з результатом вимірювання, який характеризує дисперсію значень, що можуть бути достатньо обґрунтовано приписані вимірюваній величині [209-211]. Поняття похибки вимірювання як різниці між результатом вимірювань та істинним (дійсним) значенням вимірюваної величини використовується для опису точності вимірювань.

Всі невизначеності за способами оцінювання поділяються на тип А і тип В [213, 214, 259]. Метою поділу на тип А та В є показ двох різних способів оцінювання компонентів невизначеності. Обидва типи оцінювання базуються на розподілах ймовірностей, і компоненти невизначеності кожного типу кількісно визначаються дисперсією або стандартним відхиленням.

За типом А оцінюються невизначеності, що підлягають повторним вимірюванням до яких можна застосувати статистичні методи.

За типом В оцінюються невизначеності до яких статистичні методи застосувати не можливо. В таких випадках використовують інші відомі способи.

Що стосується систематизації невизначеностей за формами подання, то вони поділяються на стандартні, комбіновані, розширені, відносні стандартні, відносні комбіновані та відносні розширені [260].

Стандартна невизначеність – невизначеність, що виражається як середньоквадратичне відхилення.

Комбінована невизначеність – стандартна невизначеність, що отримується шляхом підсумовування всіх складових стандартних невизначеностей, пов'язаних з вимірюваною величиною.

Відносна стандартна невизначеність – відношення стандартної невизначеності до оцінки вимірюваної величини.

Відносна комбінована невизначеність – відношення комбінованої невизначеності до оцінки вихідної величини.

Розширена невизначеність – інтервал навколо результату вимірювання, в межах якого ймовірно розташована більшість розподілу значень, які з достатнім обґрунтуванням можуть бути приписані вимірюваній величині.

Відносна розширена невизначеність – відношення розширеної невизначеності до оцінки вихідної величини.

В.1 Прямі одноразові вимірювання з точним оцінюванням похибки

Під час виконання одноразових вимірювань для багатьох вимірювальних задач в звичайних умовах можна досягнути прийнятної точності при простоті, високій продуктивності та низькій вартості робіт. Проте одноразовий відлік за своєю суттю є випадковим і включає в себе інструментальну, методичну та суб'єктивну складову похибки вимірювань, в кожній з яких можна виділити систематичні та випадкові складові [207].

Особливістю одноразового вимірювання є те, що закони розподілу випадкових складових невідомі. Для того, щоб дати інтервальну оцінку похибки, уяву про них доводиться формувати на основі обмеженої апріорної інформації.

Якщо невиключені систематичні похибки оцінені своїми границями Θ_i , то довірчі границі сумарної систематичної похибки визначають за формулою

$$\Theta = k \sqrt{\sum_{i=1}^m \Theta_i^2}, \quad (\text{В.1})$$

де Θ_i – границя i -тої невиключеної складової систематичної похибки;

k – коефіцієнт, який визначається прийнятою довірчою ймовірністю P (при $P = 0,95$ $k = 1,1$) [212].

m – кількість невиключених складових.

Складові випадкових похибок можна задати середніми квадратичними відхиленнями (СКВ) σ_i , знайденими попередньо дослідним шляхом за результатами багаторазових спостережень, або довірчими границями Δx . В першому випадку довірчі границі ε підсумкової випадкової похибки результату визначають за формулою

$$\varepsilon = t \sqrt{\sum_{i=1}^m \sigma_i^2}, \quad (\text{B.2})$$

де σ_i – оцінка середнього квадратичного відхилення i -тої складової;

t – коефіцієнт, який залежить від довірчої імовірності і числа спостережень (наприклад, коефіцієнт Стюдента).

Якщо випадкові складові похибки задані довірчими границями Δx_i , які відповідають такій самій ймовірності, то довірчі границі підсумкової випадкової похибки результату визначають за формулою

$$\varepsilon = t \sqrt{\sum_{i=1}^m \Delta x_i}. \quad (\text{B.3})$$

Після отримання окремих оцінок невиключеної систематичної та випадкової похибок результату одноразового вимірювання доцільно порівняти їх між собою. При необхідності врахування обох складових, їх додавання виконують за формулою

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\Theta_i^2}{3} + S_{\bar{x}}^2}, \quad (\text{B.4})$$

де $S_{\bar{x}}$ – середнє квадратичне відхилення результату вимірювання.

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2}{n \cdot (n-1)}}, \quad (\text{B.5})$$

де x_i – випадкова величина;

m_x – математичне сподівання випадкової величини;

n – кількість спостережень.

Для запобігання появи великої похибки одноразові вимірювання рекомендується повторювати 2-3 рази, прийнявши за результат середнє арифметичне. Статистичній обробці ці вимірювання не підлягають. Результат одноразового вимірювання записують у формі $(x \pm \Delta); P$ або $x; \pm \Delta; P$.

В.2 Одноразові вимірювання з наближеним оцінюванням похибки

Для таких вимірювань в якості результату приймають вимірне значення x , а оцінювання похибки виконують на основі нормативних даних про властивості використовуваних засобів вимірювання [214, 259].

Загальний порядок оцінювання похибок може бути таким.

Виходячи з умов задачі обрати необхідний засіб вимірювання, уточнити умови вимірювань, фактори впливу і оцінити можливі додаткові похибки засобу, які можуть виникнути в результаті дії цих факторів.

В результаті для оцінювання похибки вимірювання будуть наявні відомості про похибки засобу вимірювання:

- границя допустимої основної похибки приладу Δ_{np} ;
- додаткові похибки ψ_1, \dots, ψ_m від дії факторів впливу.

Методичні фактори необхідно врахувати завчасно. Суб'єктивні похибки під час вимірювань вважають малими, їх не враховують.

Таким чином, задача зводиться до додавання складових похибки Δ_{np} , ψ_1, \dots, ψ_m . При невеликій кількості доданків (3-5) прийнятна верхня оцінка

границі похибки результату вимірювання Δ_{Σ} (без врахування знаку) знаходиться шляхом додавання складових за абсолютною величиною

$$\Delta_{\Sigma} = |\Delta_{np}| + \sum_{i=1}^m |\psi_i|. \quad (\text{B.6})$$

Більш реальну оцінку похибки можна отримати шляхом квадратичного додавання складових похибки. Оскільки основна і додаткова похибки засобу вимірювання задана границями, то вважаючи їх випадковими величинами з рівномірним розподілом, границі їх суми визначаються виразом (B.1).

В.3 Прямі вимірювання з багаторазовими спостереженнями

Якщо одноразове вимірювання не забезпечує результат з прийнятною похибкою, то для зменшення випадкової складової похибки результату виконують статистичні вимірювання. Правила обробки результатів вимірювання з багаторазовими спостереженнями враховують такі фактори [207]:

- обробляється обмежена група з n спостережень;
- результати спостережень x_i можуть мати систематичну похибку;
- в групі спостережень можуть зустрічатись грубі похибки;
- розподіл випадкових похибок може відрізнитись від нормального.

Обробку результатів спостережень доцільно виконувати в такій послідовності:

1. Виключити відомі систематичні похибки з результатів спостережень шляхом введення поправки.

2. Визначити середнє арифметичне виправлених результатів спостережень, яке приймається за результат вимірювання $X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$.

3. Оцінити середнє квадратичне відхилення результатів спостережень

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - X)^2}{n-1}}. \quad (\text{B.7})$$

Після визначення СКВ результату спостережень доцільно перевірити наявність в групі спостережень грубих помилок (при нормальному законі розподілу ні жодна випадкова похибка $x_i - X$ не може вийти за межі $\pm 3\sigma$). Спостереження, які містять грубі похибки, необхідно виключити з групи та знову повторити оцінювання X та σ .

4. Визначити оцінку СКВ результату вимірювання $S_{\bar{x}}$ за формулою (B.5).

5. Перевірити гіпотезу, що результати спостережень належать нормальному розподілу.

Наближено про характер розподілу можна судити за побудованою діаграмою, точніше за допомогою критеріїв χ^2 – Пірсона чи ω^2 – Мізеса-Смирнова [212, 214].

Якщо число спостережень $n < 15$ приналежність їх до нормального закону розподілу не перевіряється, а довірчі границі випадкової похибки результату визначаються, якщо достеменно відомо, що результати спостережень належать нормальному розподілу.

6. Визначити довірчі границі ε випадкової похибки результату вимірювання при заданій ймовірності P

$$\varepsilon = t_q \cdot S_{\bar{x}}, \quad (\text{B.8})$$

де t_q – коефіцієнт Стюдента.

7. Визначити границі сумарної невиключеної систематичної похибки (НСП) результату вимірювань.

НСП результату утворюється з НСП методу, засобів вимірювання, похибок поправок тощо.

При додаванні ці складові розглядають як випадкові величини. За відсутності даних про вид розподілу складових НСП їх розподіл приймають за рівномірний. При рівномірному розподілі НСП границі НСП результату вимірювання Θ визначають за виразом (В.1). Довірчу ймовірність для визначення границь НСП приймають такою як при обчисленні границь випадкової похибки результату вимірювання.

8. Визначити довірчі границі похибки результату вимірювання.

Аналіз співвідношення між НСП та випадковою похибкою показує, що якщо $\frac{\Theta}{S_{\bar{x}}} < 0,8$, то НСП можна знехтувати і прийняти границі похибки результату рівними $\pm\varepsilon$.

Якщо $\frac{\Theta}{S_{\bar{x}}} > 8$, то випадковою похибкою можна знехтувати і прийняти границі похибки результату рівними $\pm\Theta$.

Якщо обидві нерівності не виконуються, обчислюють СКВ результату як суму НСП і випадкової складової за виразом (В.4). Границі похибки результату вимірювання в цьому випадку визначаються за формулою $\Delta = \pm K \cdot S_{\Sigma}$. Коефіцієнт K визначають за емпіричною формулою

$$K = \frac{\varepsilon + \Theta}{S_{\bar{x}} + \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\Theta_i^2}{3}}}. \quad (\text{В.9})$$

При симетричному довірчому інтервалі похибки результат вимірювання подають у вигляді $X \pm \Delta P$. За відсутності даних про характер розподілу складових похибки результату чи необхідності подальшої обробки результат подають у вигляді X, S_{Σ}, n, Θ .

В.4 Непрямі вимірювання

Багато фізичних величин неможливо виміряти безпосередньо, тому їх визначення складається з двох різних етапів. Спочатку вимірюють величини

x_i , які функціонально пов'язані з вимірюваною величиною X залежністю

$$X = f(x_1, \dots, x_m), \quad (\text{B.10})$$

а потім значення величини X знаходять з розрахунку, тобто непрямым шляхом. Залежність (B.10) повинна бути відома з теоретичних передумов або встановлена експериментально. Результати вимірювання аргументів x_i та оцінки їх похибок можна отримати з прямих, непрямих, сумісних вимірювань, взяті з наукової та довідкової літератури, технічної документації. Загальний підхід до обробки непрямих вимірювань [213, 214, 260] передбачає, що аргументи, від яких залежить вимірювана величина, та оцінки їх похибок, можна отримати з прямих, непрямих, сумісних вимірювань, а відомі систематичні похибки результатів вимірювань аргументів виключені.

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

Результатом непрямого вимірювання є оцінка величини X , яку знаходять шляхом підстановки у вираз (B.10) результатів вимірювання аргументів x_i . Оскільки кожен з аргументів x_i вимірюється з певною похибкою, задача оцінювання похибки результату зводиться до додавання похибок вимірювання аргументів. Особливість непрямих вимірювань полягає в тому, що вклад окремих похибок вимірювання аргументів в похибку результату і правила їх додавання залежать від виду функції (B.10).

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

Для лінійних непрямих вимірювань рівняння вимірювань має вид

$$X = \sum_{i=1}^m a_i x_i, \quad (\text{B.11})$$

де a_i – постійні коефіцієнти при аргументах x_i .

Будь-які інші функціональні залежності (B.10) відносять до нелінійних непрямих вимірювань.

Результат лінійного непрямого вимірювання обчислюють за формулою (B.11), шляхом підстановки в неї виміряних значень аргументів. Похибки вимірювання аргументів можна задати своїми границями Δx_i або довірчими границями $\Delta x(P)_i$ з довірчими ймовірностями P_i .

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

$$\Delta X = \pm(\Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots + \Delta x_m). \quad (\text{B.12})$$

Зі збільшенням числа аргументів ця оцінка стає надто завищеною, оскільки таке додавання фактично передбачає, що похибки вимірювання усіх аргументів одночасно мають максимальне значення і співпадають за знаком. Ймовірність такого співпадання практично дорівнює нулю, хоча можна гарантувати, що похибка визначена за (B.12) є максимально можливою. Для знаходження більш реалістичної оцінки переходять до статистичного додавання похибки аргументів. Якщо в заданих межах похибки аргументів розподілені рівномірно, довірчі границі $\Delta X(P)$ похибки результату вимірювання визначаються за формулою

$$\Delta X(P) = k \sqrt{\sum_{i=1}^m a_i^2 \cdot \Delta x_i^2}, \quad (\text{B.13})$$

де k – коефіцієнт, визначений за виразом (В.1).

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

$$\Delta X(P) = \sqrt{\sum_{i=1}^m a_i^2 \cdot [\Delta x_i(P)]^2}. \quad (\text{В.14})$$

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

Особливістю нелінійних непрямих вимірювань є те, що результати вимірювань аргументів піддаються функціональним перетворенням, які у випадку роботи з випадковими величинами призводять до зміни законів їх розподілу [207, 259].

Результат вимірювання X , як і при лінійних непрямих вимірюваннях, отримують з виразу (В.10). Якщо функція (В.10) є складною, знаходження закону похибки результату може мати значні математичні ускладнення. Тому при нелінійних непрямих випробуваннях відмовляються від використання інтервальних оцінок похибки результату і обмежуються наближеною верхньою оцінкою її границь. В основі наближеного оцінювання похибки нелінійних непрямих вимірювань лежить лінеаризація функції (В.10) і подальша обробка результатів, як при лінійних вимірюваннях.

Метод лінеаризації передбачає розкладання нелінійної функції в ряд Тейлора

$$f(x_1, \dots, x_m) = f(\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_m) + \sum_{i=1}^m \frac{df}{dx_i} \Delta x_i + R, \quad (\text{В.15})$$

де x_i – результат вимірювання i -го аргументу;

Δx_i – відхилення результату вимірювання аргументу від його середнього арифметичного;

R – остаточний член ряду.

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

Вираз для повного диференціалу функції (В.10) має вигляд

$$dX = \frac{\partial X}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial X}{\partial x_2} dx_2 + \dots + \frac{\partial X}{\partial x_m} dx_m. \quad (\text{В.16})$$

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

Якщо похибки вимірювання аргументів є малими величинами порівняно з номінальними значеннями аргументів, то можна замінити диференціали аргументів dx_i в (В.16) на похибки вимірювань Δx_i , а диференціал функції dX на похибку результату вимірювання ΔX

$$\Delta X = \frac{\partial X}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial X}{\partial x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial X}{\partial x_m} \Delta x_m. \quad (\text{В.17})$$

Вважаючи, що розподіл похибок аргументів підлягає рівномірному закону, при числі доданків $m < 5$ границі похибки результату можна визначити за формулою (В.12). В тому випадку, коли похибки аргументів задані їх границями Δx_i чи довірчими границями, оцінку похибки результату визначають за (В.13) або (В.14). В обох випадках роль коефіцієнтів a_1, a_2, \dots, a_m виконують частинні похідні $\frac{\partial X}{\partial x_i}$.

Застосувавши формулу (В.17), отримаємо декілька простих правил оцінювання похибки результату непрямого вимірювання.

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

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

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

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

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

Використання правил дозволяє отримати не дуже завищену оцінку граничної похибки результату нелінійного непрямого вимірювання для числа аргументів $m < 5$. Якщо відомо, що похибки вимірювання аргументів незалежні, то для оцінювання похибки результату доцільно скористатися квадратичним додаванням. Будь-який розрахунок похибки можна виконати шляхом послідовних кроків за допомогою вищевказаних правил.

Якщо неможливо зробити припущення про те, що похибки вимірювання аргументів малі порівняно з їх середніми значеннями, обробку результатів необхідно виконувати за більш складним алгоритмом, який враховує нелінійність функції (В.10). Хоча навіть у випадку великих похибок аргументів метод лінеаризації дозволяє оцінити порядок похибки результату (з меншою точністю) і судити про його невизначеність.

В.5 Сумісні вимірювання

Метою сумісних вимірювань є встановлення функціональної залежності між величинами, наприклад, часу реакції водія від вмісту алкоголю в організмі, опору провідника від температури, усталеного сповільнення від коефіцієнта зчеплення коліс автомобіля з дорогою тощо.

Для знаходження залежності $y = f(x)$ між змінними x та y необхідно послідовно для вимірних значень x вимірювати величину y і, таким чином отримати координати досліджуваної залежності (x_i, y_i) . Оскільки результати x та y містять похибки, отримані координати не будуть належати істинній залежності. Виключивши можливі систематичні похибки, можна уточнити координати, але уточнені координати можуть не відповідати істинній залежності через наявність випадкових похибок. Тому при виконанні сумісних вимірювань виникає два завдання:

1. Апроксимувати залежність $y = f(x)$ за експериментальними даними, що дозволить уявити собі істинну залежність.

2. Встановити чи дійсно апроксимуюча функція максимально наближається до шуканої залежності та за яким критерієм можна оцінити наближення експериментальної залежності до істинної.

Підхід до розв'язування подібних задач можливий на основі застосування методу найменших квадратів [103, 216]. Згідно цього методу параметри залежності оцінюються виходячи з умови, що сума квадратів відхилень розрахункових значень апроксимуючої функції від експериментальних значень повинна бути мінімальною.

При обґрунтуванні метода найменших квадратів в математичній статистиці передбачається, що результати вимірювань $(x_i, y_i), i = 1, \dots, m$ задовольняють умови:

- значення аргументів x_i відомі точно;
- систематичні похибки виключені, а результати вимірювань y_i містять лише випадкові похибки, які незалежні і мають однакові дисперсії;

– похибки вимірювань y_i мають нормальний розподіл.

За таких умов метод найменших квадратів дає незміщені оцінки параметрів залежності, які мають мінімальні дисперсії.

В.6 Похибки випробувань та помилки контролю

В технічній літературі з експертизи ДТП [83-89], досить часто однакові процедури позначають різними термінами. Так знаходження часу реакції водія в лабораторних умовах одні дослідник називають вимірюванням, інші – контролем. Цю саму процедуру, виконувану в умовах близьких до ДТП, називають випробуванням. З метрологічної суті процедури вимірювання, випробування і контролю є близькими, але за різними алгоритмами виконується обробка їх результатів та різними показниками оцінюється їх достовірність.

Вимірювання – знаходження значення фізичної величини дослідним шляхом за допомогою спеціальних технічних засобів.

Випробування – експериментальне визначення істинних характеристик об'єкта в заданих режимах та умовах його функціонування. За результатами випробувань можна зробити висновки про якість чи стан об'єкта, підтвердити або відхилити версії та припущення.

Процедури випробувань включають в себе вимірювання, метою яких є отримання інформації про значення параметрів випробовуваних об'єктів. Стосовно задач САТЕ типовим випадком випробування є проведення слідчого експерименту. Це може бути, наприклад, експеримент з визначення дальності видимості об'єктів в конкретних дорожніх умовах та умовах освітленості або визначення коефіцієнта зчеплення коліс автомобіля з дорожнім покриттям тощо.

Таким чином, цілі і метрологічна сутність випробувань та вимірювань відрізняються. Метою вимірювання і його кінцевим результатом є знаходження істинного значення вимірюваної величини в тих реальних умовах, в яких проводиться вимірювання. При цьому достовірність результату

вимірювання характеризується його близькістю до істинного значення. При випробуваннях на певні умови накладаються обмеження.

Як і при будь-яких вимірюваннях, результат вимірювання контрольованого параметра об'єкта випробувань (результат випробування) буде відрізнятися від свого істинного значення. Не тільки тому, що має місце похибка вимірювання самого параметра, а також тому, що неможливо абсолютно точно встановити і стабільно підтримувати задані номінальні умови випробувань. Наприклад, при випробуванні гальмівної системи забезпечити необхідне значення коефіцієнта зчеплення та початкової швидкості можна лише з певною похибкою, а, відповідно, і результат вимірювання гальмівного шляху автомобіля під час випробувань буде містити складову похибки від неточності встановлення і нестабільності цих параметрів. Таким чином, похибка вимірювання – це лише одна із складових, які впливають на достовірність результату випробування.

Для оцінювання якості випробування введено поняття похибки випробування Δx_{vup} [207, 214, 259]. За аналогією з похибкою вимірювання, похибка випробування характеризується різницею результату випробування x_{vup} та істинного значення контрольованого параметра x_{ist} , тобто того, що він мав би за відсутності похибки вимірювання та похибки від неточності встановлення умов випробувань $\Delta x_{vup} = x_{vum} - x_{ist}$.

Формування похибки випробування можна подати у вигляді схеми (рис. В.1). Потрібно визначити істинне значення контрольованого параметра L в умовах, що характеризуються номінальним значенням випробувального впливу x_n . Припустимо залежність $L = f(x)$ лінійна, похибки вимірювання параметра L і похибка встановлення x_n задані своїми границями Δ_{vum} і Δ_x .

Якщо б похибка вимірювання параметра Δ_{vum} була відсутня, то можливий результат випробувань знаходився б в межах $L_n \pm \Delta_x L'(x)$. Наявність похибки вимірювання призводить до розширення інтервалу невизначеності результату

випробування. З врахуванням похибки Δ_{vum} вимірювання параметра L максимальне за абсолютною величиною значення похибки випробування буде

$$\Delta_{vup} = \Delta_{vum} + \Delta_x L'(x), \quad (B.18)$$

де $L'(x)$ похідна від $L = f(x)$

та

$$L = L_{vum} \pm \Delta_{vup}.$$

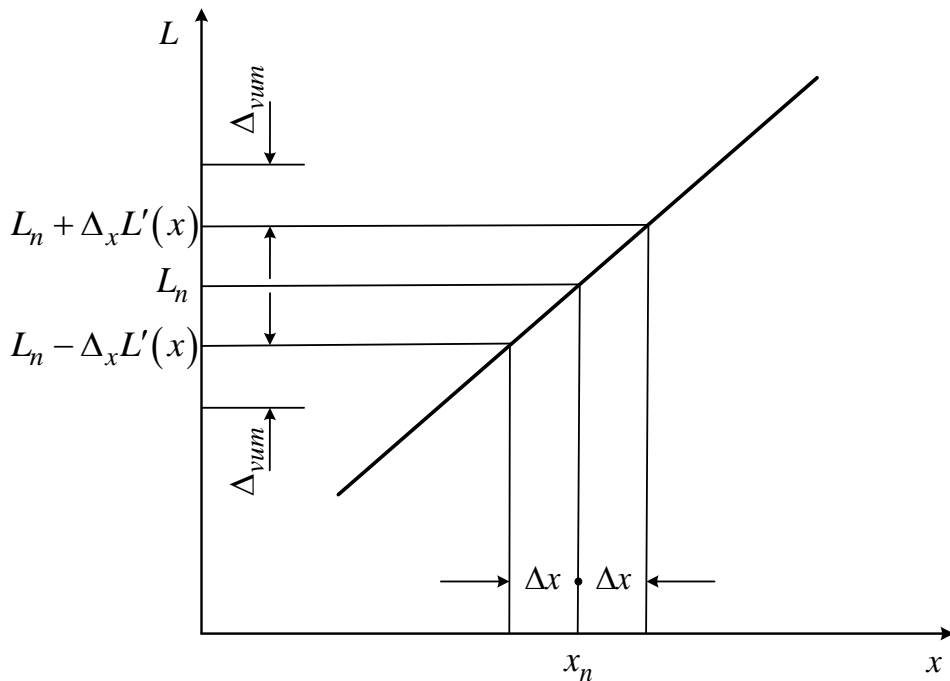


Рисунок В.1 – Схема формування похибки випробувань

В загальному випадку, якщо під час випробувань необхідно задавати і підтримувати m параметрів випробувальних впливів

$$\Delta_{vup} = \Delta_{vum} + \sum_{i=1}^m \Delta_{vst.i} L'(x_i), \quad (B.19)$$

де $\Delta_{vst.i}$ – похибка встановлення i -го параметра умов випробувань.

Вважають, що похибки випробувань володіють усіма принциповими властивостями похибок вимірювань, тому вони можуть описуватись тими ж характеристиками, що і похибки вимірювань [207, 212, 214].

В ДСТУ 3021-95 «Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення» вказано, що технічний контроль – це діяльність, яка включає проведення вимірювань, перевірок, випробувань однієї чи декількох характеристик продукту або перебігу процесу з метою визначення їх відповідності встановленим вимогам. Проаналізувавши цей стандарт та ряд літературних джерел [209, 211, 260] можна виділити такі різновиди контролю:

1. Визначення шляхом вимірювання значення контрольованого параметра об'єкта та порівняння отриманого результату із заданим допустимим значенням чи діапазоном значень. Наприклад, вимірювання сумарного кутового проміжку рульового керування та порівняння результату вимірювання з відповідною нормою.

2. Фіксація наявності або відсутності деякої події, стану об'єкта при певних умовах. Наприклад, фіксація під час ДТП автомобільним реєстратором вхідних даних про події інформації про технічні параметри руху автомобіля, роботу його систем та положення органів керування автомобілем.

3. Контроль експертними методами. При дослідженні ДТП експертні методи можуть застосовуватись, наприклад, для визначення швидкості автомобілів – учасників ДТП або пішоходів за показами свідків чи експертів шляхом проведення слідчого експерименту.

4. Контроль органолептичними методами (дегустація, розрізнення запахів, контроль ергономічних та інших властивостей об'єктів). Наприклад, перевірка технічного стану транспортного засобу органами відчуття кваліфікованим фахівцем із застосуванням у разі потреби інформації за показаннями засобів сигналізації (індикації), що вмонтовані в транспортний засіб, без застосування засобів вимірювальної техніки.

Питання про достовірність результатів контролю може бути пов'язане з оцінюванням похибки вимірювань лише для контролю першого, другого та третього видів. Правильність результатів органолептичного контролю – поняття суб'єктивне, не пов'язане з вимірюваннями. Контроль першого виду дає найбільш об'єктивні результати, практично незалежні від суб'єктивних особливостей персоналу. Але результати цього контролю суттєво залежать від похибок засобів і методів вимірювання.

Таким чином, процедури вимірювання і контролю близькі за метрологічною сутністю, але відрізняються за кінцевим результатом. Метою і кінцевим результатом вимірювання є знаходження істинного значення фізичної величини, тобто числа. Результатом контролю є логічний висновок (придатний – непридатний, відповідає – не відповідає), отриманий на основі вимірювальної інформації. Результат контролю повинен супроводжуватись оцінкою, яка характеризує ступінь довіри до нього.

В теорії контролю [210, 213, 259] для оцінювання достовірності результату використовують ймовірнісний критерій – ймовірність похибки. Достовірність контролю – ймовірність відповідності результатів контролю дійсним значенням контрольованого параметра. В якості оцінок достовірності контролю вводиться поняття ймовірності помилок I і II роду.

Помилка I роду виникає коли в дійсності придатний виріб ідентифікується за результатами контролю як непридатний. Помилкою II роду є визнання непридатного виробу придатним. Якщо ймовірність отримання істинного результату контролю позначити P_{ist} , а ймовірності помилок I і II роду P_I і P_{II} , можна записати $P_{ist} = 1 - (P_I + P_{II})$.

Розглянемо випадок контролю об'єкта, для якого розсіювання вимірюваного параметра x задане розподілом щільності ймовірності $f(x)$ (рис. В.2). На рисунку зображено також розподіл щільності ймовірностей похибки засобу вимірювання $f(\Delta x)$ та прийнято позначення: x_n – номінальне

значення параметра; x_{nv} – верхня границя параметра; x_{nn} – нижня границя параметра; Δx_n – допуск.

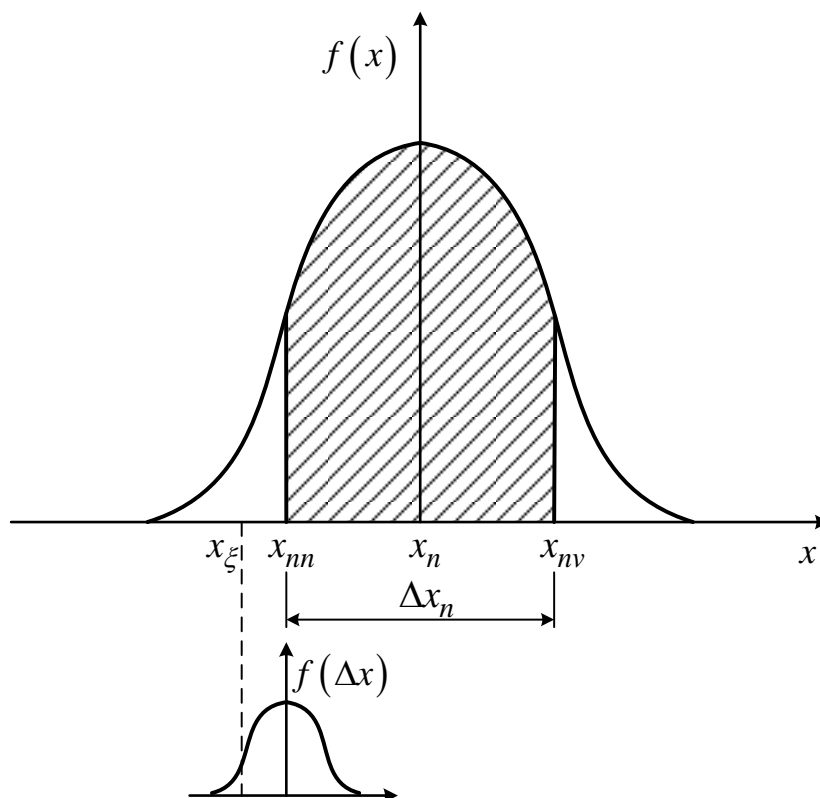


Рисунок В.2 – Формування помилок контролю

Якщо б засіб вимірювання не мав похибок, то при вимірюванні контрольованого параметра можна було б однозначно визначити чи відповідають параметри об'єкта заданим нормам, тобто забезпечити $P_{ist} = 1$. Оскільки засіб вимірювання має похибку, судження про результат контролю може бути невірним внаслідок наявності помилок I чи II роду. Ймовірність того, що виріб з параметром, який виходить за границі поля допуску та попадає в інтервал від x_ξ до x_{nn} , буде внаслідок наявності випадкової похибки засобу вимірювання визнано придатним (помилка II роду) визначається співпадінням двох незалежних подій: першої (А), коли параметр виробу повинен знаходитись в інтервалі від x_ξ до x_{nn} , і другої (В), коли через похибку вимірювання показники засобу вимірювання виявляться в цьому ж інтервалі. Оскільки перша та друга події незалежні, то ймовірність того, що виріб буде

помилково визнано придатним, визначиться як добуток ймовірностей подій $P_A P_B$. Ймовірності P_A та P_B залежать від форми відповідних розподілів. Аналогічно визначається ймовірність помилки I роду.

Під час вимірювального контролю ймовірність помилок I і II роду тим більша, чим більша дисперсія (середнє квадратичне відхилення) похибки вимірювання.

В.7 Експертні методи та оцінки

Отримана експертним методом оцінка характеристик та властивостей об'єкта називається експертною інформацією [81, 83, 242, 258]. Експертні оцінки при дослідженні ДТП можуть застосовуватись у разі відсутності вимірювальної інформації чи упущення можливості її отримати. З метою отримання експертних оцінок може проводитись слідчий експеримент.

Загальним для усіх експертних методів, що застосовуються для отримання кількісної оцінки певної властивості об'єкта, є уява про людину-експерта як «нетехнічний» засіб вимірювання. На відміну від вимірювального приладу, людина не зберігає свої здатності до відтворення міри та оцінювання постійними, тому достовірність і стабільність її оцінок невисока. Так, наприклад, Іларіонов В.А. [142] відмічає, що свідок наїзду автомобіля на пішохода добре пам'ятає усі деталі події протягом 10 днів і в межах цього часу може впевнено вказати напрямок та приблизну швидкість пішохода. При цьому найбільш достовірні дані надають свідки, що знаходились на відстані 20-30 м від місця наїзду. Але навіть при великих похибках кількісні експертні оцінки можуть мати важливе значення для встановлення обставин ДТП.

В спеціальній літературі, присвяченій теорії та практиці експертного оцінювання [139, 142, 242, 246, 254, 256, 270], наголошується, що для отримання якісної експертної інформації необхідним є виконання ряду умов:

- наявність експерта чи групи експертів, яка складається зі спеціалістів, професійно знайомих з об'єктом експертизи;

- наявність особи, яка професійно володіє технологією організації та проведення експертиз, методами отримання і аналізу експертної інформації;
- коректна обробка і аналіз експертної інформації;
- детальний опис методики експертизи в експертному висновку.

Відсутність якої з цих умов може поставити під сумнів ефективність і коректність проведення експертизи. Ці загальні вимоги в застосуванні до слідчого експерименту з визначення обставин ДТП за допомогою свідків і потерпілих не завжди повністю можна виконати, але отримані при цьому оцінки визнаються юридично значимими.

Експертну оцінку може дати одна людина, але з метою підвищення достовірності оцінювання перевага надається груповому методу. Центральними проблемами експертних технологій є визначення якості експерта і формування експертних груп, а при аналізі результатів групових експертиз – аналіз узгодженості та несуперечності експертних думок в групі. Тому для забезпечення ефективності оцінювання експертна група повинна ретельно підбиратись і атестовуватись шляхом перевірки компетентності кандидатів тестуванням.

Для перевірки узгодженості думок експертів кожному з них пропонується дати оцінку q_i певної властивості об'єкта. Якщо оцінка атестованого не є найбільшим чи найменшим значенням в отриманому ряду оцінок, то його кваліфікаційний рівень можна вважати відповідним рівню групи. В іншому випадку дану ним оцінку вважають такою, що суперечить думці групи з ймовірністю 0,95, якщо

$$q_i - \bar{q} > \beta \cdot S, \quad (\text{В.20})$$

де \bar{q} – середнє арифметичне значення оцінок;

S – середнє квадратичне відхилення індивідуальних оцінок в групі;

β – коефіцієнт, який залежить від чисельності експертної групи (табл. В.12).

Таблиця В.12 – Значення коефіцієнта β для ймовірності 0,95

Число експертів в групі	3	4	5	6	7	8	9	10
β	1,15	1,46	1,67	1,82	1,94	2,03	2,11	2,18

Теоретично ефективність групового оцінювання зі збільшенням кількості експертів зростає у відповідності з виразом (В.5). На практиці згідно рекомендаціям [207, 239, 258] число експертів в групі повинно складати 7 - 20 осіб. Надто мале число експертів різко збільшує недостовірність групового оцінювання, надто велике не підвищує ефективність оцінювання та призводить до непродуктивних дебатів.

В практиці дослідження ДТП [83-89] експертне оцінювання звичайно виконується в процесі слідчого експерименту одним експертом – свідком чи учасником пригоди. Особливістю в цьому випадку є те, що дотримання в повній мірі усіх наведених вище вимог до підготовки та проведення експертизи неможливе, тому має місце невисока достовірність отримуваних результатів.

Рекомендації з проведення слідчих експериментів містяться в літературних джерелах [80, 81] та багатьох інших виданнях. В них описані методики експертного оцінювання параметрів руху учасників ДТП, але слід звернути увагу, що вони не враховують систематичних похибок, притаманних людині-експерту, які проявляються в завищенні чи заниженні оцінок параметрів досліджуваних об'єктів.

В.8 Узагальнений алгоритм опрацювання результатів вимірювань на основі концепції невизначеності

Оцінювання та вираження невизначеності результату вимірювання можна виконати за допомогою єдиного алгоритму опрацювання [213, 214, 260], який полягає в такому.

1. Скласти математичну залежність (рівняння вимірювань) між вихідною y і вхідними x_i ($i = 1, \dots, n$) величинами, від яких вона залежить: $y = f(x_1, \dots, x_n)$. Функція f повинна містити кожен величину, охоплюючи всі поправки та поправкові множники на відомі систематичні ефекти, яка може внести значну складову в невизначеність результату вимірювання, основні та додаткові абсолютні похибки засобів вимірювальної техніки, що використовуються при вимірюваннях. Складати математичну залежність необхідно за рекомендаціями МІ 13.002-2003 [353].

2. Визначити x_{io} – оцінене значення вхідної величини x_i на основі статистичного аналізу серії спостережень, або іншим способом (оцінювання із зовнішніх джерел, таких як величини, пов'язані з атестованими еталонами, стандартними зразками речовин і матеріалів, стандартними довідковими даними). При проведенні багаторазових вимірювань за значення i -тої вхідної величини x_i приймають середнє арифметичне n_i результатів ряду окремих спостережень x_{ic} . В отримані значення x_{1o}, \dots, x_{no} вносяться поправки на відомі систематичні ефекти.

3. Визначити оцінку результату вимірювання вихідної величини y шляхом підстановки в рівняння вимірювань оцінок вхідних величин: $y = f(x_{1o}, \dots, x_{no})$.

4. Якщо кількість спостережень i -тої вхідної величини більше трьох і невідомо ні закон розподілу ймовірності, ні довідкові дані, ні дані повірки чи калібрування, то стандартна невизначеність $u(x_{io})$ визначається тільки за типом А.

Якщо ж відомо і результати багатократних спостережень вхідної величини, і дані зовнішніх джерел (отримані іншими способами), що перераховані в пункті 2, то, крім розрахунку стандартної невизначеності типу А, необхідно проводити обчислення стандартних невизначеностей типу В. Стандартні невизначеності типу В можна обчислювати через верхні і нижні

межі $[\alpha_n; \alpha_v]$ припустимого закону розподілу чи проміжок, що має заданий довірчий рівень p .

При відсутності багаторазових спостережень та наявності інших даних (нестатистичних) розраховується лише стандартна невизначеність типу В.

5. Якщо значення вхідних величин (x_i, x_j) пов'язані між собою (попарно корельовані), то необхідно розрахувати коефіцієнт кореляції.

6. Обчислити сумарну стандартну невизначеність $u_c(y)$ результату вимірювання y з урахуванням стандартних невизначеностей типу А і В (А або В) та коефіцієнтів кореляцій.

При відсутності кореляції між вхідними величинами сумарну стандартну невизначеність визначають за формулою

$$u_c(y) = \sqrt{\frac{(\alpha_v - x)(x - \alpha_n) - (\alpha_v - 2x + \alpha_n)}{\lambda}}, \quad (\text{В.21})$$

де x – очікуване значення;

λ – параметр розподілу.

При наявності кореляцій між вхідними величинами сумарну стандартну невизначеність обчислюють за формулою

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_{io}} \right)^2 u^2(x_{io}), \quad (\text{В.22})$$

де f – функція, що подана в п. 3;

$u(x_{io})$ – стандартна невизначеність, оцінена за типом А чи В.

Якщо вклади в $u_c^2(y)$ стандартних невизначеностей оцінювалися окремо за типом А і за типом В, то, позначивши їх як $u_{cA}^2(y)$ і $u_{cB}^2(y)$ та розрахувавши окремо, отримаємо загальну сумарну стандартну невизначеність, яка пов'язана з сумарними невизначеностями типу А і В співвідношенням [211]

$$u_c^2(y) = u_{cA}^2(y) + u_{cB}^2(y). \quad (\text{B.23})$$

7. Для розрахунку розширеної невизначеності U потрібно отримати значення коефіцієнта охоплення k_p , що створює проміжок, який відповідає заданому довірчому рівню p . В загальному випадку коефіцієнт охоплення вибирають у відповідності з формулою [211]

$$k_p = t_p(V_{eff}), \quad (\text{B.24})$$

де $t_p(V_{eff})$ – квантиль розподілу Стюдента з ефективним числом ступенів вільності V_{eff} і довірчою ймовірністю p .

Значення коефіцієнта $t_p(V_{eff})$, як правило, вибирається з довідкової таблиці за значенням ефективного числа ступенів вільності, що розраховується за формулою [211, 214]

$$V_{eff} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_{io}} \frac{\partial f}{\partial x_{jo}} u^2(x_{io}, x_{jo}), \quad (\text{B.25})$$

де x_{io} та x_{jo} – оцінки x_i та x_j ;

$u(x_{io}, x_{jo}) = u(x_{jo}, x_{io})$ – оцінена коваріація x_i та x_j .

Розрахувавши ефективне число ступенів вільності V_{eff} та вибравши коефіцієнт охоплення k_p , отримаємо розширену невизначеність, яка обчислюється за формулою

$$U = k_p \cdot u_c(y). \quad (\text{B.26})$$

8. Подання повного результату вимірювання містить в собі оцінку вихідної величини і приписане їй значення розширеної невизначеності з зазначенням довірчого рівня.

Значення розширеної невизначеності вказується з кількістю значущих цифр не більше двох. Результат вимірювання, як і значення вхідних величин, заокруглюють так, щоб вони відповідали своїм невизначеностям.

Таким чином, при поданні результатів вимірювань рекомендується наводити достатню кількість інформації для того, щоб можна було проаналізувати чи повторити весь процес отримання результату вимірювання і обчислення невизначеностей вимірювань, а саме:

- алгоритм отримання результату вимірювань;
- алгоритм розрахунку всіх поправок та їх невизначеностей;
- невизначеності всіх використовуваних даних та способи їх отримання;
- алгоритми обчислення сумарної та розширеної невизначеностей [211, 354].

Додаток Г. Параметри розроблених адаптивних систем нейро-нечіткого висновку, що пропонуються до використання при моделюванні механізму дорожньо-транспортних пригод.

Г1. Адаптивна нейро-нечітка система оцінювання відстані видимості об'єктів при русі автомобіля в темну пору доби (Anfis Editor Matlab)

```
[System]
Name='VidstVyd'
Type='sugeno'
Version=2.0
NumInputs=4
NumOutputs=1
NumRules=54
AndMethod='prod'
OrMethod='probor'
ImpMethod='prod'
AggMethod='sum'
DefuzzMethod='wtaver'
[Input1]
Name='W'
Range=[150 300]
NumMFs=3
MF1='W1': 'gaussmf',[31.8558451676477 149.999346138937]
MF2='W2': 'gaussmf',[31.8735525246601 224.999185599702]
MF3='W3': 'gaussmf',[31.8556578123741 300.000345907352]
[Input2]
Name='K'
Range=[0.07 0.9]
NumMFs=3
MF1='K1': 'gaussmf',[0.301003227800784 -0.0594231680228142]
MF2='K2': 'gaussmf',[0.288036935425248 0.420456376252838]
MF3='K3': 'gaussmf',[0.180778548515819 1.01032090747973]
[Input3]
Name='F'
Range=[0 7.5]
NumMFs=3
MF1='F1': 'gaussmf',[1.59216692571643 0.00174155097170256]
MF2='F2': 'gaussmf',[1.60509615052195 3.77299585246389]
MF3='F3': 'gaussmf',[1.58091019300911 7.51842750655573]
[Input4]
Name='BD'
Range=[1 2]
NumMFs=2
MF1='BD1': 'gaussmf',[0.424575076536371 0.999963558087242]
MF2='BD2': 'gaussmf',[0.424688367979882 1.99998833525815]
[Output1]
```

Name='Sv'
Range=[35.5 298]
NumMFs=54
MF1='out1mf1':constant',[21.9765075254374]
MF2='out1mf2':constant',[34.8190354882675]
MF3='out1mf3':constant',[23.7463822915905]
MF4='out1mf4':constant',[36.1375043516336]
MF5='out1mf5':constant',[23.9708013200852]
MF6='out1mf6':constant',[41.4466876590127]
MF7='out1mf7':constant',[55.7244769306052]
MF8='out1mf8':constant',[112.453544608127]
MF9='out1mf9':constant',[60.5516118529895]
MF10='out1mf10':constant',[117.259556616348]
MF11='out1mf11':constant',[60.4257006595753]
MF12='out1mf12':constant',[134.222327519723]
MF13='out1mf13':constant',[65.3266450850029]
MF14='out1mf14':constant',[132.845320467698]
MF15='out1mf15':constant',[70.9206118314016]
MF16='out1mf16':constant',[138.408202198556]
MF17='out1mf17':constant',[70.999601507746]
MF18='out1mf18':constant',[158.459233451302]
MF19='out1mf19':constant',[28.1488210606487]
MF20='out1mf20':constant',[53.2477682493761]
MF21='out1mf21':constant',[30.5255364012024]
MF22='out1mf22':constant',[55.5665293711894]
MF23='out1mf23':constant',[30.5267796361562]
MF24='out1mf24':constant',[63.5666632153953]
MF25='out1mf25':constant',[70.8968047304231]
MF26='out1mf26':constant',[172.443469492182]
MF27='out1mf27':constant',[77.0992118647959]
MF28='out1mf28':constant',[179.735877867817]
MF29='out1mf29':constant',[76.7804681275089]
MF30='out1mf30':constant',[205.598957913359]
MF31='out1mf31':constant',[83.2152365095249]
MF32='out1mf32':constant',[203.645794302137]
MF33='out1mf33':constant',[90.3862181389648]
MF34='out1mf34':constant',[212.201761132302]
MF35='out1mf35':constant',[90.0996640295808]
MF36='out1mf36':constant',[242.798927672231]
MF37='out1mf37':constant',[32.0912495725605]
MF38='out1mf38':constant',[71.9529141631114]
MF39='out1mf39':constant',[34.9660750633651]
MF40='out1mf40':constant',[74.9702346031635]
MF41='out1mf41':constant',[34.794065757844]
MF42='out1mf42':constant',[85.8968006933804]
MF43='out1mf43':constant',[80.6701896597391]
MF44='out1mf44':constant',[232.803043108747]
MF45='out1mf45':constant',[87.7172069070371]
MF46='out1mf46':constant',[242.659217046095]
MF47='out1mf47':constant',[87.1718665506567]
MF48='out1mf48':constant',[277.358974037006]
MF49='out1mf49':constant',[94.6327379223977]

MF50='out1mf50': 'constant', [274.739069513107]
MF51='out1mf51': 'constant', [102.944472896097]
MF52='out1mf52': 'constant', [286.425479593307]
MF53='out1mf53': 'constant', [102.086205509318]
MF54='out1mf54': 'constant', [327.539725443257]

[Rules]

1 1 1 1, 1 (1) : 1
1 1 1 2, 2 (1) : 1
1 1 2 1, 3 (1) : 1
1 1 2 2, 4 (1) : 1
1 1 3 1, 5 (1) : 1
1 1 3 2, 6 (1) : 1
1 2 1 1, 7 (1) : 1
1 2 1 2, 8 (1) : 1
1 2 2 1, 9 (1) : 1
1 2 2 2, 10 (1) : 1
1 2 3 1, 11 (1) : 1
1 2 3 2, 12 (1) : 1
1 3 1 1, 13 (1) : 1
1 3 1 2, 14 (1) : 1
1 3 2 1, 15 (1) : 1
1 3 2 2, 16 (1) : 1
1 3 3 1, 17 (1) : 1
1 3 3 2, 18 (1) : 1
2 1 1 1, 19 (1) : 1
2 1 1 2, 20 (1) : 1
2 1 2 1, 21 (1) : 1
2 1 2 2, 22 (1) : 1
2 1 3 1, 23 (1) : 1
2 1 3 2, 24 (1) : 1
2 2 1 1, 25 (1) : 1
2 2 1 2, 26 (1) : 1
2 2 2 1, 27 (1) : 1
2 2 2 2, 28 (1) : 1
2 2 3 1, 29 (1) : 1
2 2 3 2, 30 (1) : 1
2 3 1 1, 31 (1) : 1
2 3 1 2, 32 (1) : 1
2 3 2 1, 33 (1) : 1
2 3 2 2, 34 (1) : 1
2 3 3 1, 35 (1) : 1
2 3 3 2, 36 (1) : 1
3 1 1 1, 37 (1) : 1
3 1 1 2, 38 (1) : 1
3 1 2 1, 39 (1) : 1
3 1 2 2, 40 (1) : 1
3 1 3 1, 41 (1) : 1
3 1 3 2, 42 (1) : 1
3 2 1 1, 43 (1) : 1
3 2 1 2, 44 (1) : 1
3 2 2 1, 45 (1) : 1
3 2 2 2, 46 (1) : 1

3 2 3 1, 47 (1) : 1
 3 2 3 2, 48 (1) : 1
 3 3 1 1, 49 (1) : 1
 3 3 1 2, 50 (1) : 1
 3 3 2 1, 51 (1) : 1
 3 3 2 2, 52 (1) : 1
 3 3 3 1, 53 (1) : 1
 3 3 3 2, 54 (1) : 1

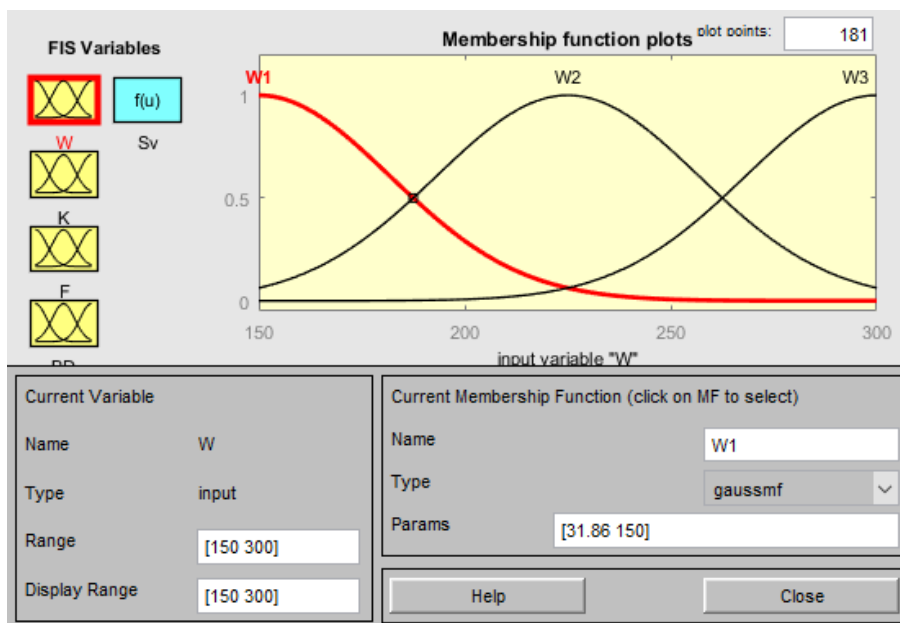


Рисунок Г.1 – Функції належності дальності світла фари

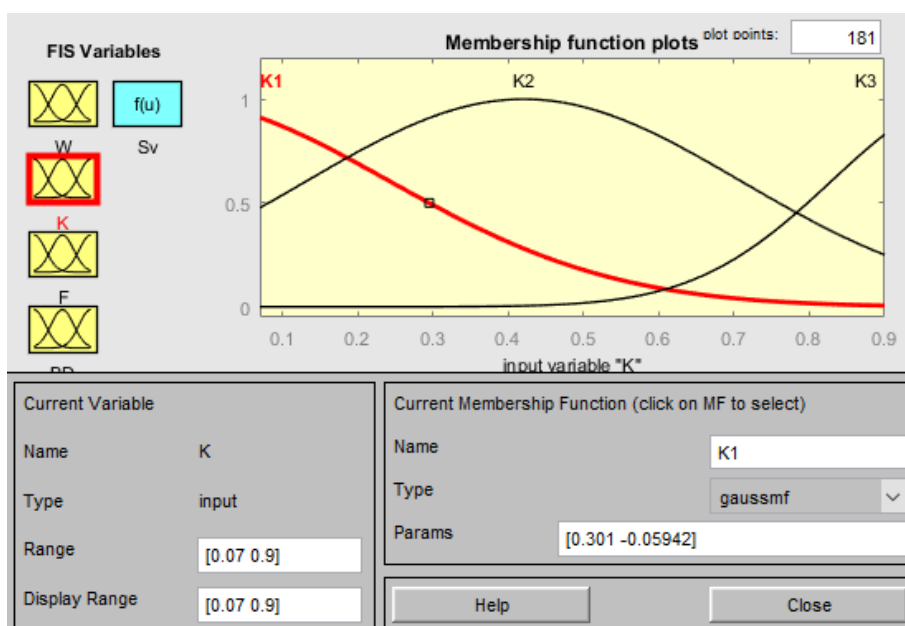


Рисунок Г.2 – Функції належності контрасту об'єкта розрізнення з фоном

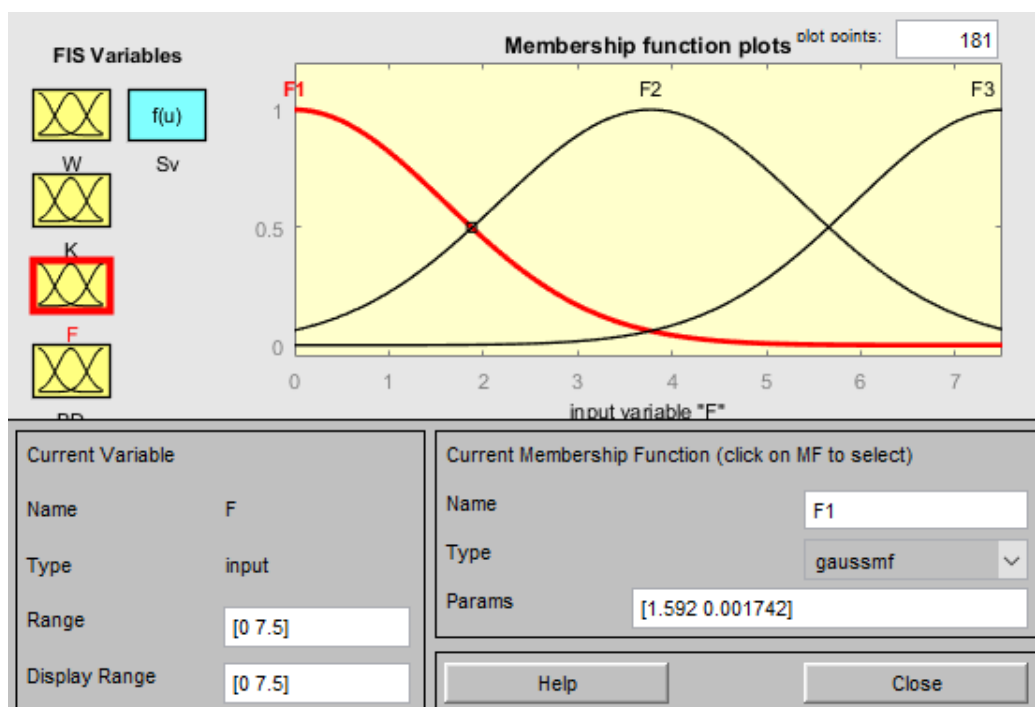


Рисунок Г.3 – Функції належності розташування перешкоди

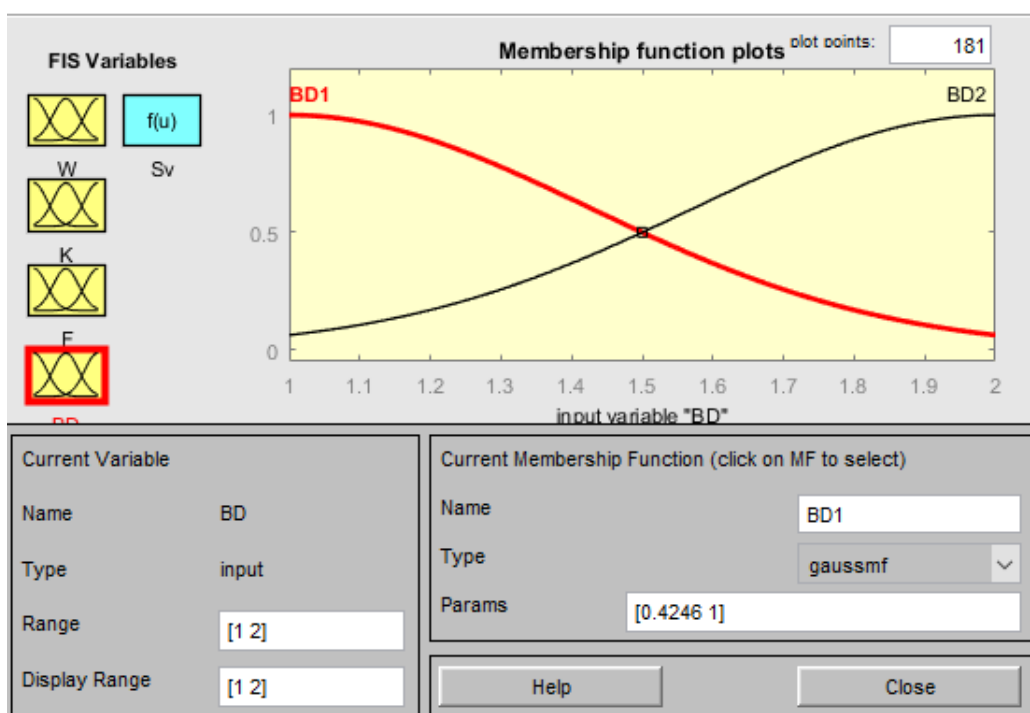


Рисунок Г.4 – Функції належності режиму роботи фари

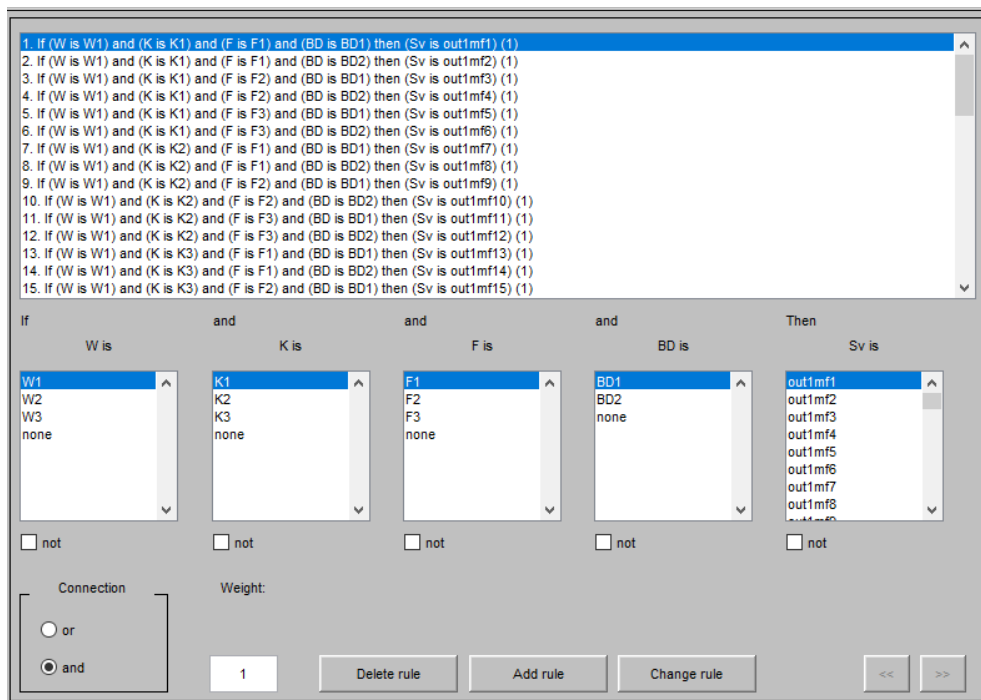


Рисунок Г.5 – Сформовані правила логічного висновку нейро-нечіткої системи оцінювання відстані видимості об'єктів в темну пору доби

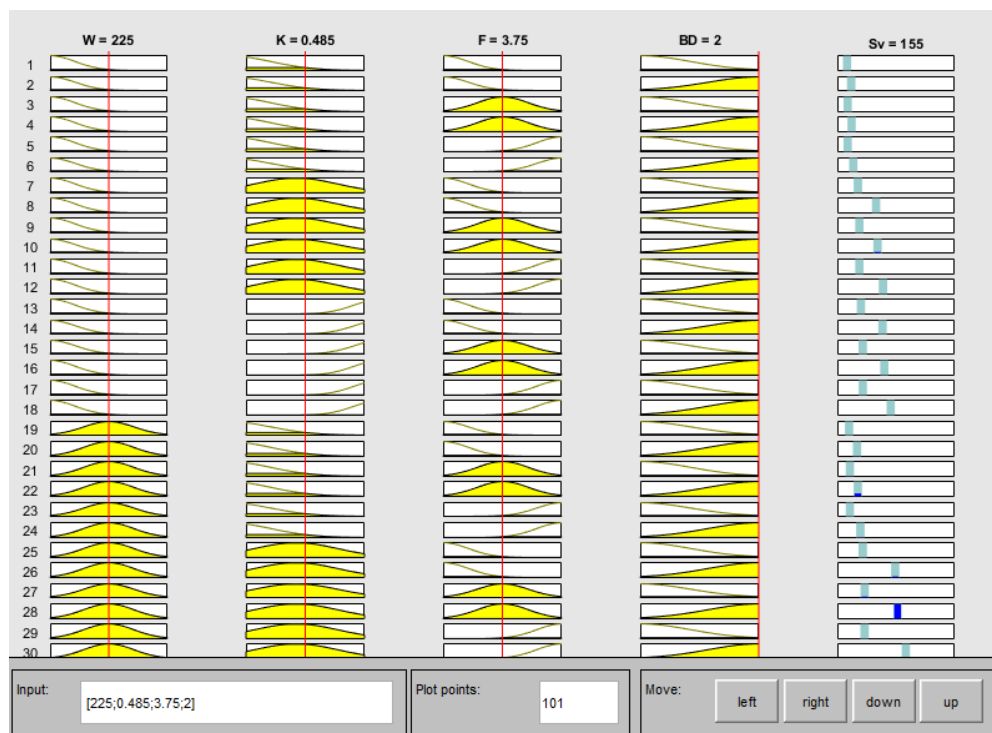


Рисунок Г.6 – Використання правил логічного висновку при формуванні результатів моделювання відстані видимості об'єктів в темну пору доби

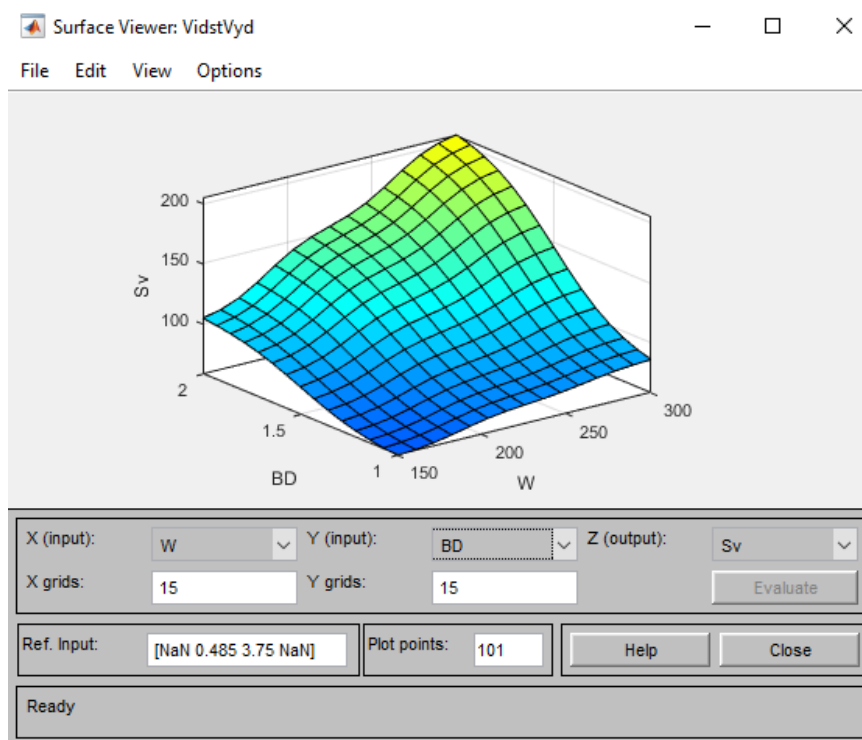


Рисунок Г.7 – Вплив режиму роботи фари та дальності її світла на відстань видимості об'єктів в темну пору доби

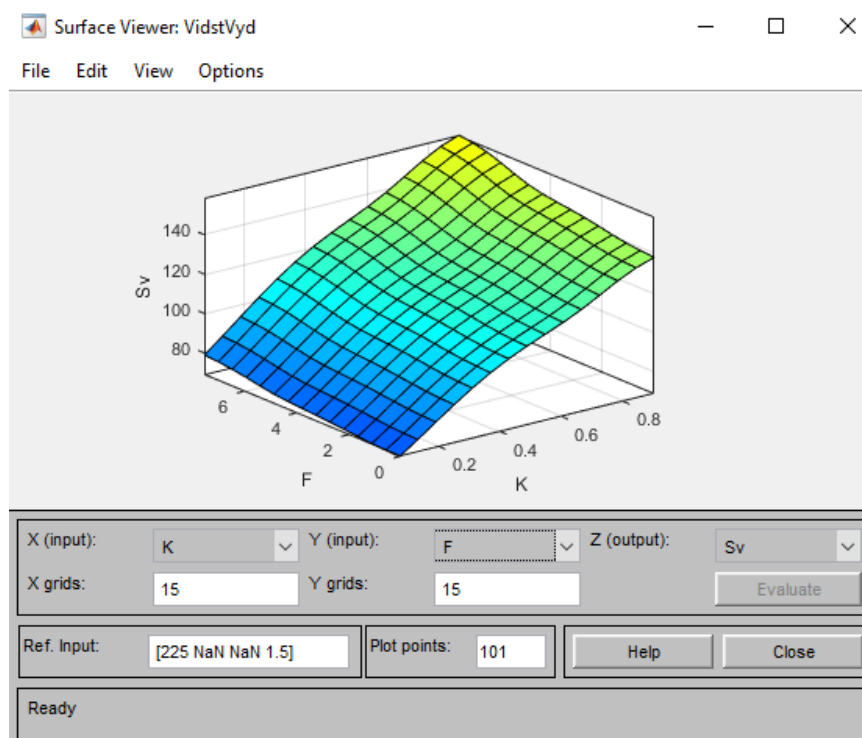


Рисунок Г.8 – Вплив розташування перешкоди та контрасту об'єкта розрізнення з фоном на відстань видимості об'єктів в темну пору доби

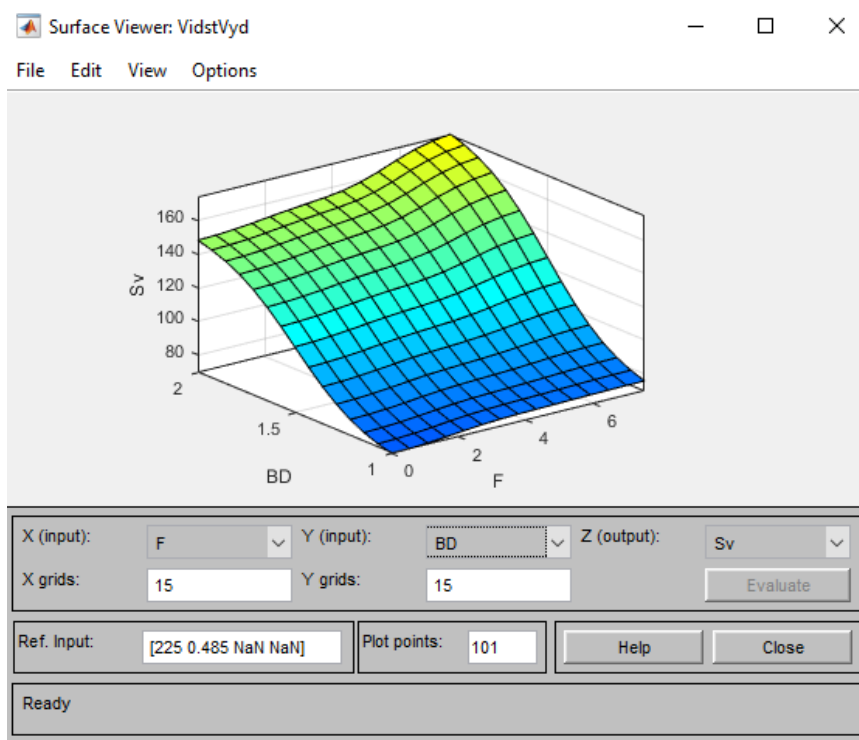


Рисунок Г.9 – Вплив режиму роботи фари та розташування перешкоди на відстань видимості об'єктів в темну пору доби

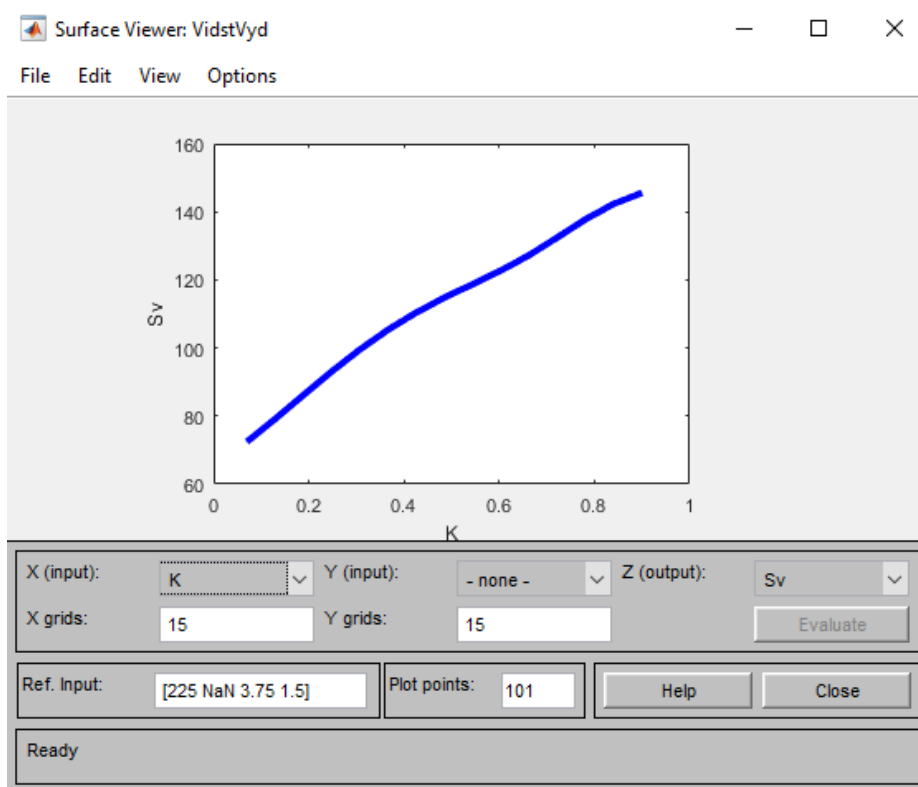


Рисунок Г.10 – Вплив контрасту об'єкта розрізнення з фоном на відстань видимості об'єктів в темну пору доби

Г2. Адаптивна нейро-нечітка система оцінювання коефіцієнта зчеплення коліс автомобіля з дорожнім покриттям (Anfis Editor Matlab)

```

[System]
Name='Sugeno After training Fi'
Type='sugeno'
Version=2.0
NumInputs=4
NumOutputs=1
NumRules=225
AndMethod='prod'
OrMethod='probor'
ImpMethod='prod'
AggMethod='sum'
DefuzzMethod='wtaver'
[Input1]
Name='jq'
Range=[0 10]
NumMFs=5
MF1='jq1':'gaussmf',[1.21303528289064 0.0590850487694922]
MF2='jq2':'gaussmf',[1.29362727632086 2.50888607968828]
MF3='jq3':'gaussmf',[1.32563448443905 4.9965620984888]
MF4='jq4':'gaussmf',[1.29871407906703 7.49073784735645]
MF5='jq5':'gaussmf',[1.219 9.90873828689305]
[Input2]
Name='N'
Range=[150 875]
NumMFs=3
MF1='N1':'gaussmf',[153.94025595164 150.000359668698]
MF2='N2':'gaussmf',[153.940298272589 512.500041047082]
MF3='N3':'gaussmf',[153.940274751047 874.999647086585]
[Input3]
Name='V'
Range=[0 130]
NumMFs=5
MF1='V1':'gaussmf',[13.8014376704274 -3.3493122881212e-05]
MF2='V2':'gaussmf',[13.8015719754217 32.5000120855364]
MF3='V3':'gaussmf',[13.8014329230444 64.999862248206]
MF4='V4':'gaussmf',[13.8016196963052 97.4998567966736]
MF5='V5':'gaussmf',[13.8013863343706 130.000045723149]
[Input4]
Name='BS'
Range=[1 3]
NumMFs=3
MF1='BS1':'gaussmf',[0.424656245081971 0.999998025382338]
MF2='BS2':'gaussmf',[0.424659477853096 1.99999606577894]
MF3='BS3':'gaussmf',[0.424665371752738 2.99999810282448]
[Output1]
Name='Adhesion'
Range=[0 1]

```

NumMFs=225

MF1='out1mf1':constant,[-0.0255163678555978]
MF2='out1mf2':constant,[0.0218335520122004]
MF3='out1mf3':constant,[-0.0496450844887722]
MF4='out1mf4':constant,[-0.00929468950306549]
MF5='out1mf5':constant,[-0.0276969136337264]
MF6='out1mf6':constant,[0.00146746035162572]
MF7='out1mf7':constant,[-0.0102047824932723]
MF8='out1mf8':constant,[-0.00874436820536191]
MF9='out1mf9':constant,[-0.0145733139213975]
MF10='out1mf10':constant,[-0.00947739436806322]
MF11='out1mf11':constant,[-0.011421403141587]
MF12='out1mf12':constant,[-0.0113802949854077]
MF13='out1mf13':constant,[-0.00906733654993566]
MF14='out1mf14':constant,[-0.0108415695679863]
MF15='out1mf15':constant,[-0.0115142363574907]
MF16='out1mf16':constant,[-0.00688924479433423]
MF17='out1mf17':constant,[-0.0154510226916248]
MF18='out1mf18':constant,[-0.00627876867458142]
MF19='out1mf19':constant,[-0.00947008745101553]
MF20='out1mf20':constant,[-0.00680013444032853]
MF21='out1mf21':constant,[-0.0139483055578343]
MF22='out1mf22':constant,[-0.00872577576309636]
MF23='out1mf23':constant,[-0.0103788782098862]
MF24='out1mf24':constant,[-0.0102461129221896]
MF25='out1mf25':constant,[-0.00817243089237935]
MF26='out1mf26':constant,[-0.00987903492464435]
MF27='out1mf27':constant,[-0.0107789201964668]
MF28='out1mf28':constant,[-0.00775490879939221]
MF29='out1mf29':constant,[-0.0100897450010579]
MF30='out1mf30':constant,[-0.0100313110008432]
MF31='out1mf31':constant,[-0.011267361694849]
MF32='out1mf32':constant,[-0.00634109622801744]
MF33='out1mf33':constant,[-0.0123254110010959]
MF34='out1mf34':constant,[-0.00734276750304329]
MF35='out1mf35':constant,[-0.00930976680970914]
MF36='out1mf36':constant,[-0.00945327637903941]
MF37='out1mf37':constant,[-0.00776461677583011]
MF38='out1mf38':constant,[-0.00841104032230475]
MF39='out1mf39':constant,[-0.0101704592572661]
MF40='out1mf40':constant,[-0.00738767628630128]
MF41='out1mf41':constant,[-0.00869358176270046]
MF42='out1mf42':constant,[-0.00898475569342209]
MF43='out1mf43':constant,[-0.00687165780135242]
MF44='out1mf44':constant,[-0.00875913365562013]
MF45='out1mf45':constant,[-0.00866486288464365]
MF46='out1mf46':constant,[0.220538444699257]
MF47='out1mf47':constant,[0.203196578951787]
MF48='out1mf48':constant,[0.281283170718399]
MF49='out1mf49':constant,[0.202249203725733]
MF50='out1mf50':constant,[0.225129777005424]
MF51='out1mf51':constant,[0.245349483581786]

MF52='out1mf52':constant',[0.195048490769393]
MF53='out1mf53':constant',[0.218244695606363]
MF54='out1mf54':constant',[0.24246316366697]
MF55='out1mf55':constant',[0.185562328496272]
MF56='out1mf56':constant',[0.219493900382652]
MF57='out1mf57':constant',[0.229958329736765]
MF58='out1mf58':constant',[0.175530302524105]
MF59='out1mf59':constant',[0.21796964399308]
MF60='out1mf60':constant',[0.218391034973352]
MF61='out1mf61':constant',[0.187930717002366]
MF62='out1mf62':constant',[0.193117727363131]
MF63='out1mf63':constant',[0.231960673169826]
MF64='out1mf64':constant',[0.180833156910868]
MF65='out1mf65':constant',[0.19364259362129]
MF66='out1mf66':constant',[0.225299427280309]
MF67='out1mf67':constant',[0.173184613172654]
MF68='out1mf68':constant',[0.195339029765843]
MF69='out1mf69':constant',[0.214920344605132]
MF70='out1mf70':constant',[0.164267197573104]
MF71='out1mf71':constant',[0.19512088981154]
MF72='out1mf72':constant',[0.204330342443011]
MF73='out1mf73':constant',[0.156903606546731]
MF74='out1mf74':constant',[0.195108271314435]
MF75='out1mf75':constant',[0.194870018413061]
MF76='out1mf76':constant',[0.172485107242263]
MF77='out1mf77':constant',[0.171324878612025]
MF78='out1mf78':constant',[0.213142765177419]
MF79='out1mf79':constant',[0.15790473624194]
MF80='out1mf80':constant',[0.171231624401712]
MF81='out1mf81':constant',[0.196239646593285]
MF82='out1mf82':constant',[0.153188624215445]
MF83='out1mf83':constant',[0.172063056692252]
MF84='out1mf84':constant',[0.190062176994885]
MF85='out1mf85':constant',[0.145182882209717]
MF86='out1mf86':constant',[0.172305088020595]
MF87='out1mf87':constant',[0.18011675317958]
MF88='out1mf88':constant',[0.137667088750423]
MF89='out1mf89':constant',[0.170661576270437]
MF90='out1mf90':constant',[0.171164863310519]
MF91='out1mf91':constant',[0.44313023390714]
MF92='out1mf92':constant',[0.451994104678296]
MF93='out1mf93':constant',[0.543884946855388]
MF94='out1mf94':constant',[0.413633097019941]
MF95='out1mf95':constant',[0.444471558294739]
MF96='out1mf96':constant',[0.516342713476295]
MF97='out1mf97':constant',[0.399852822574375]
MF98='out1mf98':constant',[0.450196535942207]
MF99='out1mf99':constant',[0.495564095702416]
MF100='out1mf100':constant',[0.379263626313203]
MF101='out1mf101':constant',[0.449822245531777]
MF102='out1mf102':constant',[0.470996739761397]
MF103='out1mf103':constant',[0.359676629008217]

MF104='out1mf104':constant',[0.44692541723931]
MF105='out1mf105':constant',[0.447042711748471]
MF106='out1mf106':constant',[0.388006292827618]
MF107='out1mf107':constant',[0.388910685350114]
MF108='out1mf108':constant',[0.481692381409967]
MF109='out1mf109':constant',[0.370850931453043]
MF110='out1mf110':constant',[0.40049558658138]
MF111='out1mf111':constant',[0.459297135915706]
MF112='out1mf112':constant',[0.355191961053175]
MF113='out1mf113':constant',[0.399955133166654]
MF114='out1mf114':constant',[0.440692105116238]
MF115='out1mf115':constant',[0.337096981660439]
MF116='out1mf116':constant',[0.39970386312938]
MF117='out1mf117':constant',[0.418411129648433]
MF118='out1mf118':constant',[0.321965144819953]
MF119='out1mf119':constant',[0.399396228794449]
MF120='out1mf120':constant',[0.399986366829461]
MF121='out1mf121':constant',[0.350740711999545]
MF122='out1mf122':constant',[0.353492515553788]
MF123='out1mf123':constant',[0.43419407994807]
MF124='out1mf124':constant',[0.324697151278826]
MF125='out1mf125':constant',[0.350041064823732]
MF126='out1mf126':constant',[0.402581015715251]
MF127='out1mf127':constant',[0.31377065757502]
MF128='out1mf128':constant',[0.353088848196921]
MF129='out1mf129':constant',[0.389030756312442]
MF130='out1mf130':constant',[0.297699195328451]
MF131='out1mf131':constant',[0.353266822167032]
MF132='out1mf132':constant',[0.369684357830237]
MF133='out1mf133':constant',[0.281922853849694]
MF134='out1mf134':constant',[0.350267051613531]
MF135='out1mf135':constant',[0.350438996678222]
MF136='out1mf136':constant',[0.666876192844117]
MF137='out1mf137':constant',[0.670656735395415]
MF138='out1mf138':constant',[0.833688834719524]
MF139='out1mf139':constant',[0.626478108421816]
MF140='out1mf140':constant',[0.675613223838891]
MF141='out1mf141':constant',[0.772092544755731]
MF142='out1mf142':constant',[0.602739054635599]
MF143='out1mf143':constant',[0.678109330866467]
MF144='out1mf144':constant',[0.748806375156773]
MF145='out1mf145':constant',[0.572472930776064]
MF146='out1mf146':constant',[0.678386614769772]
MF147='out1mf147':constant',[0.710553879386572]
MF148='out1mf148':constant',[0.542808729318046]
MF149='out1mf149':constant',[0.674549040803479]
MF150='out1mf150':constant',[0.674454259734374]
MF151='out1mf151':constant',[0.584814629423346]
MF152='out1mf152':constant',[0.587575567142148]
MF153='out1mf153':constant',[0.722587822697241]
MF154='out1mf154':constant',[0.558709929247753]
MF155='out1mf155':constant',[0.603345666807241]

MF156='out1mf156':constant',[0.693701701596458]
MF157='out1mf157':constant',[0.535796390478548]
MF158='out1mf158':constant',[0.603499784101944]
MF159='out1mf159':constant',[0.664717603604146]
MF160='out1mf160':constant',[0.508255033631026]
MF161='out1mf161':constant',[0.603327723735337]
MF162='out1mf162':constant',[0.631379443195653]
MF163='out1mf163':constant',[0.485200196877509]
MF164='out1mf164':constant',[0.602733425094539]
MF165='out1mf165':constant',[0.602874361582855]
MF166='out1mf166':constant',[0.528042428648369]
MF167='out1mf167':constant',[0.532618774666555]
MF168='out1mf168':constant',[0.657099759524954]
MF169='out1mf169':constant',[0.489998804236298]
MF170='out1mf170':constant',[0.528732113243453]
MF171='out1mf171':constant',[0.607313155103834]
MF172='out1mf172':constant',[0.47275620630262]
MF173='out1mf173':constant',[0.532137640652766]
MF174='out1mf174':constant',[0.586986047187673]
MF175='out1mf175':constant',[0.448947283868871]
MF176='out1mf176':constant',[0.532704532776678]
MF177='out1mf177':constant',[0.55728116530023]
MF178='out1mf178':constant',[0.425599652140229]
MF179='out1mf179':constant',[0.528267676332665]
MF180='out1mf180':constant',[0.528887502056669]
MF181='out1mf181':constant',[0.908153749286289]
MF182='out1mf182':constant',[0.906715327434811]
MF183='out1mf183':constant',[1.10214445364838]
MF184='out1mf184':constant',[0.8379905952477]
MF185='out1mf185':constant',[0.906770945838642]
MF186='out1mf186':constant',[1.05236088527668]
MF187='out1mf187':constant',[0.812244592685073]
MF188='out1mf188':constant',[0.913619468091786]
MF189='out1mf189':constant',[1.00548257230292]
MF190='out1mf190':constant',[0.770197771841249]
MF191='out1mf191':constant',[0.913636451311154]
MF192='out1mf192':constant',[0.956800214237284]
MF193='out1mf193':constant',[0.731153731521967]
MF194='out1mf194':constant',[0.908080872925961]
MF195='out1mf195':constant',[0.908073907974025]
MF196='out1mf196':constant',[0.785191579703536]
MF197='out1mf197':constant',[0.790460408701211]
MF198='out1mf198':constant',[0.981223494663301]
MF199='out1mf199':constant',[0.753677543177695]
MF200='out1mf200':constant',[0.812276196092511]
MF201='out1mf201':constant',[0.93167623954076]
MF202='out1mf202':constant',[0.720882931887372]
MF203='out1mf203':constant',[0.812488862201429]
MF204='out1mf204':constant',[0.895081988247673]
MF205='out1mf205':constant',[0.684645450373539]
MF206='out1mf206':constant',[0.811689269870642]
MF207='out1mf207':constant',[0.849516685037647]

MF208='out1mf208':constant',[0.653356808945398]
 MF209='out1mf209':constant',[0.811155028742267]
 MF210='out1mf210':constant',[0.811889573319989]
 MF211='out1mf211':constant',[0.712423679260352]
 MF212='out1mf212':constant',[0.716931651084963]
 MF213='out1mf213':constant',[0.880306854709861]
 MF214='out1mf214':constant',[0.65909624913411]
 MF215='out1mf215':constant',[0.711323926934334]
 MF216='out1mf216':constant',[0.818036853622959]
 MF217='out1mf217':constant',[0.636720734434807]
 MF218='out1mf218':constant',[0.716723128635027]
 MF219='out1mf219':constant',[0.789850594772618]
 MF220='out1mf220':constant',[0.60479018853786]
 MF221='out1mf221':constant',[0.717295947932315]
 MF222='out1mf222':constant',[0.751211147315417]
 MF223='out1mf223':constant',[0.572833773314659]
 MF224='out1mf224':constant',[0.711442947067625]
 MF225='out1mf225':constant',[0.711502558756732]

[Rules]

1 1 1 1, 1 (1) : 1
 1 1 1 2, 2 (1) : 1
 1 1 1 3, 3 (1) : 1
 1 1 2 1, 4 (1) : 1
 1 1 2 2, 5 (1) : 1
 1 1 2 3, 6 (1) : 1
 1 1 3 1, 7 (1) : 1
 1 1 3 2, 8 (1) : 1
 1 1 3 3, 9 (1) : 1
 1 1 4 1, 10 (1) : 1
 1 1 4 2, 11 (1) : 1
 1 1 4 3, 12 (1) : 1
 1 1 5 1, 13 (1) : 1
 1 1 5 2, 14 (1) : 1
 1 1 5 3, 15 (1) : 1
 1 2 1 1, 16 (1) : 1
 1 2 1 2, 17 (1) : 1
 1 2 1 3, 18 (1) : 1
 1 2 2 1, 19 (1) : 1
 1 2 2 2, 20 (1) : 1
 1 2 2 3, 21 (1) : 1
 1 2 3 1, 22 (1) : 1
 1 2 3 2, 23 (1) : 1
 1 2 3 3, 24 (1) : 1
 1 2 4 1, 25 (1) : 1
 1 2 4 2, 26 (1) : 1
 1 2 4 3, 27 (1) : 1
 1 2 5 1, 28 (1) : 1
 1 2 5 2, 29 (1) : 1
 1 2 5 3, 30 (1) : 1
 1 3 1 1, 31 (1) : 1
 1 3 1 2, 32 (1) : 1
 1 3 1 3, 33 (1) : 1

1 3 2 1, 34 (1) : 1
1 3 2 2, 35 (1) : 1
1 3 2 3, 36 (1) : 1
1 3 3 1, 37 (1) : 1
1 3 3 2, 38 (1) : 1
1 3 3 3, 39 (1) : 1
1 3 4 1, 40 (1) : 1
1 3 4 2, 41 (1) : 1
1 3 4 3, 42 (1) : 1
1 3 5 1, 43 (1) : 1
1 3 5 2, 44 (1) : 1
1 3 5 3, 45 (1) : 1
2 1 1 1, 46 (1) : 1
2 1 1 2, 47 (1) : 1
2 1 1 3, 48 (1) : 1
2 1 2 1, 49 (1) : 1
2 1 2 2, 50 (1) : 1
2 1 2 3, 51 (1) : 1
2 1 3 1, 52 (1) : 1
2 1 3 2, 53 (1) : 1
2 1 3 3, 54 (1) : 1
2 1 4 1, 55 (1) : 1
2 1 4 2, 56 (1) : 1
2 1 4 3, 57 (1) : 1
2 1 5 1, 58 (1) : 1
2 1 5 2, 59 (1) : 1
2 1 5 3, 60 (1) : 1
2 2 1 1, 61 (1) : 1
2 2 1 2, 62 (1) : 1
2 2 1 3, 63 (1) : 1
2 2 2 1, 64 (1) : 1
2 2 2 2, 65 (1) : 1
2 2 2 3, 66 (1) : 1
2 2 3 1, 67 (1) : 1
2 2 3 2, 68 (1) : 1
2 2 3 3, 69 (1) : 1
2 2 4 1, 70 (1) : 1
2 2 4 2, 71 (1) : 1
2 2 4 3, 72 (1) : 1
2 2 5 1, 73 (1) : 1
2 2 5 2, 74 (1) : 1
2 2 5 3, 75 (1) : 1
2 3 1 1, 76 (1) : 1
2 3 1 2, 77 (1) : 1
2 3 1 3, 78 (1) : 1
2 3 2 1, 79 (1) : 1
2 3 2 2, 80 (1) : 1
2 3 2 3, 81 (1) : 1
2 3 3 1, 82 (1) : 1
2 3 3 2, 83 (1) : 1
2 3 3 3, 84 (1) : 1
2 3 4 1, 85 (1) : 1

2 3 4 2, 86 (1) : 1
2 3 4 3, 87 (1) : 1
2 3 5 1, 88 (1) : 1
2 3 5 2, 89 (1) : 1
2 3 5 3, 90 (1) : 1
3 1 1 1, 91 (1) : 1
3 1 1 2, 92 (1) : 1
3 1 1 3, 93 (1) : 1
3 1 2 1, 94 (1) : 1
3 1 2 2, 95 (1) : 1
3 1 2 3, 96 (1) : 1
3 1 3 1, 97 (1) : 1
3 1 3 2, 98 (1) : 1
3 1 3 3, 99 (1) : 1
3 1 4 1, 100 (1) : 1
3 1 4 2, 101 (1) : 1
3 1 4 3, 102 (1) : 1
3 1 5 1, 103 (1) : 1
3 1 5 2, 104 (1) : 1
3 1 5 3, 105 (1) : 1
3 2 1 1, 106 (1) : 1
3 2 1 2, 107 (1) : 1
3 2 1 3, 108 (1) : 1
3 2 2 1, 109 (1) : 1
3 2 2 2, 110 (1) : 1
3 2 2 3, 111 (1) : 1
3 2 3 1, 112 (1) : 1
3 2 3 2, 113 (1) : 1
3 2 3 3, 114 (1) : 1
3 2 4 1, 115 (1) : 1
3 2 4 2, 116 (1) : 1
3 2 4 3, 117 (1) : 1
3 2 5 1, 118 (1) : 1
3 2 5 2, 119 (1) : 1
3 2 5 3, 120 (1) : 1
3 3 1 1, 121 (1) : 1
3 3 1 2, 122 (1) : 1
3 3 1 3, 123 (1) : 1
3 3 2 1, 124 (1) : 1
3 3 2 2, 125 (1) : 1
3 3 2 3, 126 (1) : 1
3 3 3 1, 127 (1) : 1
3 3 3 2, 128 (1) : 1
3 3 3 3, 129 (1) : 1
3 3 4 1, 130 (1) : 1
3 3 4 2, 131 (1) : 1
3 3 4 3, 132 (1) : 1
3 3 5 1, 133 (1) : 1
3 3 5 2, 134 (1) : 1
3 3 5 3, 135 (1) : 1
4 1 1 1, 136 (1) : 1
4 1 1 2, 137 (1) : 1

4 1 1 3, 138 (1) : 1
4 1 2 1, 139 (1) : 1
4 1 2 2, 140 (1) : 1
4 1 2 3, 141 (1) : 1
4 1 3 1, 142 (1) : 1
4 1 3 2, 143 (1) : 1
4 1 3 3, 144 (1) : 1
4 1 4 1, 145 (1) : 1
4 1 4 2, 146 (1) : 1
4 1 4 3, 147 (1) : 1
4 1 5 1, 148 (1) : 1
4 1 5 2, 149 (1) : 1
4 1 5 3, 150 (1) : 1
4 2 1 1, 151 (1) : 1
4 2 1 2, 152 (1) : 1
4 2 1 3, 153 (1) : 1
4 2 2 1, 154 (1) : 1
4 2 2 2, 155 (1) : 1
4 2 2 3, 156 (1) : 1
4 2 3 1, 157 (1) : 1
4 2 3 2, 158 (1) : 1
4 2 3 3, 159 (1) : 1
4 2 4 1, 160 (1) : 1
4 2 4 2, 161 (1) : 1
4 2 4 3, 162 (1) : 1
4 2 5 1, 163 (1) : 1
4 2 5 2, 164 (1) : 1
4 2 5 3, 165 (1) : 1
4 3 1 1, 166 (1) : 1
4 3 1 2, 167 (1) : 1
4 3 1 3, 168 (1) : 1
4 3 2 1, 169 (1) : 1
4 3 2 2, 170 (1) : 1
4 3 2 3, 171 (1) : 1
4 3 3 1, 172 (1) : 1
4 3 3 2, 173 (1) : 1
4 3 3 3, 174 (1) : 1
4 3 4 1, 175 (1) : 1
4 3 4 2, 176 (1) : 1
4 3 4 3, 177 (1) : 1
4 3 5 1, 178 (1) : 1
4 3 5 2, 179 (1) : 1
4 3 5 3, 180 (1) : 1
5 1 1 1, 181 (1) : 1
5 1 1 2, 182 (1) : 1
5 1 1 3, 183 (1) : 1
5 1 2 1, 184 (1) : 1
5 1 2 2, 185 (1) : 1
5 1 2 3, 186 (1) : 1
5 1 3 1, 187 (1) : 1
5 1 3 2, 188 (1) : 1
5 1 3 3, 189 (1) : 1

5 1 4 1, 190 (1) : 1
5 1 4 2, 191 (1) : 1
5 1 4 3, 192 (1) : 1
5 1 5 1, 193 (1) : 1
5 1 5 2, 194 (1) : 1
5 1 5 3, 195 (1) : 1
5 2 1 1, 196 (1) : 1
5 2 1 2, 197 (1) : 1
5 2 1 3, 198 (1) : 1
5 2 2 1, 199 (1) : 1
5 2 2 2, 200 (1) : 1
5 2 2 3, 201 (1) : 1
5 2 3 1, 202 (1) : 1
5 2 3 2, 203 (1) : 1
5 2 3 3, 204 (1) : 1
5 2 4 1, 205 (1) : 1
5 2 4 2, 206 (1) : 1
5 2 4 3, 207 (1) : 1
5 2 5 1, 208 (1) : 1
5 2 5 2, 209 (1) : 1
5 2 5 3, 210 (1) : 1
5 3 1 1, 211 (1) : 1
5 3 1 2, 212 (1) : 1
5 3 1 3, 213 (1) : 1
5 3 2 1, 214 (1) : 1
5 3 2 2, 215 (1) : 1
5 3 2 3, 216 (1) : 1
5 3 3 1, 217 (1) : 1
5 3 3 2, 218 (1) : 1
5 3 3 3, 219 (1) : 1
5 3 4 1, 220 (1) : 1
5 3 4 2, 221 (1) : 1
5 3 4 3, 222 (1) : 1
5 3 5 1, 223 (1) : 1
5 3 5 2, 224 (1) : 1
5 3 5 3, 225 (1) : 1

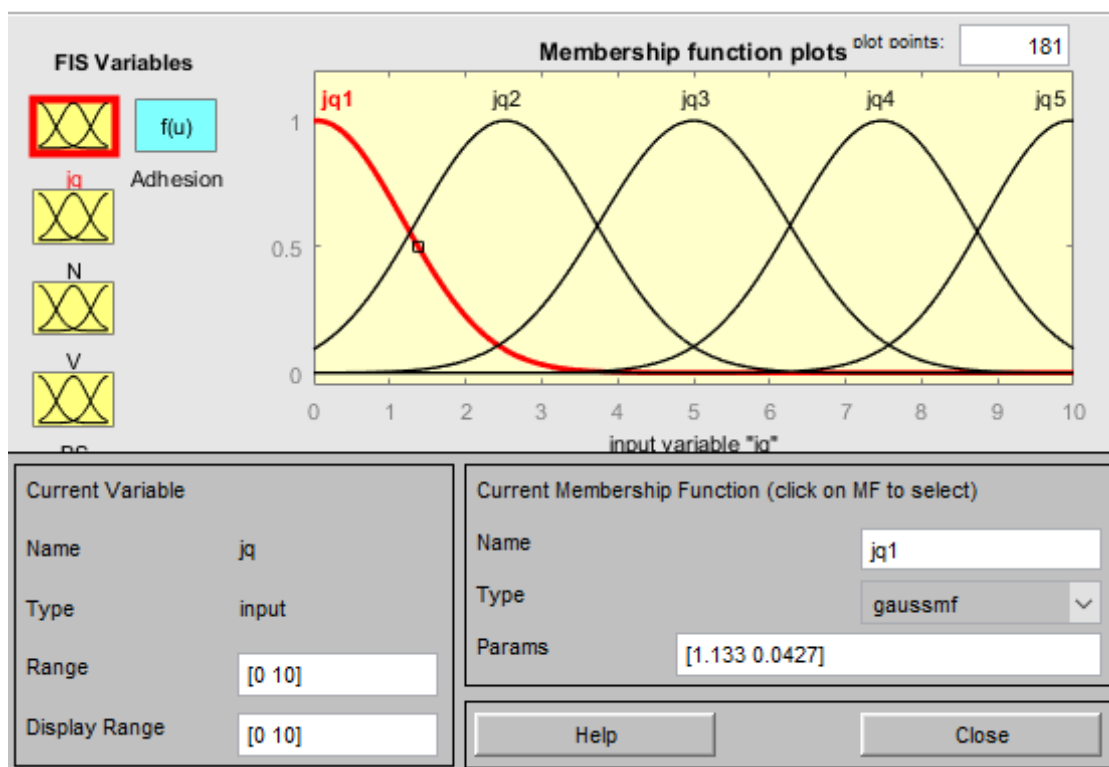


Рисунок Г.11 – Функції належності показника «шини – дорога»

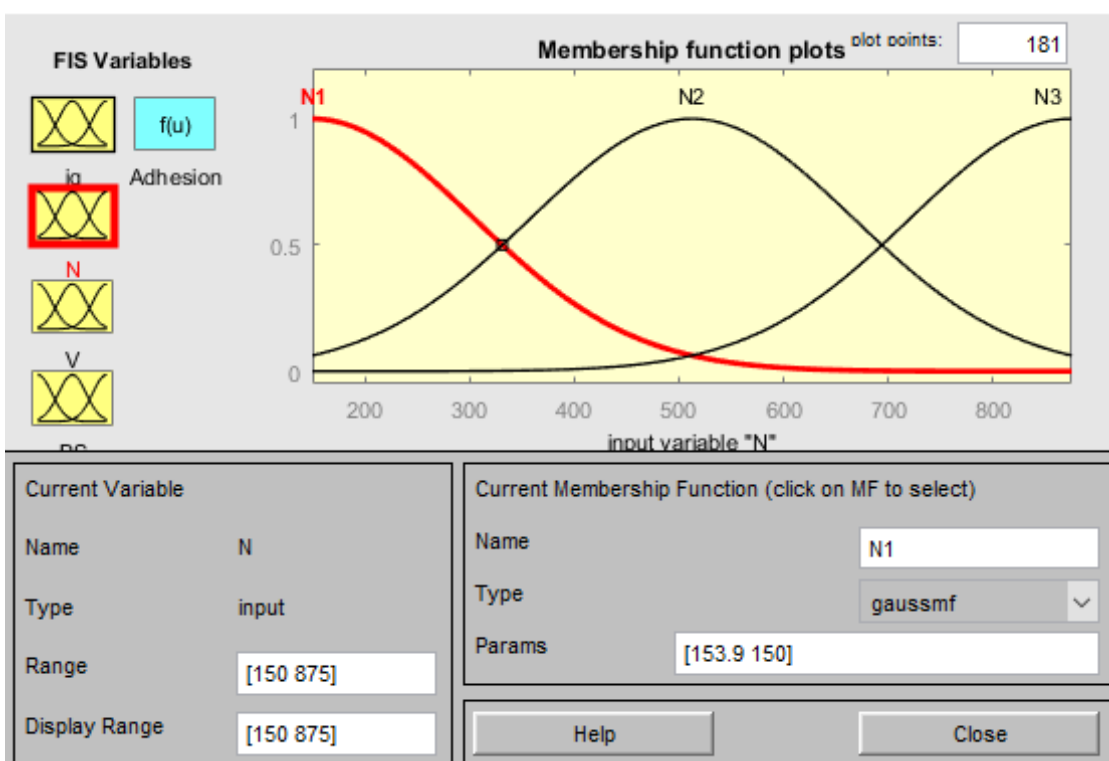


Рисунок Г.12 – Функції належності навантаження на колесо

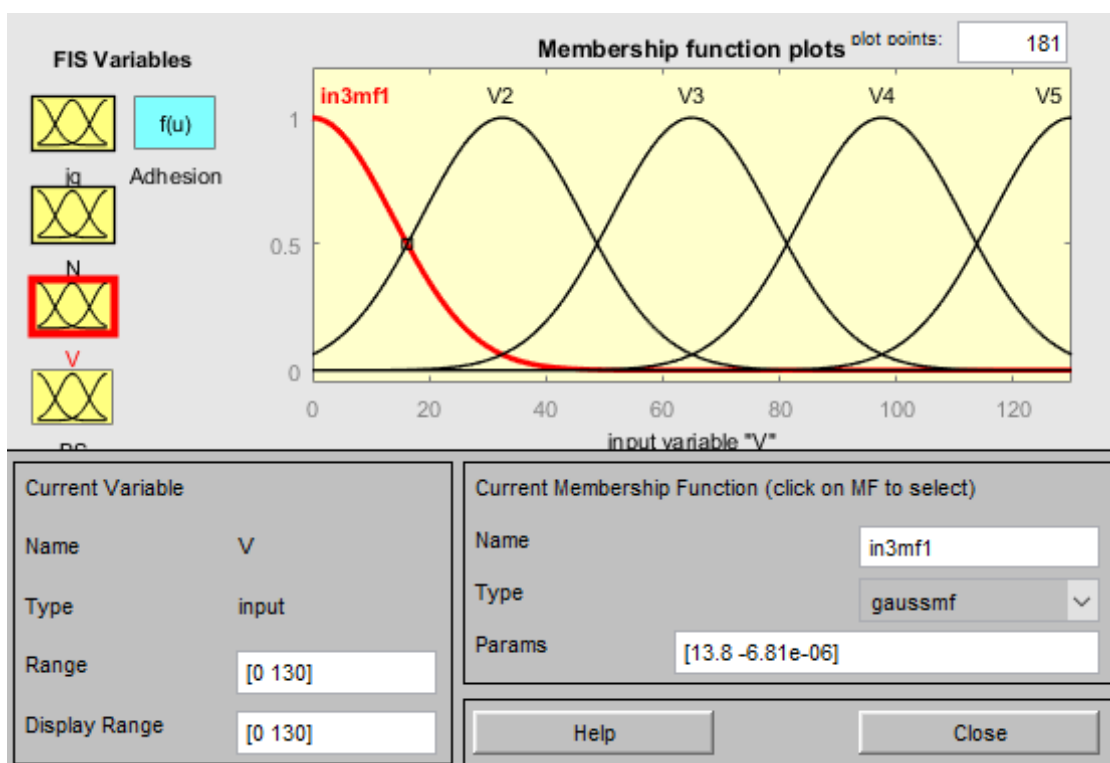


Рисунок Г.13 – Функції належності швидкості руху автомобіля

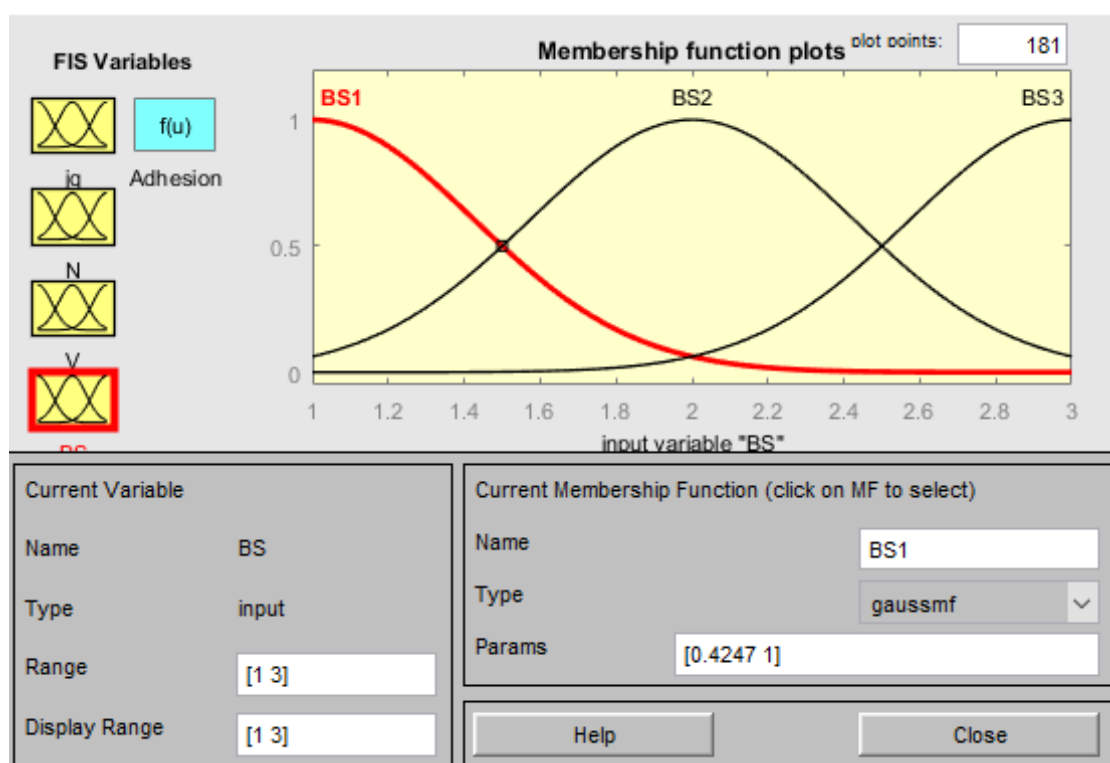


Рисунок Г.14 – Функції належності типу конструкції гальмівної системи

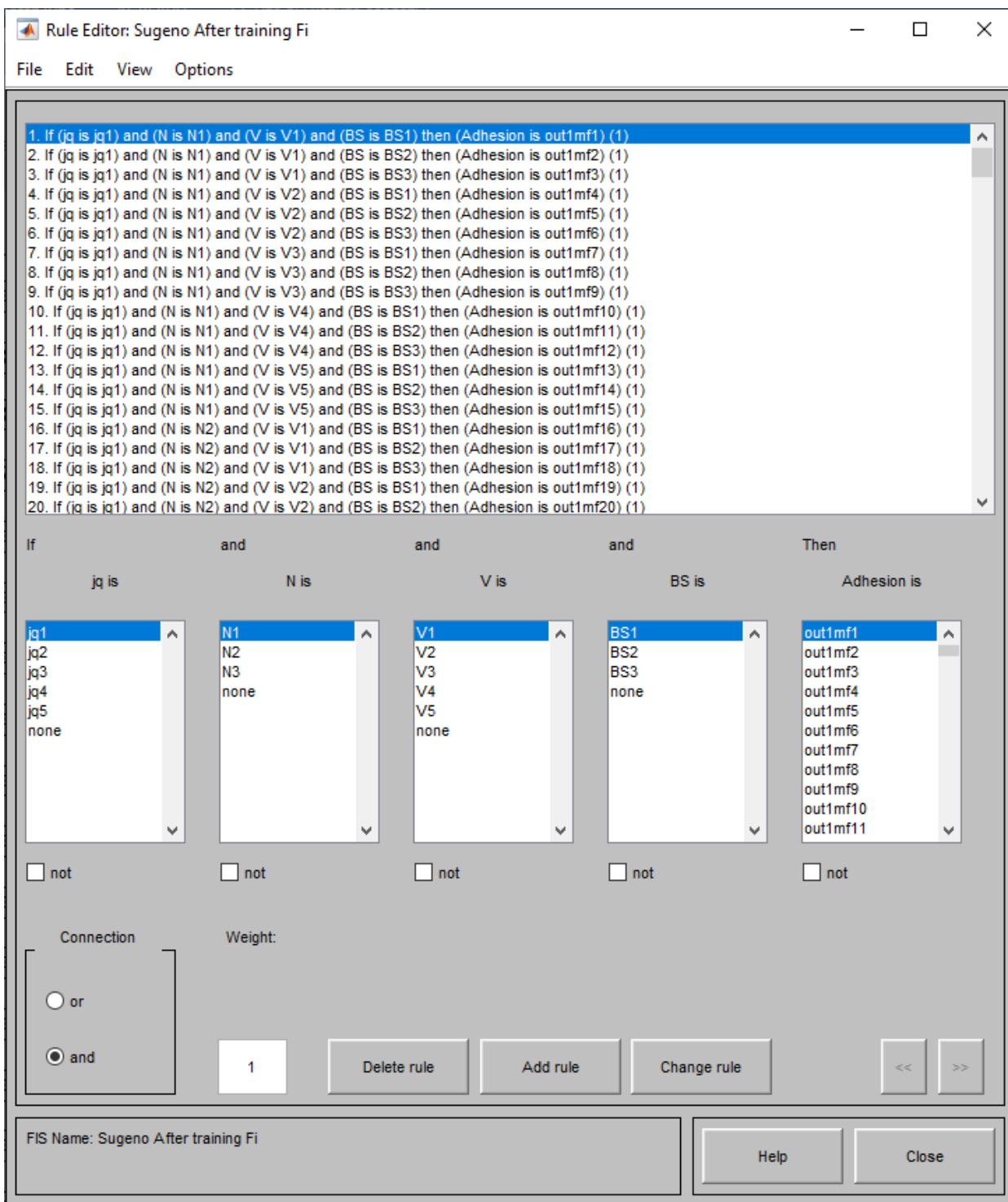


Рисунок Г.15 – Формування правил логічного висновку нейро-нечіткої системи оцінювання коефіцієнта зчеплення коліс в Rule Editor Matlab



Рисунок Г.16 – Використання правил логічного висновку при формуванні результатів моделювання величини коефіцієнта зчеплення

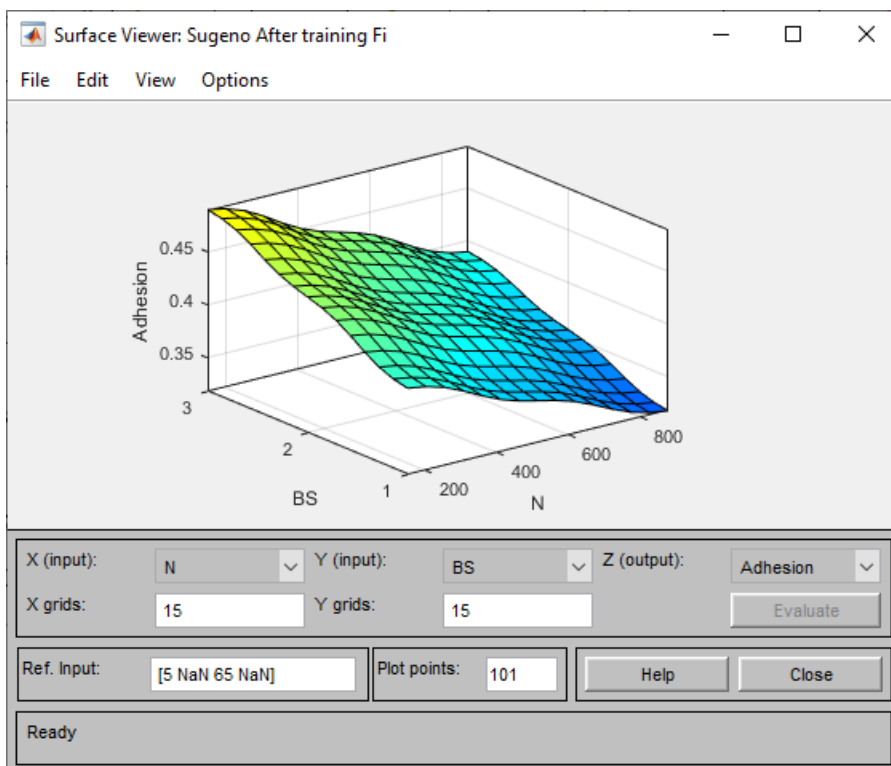


Рисунок Г.17 – Вплив конструкції гальмівної системи та навантаження на колесо автомобіля на величину коефіцієнта зчеплення

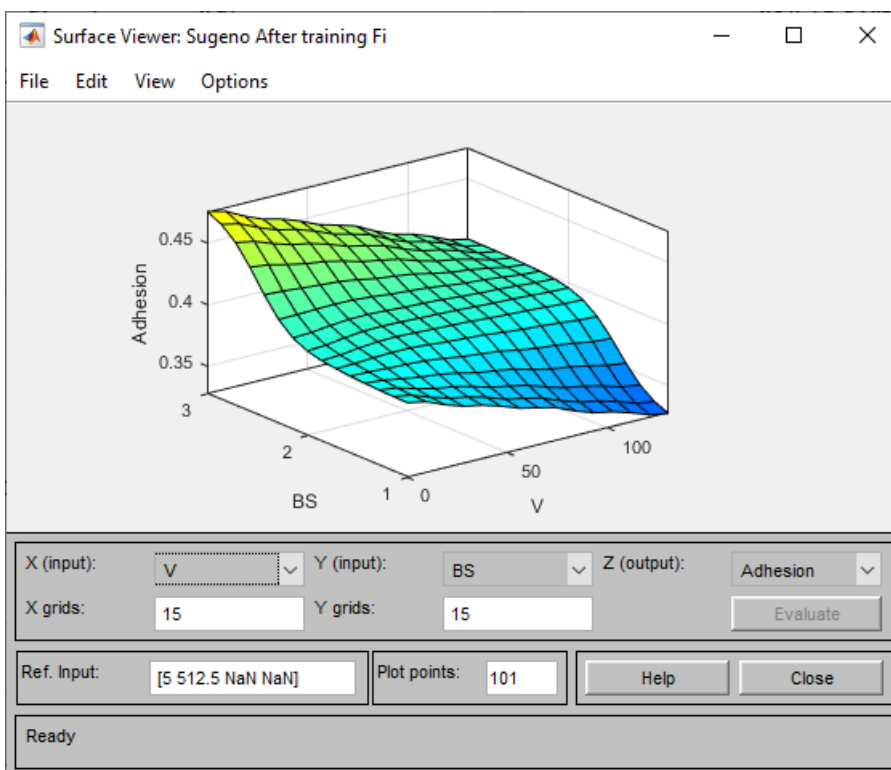


Рисунок Г.18 – Вплив конструкції гальмівної системи та швидкості руху автомобіля на величину коефіцієнта зчеплення

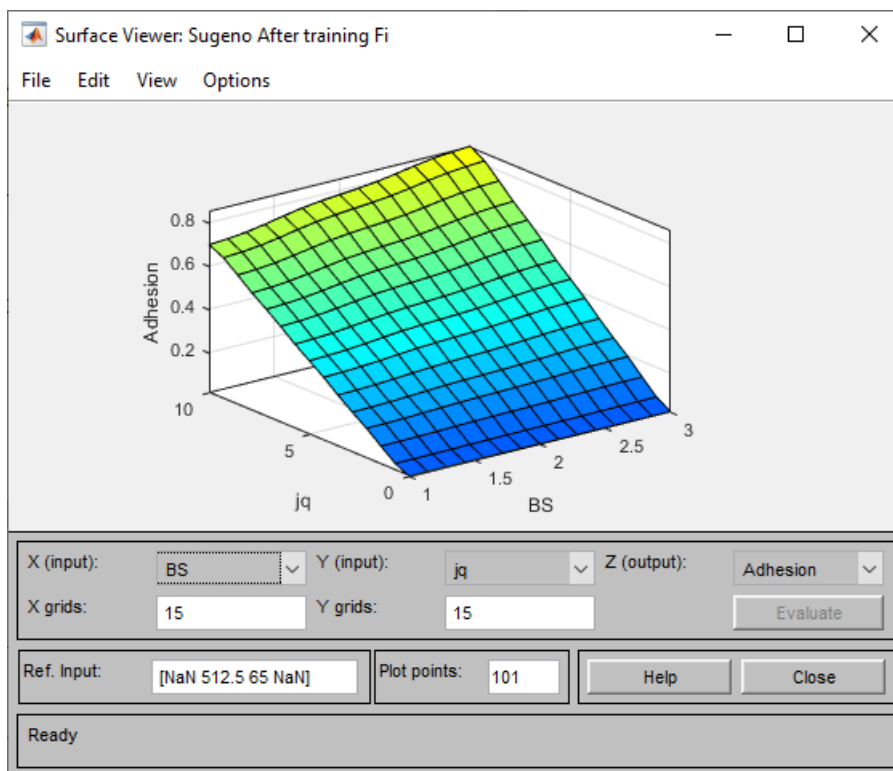


Рисунок Г.19 – Вплив інтегрального показника «шини – дорога» та конструкції гальмівної системи на величину коефіцієнта зчеплення

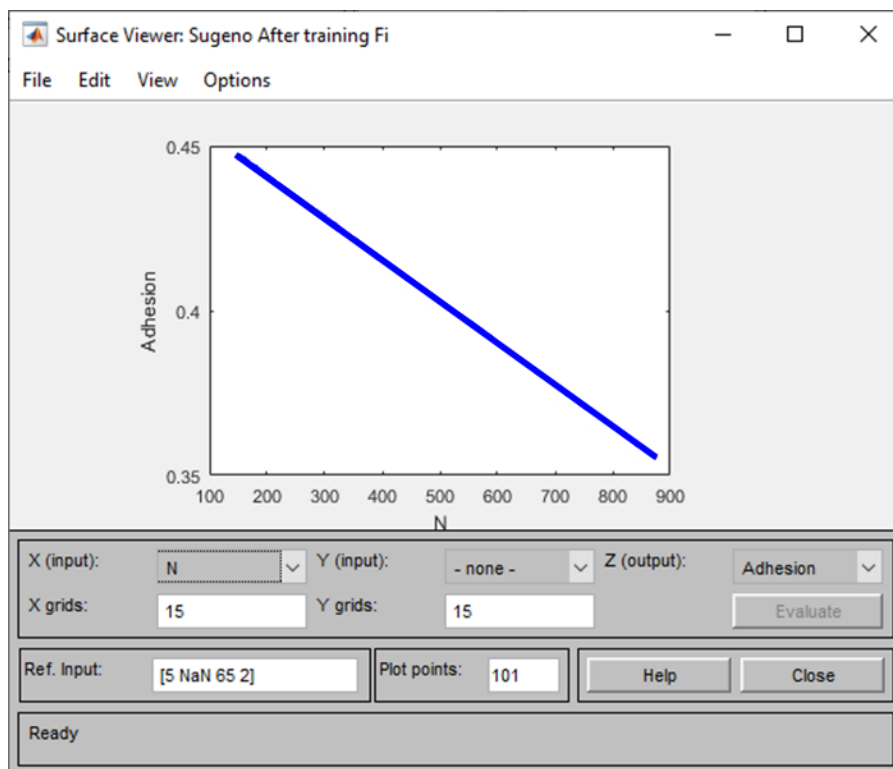


Рисунок Г.20387 – Вплив навантаження на колесо автомобіля на величину коефіцієнта зчеплення

Додаток Д. Моделі оцінювання стохастичної невизначеності результатів розрахунку параметрів руху учасників ДТП

Основними учасниками ДТП є транспортні засоби та пішоходи. Тому в рамках САТЕ обставин ДТП (див. рис. 1.3, табл. 1.1) в основному підлягають розв'язанню такі задачі:

- визначення швидкості руху та інших параметрів транспортного засобу;
- визначення гальмівного та зупиночного шляху, а також часу зупинки транспортного засобу (ТЗ);
- визначення віддалення ТЗ, пішоходів та інших об'єктів від місця ДТП в певні моменти;
- встановлення технічної можливості попередження ДТП в певні моменти;
- визначення взаємного розташування ТЗ в різні моменти ДТП;
- визначення часу подолання ТЗ певних ділянок шляху;
- встановлення моменту виникнення небезпеки для руху, коли необхідно застосувати екстрені заходи з попередження ДТП (наїзду на перешкоду, зіткнення ТЗ, перекидання тощо), якщо при цьому потрібні спеціальні знання для виконання відповідних розрахунків, моделювання та експерименту;
- визначення взаємного положення ТЗ і перешкоди в момент, коли водій ще мав технічну можливість попередити ДТП;
- визначення які саме дії водія з керування ТЗ, починаючи з моменту виникнення небезпеки для руху, могли попередити ДТП і якими саме вимогами Правил дорожнього руху України вони регламентовані;
- визначення як повинен був діяти водій та інші учасники дорожнього руху в даній дорожньо-транспортній ситуації з точки зору ПДР та забезпечення БДР.

Експертному рішенню цих питань повинно передувати створення математичної моделі ДТП. Така модель дає експерту можливість

проаналізувати усі задані варіанти механізму ДТП, окремі його позиції і сформулювати обґрунтовані висновки з поставлених питань.

Математична модель ДТП [147, 157] – це система рівнянь, які описують за поданою інформацією характер руху транспортних засобів (ТЗ) та інших учасників дорожнього руху, їх просторове положення на дорозі в місці пригоди відносно місця наїзду, зіткнення в задані чи інші моменти часу, а також раптову зупинку транспортного засобу з моменту виникнення небезпечної ситуації.

В якості прикладу можна навести математичну модель наїзду транспортного засобу на пішохода, що перетинає проїзну частину справа наліво чи зліва направо по ходу руху ТЗ. В загальному випадку вона буде мати такий вигляд

$$\begin{aligned}
 S_n &= \frac{V_n}{3,6} \cdot t; \quad S'_n = \frac{V_n}{3,6} \cdot T_a; \\
 t_n &= \frac{S_n}{V_n} \cdot 3,6; \quad t'_g = \frac{V_a}{3,6 \cdot j} - \sqrt{\frac{2 \cdot S''_g}{j}}; \\
 S_a &= (t_n - t'_g) \cdot \frac{V_a}{3,6} + S'_g, \quad \text{якщо } t_n > t'_g; \\
 T_a &= \frac{S_a - S'_g}{V_a} \cdot 3,6 + t'_g; \\
 S_0 &= (t_1 + t_2 + 0,5t_3) \cdot \frac{V_a}{3,6} + \frac{V_a^2}{26j}.
 \end{aligned} \tag{Д.1}$$

Використовуючи основні правила обробки результатів вимірювання та оцінювання їх похибок, наведені в Додатку В, доповнимо розрахункові співвідношення для обчислення значень параметрів руху, подані в навчальній та технічній літературі [83-89, 137-146, 148-156, 160], відповідними формулами для оцінювання невизначеності результатів розрахунків.

Застосовуючи формули для оцінювання невизначеності результатів розрахунку необхідно пам'ятати про те, що де можна отримати достатньо прості співвідношення для оцінювання невизначеності результату, перевага

надається вираженню похибок у відносній формі (символом δx позначена відносна похибка, а Δx – абсолютна).

Д.1 Прямолінійних рух з постійною швидкістю

З теорії механічного руху [93, 96, 99, 102, 109, 113, 115] відомо, що шлях, швидкість і час є взаємопов'язаними величинами. Формули розрахунку цих величин та оцінювання невизначеності результатів розрахунку мають вигляд:

– шлях

$$S = V \cdot t; \quad \delta S = \sqrt{\delta V^2 + \delta t^2}; \quad (\text{Д.2})$$

– швидкість

$$V = \frac{S}{t}; \quad \delta V = \sqrt{\delta S^2 + \delta t^2}; \quad (\text{Д.3})$$

– час

$$t = \frac{S}{V}; \quad \delta t = \sqrt{\delta S^2 + \delta V^2}. \quad (\text{Д.4})$$

Приклад 1. Водій стверджує, що за показами спідометра його автомобіль рухався зі швидкістю 70 км/год. Яку відстань пройде автомобіль за час реакції водія, що складає за довідковими даними 0,6 с? На автомобілі встановлено спідометр з верхню межею показів 240 км/год. Температура навколишнього середовища +21°C.

Визначимо допустимі межі основної похибки спідометра. Відповідно СЕК ОНН №39 при цій температурі на відмітці шкали 70 км/год основна похибка не перевищує +6,5 км/год. З врахуванням зауваження, зробленого в Додатку Б, дійсне значення швидкості складе $(66,75 \pm 3,25)$ км/год або $(18,54 \pm 0,90)$ м/с. Звідки допустима відносна похибка вимірювання спідометра складе $\delta V = 3,25 / 66,75 = 0,05$.

Припустимо, що розсіювання часу реакції водія відносно довідкового значення не перевищує 20%, тобто відносна невизначеність часу реакції складає 0,2.

Середнє значення відстані, що проходить автомобіль за час реакції водія, складає: $S = V \cdot t = 18,54 \cdot 0,6 = 11,12$ м.

Невизначеність відстані S визначимо за формулою (Д.2):
 $\delta S = \sqrt{0,05^2 + 0,2^2} = 0,21$.

Звідки $\Delta S = S \cdot \delta S = 11,12 \cdot 0,21 = 2,34$ м, а $S = (11,12 \pm 2,34)$ м.

Приклад 2. Велосипедист їде зі швидкістю $(12 \pm 2,5)$ км/год, тобто $(3,33 \pm 0,69)$ м/с, і знаходиться на відстані (25 ± 5) м від перехрестя. Який час має водій для проїзду перехрестя без ризику наїзду?

Для розрахунку середнього значення часу застосуємо формулу (Д.4):
 $t = 25 / 3,33 = 7,5$ с.

Відносні похибки визначення відстані та швидкості $\delta S = 5 / 25 = 0,2$;
 $\delta V = 2,5 / 12 = 0,21$. Тоді невизначеність часу $\delta t = \sqrt{0,2^2 + 0,21^2} = 0,29$;
 $\Delta t = 7,5 \cdot 0,29 = 2,2$ с.

Час для проїзду перехрестя без ризику наїзду $t = (7,5 \pm 2,2)$ с.

Д.2 Рівноприскорений (сповільнений) рух

Швидкість V в момент часу t :

$$V = V_0 \pm a \cdot t; \Delta V = \sqrt{\Delta V_0^2 + t^2 \cdot \Delta a^2}. \quad (\text{Д.5})$$

Швидкість при гальмуванні:

$$V = V_0 - j \cdot t; \Delta V = \sqrt{\Delta V_0^2 + t^2 \cdot \Delta j^2}. \quad (\text{Д.6})$$

$$V = V_0 - \varphi \cdot g \cdot t; \Delta V = \sqrt{\Delta V_0^2 + g^2 \cdot t^2 \cdot \Delta \varphi^2}. \quad (\text{Д.7})$$

Шлях як функція початкової швидкості V_0 і часу t :

$$S = V_0 \cdot t \pm \frac{a \cdot t^2}{2}; \Delta S = \sqrt{(t \cdot \Delta V_0)^2 + (V_0 + a \cdot t)^2 \cdot \Delta t^2 + \left(\frac{t^2}{2} \cdot \Delta a\right)^2}; \quad (\text{Д.8})$$

$$S = V_0 \cdot t - \frac{j \cdot t^2}{2}; \Delta S = \sqrt{(t \cdot \Delta V_0)^2 + (V_0 + j \cdot t)^2 \cdot \Delta t^2 + \left(\frac{t^2}{2} \cdot \Delta j\right)^2}; \quad (\text{Д.9})$$

$$S = V_0 \cdot t - \frac{\varphi g \cdot t^2}{2}; \Delta S = \sqrt{(t \cdot \Delta V_0)^2 + (V_0 + \varphi g \cdot t)^2 \cdot \Delta t^2 + \left(\frac{g \cdot t^2}{2} \cdot \Delta \varphi\right)^2}; \quad (\text{Д.10})$$

Приклад 1. Водій збільшує швидкість автомобіля із 40 до 60 км/год за час $t = 4$ с. Яку відстань пройде автомобіль за цей час? Вимірювання швидкості виконується за спідометром. Похибка вимірювання швидкості спідометром не перевищує $\pm 1,0$ м/с ($\pm 3,6$ км/год).

Переведемо швидкість автомобіля в м/с. Відповідно маємо $V_1 = 11,1$ м/с та $V_2 = 16,7$ м/с. Виразивши прискорення a з формули (Д.5) і підставивши його в (Д.8), після перетворень отримаємо

$$S = \frac{V_1 + V_2}{2} \cdot t. \quad (\text{Д.11})$$

Тоді середнє значення відстані буде $S = \frac{11,1 + 16,7}{2} \cdot 4 = 55,6$ м.

Для обчислення невизначеності результату скористаємось формулою

$$\Delta S = \sqrt{\left(\frac{\Delta V_1 \cdot t}{2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V_2 \cdot t}{2}\right)^2}. \quad (\text{Д.12})$$

Для нашого випадку $\Delta S = \sqrt{\left(\frac{1 \cdot 4}{2}\right)^2 + \left(\frac{1 \cdot 4}{2}\right)^2} = 2,8$ м, а відстань S , пройдена автомобілем за 4 с складе $(55,6 \pm 2,8)$ м.

Приклад 2. Автомобіль рухається зі швидкістю $V = (90 \pm 5)$ км/год. Водій інтенсивно гальмує автомобіль із сповільненням $j = (0,4 \pm 0,08) g$. Якою буде швидкість V_t автомобіля через 3 с?

Переведемо швидкість автомобіля в м/с: $V = (25 \pm 1,4)$ м/с. З метою обчислення середнього значення та його невизначеності скористаємось формулами (Д.7). Отримаємо: $V_t = 25 - 0,4 \cdot 9,81 \cdot 3 = 13,2$ м/с або 47,5 км/год, а невизначеність результату $\Delta V_t = \sqrt{1,4^2 + (9,81 \cdot 3 \cdot 0,08)^2} = 2,7$ м/с або 9,7 км/год.

Таким чином, кінцевий результат складає: $V_t = (47,5 \pm 9,7)$ км/год.

Д.3 Гальмування транспортного засобу

Прийняті в формулах цього пункту позначення зрозумілі з табл. 1.1.

Гальмівний шлях транспортного засобу

$$S_g = \frac{V_0^2}{2j}; \quad \delta S_g = \sqrt{(2\delta V_0)^2 + \delta j^2}; \quad (\text{Д.13})$$

$$S_g = \frac{V_0^2}{2g\varphi}; \quad \delta S_g = \sqrt{(2\delta V_0)^2 + \delta\varphi^2}. \quad (\text{Д.14})$$

Зупинний шлях транспортного засобу

$$S_0 = t_\Sigma \cdot V_0 + \frac{V_0^2}{2j}; \quad \Delta S_0 = \sqrt{\left(t_\Sigma + \frac{V_0}{j}\right)^2 \cdot \Delta V_0^2 + V_0^2 \cdot \Delta t_\Sigma^2 + \frac{V_0^4}{4j^4} \cdot \Delta j^2}; \quad (\text{Д.15})$$

$$S_0 = t_{\Sigma} \cdot V_0 + \frac{V_0^2}{2g\varphi}; \quad \Delta S_0 = \sqrt{\left(t_{\Sigma} + \frac{V_0}{g\varphi}\right)^2 \cdot \Delta V_0^2 + V_0^2 \cdot \Delta t_{\Sigma}^2 + \frac{V_0^4}{4g^2\varphi^4} \cdot \Delta\varphi^2}, \quad (\text{Д.16})$$

$$\text{де } t_{\Sigma} = t_1 + t_2 + 0,5t_3; \quad \Delta t_{\Sigma} = \sqrt{\Delta t_1^2 + \Delta t_2^2 + 0,25\Delta t_3^2}.$$

Шлях пройдений транспортним засобом за час зменшення швидкості від V_0 до V

$$S = \frac{V_0^2 - V^2}{2j}; \quad \Delta S = \sqrt{\left(\frac{V_0}{j} \cdot \Delta V_0\right)^2 + \left(\frac{V}{j} \cdot \Delta V\right)^2 + \left(\frac{V_0^2 - V^2}{2j^2} \cdot \Delta j\right)^2}; \quad (\text{Д.17})$$

$$S = \frac{V_0^2 - V^2}{2g\varphi}; \quad \Delta S = \sqrt{\left(\frac{V_0}{g\varphi} \cdot \Delta V_0\right)^2 + \left(\frac{V}{g\varphi} \cdot \Delta V\right)^2 + \left(\frac{V_0^2 - V^2}{2g\varphi^2} \cdot \Delta\varphi\right)^2}; \quad (\text{Д.18})$$

Початкова швидкість транспортного засобу при гальмуванні

$$V_0 = \sqrt{2jS_g}; \quad \delta V_0 = \sqrt{\left(\frac{\delta S_g}{2}\right)^2 + \left(\frac{\delta j}{2}\right)^2}; \quad (\text{Д.19})$$

$$V_0 = \sqrt{2g\varphi S_g}; \quad \delta V_0 = \sqrt{\left(\frac{\delta S_g}{2}\right)^2 + \left(\frac{\delta\varphi}{2}\right)^2}. \quad (\text{Д.20})$$

Швидкість V_S на відстані S' від початку сліду гальмування ТЗ

$$V_S = \sqrt{V_0^2 - 2jS'}; \quad \Delta V_S = \sqrt{\left(\frac{V_0}{V_S} \cdot \Delta V_0\right)^2 + \left(\frac{S'}{V_S} \cdot \Delta j\right)^2}; \quad (\text{Д.21})$$

$$V_S = \sqrt{V_0^2 - 2g\varphi S'}; \quad \Delta V_S = \sqrt{\left(\frac{V_0}{V_S} \cdot \Delta V_0\right)^2 + \left(\frac{gS'}{V_S} \cdot \Delta\varphi\right)^2}. \quad (\text{Д.22})$$

Початкова швидкість транспортного засобу – учасника зіткнення

$$V_0 = \sqrt{V_c^2 + 2jS_c}; \Delta V_0 = \sqrt{\left(\frac{V_c \cdot \Delta V_c}{V_0}\right)^2 + \left(\frac{S_c \cdot \Delta j}{V_0}\right)^2}; \quad (\text{Д.23})$$

$$V_0 = \sqrt{V_c^2 + 2g\varphi S_c}; \Delta V_0 = \sqrt{\left(\frac{V_c \cdot \Delta V_c}{V_0}\right)^2 + \left(\frac{g \cdot S_c \cdot \Delta \varphi}{V_0}\right)^2}; \quad (\text{Д.24})$$

$$V_0 = \sqrt{V_c^2 + V_{0S}^2}; \Delta V_0 = \sqrt{\left(\frac{V_c \cdot \Delta V_c}{V_0}\right)^2 + \left(\frac{V_{0S} \cdot \Delta V_{0S}}{V_0}\right)^2}, \quad (\text{Д.25})$$

де V_c – швидкість транспортного засобу в момент зіткнення;

S_c – довжина сліду гальмування (гальмівний шлях) до місця зіткнення;

V_{0S} – початкова швидкість транспортного засобу, визначена за умови, що транспортний засіб зупинився в точці зіткнення.

Час, за який швидкість транспортного засобу при гальмуванні зменшиться від швидкості V_1 до швидкості V_2

$$t = \frac{V_1 - V_2}{j}; \Delta t = \sqrt{\left(\frac{\Delta V_1}{j}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V_2}{j}\right)^2 + \left(\frac{V_1 - V_2}{j^2} \cdot \Delta j\right)^2}; \quad (\text{Д.26})$$

$$t = \frac{V_1 - V_2}{g\varphi}; \Delta t = \sqrt{\left(\frac{\Delta V_1}{g\varphi}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V_2}{g\varphi}\right)^2 + \left(\frac{V_1 - V_2}{g\varphi^2} \cdot \Delta \varphi\right)^2}. \quad (\text{Д.27})$$

Час зупинки ТЗ

$$t_0 = t_1 + t_2 + 0,5t_3 + \frac{V_0}{2j}; \Delta t_0 = \sqrt{\Delta t_1^2 + \Delta t_2^2 + 0,25\Delta t_3^2 + \frac{V_0}{j^2}(\delta V_0^2 + \delta j^2)^2}; \quad (\text{Д.28})$$

$$t_0 = t_1 + t_2 + 0,5t_3 + \frac{V_0}{2g\varphi}; \quad \Delta t_0 = \sqrt{\Delta t_1^2 + \Delta t_2^2 + 0,25\Delta t_3^2 + \frac{V_0^2}{g\varphi^2}(\delta V_0^2 + \delta\varphi^2)}. \quad (\text{Д.29})$$

Час руху ТЗ в загальмованому стані

$$t_g = t_2 + t_3 + t_4; \quad \Delta t_g = \sqrt{\Delta t_2^2 + \Delta t_3^2 + \Delta t_4^2}. \quad (\text{Д.30})$$

Час, за який ТЗ подолає гальмівний шлях

$$t_4 = \sqrt{\frac{2S_g}{j}}; \quad \Delta t_4 = \sqrt{\left(\frac{1}{2}\delta S_g\right)^2 + \left(\frac{1}{2}\delta j\right)^2}; \quad (\text{Д.31})$$

$$t_4 = \sqrt{\frac{2S_g}{g\varphi}}; \quad \Delta t_4 = \sqrt{\left(\frac{1}{2}\delta S_g\right)^2 + \left(\frac{1}{2}\delta\varphi\right)^2}. \quad (\text{Д.32})$$

Час руху ТЗ до наїзду на перешкоду

$$t'_4 = \frac{V_0}{j} - \sqrt{\frac{2S_g''}{j}}; \quad \Delta t'_4 = \sqrt{\frac{\Delta V_0^2}{j^2} + \frac{V_0}{j^2} \cdot \Delta j + \frac{(\Delta S_g'')^2}{2jS_g''} + \frac{S_g''}{2j^3} \Delta j^2}; \quad (\text{Д.33})$$

$$t'_4 = \frac{V_0}{g\varphi} - \sqrt{\frac{2S_g''}{g\varphi}}; \quad \Delta t'_4 = \sqrt{\frac{\Delta V_0^2}{(g\varphi)^2} + \frac{V_0}{(g\varphi)^2} \cdot \Delta j + \frac{(\Delta S_g'')^2}{2g\varphi S_g''} + \frac{S_g''}{2g\varphi^3} \Delta\varphi^2}, \quad (\text{Д.34})$$

де S_g'' – відстань, яку подолав ТЗ в загальмованому стані від місця наїзду до зупинки.

Сповільнення ТЗ на горизонтальній ділянці дороги

$$j = \frac{V_0^2}{2S_g}; \quad \delta j = \sqrt{(2\delta V_0)^2 + (\delta S_g'')^2}; \quad (Д.35)$$

$$j = g\varphi; \quad \delta j = \delta\varphi. \quad (Д.36)$$

Сповільнення ТЗ на ухилі чи підйомі дороги

$$j_y = j \cos \alpha \pm g \sin \alpha; \quad \delta j = \sqrt{(j \sin \alpha \cdot \Delta \alpha)^2 + (g \cos \alpha \cdot \Delta \alpha)^2}. \quad (Д.37)$$

У виразі (Д.37) знак «+» відповідає сповільненню на ділянці дороги з підйомом під кутом α . Під час розрахунків кут ухилу (підйому) повинен бути в радіанах.

Коефіцієнт зчеплення коліс ТЗ з дорогою

$$\varphi = \frac{V_0^2}{2g \cdot S_g}; \quad \delta\varphi = \sqrt{(2\delta V_0)^2 + (\delta S_g)^2}. \quad (Д.38)$$

Приклад 1. Автомобіль залишив слід гальмування довжиною $(28 \pm 1,5)$ м до місця зіткнення з ТЗ, що стояв на узбіччі. Визначити початкову швидкість автомобіля V_0 , якщо оціночна швидкість під час удару $V_c = (9 \pm 2)$ км/год $(2,5 \pm 0,56)$ м/с, а коефіцієнт зчеплення $\varphi = (0,7 \pm 0,1)$.

За формулою (Д.20) визначимо швидкість, при якій автомобіль зупинився б в кінці сліду гальмування: $V_{0S} = \sqrt{2 \cdot 0,7 \cdot 9,81 \cdot 28} = 19,6$ м/с (70,56 км/год).

Відносні похибки оцінок $\delta S_c = 2 / 28 = 0,071$ та $\delta\varphi = 0,1 / 0,7 = 0,143$.

Підставивши значення цих відносних похибок в формулу (Д.20),

отримаємо відносну похибку $\delta V_{0S} = \sqrt{\left(\frac{0,071}{2}\right)^2 + \left(\frac{0,143}{2}\right)^2} = 0,080$. Звідки

абсолютна похибка визначення швидкості V_{0S} складе

$$\Delta V_{0S} = 0,080 \cdot 70,56 = 5,64 \text{ км/год.}$$

За формулами (Д.25) визначимо початкову швидкість автомобіля та її невизначеність. Отримаємо:

$$V_0 = \sqrt{9^2 + 70,56^2} = 71,13 \text{ км/год},$$

$$\Delta V_0 = \sqrt{\left(\frac{9 \cdot 2}{71,13}\right)^2 + \left(\frac{70,56 \cdot 5,64}{71,13}\right)^2} = 5,6 \text{ км/год}.$$

Отже кінцевий результат розрахунку: $V_0 = (71,13 \pm 5,6) \text{ км/год}$.

Приклад 2. Коефіцієнт зчеплення $\varphi = (0,45 \pm 0,05)$. Який час необхідний, щоб при інтенсивному гальмуванні швидкість автомобіля зменшилась з $V_1 = 75 \text{ км/год}$ (20,8 м/с) до $V_2 = 20 \text{ км/год}$ (5,6 м/с)?

Для розрахунку середнього значення та невизначеності часу використаємо формули (Д.27). Тоді $t = \frac{20,8 - 5,6}{9,81 \cdot 0,45} = 3,44 \text{ с}$.

Припустимо, що гранично допустима похибка вимірювання швидкості складає $\Delta V = \pm 4 \text{ км/год}$ (1,1 м/с). Тоді невизначеність середнього значення

$$\text{часу буде } \Delta t = \sqrt{\left(\frac{1,1}{9,81 \cdot 0,45}\right)^2 + \left(\frac{1,1}{9,81 \cdot 0,45}\right)^2 + \left(\frac{20,8 - 5,6}{9,81 \cdot 0,45^2} \cdot 0,05\right)^2} = 0,52 \text{ с}.$$

Отже $t = (3,44 \pm 0,52) \text{ с}$.

Д.4 Інші фактори впливу на результати розрахунку параметрів руху учасників ДТП

Для визначення ухилу дороги в [165] рекомендують використовувати дві рейки, шарнірно зв'язані з одного кінця (рис. Д.1). Необхідно помістити одну з рейок на поверхню дороги, а іншу виставити за рівнем горизонтально і, таким чином, виміряти відрізки L та h . Тоді ухил дороги γ можна буде визначити за формулою

$$\gamma = \frac{h}{L}; \quad \delta\gamma = \sqrt{\delta h^2 + \delta L^2}, \quad (\text{Д.39})$$

а кут ухилу складе

$$\alpha = \arctg \frac{h}{L}. \quad (\text{Д.40})$$

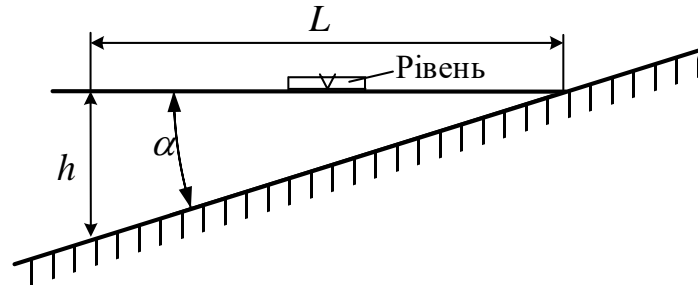


Рисунок Д.1 – Схема визначення ухилу дороги

Для визначення радіуса повороту дороги (рис. Д.2) рекомендують виміряти довжину хорди L та довжину відрізка h .

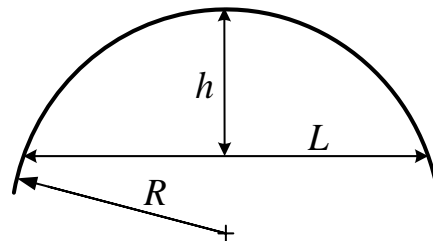


Рисунок Д.2 – Схема визначення радіуса повороту дороги

Радіус повороту та невизначеність результату його обчислення визначають за виразами

$$R = \frac{h}{2} + \frac{L^2}{8h}; \quad \Delta R = \sqrt{\left(\frac{L}{4h} \Delta L\right)^2 + \left(\frac{L^2}{8h^2} \Delta h\right)^2}. \quad (\text{Д.41})$$

Гранично допустима швидкість руху на повороті горизонтальної дороги без ухилу за умовами заносу

$$V_{zan} = \sqrt{\varphi_y \cdot g \cdot R}; \quad \delta V_{zan} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R}{2R}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \varphi_y}{2\varphi_y}\right)^2}, \quad (\text{Д.42})$$

де R – радіус повороту дороги;

φ_y – коефіцієнт зчеплення в боковому напрямку.

Безпечна дистанція між попутними ТЗ, які прямують один за одним з однаковими швидкостями

$$D_b = t_g V_0 + \frac{j_1 - j_2}{2j_1 j_2};$$

$$\Delta D_b = \sqrt{(\Delta t_g V_0)^2 + \left(\frac{V_0}{j_1} \Delta V_0\right)^2 + \left(\frac{V_0}{j_2} \Delta V_0\right)^2 + \left(\frac{V_0^2}{j_1^2} \Delta j_1\right)^2 + \left(\frac{V_0^2}{j_2^2} \Delta j_2\right)^2}, \quad (\text{Д.43})$$

де $t_g = t_{1d} + t_{22} + t_{32}$ – час приведення гальмівної системи в дію;

t_{1d} – час реакції водія, рекомендований для визначення допустимої швидкості руху;

t_{22} – час запізнення спрацьовування гальмівного приводу заднього ТЗ;

t_{32} – час нарощування сповільнення заднього ТЗ;

j_1 – сповільнення під час екстреного гальмування ТЗ, що йде попереду;

j_2 – сповільнення під час екстреного гальмування ТЗ, що йде позаду.

Приклад. Якою буде критична швидкість автомобіля за умовами заносу на заокругленні горизонтальної дороги радіусом $R = (45 \pm 2)$ м при коефіцієнті зчеплення $\varphi_y = (0,4 \pm 0,1)$?

Для визначення критичної швидкості та її невизначеності використаємо формули (Д.42). Отримаємо

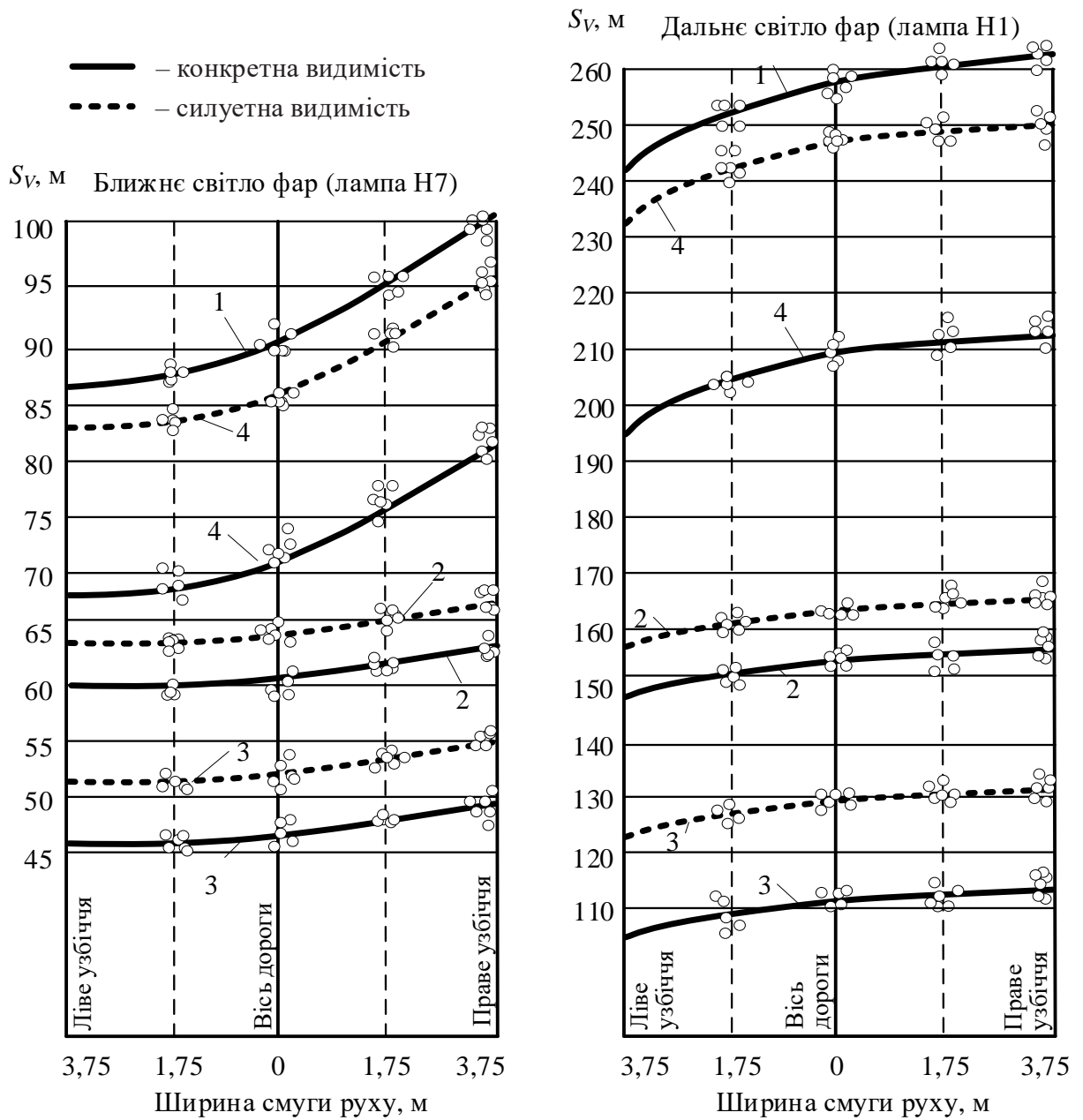
$$V_{zan} = \sqrt{0,4 \cdot 9,81 \cdot 45} = 13,29 \text{ м/с (47,8 км/год);}$$

$$\delta V_{zan} = \sqrt{\left(\frac{2}{2 \cdot 45}\right)^2 + \left(\frac{0,1}{2 \cdot 0,4}\right)^2} = 0,127;$$

$$\Delta V_{zan} = \delta V_{zan} \cdot V_{zan} = 0,127 \cdot 47,8 = 6,1 \text{ км/год}$$

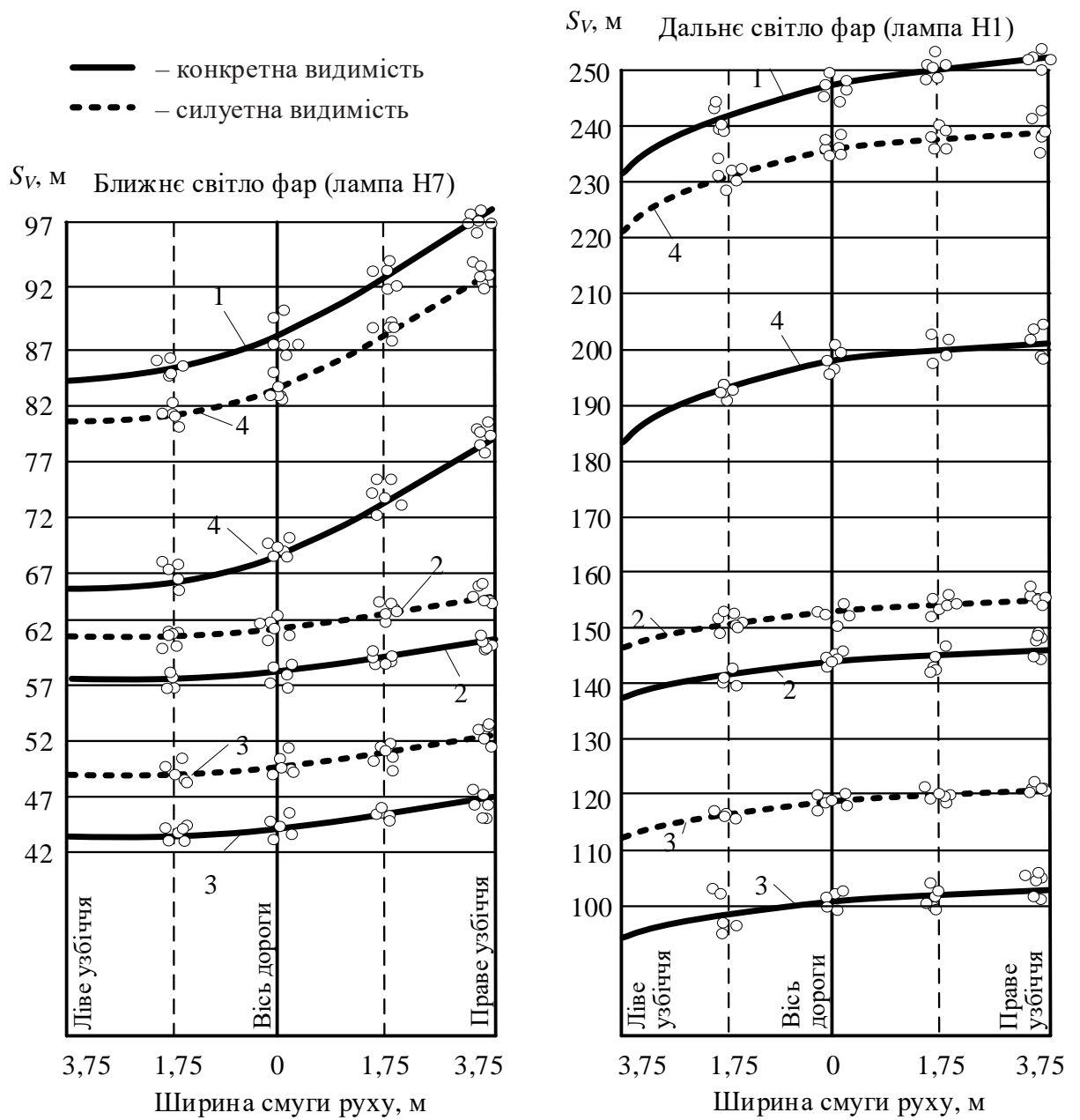
Таким чином, $V_{zan} = (47,8 \pm 6,1) \text{ км/год}$.

Додаток Е. Експериментальні дані з оцінки відстані видимості дорожніх об'єктів в темну пору доби



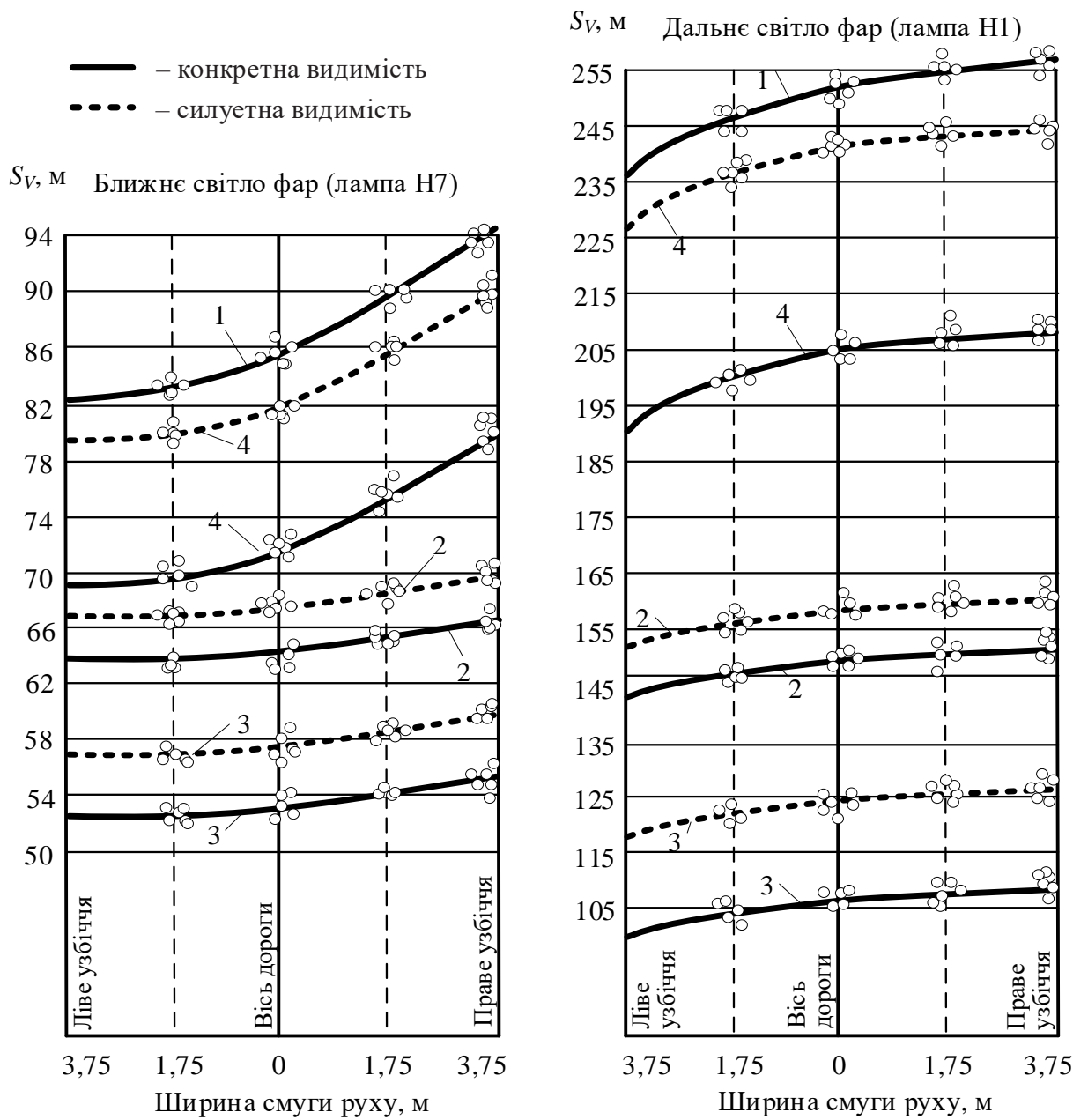
1 – тест-об'єкт (загальна видимість); 2 – пішохід у світлому одязі; 3 – пішохід у темному одязі; 4 – пішохід у одязі зі світловідбивальними елементами.

Рисунок Е.1 – Експериментальна залежність відстані видимості від характеристик об'єкта розрізнення для фар з лампами Н7, Н1 (Audi A6 (C5))



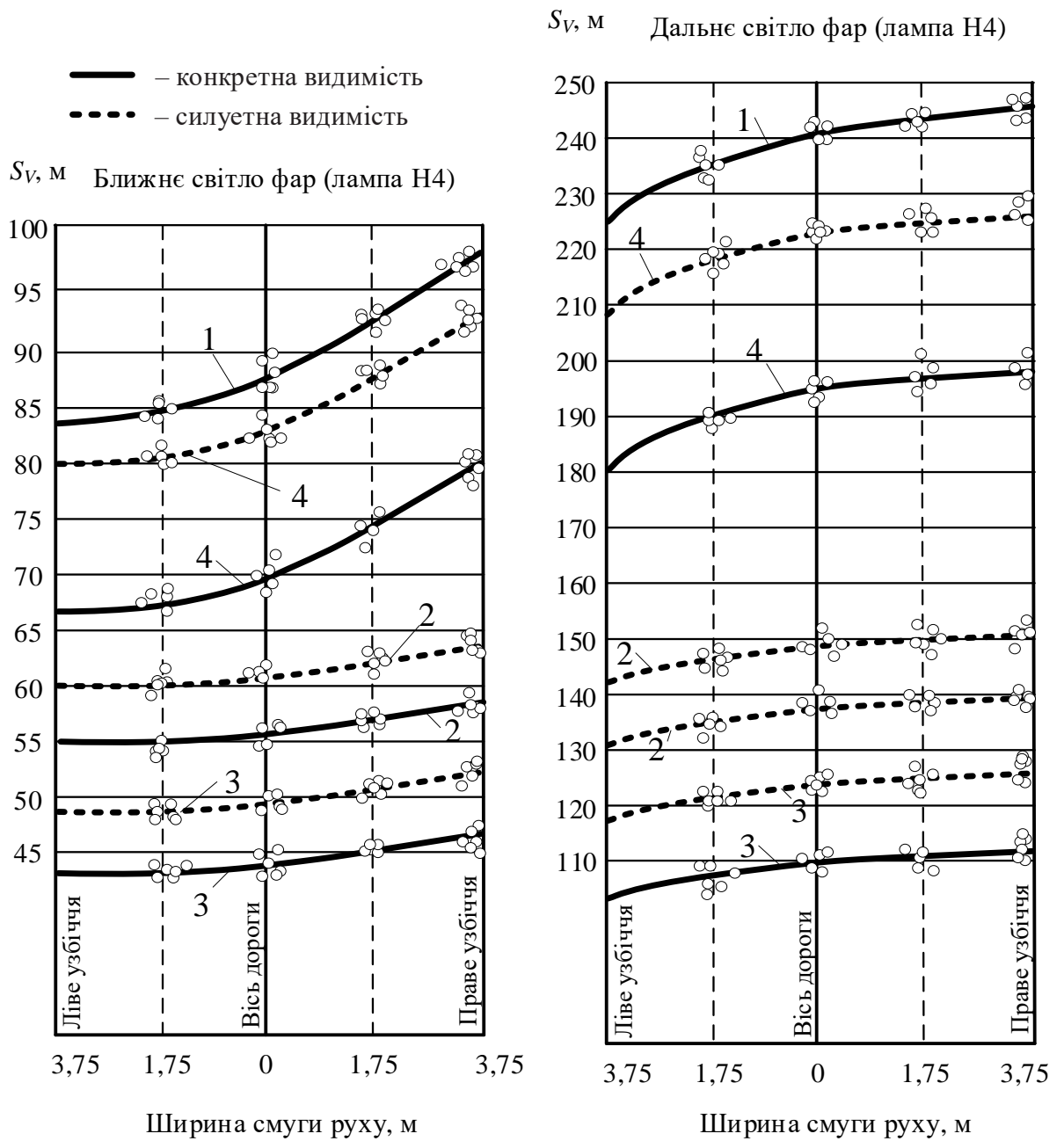
1 – тест-об'єкт (загальна видимість); 2 – пішохід у світлому одязі; 3 – пішохід у темному одязі; 4 – пішохід у одязі зі світловідбивальними елементами.

Рисунок Е.2 – Експериментальна залежність відстані видимості від характеристик об'єкта розрізнення для фар з лампами Н7, Н1 (Opel Vectra В)



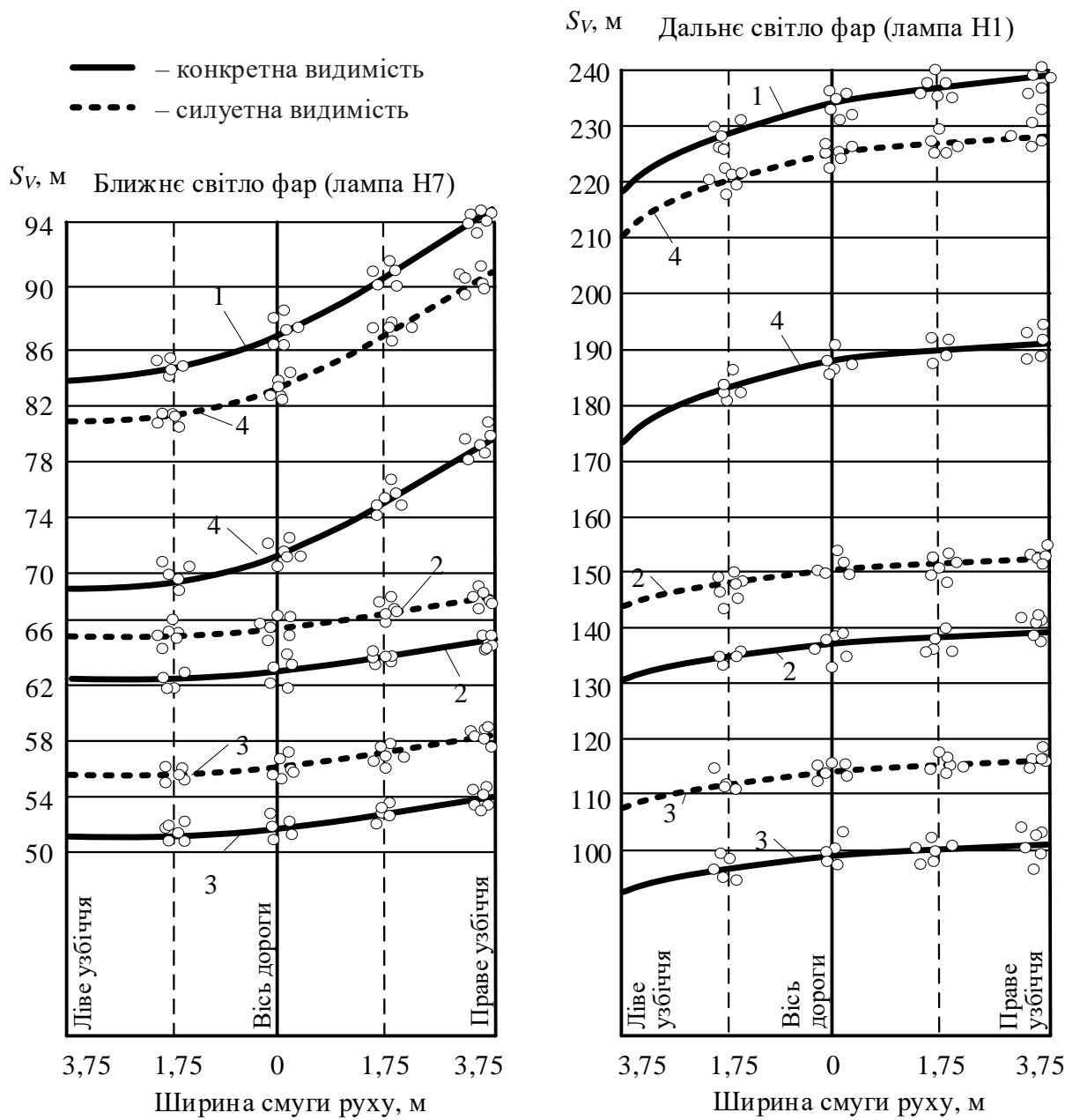
1 – тест-об’єкт (загальна видимість); 2 – пішохід у світлому одязі; 3 – пішохід у темному одязі; 4 – пішохід у одязі зі світловідбивальними елементами.

Рисунок Е.3 – Експериментальна залежність відстані видимості від характеристик об’єкта розрізнення для фар з лампами H7, H1 (Wolksvagen Caddy)



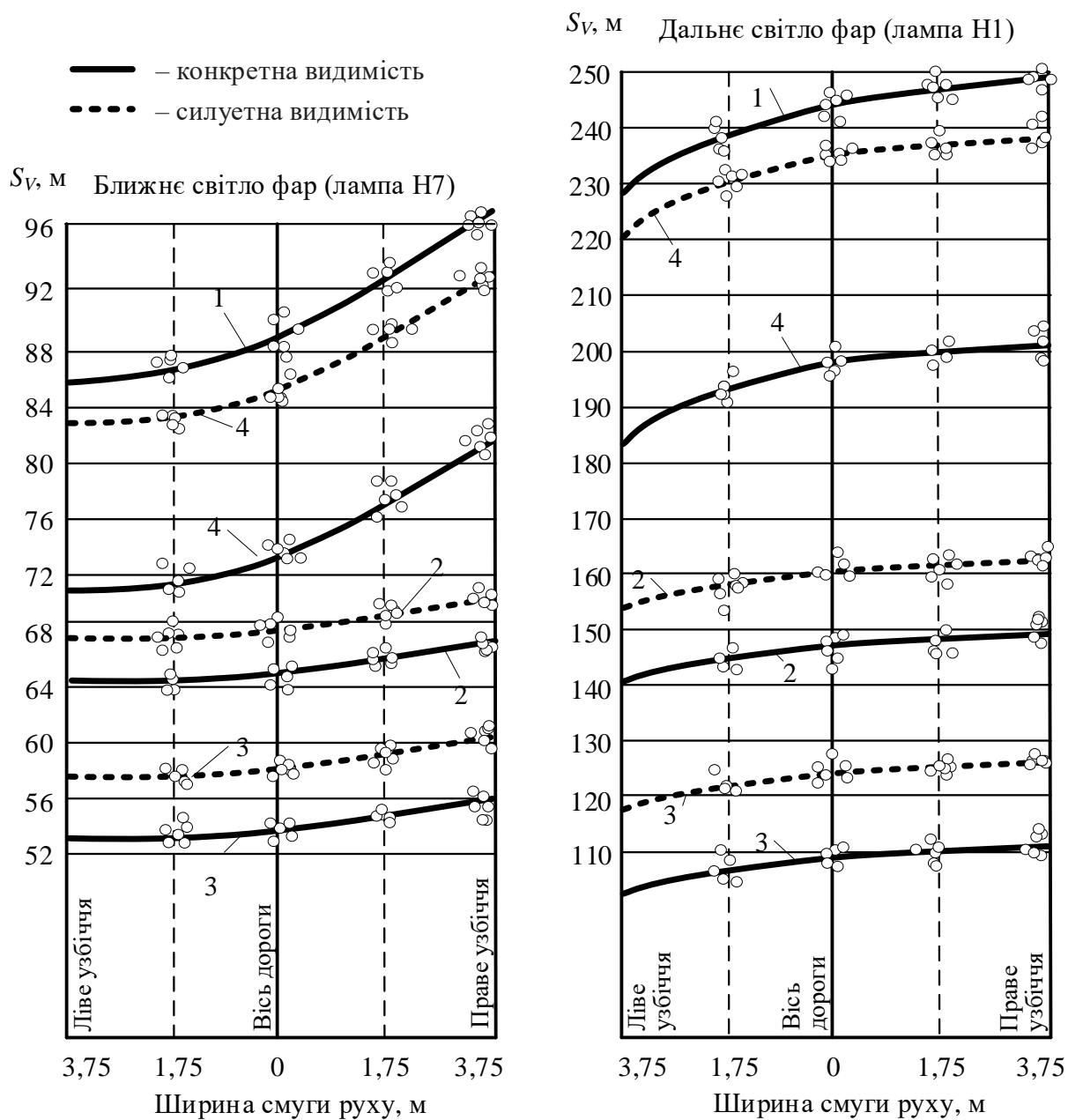
1 – тест-об’єкт (загальна видимість); 2 – пішохід у світлому одязі; 3 – пішохід у темному одязі; 4 – пішохід у одязі зі світловідбивальними елементами.

Рисунок Е.4 – Експериментальна залежність відстані видимості від характеристик об’єкта розрізнення для фар з лампами Н4 (Mitsubishi Pajero)



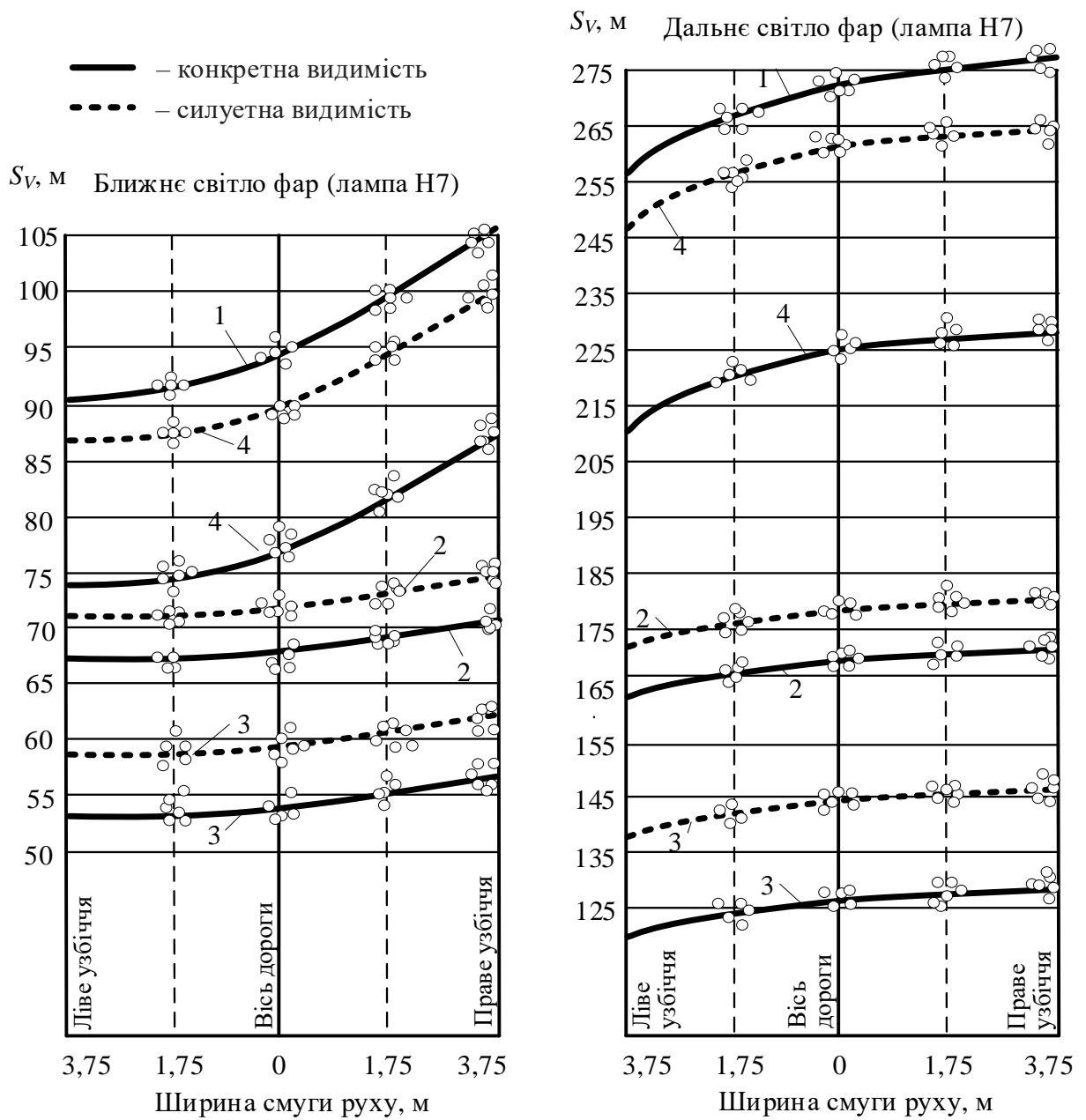
1 – тест-об'єкт (загальна видимість); 2 – пішохід у світлому одязі; 3 – пішохід у темному одязі; 4 – пішохід у одязі зі світловідбивальними елементами.

Рисунок Е.5 – Експериментальна залежність відстані видимості від характеристик об'єкта розрізнення для фар з лампами H1 (Renault Megane)



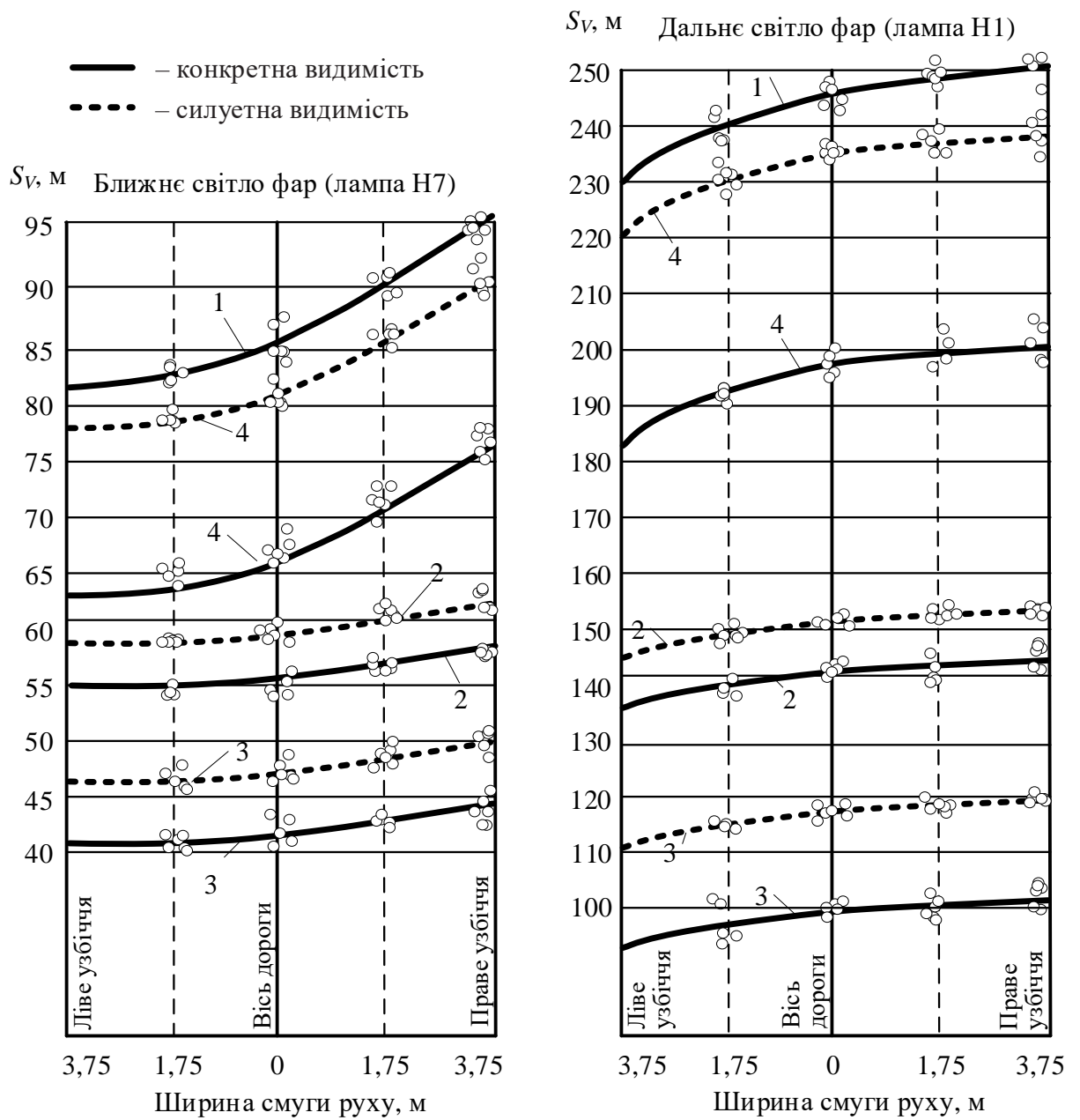
1 – тест-об'єкт (загальна видимість); 2 – пішохід у світлому одязі; 3 – пішохід у темному одязі; 4 – пішохід у одязі зі світловідбивальними елементами.

Рисунок Е.6 – Експериментальна залежність відстані видимості від характеристик об'єкта розрізнення для фар з лампами H7, H1 (Peugeot 301)



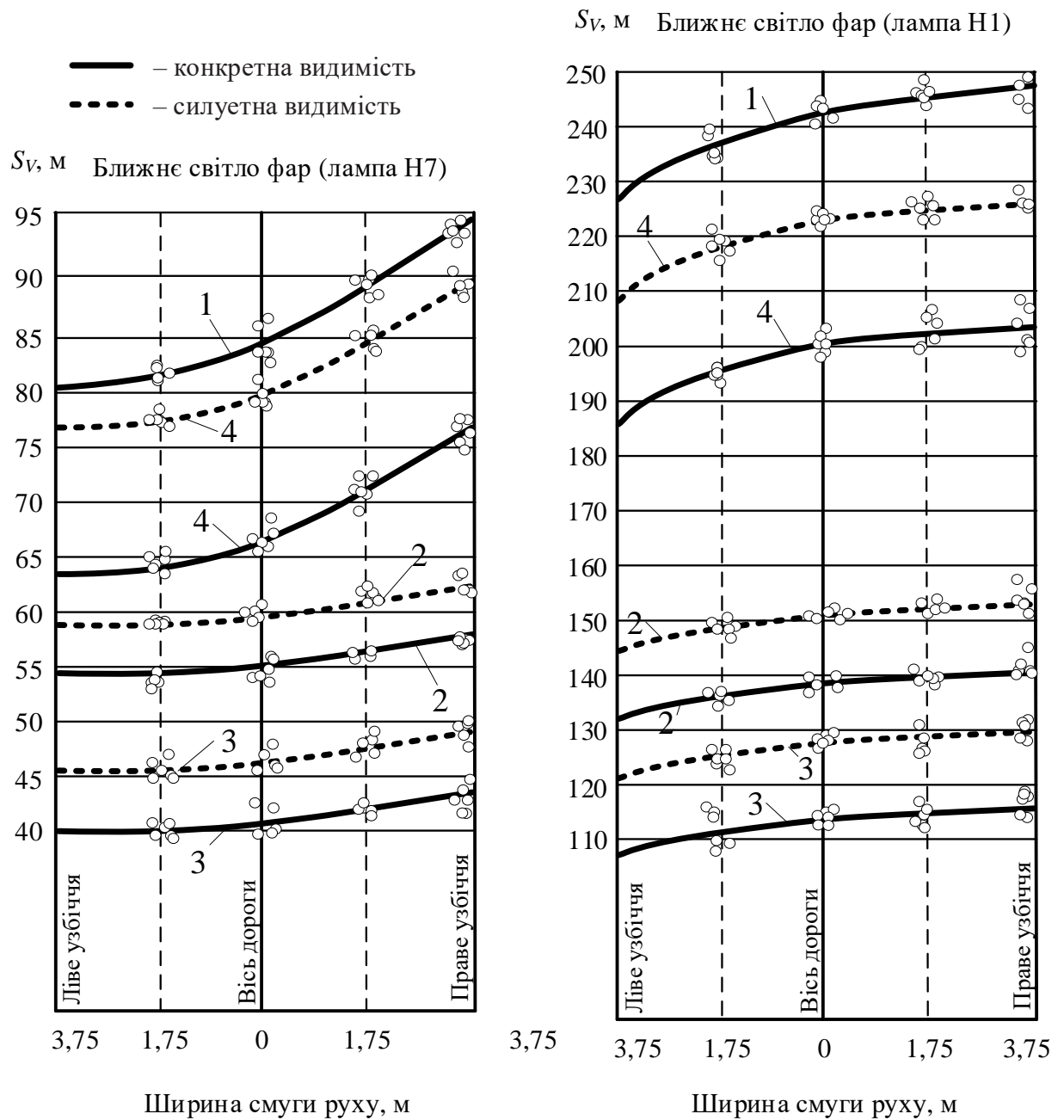
1 – тест-об’єкт (загальна видимість); 2 – пішохід у світлому одязі; 3 – пішохід у темному одязі; 4 – пішохід у одязі зі світловідбивальними елементами.

Рисунок Е.7 – Експериментальна залежність відстані видимості від характеристик об’єкта розрізнення для фар з лампами H7 (Mercedes Vito)



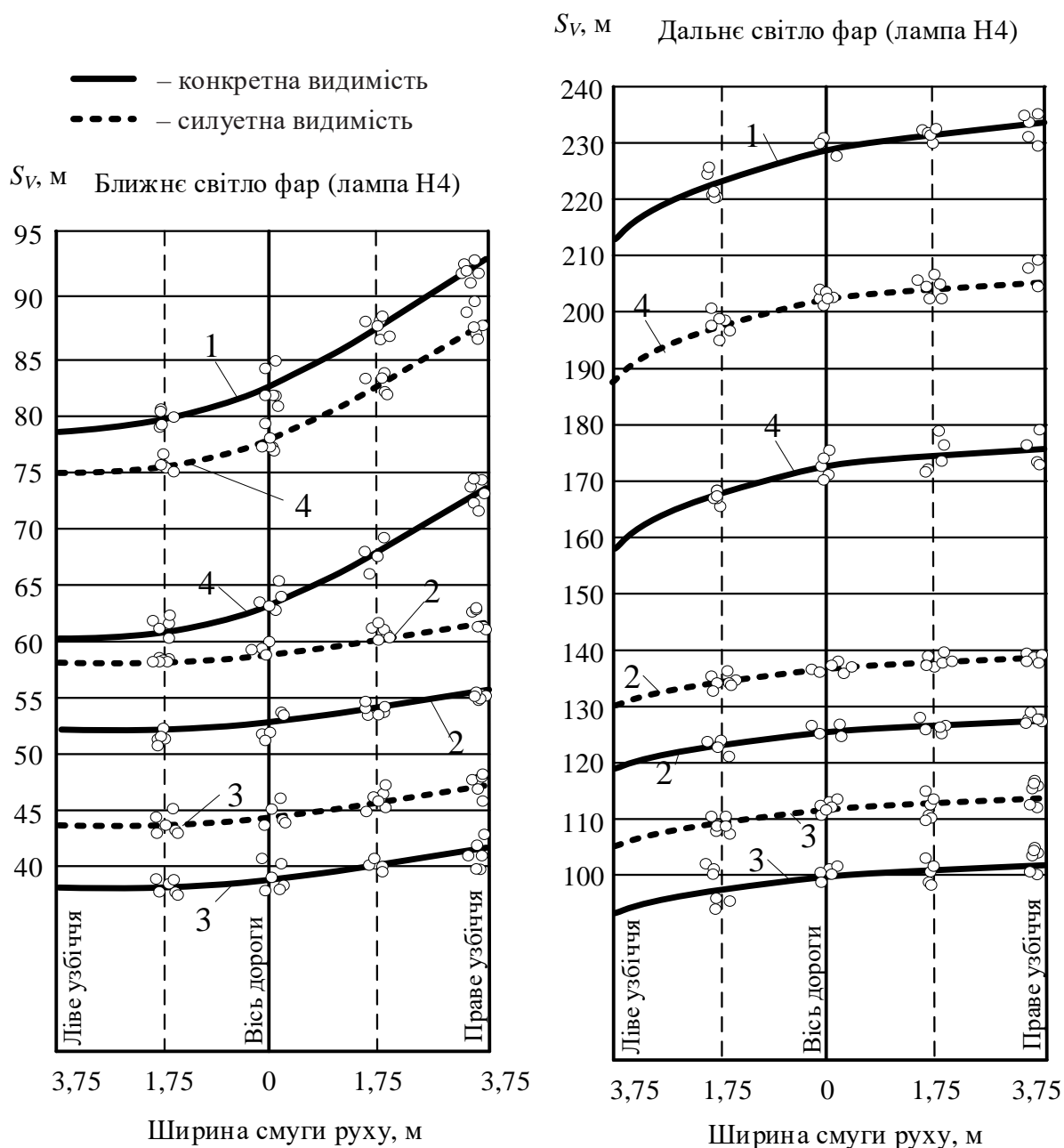
1 – тест-об'єкт (загальна видимість); 2 – пішохід у світлому одязі; 3 – пішохід у темному одязі; 4 – пішохід у одязі зі світловідбивальними елементами.

Рисунок Е.8 – Експериментальна залежність дальності видимості від характеристик об'єкта розрізнення для фар з лампами H7, H1 (Opel Astra G)



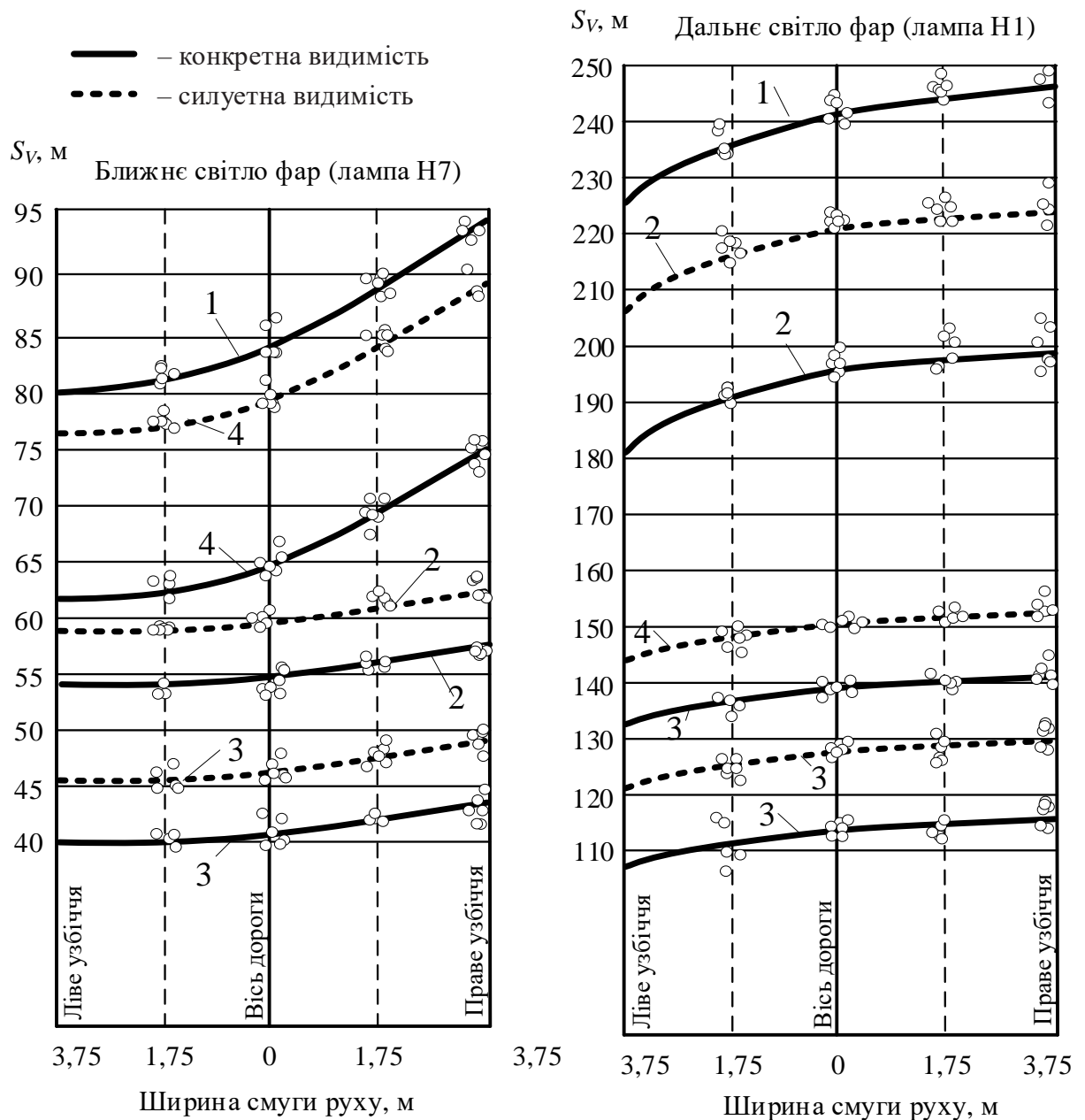
1 – тест-об'єкт (загальна видимість); 2 – пішохід у світлому одязі; 3 – пішохід у темному одязі; 4 – пішохід у одязі зі світловідбивальними елементами.

Рисунок Е.9 – Експериментальна залежність відстані видимості від характеристик об'єкта розрізнення для фар з лампами Н7, Н1 (Chery Amulet)



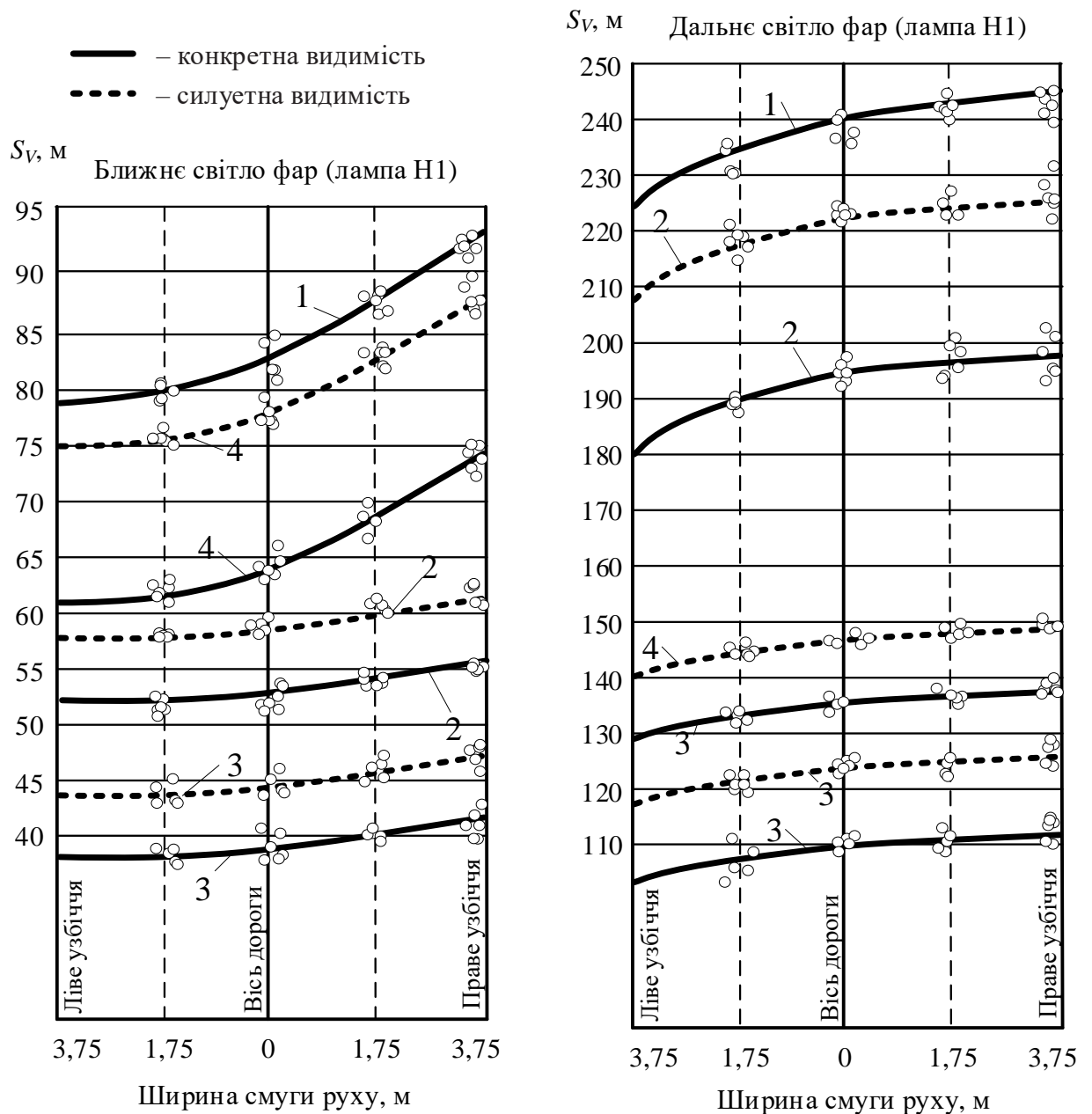
1 – тест-об’єкт (загальна видимість); 2 – пішохід у світлому одязі; 3 – пішохід у темному одязі; 4 – пішохід у одязі зі світловідбивальними елементами.

Рисунок Е.10 – Експериментальна залежність відстані видимості від характеристик об’єкта розрізнення для фар з лампами Н4 (Daewoo Lanos, Sens)



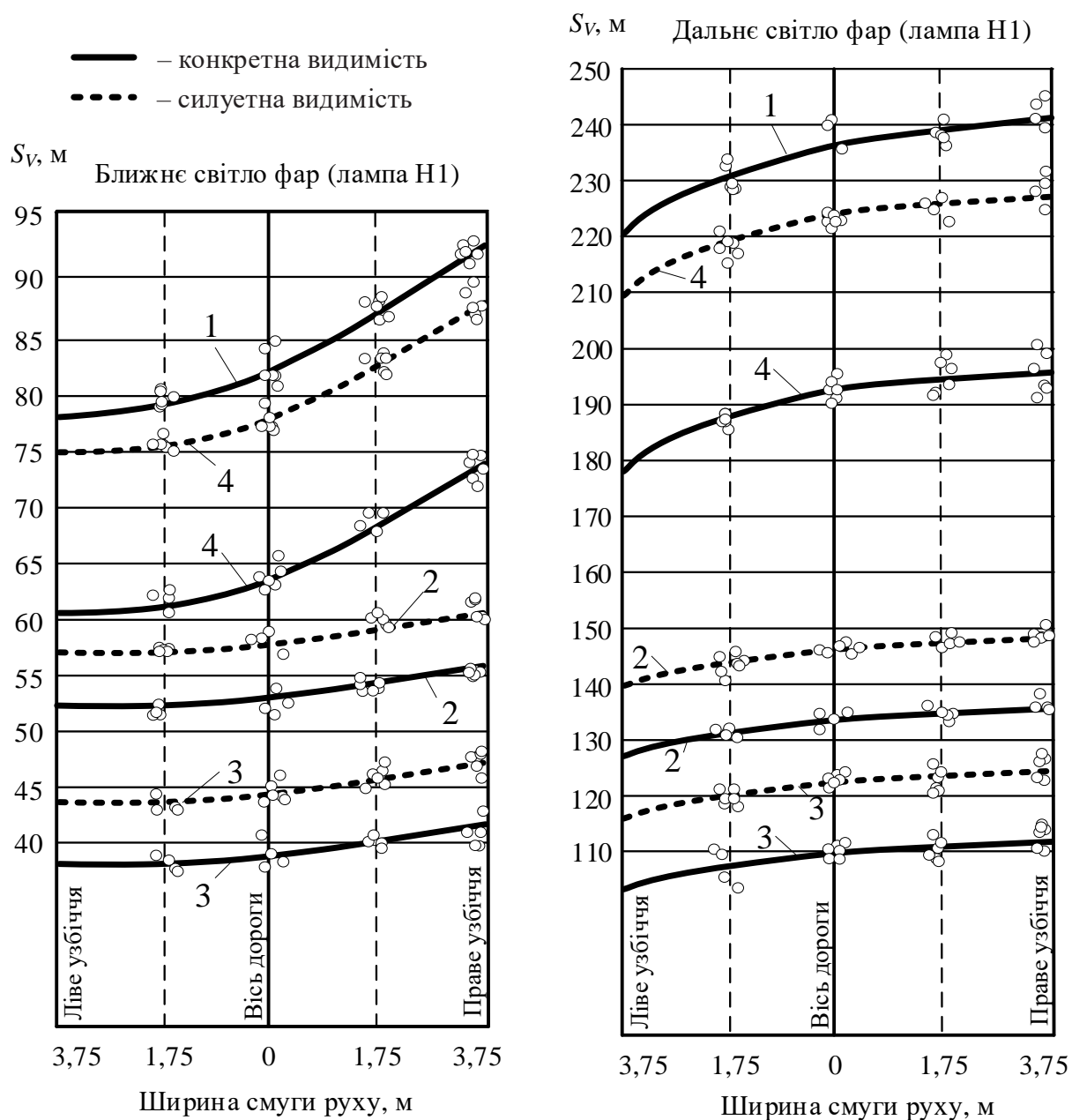
1 – тест-об’єкт (загальна видимість); 2 – пішохід у світлому одязі; 3 – пішохід у темному одязі; 4 – пішохід у одязі зі світловідбивальними елементами.

Рисунок Е.11 – Експериментальна залежність відстані видимості від характеристик об’єкта розрізнення для фар з лампами H7, H1 (ВАЗ 11183, 11193)



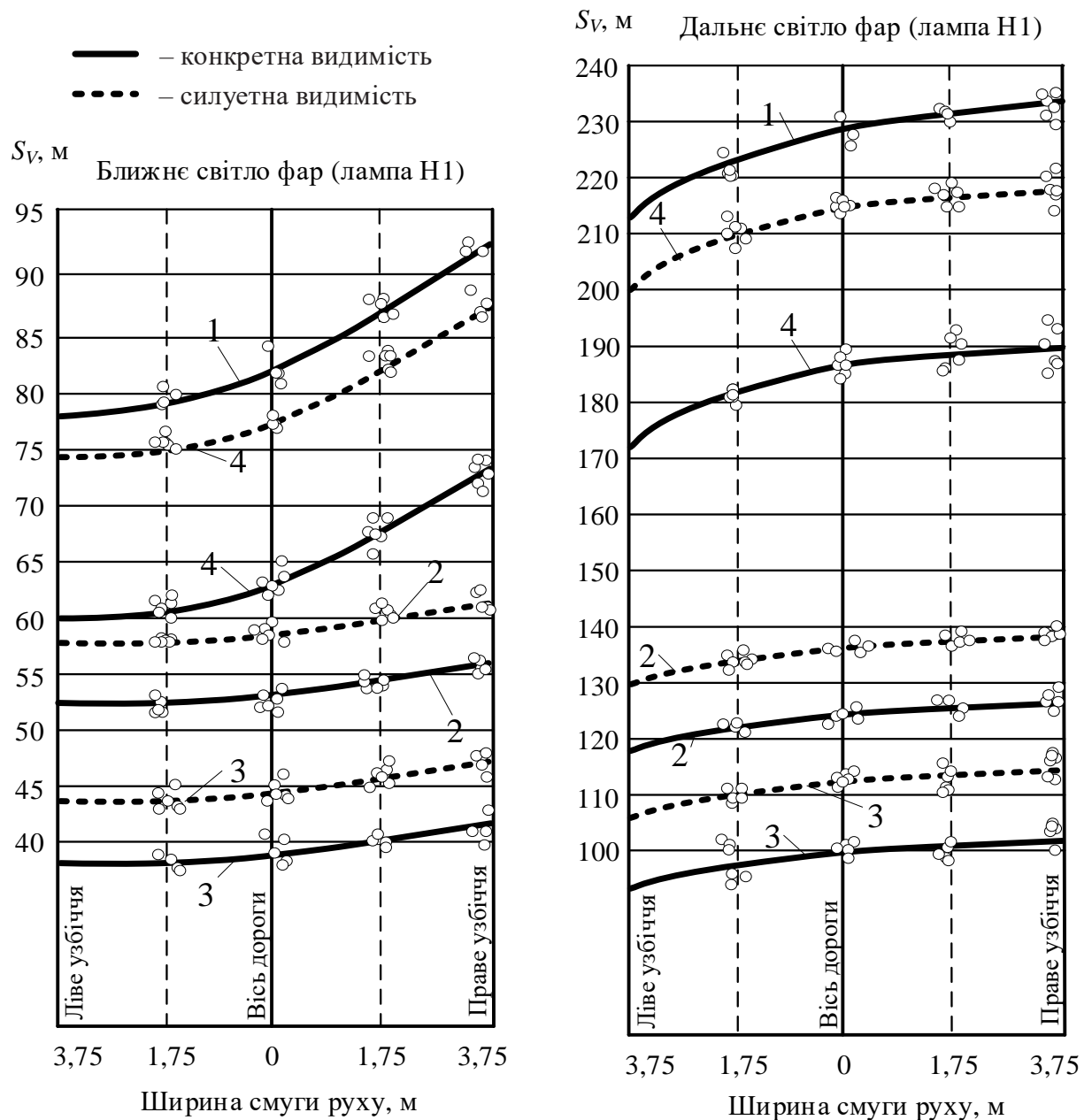
1 – тест-об’єкт (загальна видимість); 2 – пішохід у світлому одязі; 3 – пішохід у темному одязі; 4 – пішохід у одязі зі світловідбивальними елементами.

Рисунок Е.12 – Експериментальна залежність відстані видимості від характеристик об’єкта розрізнення для фар з лампами Н1 (ВАЗ 2170)



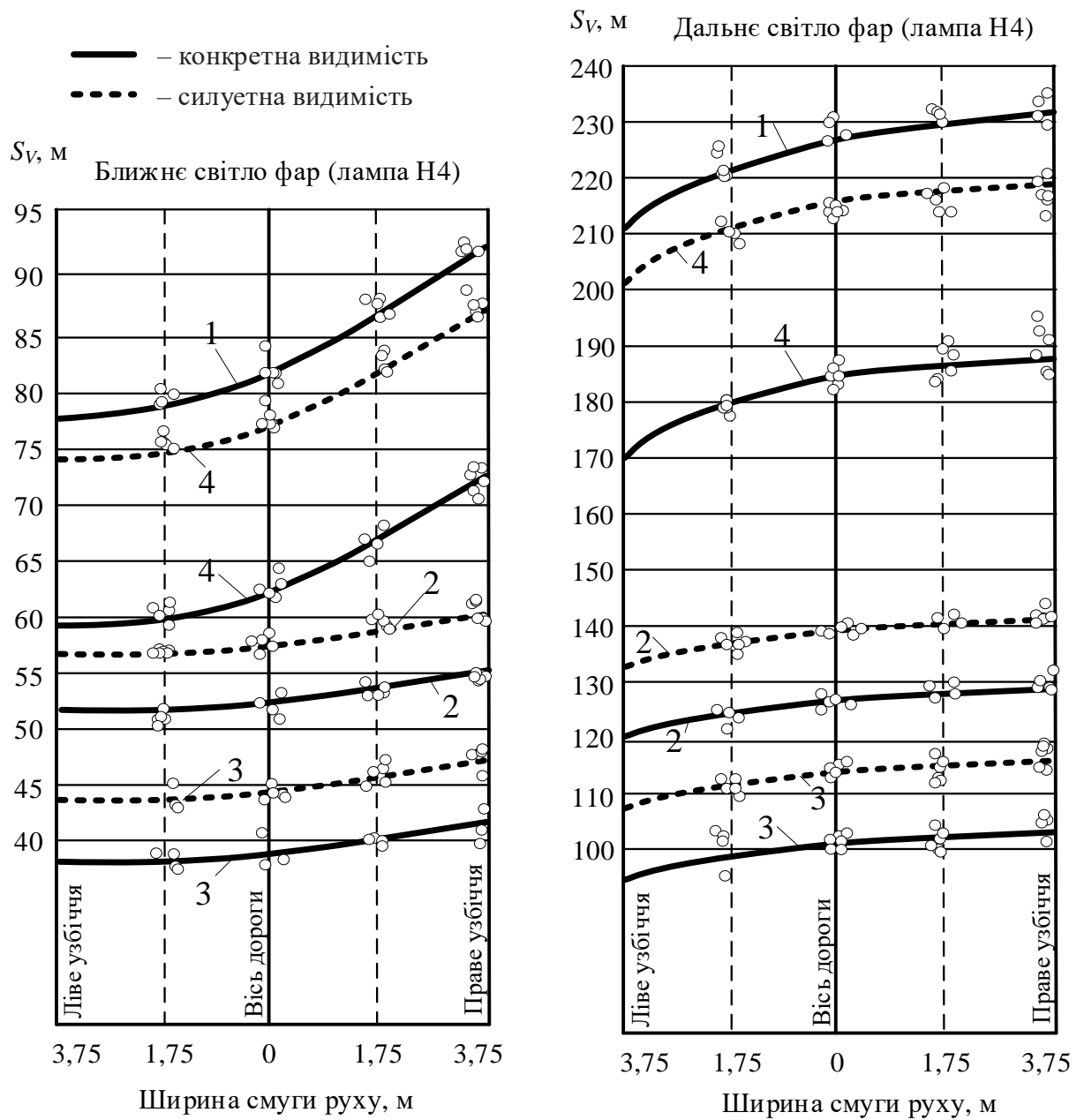
1 – тест-об’єкт (загальна видимість); 2 – пішохід у світлому одязі; 3 – пішохід у темному одязі; 4 – пішохід у одязі зі світловідбивальними елементами.

Рисунок Е.13 – Експериментальна залежність відстані видимості від характеристик об’єкта розрізнення для фар з лампами Н1 (ВАЗ 2110, 2111, 2112)



1 – тест-об’єкт (загальна видимість); 2 – пішохід у світлому одязі; 3 – пішохід у темному одязі; 4 – пішохід у одязі зі світловідбивальними елементами.

Рисунок Е.14 – Експериментальна залежність відстані видимості від характеристик об’єкта розрізнення для фар з лампами Н1 (ВАЗ 21093, 21099, 2113, 2114, 2115, 2121)



1 – тест-об’єкт (загальна видимість); 2 – пішохід у світлому одязі; 3 – пішохід у темному одязі; 4 – пішохід у одязі зі світловідбивальними елементами.

Рисунок Е.15 – Експериментальна залежність відстані видимості від характеристик об’єкта розрізнення для фар з лампами H4 (ЗАЗ 110307, ЗАЗ 110207, ЗАЗ 110557)

Базуючись на результатах виконаних в дорожніх умовах досліджень, була сформована експериментальна база даних (700 пар даних входи-вихід), яка складається з навчаючої вибірки (420 пар даних входи-вихід) та тестової вибірки (280 пар даних входи-вихід) представлених у табл. E1, E2.

Таблиця E1 – Навчальна вибірка нейро-нечіткої системи оцінювання відстані видимості дорожніх об'єктів в темну пору доби

<i>W</i> , м	147	151	148	159	156	158	159	145	154
<i>K</i>	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,2	0,2	0,2	0,2
<i>F</i> , м	0	2	3,75	5,5	7,5	0	2	3,75	5,5
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_V</i> , м	35,1	37,1	37,7	40,1	39,8	43,6	45,7	44,1	46,6
<i>W</i> , м	150	157	149	146	155	150	151	152	146
<i>K</i>	0,2	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,48	0,48	0,48
<i>F</i> , м	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5	0	2	3,75
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_V</i> , м	46,0	50,2	50,6	51,2	54,0	53,1	53,9	56,5	56,4
<i>W</i> , м	160	158	153	153	153	157	152	154	154
<i>K</i>	0,48	0,48	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,82	0,82
<i>F</i> , м	5,5	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5	0	2
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_V</i> , м	60,9	60,7	63,7	66,5	68,2	70,4	69,2	66,1	69,0
<i>W</i> , м	155	164	157	147	145	149	146	150	180
<i>K</i>	0,82	0,84	0,82	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,07
<i>F</i> , м	3,75	5,0	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5	0
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_V</i> , м	71,1	75,6	73,1	66,5	68,7	71,8	71,9	73,6	40,0
<i>W</i> , м	179	180	189	186	184	183	179	190	182
<i>K</i>	0,07	0,07	0,07	0,07	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
<i>F</i> , м	2	3,75	5,5	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_V</i> , м	41,6	42,8	44,8	44,6	48,1	50,0	50,6	53,3	51,8
<i>W</i> , м	188	181	179	180	178	184	181	180	182
<i>K</i>	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,48	0,48	0,48	0,48
<i>F</i> , м	0	2	3,75	5,5	7,5	0	2	3,75	5,5
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_V</i> , м	56,3	57,3	58,4	59,5	59,4	61,2	63,3	64,7	66,1
<i>W</i> , м	185	184	187	186	179	190	176	175	182
<i>K</i>	0,48	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,82	0,82	0,82
<i>F</i> , м	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5	0	2	3,75

<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_{V, M}</i>	67,1	71,7	75,5	77,2	76,5	79,8	72,1	75,0	78,8
<i>W, M</i>	184	179	176	180	182	181	179	212	213
<i>K</i>	0,82	0,82	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,07	0,07
<i>F, M</i>	5,5	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5	0	2
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_{V, M}</i>	80,5	79,5	74,8	79,1	81,7	82,6	82,5	44,2	46,2
<i>W, M</i>	218	219	214	207	206	205	219	208	213
<i>K</i>	0,07	0,07	0,07	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,35
<i>F, M</i>	3,75	5,5	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5	0
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_{V, M}</i>	48,0	48,9	48,5	51,6	53,7	54,9	58,0	56,5	60,6
<i>W, M</i>	217	214	205	210	216	208	207	212	207
<i>K</i>	0,35	0,35	0,35	0,35	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
<i>F, M</i>	2	3,75	5,5	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_{V, M}</i>	64,0	65,1	64,4	65,6	67,4	68,8	70,4	72,5	71,8
<i>W, M</i>	220	220	208	219	210	215	219	218	210
<i>K</i>	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,82	0,82	0,82	0,82
<i>F, M</i>	0	2	3,75	5,5	7,5	0	2	3,75	5,5
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_{V, M}</i>	79,8	83,2	82,6	86,4	84,7	81,4	85,9	87,8	87,2
<i>W, M</i>	219	209	212	216	205	206	248	236	237
<i>K</i>	0,82	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,07	0,07	0,07
<i>F, M</i>	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5	0	2	3,75
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_{V, M}</i>	89,8	83,0	87,4	90,6	89,2	89,8	48,3	49,0	50,4
<i>W, M</i>	232	250	231	232	230	246	233	245	236
<i>K</i>	0,07	0,07	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,35	0,35
<i>F, M</i>	5,5	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5	0	2
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_{V, M}</i>	50,5	52,9	55,0	57,6	58,7	61,9	60,3	65,6	67,1
<i>W, M</i>	241	237	241	239	237	231	236	237	240
<i>K</i>	0,35	0,35	0,35	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,75
<i>F, M</i>	3,75	5,5	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5	0
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_{V, M}</i>	69,6	70,0	71,0	71,4	74,2	75,0	77,0	77,6	83,8
<i>W, M</i>	234	242	250	240	243	239	237	243	238
<i>K</i>	0,75	0,75	0,75	0,75	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82
<i>F, M</i>	2	3,75	5,5	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_{V, M}</i>	86,2	90,1	93,1	91,5	87,3	90,2	92,1	94,8	94,2
<i>W, M</i>	249	235	244	238	231	278	256	274	269

<i>K</i>	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,07	0,08	0,07	0,07
<i>F, M</i>	0	2	3,75	5,5	7,5	0	2	3,75	5,5
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_{V, M}</i>	91,7	92,7	97,1	97,2	96,0	51,3	50,9	54,5	54,8
<i>W, M</i>	270	261	279	277	270	261	280	279	269
<i>K</i>	0,07	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,35	0,35	0,35
<i>F, M</i>	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5	0	2	3,75
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_{V, M}</i>	55,1	58,8	63,6	65,0	65,1	64,2	70,5	73,4	73,9
<i>W, M</i>	261	280	275	280	269	263	279	261	274
<i>K</i>	0,35	0,35	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,75	0,75
<i>F, M</i>	5,5	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5	0	2
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_{V, M}</i>	73,8	77,0	77,0	81,2	81,5	81,7	84,7	87,7	93,9
<i>W, M</i>	279	264	278	279	270	275	263	273	278
<i>K</i>	0,75	0,75	0,75	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,9
<i>F, M</i>	3,75	5,5	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5	0
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_{V, M}</i>	97,2	95,9	99,0	94,0	96,4	99,8	99,0	101,4	97,2
<i>W, M</i>	278	275	262	260	299	302	303	292	295
<i>K</i>	0,9	0,9	0,9	0,9	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
<i>F, M</i>	2	3,75	5,5	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_{V, M}</i>	101,5	103,5	102,4	102,5	53,2	55,8	57,4	57,1	57,7
<i>W, M</i>	302	303	299	297	291	299	300	300	293
<i>K</i>	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,35	0,35	0,35	0,35
<i>F, M</i>	0	2	3,75	5,5	7,5	0	2	3,75	5,5
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_{V, M}</i>	63,4	66,3	67,6	68,3	68,0	72,9	76,2	78,1	78,4
<i>W, M</i>	292	296	294	298	297	291	292	294	303
<i>K</i>	0,35	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,75	0,75	0,75
<i>F, M</i>	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5	0	2	3,75
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_{V, M}</i>	78,6	80,0	83,2	85,9	87,1	86,6	93,0	97,4	101,4
<i>W, M</i>	294	290	300	290	305	294	296	301	296
<i>K</i>	0,75	0,75	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,9	0,9
<i>F, M</i>	5,5	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5	0	2
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_{V, M}</i>	101,4	101,1	97,5	100,0	105,2	104,9	105,7	101,3	104,8
<i>S_{V, M}</i>	78,6	80,0	83,2	85,9	87,1	86,6	93,0	97,4	101,4
<i>W, M</i>	296	291	295	147	152	148	159	156	158
<i>K</i>	0,9	0,9	0,9	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,2
<i>F, M</i>	3,75	5,5	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5	0

<i>BD</i>	1	1	1	2	2	2	2	2	2
<i>S_{V, M}</i>	107,5	108,1	109,4	59,7	62,7	63,0	70,9	74,5	79,1
<i>W, M</i>	159	145	154	150	157	149	146	155	150
<i>K</i>	0,2	0,2	0,2	0,2	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
<i>F, M</i>	2	3,75	5,5	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5
<i>BD</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>S_{V, M}</i>	80,9	76,1	84,7	88,4	92,8	89,5	90,5	100,7	104,4
<i>W, M</i>	151	152	146	160	158	153	153	153	157
<i>K</i>	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,75	0,75	0,75	0,75
<i>F, M</i>	0	2	3,75	5,5	7,5	0	2	3,75	5,5
<i>BD</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>S_{V, M}</i>	99,6	101,9	101,0	116,0	122,7	119,8	121,7	125,6	135,1
<i>W, M</i>	152	154	154	155	149	157	147	145	149
<i>K</i>	0,75	0,82	0,82	0,82	0,82	0,82	0,9	0,9	0,9
<i>F, M</i>	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5	0	2	3,75
<i>BD</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>S_{V, M}</i>	140,1	125,0	127,0	132,0	132,9	150,0	124,0	124,3	131,9
<i>W, M</i>	146	150	180	179	180	189	186	184	183
<i>K</i>	0,9	0,9	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,2	0,2
<i>F, M</i>	5,5	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5	0	2
<i>BD</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>S_{V, M}</i>	135,4	149,0	73,1	73,8	76,6	84,3	88,9	92,1	93,1
<i>W, M</i>	179	190	190	188	181	179	180	178	184
<i>K</i>	0,2	0,2	0,2	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,48
<i>F, M</i>	3,75	5,5	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5	0
<i>BD</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>S_{V, M}</i>	94,5	104,5	111,9	111,1	108,7	111,0	116,9	123,8	121,3
<i>W, M</i>	181	180	182	185	184	187	186	179	190
<i>K</i>	0,48	0,48	0,48	0,48	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
<i>F, M</i>	2	3,75	5,5	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5
<i>BD</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>S_{V, M}</i>	121,3	124,5	131,9	143,6	144,0	148,8	152,7	154,0	175,1
<i>W, M</i>	176	195	182	184	179	176	180	182	181
<i>K</i>	0,82	0,84	0,82	0,82	0,82	0,9	0,9	0,9	0,9
<i>F, M</i>	0	2	3,75	5,5	7,5	0	2	3,75	5,5
<i>BD</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>S_{V, M}</i>	142,9	160,7	155,0	164,1	171,1	148,5	154,3	161,1	167,8
<i>W, M</i>	179	212	213	218	219	214	207	206	205
<i>K</i>	0,9	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,2	0,2	0,2
<i>F, M</i>	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5	0	2	3,75
<i>BD</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>S_{V, M}</i>	177,8	86,1	87,9	92,8	97,7	102,3	103,6	104,8	107,6
<i>W, M</i>	225	208	213	217	214	205	210	216	208

$S_V, м$	165,5	167,6	166,8	169,5	194,8	181,4	187,7	186,1	190,6
$W, м$	279	261	274	279	264	285	279	270	275
K	0,48	0,75	0,75	0,75	0,75	0,7	0,82	0,82	0,82
$F, м$	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5	0	2	3,75
BD	2	2	2	2	2	2	2	2	2
$S_V, м$	216,6	204,3	218,0	229,1	227,1	250,8	226,5	222,7	234,2
$W, м$	263	273	278	278	275	262	260	299	302
K	0,82	0,82	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,07	0,07
$F, м$	5,5	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5	0	2
BD	2	2	2	2	2	2	2	2	2
$S_V, м$	234,6	260,9	234,5	238,3	243,4	242,9	258,2	121,4	124,6
$W, м$	303	292	295	302	303	299	297	291	299
K	0,07	0,07	0,07	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,35
$F, м$	3,75	5,5	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5	0
BD	2	2	2	2	2	2	2	2	2
$S_V, м$	129,0	130,2	141,0	151,1	154,1	157,0	163,3	171,4	176,7
$W, м$	300	300	293	292	296	294	298	297	291
K	0,35	0,35	0,35	0,35	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
$F, м$	2	3,75	5,5	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5
BD	2	2	2	2	2	2	2	2	2
$S_V, м$	180,2	186,0	190,3	203,2	195,2	197,0	206,2	215,3	225,9
$W, м$	292	294	303	294	290	300	290	305	294
K	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,82	0,82	0,82	0,82
$F, м$	0	2	3,75	5,5	7,5	0	2	3,75	5,5
BD	2	2	2	2	2	2	2	2	2
$S_V, м$	228,6	233,9	248,8	252,9	267,3	243,5	239,2	259,7	262,3
$W, м$	296	301	296	296	291	295	–	–	–
K	0,82	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	–	–	–
$F, м$	7,5	0	2	3,75	5,5	7,5	–	–	–
BD	2	2	2	2	2	2	–	–	–
$S_V, м$	282,9	253,9	253,8	261,9	269,8	293,0	–	–	–

Таблиця Е2 – Тестова вибірка для перевірки якості навчання нейронної системи оцінювання відстані видимості дорожніх об'єктів в темну пору доби

$W, м$	161	169	165	167	167	164	167	167	168
K	0,08	0,08	0,08	0,08	0,1	0,1	0,1	0,1	0,25
$F, м$	1	3	5	7	1	3	5	7	1
BD	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$S_V, м$	38,7	41,4	41,6	42,3	40,8	41,8	43,2	43,5	49,0
$W, м$	164	160	170	168	168	166	168	169	170
K	0,25	0,25	0,25	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5

<i>F</i> , M	3	5	7	1	3	5	7	1	3
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_V</i> , M	50,0	50,2	52,6	55,8	57,8	58,6	59,6	60,2	62,6
<i>W</i> , M	165	163	169	170	168	162	163	162	164
<i>K</i>	0,5	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,84	0,84	0,84
<i>F</i> , M	5	7	1	3	5	7	1	3	5
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_V</i> , M	62,7	62,7	67,8	70,5	71,4	70,3	70,9	73,2	75,3
<i>W</i> , M	165	190	200	196	195	197	200	199	192
<i>K</i>	0,84	0,08	0,08	0,08	0,08	0,1	0,1	0,1	0,1
<i>F</i> , M	7	1	3	5	7	1	3	5	7
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_V</i> , M	76,2	43,0	45,9	46,3	46,6	45,2	47,3	48,2	47,5
<i>W</i> , M	192	191	191	198	196	191	191	199	190
<i>K</i>	0,25	0,25	0,25	0,25	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5
<i>F</i> , M	1	3	5	7	1	3	5	7	1
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_V</i> , M	53,2	55,0	56,2	57,9	61,5	62,7	64,0	66,2	64,8
<i>W</i> , M	198	194	198	196	195	195	196	195	190
<i>K</i>	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,84	0,84
<i>F</i> , M	3	5	7	1	3	5	7	1	3
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_V</i> , M	68,8	69,4	70,9	74,3	76,7	78,4	79,3	79,4	80,9
<i>W</i> , M	199	197	224	228	227	228	225	228	224
<i>K</i>	0,84	0,84	0,08	0,08	0,08	0,08	0,1	0,1	0,1
<i>F</i> , M	5	7	1	3	5	7	1	3	5
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_V</i> , M	85,0	85,2	47,4	49,6	50,5	51,0	48,9	51,1	51,6
<i>W</i> , M	230	227	224	229	224	221	227	222	226
<i>K</i>	0,1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,4	0,4	0,4	0,4
<i>F</i> , M	7	1	3	5	7	1	3	5	7
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_V</i> , M	52,8	58,8	60,4	62,5	62,2	66,0	69,4	70,0	71,3
<i>W</i> , M	228	226	224	228	221	223	226	230	221
<i>K</i>	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,84
<i>F</i> , M	1	3	5	7	1	3	5	7	1
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_V</i> , M	72,2	74,4	75,6	77,0	79,8	83,1	85,5	87,0	85,5
<i>W</i> , M	226	225	228	251	252	256	253	251	259
<i>K</i>	0,84	0,84	0,84	0,08	0,08	0,08	0,08	0,1	0,1
<i>F</i> , M	3	5	7	1	3	5	7	1	3
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_V</i> , M	89,7	91,3	92,8	50,5	52,4	54,0	54,1	52,0	54,8

<i>W, M</i>	250	251	250	252	258	257	257	260	252
<i>K</i>	0,1	0,1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,4	0,4	0,4
<i>F, M</i>	5	7	1	3	5	7	1	3	5
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_{V, M}</i>	54,9	55,5	62,0	64,5	66,7	67,1	71,8	74,8	75,1
<i>W, M</i>	260	259	259	258	254	255	250	260	251
<i>K</i>	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7
<i>F, M</i>	7	1	3	5	7	1	3	5	7
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_{V, M}</i>	77,0	77,4	80,2	81,7	81,7	86,4	88,5	92,4	91,4
<i>W, M</i>	253	250	258	258	284	282	284	286	290
<i>K</i>	0,84	0,84	0,84	0,84	0,08	0,08	0,08	0,08	0,1
<i>F, M</i>	1	3	5	7	1	3	5	7	1
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_{V, M}</i>	92,2	94,8	98,5	99,3	53,9	55,6	57,0	57,7	56,1
<i>W, M</i>	284	289	282	288	288	286	289	283	282
<i>K</i>	0,1	0,1	0,1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,4	0,4
<i>F, M</i>	3	5	7	1	3	5	7	1	3
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_{V, M}</i>	57,5	59,3	59,0	66,8	69,2	70,5	71,4	75,5	78,1
<i>W, M</i>	284	285	286	280	281	284	286	289	290
<i>K</i>	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	0,7
<i>F, M</i>	5	7	1	3	5	7	1	3	5
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<i>S_{V, M}</i>	80,0	80,8	81,6	83,6	85,5	86,7	91,8	95,6	97,8
<i>W, M</i>	285	287	287	289	280	161	169	165	167
<i>K</i>	0,7	0,84	0,84	0,84	0,84	0,08	0,08	0,08	0,08
<i>F, M</i>	7	1	3	5	7	1	3	5	7
<i>BD</i>	1	1	1	1	1	2	2	2	2
<i>S_{V, M}</i>	97,7	98,5	102,0	104,6	103,7	67,0	72,3	74,0	79,9
<i>W, M</i>	167	164	167	167	168	164	160	170	168
<i>K</i>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,25	0,25	0,25	0,25	0,4
<i>F, M</i>	1	3	5	7	1	3	5	7	1
<i>BD</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>S_{V, M}</i>	72,1	72,8	77,7	82,9	89,9	90,2	92,2	104,6	104,4
<i>W, M</i>	168	166	168	169	170	165	163	169	170
<i>K</i>	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7
<i>F, M</i>	3	5	7	1	3	5	7	1	3
<i>BD</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>S_{V, M}</i>	107,3	111,1	120,0	113,7	117,5	119,6	126,1	129,4	133,7
<i>W, M</i>	168	162	163	162	164	165	190	200	196
<i>K</i>	0,7	0,7	0,84	0,84	0,84	0,84	0,08	0,08	0,08
<i>F, M</i>	5	7	1	3	5	7	1	3	5

<i>BD</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>S_{V, M}</i>	138,5	142,6	134,3	137,2	145,6	156,3	79,1	85,5	87,9
<i>W, M</i>	195	197	200	199	192	192	191	191	198
<i>K</i>	0,08	0,1	0,1	0,1	0,1	0,25	0,25	0,25	0,25
<i>F, M</i>	7	1	3	5	7	1	3	5	7
<i>BD</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>S_{V, M}</i>	93,3	85,1	88,7	92,6	95,3	102,7	105,0	110,1	121,8
<i>W, M</i>	196	191	191	199	190	198	194	198	196
<i>K</i>	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7
<i>F, M</i>	1	3	5	7	1	3	5	7	1
<i>BD</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>S_{V, M}</i>	121,8	122,0	127,9	142,2	127,9	136,9	140,6	153,2	150,1
<i>W, M</i>	195	195	196	195	190	199	197	224	228
<i>K</i>	0,7	0,7	0,7	0,84	0,84	0,84	0,84	0,08	0,08
<i>F, M</i>	3	5	7	1	3	5	7	1	3
<i>BD</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>S_{V, M}</i>	153,4	160,8	172,5	160,7	160,9	176,7	186,6	93,2	97,5
<i>W, M</i>	227	228	225	228	224	230	227	224	229
<i>K</i>	0,08	0,08	0,1	0,1	0,1	0,1	0,25	0,25	0,25
<i>F, M</i>	5	7	1	3	5	7	1	3	5
<i>BD</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>S_{V, M}</i>	101,8	109,1	97,2	101,2	104,2	114,2	121,5	123,2	132,0
<i>W, M</i>	224	221	227	222	226	228	226	224	228
<i>K</i>	0,25	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5
<i>F, M</i>	7	1	3	5	7	1	3	5	7
<i>BD</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>S_{V, M}</i>	137,8	137,4	144,9	148,6	161,5	153,4	156,3	162,4	176,4
<i>W, M</i>	221	223	226	230	221	226	225	228	251
<i>K</i>	0,7	0,7	0,7	0,7	0,84	0,84	0,84	0,84	0,08
<i>F, M</i>	1	3	5	7	1	3	5	7	1
<i>BD</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>S_{V, M}</i>	169,2	175,4	186,4	202,4	182,2	191,4	199,8	216,0	104,4
<i>W, M</i>	252	256	253	251	259	250	251	250	252
<i>K</i>	0,08	0,08	0,08	0,1	0,1	0,1	0,1	0,25	0,25
<i>F, M</i>	3	5	7	1	3	5	7	1	3
<i>BD</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>S_{V, M}</i>	107,7	114,8	121,0	108,4	114,9	116,3	124,6	133,8	138,5
<i>W, M</i>	258	257	257	260	252	260	259	259	258
<i>K</i>	0,25	0,25	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5
<i>F, M</i>	5	7	1	3	5	7	1	3	5
<i>BD</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>S_{V, M}</i>	148,7	158,1	159,7	166,0	168,7	185,7	174,3	179,1	187,0
<i>W, M</i>	254	255	250	260	251	253	250	258	258

<i>K</i>	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,84	0,84	0,84	0,84
<i>F</i> , M	7	1	3	5	7	1	3	5	7
<i>BD</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>S_V</i> , M	196,5	195,2	196,6	214,4	220,9	208,5	211,7	229,1	244,4
<i>W</i> , M	284	282	284	286	290	284	289	282	288
<i>K</i>	0,08	0,08	0,08	0,08	0,1	0,1	0,1	0,1	0,25
<i>F</i> , M	1	3	5	7	1	3	5	7	1
<i>BD</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>S_V</i> , M	118,2	120,6	127,3	136,8	125,2	126,0	134,4	140,0	154,1
<i>W</i> , M	288	286	289	283	282	284	285	286	280
<i>K</i>	0,25	0,25	0,25	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5
<i>F</i> , M	3	5	7	1	3	5	7	1	3
<i>BD</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>S_V</i> , M	158,3	164,9	177,8	175,9	180,1	190,1	203,6	192,5	193,6
<i>W</i> , M	281	284	286	289	290	285	287	287	289
<i>K</i>	0,5	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,84	0,84	0,84
<i>F</i> , M	5	7	1	3	5	7	1	3	5
<i>BD</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>S_V</i> , M	203,7	219,7	219,0	227,3	239,2	250,8	236,5	243,0	256,6

Додаток Ж. Експериментальні дані з інерційного оцінювання ефективності гальмування транспортних засобів

Таблиця Ж.1 – Експериментальні дані з визначення ефективності гальмівних систем ТЗ, отримані за участі автора

Вимірювальний прилад	Тип, марка та рік виготовлення ТЗ, встановлені шини	Покриття, стан проїзної частини, завантаженість	Тип гальмівної системи, наявність ABS, ВА	Результати вимірювання сповільнення, м/с ²
VZM-300	Skoda Superb, 2005 р.в., зимові	Асфальтобетон, сухий, водій та 1пас.	Гідравлічна, з вакуумним підсилювачем, ABS, ВА	8,41
VZM-300	Mazda-6, 2008 р.в., зимові	Асфальтобетон, сухий, водій та 1пас.	Гідравлічна, з гідровакуумним підсилювачем, ABS, ВА	8,58
VZM-300	Hyundai IX-35, 2011 р.в., літні	Асфальтобетон, сухий, водій та 1пас.	Гідравлічна, з вакуумним підсилювачем та ABS	8,18
VZM-300	Skoda Superb II, 2011 р.в., літні	Асфальтобетон, сухий, водій та 1пас.	Гідравлічна, з вакуумним підсилювачем та ABS	8,21
VZM-300	Mitsubishi lancer Sport, 2010 р.в., літні	Асфальтобетон, сухий, водій та 1пас.	Гідравлічна, з вакуумним підсилювачем та ABS	7,91
VZM-300	Ford Kuga, 2009 р.в., літні	Асфальтобетон, сухий, водій та 1пас.	Гідравлічна, з вакуумним підсилювачем, ABS, ВА	9,06
VZM-300	Volvo-S40, 2005 р.в., літні	Асфальтобетон, сухий, водій та 1пас.	Гідравлічна, з вакуумним підсилювачем та ABS	8,12
VZM-300	Renault Scenic Grand, 2014 р.в., літні	Асфальтобетон, сухий, водій та 1пас.	Гідравлічна, з вакуумним підсилювачем, ABS, ВА	9,01
VZM-300	Citroen C4 Picasso, 2009 р.в., літні	Асфальтобетон, сухий, водій та 1пас.	Гідравлічна, з вакуумним підсилювачем та ABS	8,20

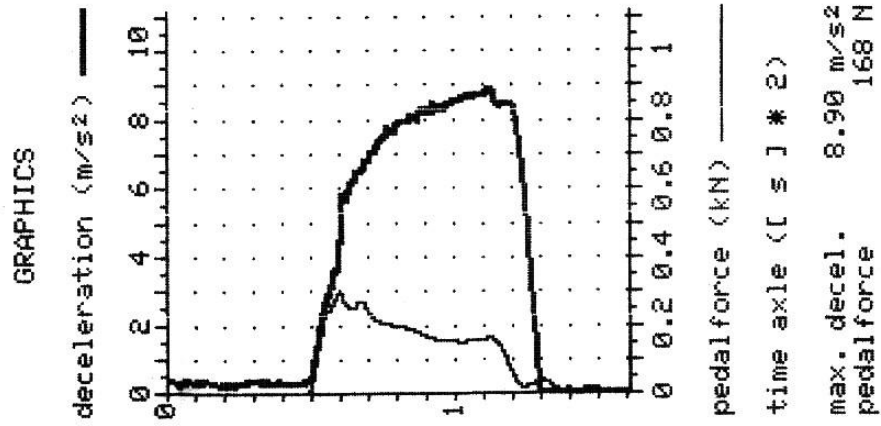
VZM-300	Toyota Land Cruiser Prado 150, 2011 р.в., літні	Асфальтобетон, сухий, водій та 1пас.	Гідравлічна, з вакуумним підсилювачем та ABS	7,96
VZM-300	Opel Astra, 2012 р.в., літні	Асфальтобетон, сухий, водій.	Гідравлічна, з вакуумним підсилювачем та ABS	8,39
VZM-300	Skoda Octavia A5, 2008 р.в., зимня	Асфальтобетон, сухий, водій та 1 пасажир, без вантажу	Гідравлічна, з вакуумним підсилювачем, ABS, ВА	9,05
VZM-300	Mercedes-Benz G500, 2000 р.в., літня.	Асфальтобетон, сухий, водій та 1пас.	Гідравлічна, з вакуумним підсилювачем, ABS, ВА	9,19
VZM-300	Mercedes-Benz 350S, 2004 р.в., літня.	Асфальтобетон, сухий, водій та 1пас.	Гідравлічна, з вакуумним підсилювачем та ABS	7,92
VZM-300	Skoda Octavia, 2009 р.в., літні	Асфальтобетон, сухий, водій та 1пас.	Гідравлічна, з гідровакуумним підсилювачем та ABS	8,24
VZM-300	Audi A6, 2010 р.в., літні.	Асфальтобетон, сухий, водій та 1пас.	Гідравлічна, з гідровакуумним підсилювачем та ABS	7,87
VZM-300	Skoda Octavia, 2008 р.в., літні	Асфальтобетон, сухий, водій та 1пас.	Гідравлічна, з гідровакуумним підсилювачем та ABS	8,20
VZM-300	Mitsubishi Lancer Sport, 2009 р.в., літні	Асфальтобетон, сухий, водій та 1пас.	Гідравлічна, з гідровакуумним підсилювачем та ABS	8,24
VZM-300	Audi A6, 2009 р.в., літні	Асфальтобетон, сухий, водій та 1пас.	Гідравлічна, з гідровакуумним підсилювачем	8,25
VZM-300	Toyota Land Cruiser, 2012 р.в., зимові неошип.	Асфальтобетон, сухий, водій та 1пас.	Гідравлічна, з гідровакуумним підсилювачем, ABS, ВА	8,84
VZM-300	Volvo-S40 2004р.в. шини літні.	Асфальтобетон сухий, без вантажу та пасажирів	Гідравлічна, з гідровакуумним підсилювачем та ABS	8,13
VZM-300	Volkswagen Touareg, 2012 р.в. шини літні.	Асфальтобетон сухий, без вантажу та пасажирів	Гідравлічна, з гідровакуумним підсилювачем, ABS, ВА	9,46

VZM-300	Mercedes-Benz S-500, 2005 р.в., літні	Асфальтобетон, мокрый, водій та 1 пас.	Гідравлічна, з гідровакуумним підсилювачем та ABS	8,05
VZM-300	Volkswagen Touareg, 2004 р.в., літні	Асфальто-бетон, сухий, водій та 1 пас.	Гідравлічна, з гідровакуумним підсилювачем та ABS	8,51
VZM-300	BMW-116i, 2012 р.в., шини літні.	Асфальтобетон сухий, без вантажу та пасажирів	Гідравлічна, з гідровакуумним підсилювачем та ABS	8,10
VZM-300	Audi A6, 2007р.в., шини літні.	Асфальтобетон, сухий, без вантажу, без пасажирів	Гідравлічна, з гідровакуумним підсилювачем, ABS, BA	9,37
VZM-300	Toyota RAV 4, 2004 р.в., Зимові неошиповані	Асфальтобетон, сухий, без вантажу, без пасажирів	Гідравлічна, з гідровакуумним підсилювачем, ABS, BA	8,94
VZM-300	Toyota Camry, 2007, Зимові неошиповані	Асфальтобетон, сухий, без вантажу, без пасажирів	Гідравлічна, з гідровакуумним підсилювачем, ABS, BA	10,35
VZM-300	Volkswagen Golf, 2008 р.в., Зимові неошиповані	Асфальтобетон, сухий, без вантажу, без пасажирів	Гідравлічна, з гідровакуумним підсилювачем, ABS, BA	10,18
VZM-300	Suzuki Swift, 2010р.в., шини зимові неошиповані	Асфальтобетон, сухий, без вантажу, один пасажир	Гідравлічна, з гідровакуумним підсилювачем, ABS, BA	8,91
VZM-300	Toyota Land-Cruiser, 2011 р.в., літні	асфальтобетон, сухий, без вантажу	Гідравлічна, з гідровакуумним підсилювачем, ABS, BA	9,21
VZM-300	Huandai-Sonata, 2009 р.в., літні	асфальтобетон, сухий, спуск 2 градуси, без вантажу	Гідравлічна, з гідровакуумним підсилювачем, ABS, BA	9,32
VZM-300	Volkswagen Touareg, 2007р.в., шини літні	асфальтобетон, сухий, без вантажу	Гідравлічна, з гідровакуумним підсилювачем, ABS, BA	9,46
VZM-300	Audi-A6, 2008р.в., шини літні	асфальтобетон, сухий, без вантажу	Гідравлічна, з підсилювачем, ABS, BA	9,63

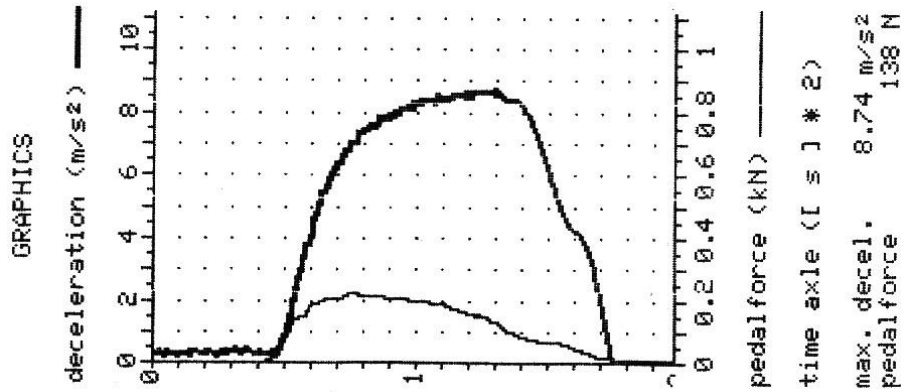
VZM-300	Nissan Qachqai, 2015р.в, шини літні	асфальтобетон, сухий, без вантаж	Гідравлічна, з гідровакуумним підсилювачем, ABS, BA	9,55
VZM-300	Volkswagen Touareg, 2013 р.в., шини літні	асфальтобетон, сухий, без вантаж	Гідравлічна, з гідровакуумним підсилювачем, ABS, BA	9,62
VZM-300	Audi A6, 2001р.в., шини літні	асфальтобетон, сухий, без вантаж	Гідравлічна, з підсилювачем, ABS	8,36
VZM-300	Renault Megane, 2005 р.в., літні	асфальтобетон, сухий, без вантаж	Гідравлічна, з підсилювачем, ABS, BA	9,35
VZM-300	Renault Megane, 2010 р.в., літні	асфальтобетон, сухий, без вантаж	Гідравлічна, з підсилювачем, ABS, BA	9,36
VZM-300	Renault Scenic, 2000р.в, зимові	асфальтобетон, сухий, без вантаж	Гідравлічна, з підсилювачем, ABS, BA	9,13
VZM-300	Renault Scenic, 2000.в, зимова	асфальтобетон, сухе, без вантажу	Гідравлічна, з підсилювачем, ABS, BA	9,17
VZM-300	BMW X6, 2015р.в., літні	асфальтобетон , сухе, без вантажу	Гідравлічна, з гідровакуумним підсилювачем, ABS, BA	9,57
VZM-300	Skoda Octavia, 2012р.в., літні	асфальтобетон , сухе, без вантажу	Гідравлічна, з підсилювачем, ABS, BA	9,27
VZM-300	Opel Zafira, 2005р.в., літні	асфальтобетон , сухе, без вантажу	Гідравлічна, з підсилювачем, ABS, BA	9,22
VZM-300	Volkswagen Passat, 2014р.в., літні	асфальтобетон , сухе, без вантажу	Гідравлічна, з підсилювачем, ABS, BA	9,58
VZM-300	Mercedes-Benz C180, 1998р.в, літня	асфальтобетон, сухий, без вантаж	Гідравлічна, з підсилювачем, ABS	8,07
VZM-300	Renault Megane, 2009р.в, літні	асфальтобетон, сухий, без вантаж	Гідравлічна, з підсилювачем, ABS, BA	9,46
VZM-300	Mitsubishi Lancer, 2008р.в, літні	асфальтобетон, сухий, без вантаж	Гідравлічна, з підсилювачем, ABS, BA	9,19

VZM-100	Москвич 412, 1981 р.в., літні	асфальтобетон, сухий, без вантажу	Гідравлічна, з підсилювачем	8,35
VZM-100	Daewoo Lanos 2007 р.в., літні	асфальтобетон, сухий, без вантажу	Гідравлічна, з підсилювачем, ABS	8,52
VZM-100	Mercedes Benz 212D	асфальтобетон, сухий, без вантажу	Гідравлічна, з підсилювачем, ABS	8,48
VZM-100	Daewoo Lanos, 2005р.в., зимові	вкатаний сніг, без вантажу	Гідравлічна, з підсилювачем	3,49
VZM-100	ВАЗ-2109, 1989 р.в., зимові	асфальтобетон, вологе, без вантажу	Гідравлічна, з підсилювачем	6,48
VZM-100	Skoda Octavia, 2008 р.в., зимові	вкатаний сніг, без вантажу	Гідравлічна, з підсилювачем, ABS	3,50
VZM-100	ЗАЗ-110557, 2003 р.в., зимові	вкатаний сніг, без вантажу	Гідравлічна, з підсилювачем	3,40
VZM-100	Daewoo Nexia, 2012 р.в., зимові	вологий асфальтобетон, без вантажу	Гідравлічна, з підсилювачем	5,52
VZM-100	Opel Vectra, 1991 р.в., зимові	вологий асфальтобетон, без вантажу	Гідравлічна, з підсилювачем	5,90
VZM-300	DAF-CF65.210, 2006р.в., дорожня	асфальтобетон, сухе, без вантажу	Пневматична, з підсилювачем, ABS	7,17
VZM-300	ГАЗ-4301, 1994р.в., дорожня	бруківка, сухе, без вантажу	Пневматична, з підсилювачем	5,36
VZM-300	Богдан А092, 2007 р.в., літні	Асфальтобетон, сухий, водій та 1 пасажир.	Гідравлічна, з вакуумним підсилювачем та ABS	6,95
VZM-300	MAN 12.220, 2001 р.в., всесезонні	асфальтобетон, сухий, без вантажу	Пневматична, ABS	6,56
VZM-300	автопоїзд з автомобілем MAN- TGA-18.360 та напівпричепом SCHMITZ, 2008 р.в., всесезонні	асфальтобетон, сухий, без вантажу	Пневматична, ABS	5,47

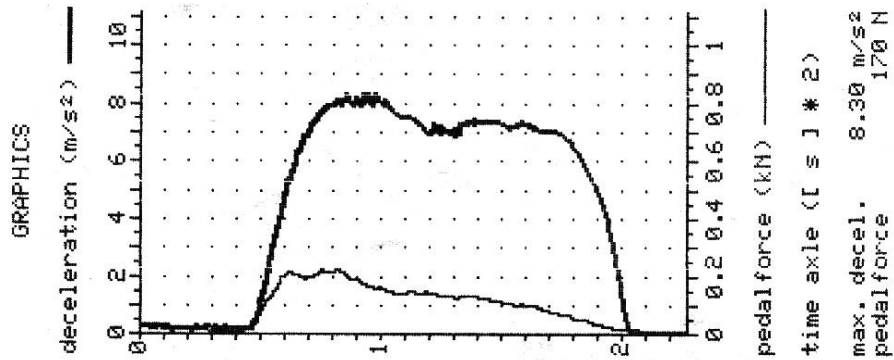
40 км/год



60 км/год



80 км/год



100 км/год

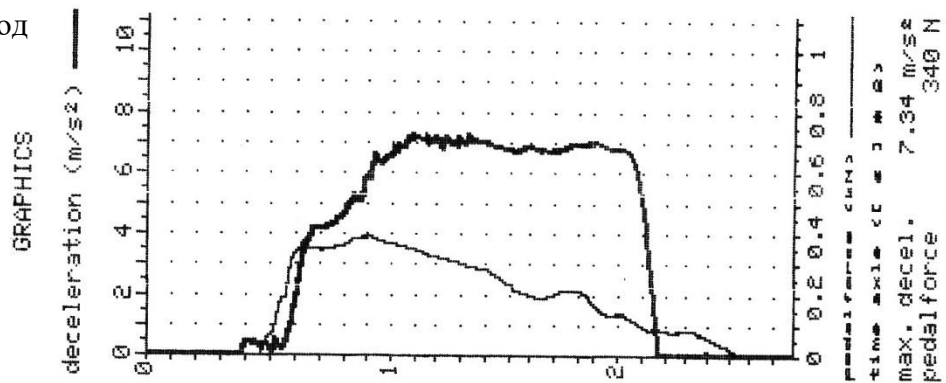
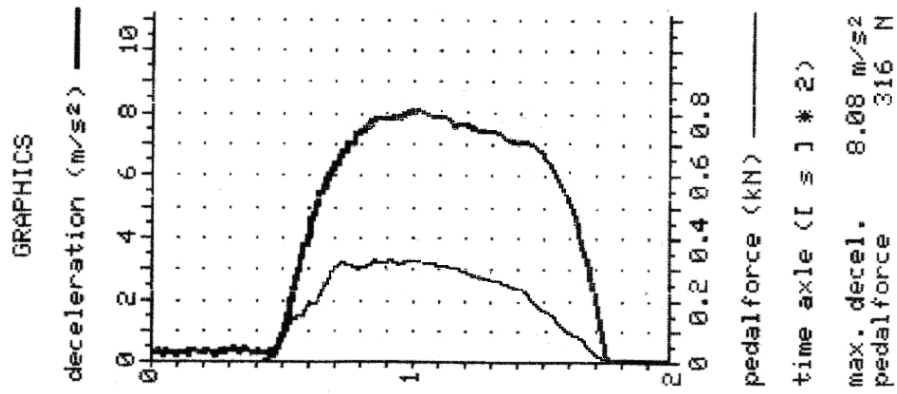
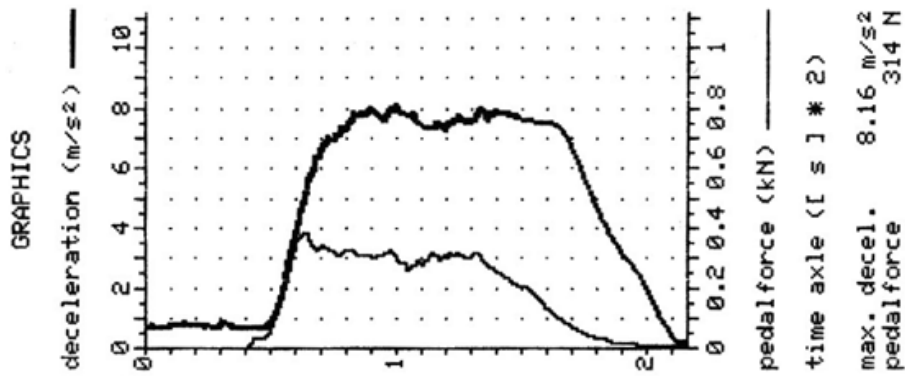


Рисунок Ж1 – Діаграми випробувань Daewoo Lanos, зафіксовані приладом VZM 100 для швидкостей 40, 60, 80 та 100 км/год

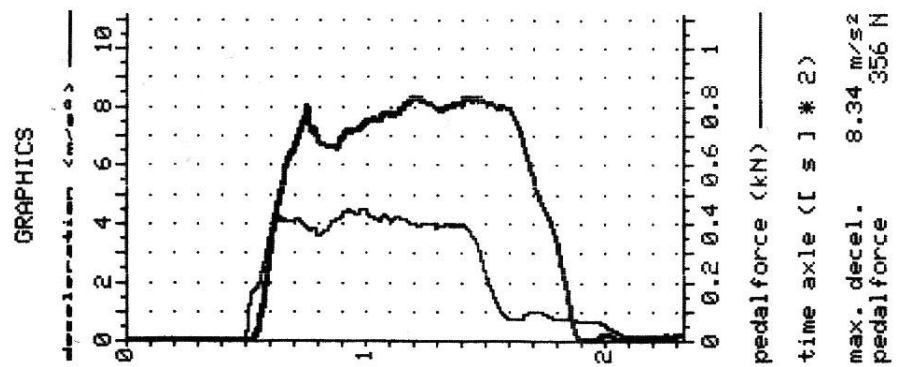
40 км/год



60 км/год



80 км/год



100 км/год

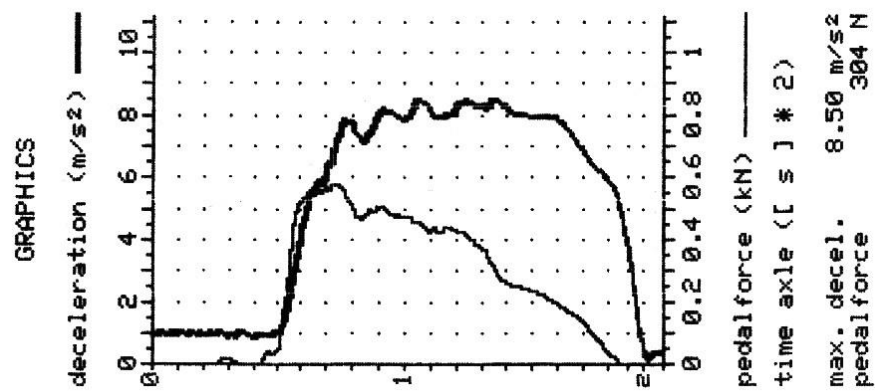
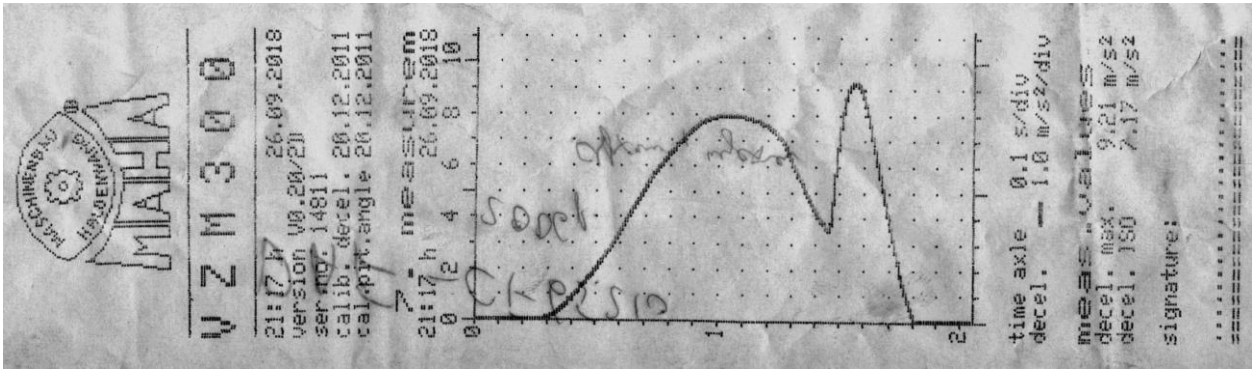
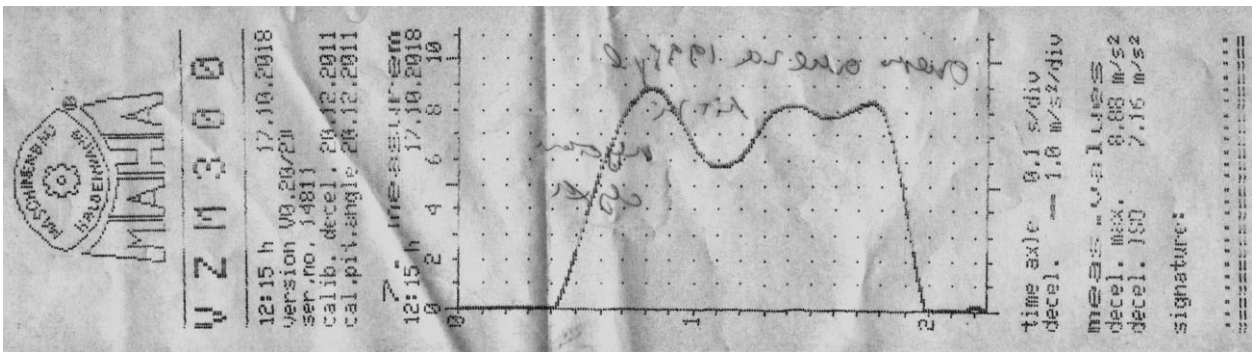


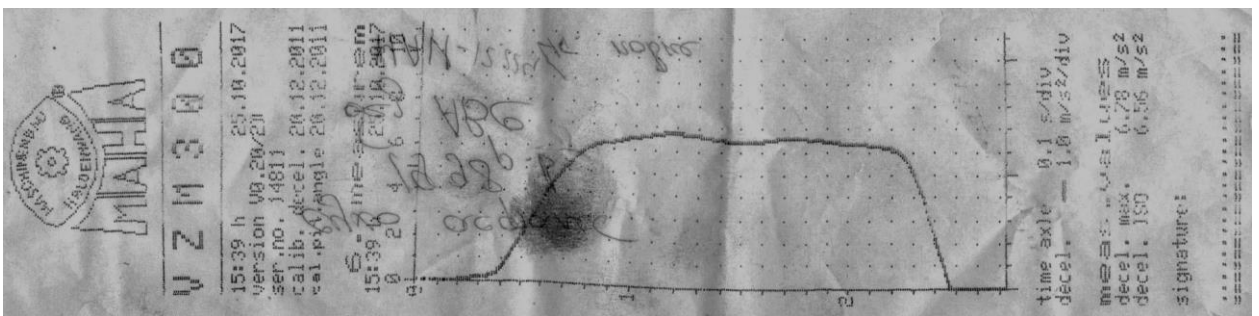
Рисунок Ж2 – Діаграми випробувань Mercedes Benz 212D, зафіксовані приладом VZM 100 для швидкостей 40, 60, 80 та 100 км/год



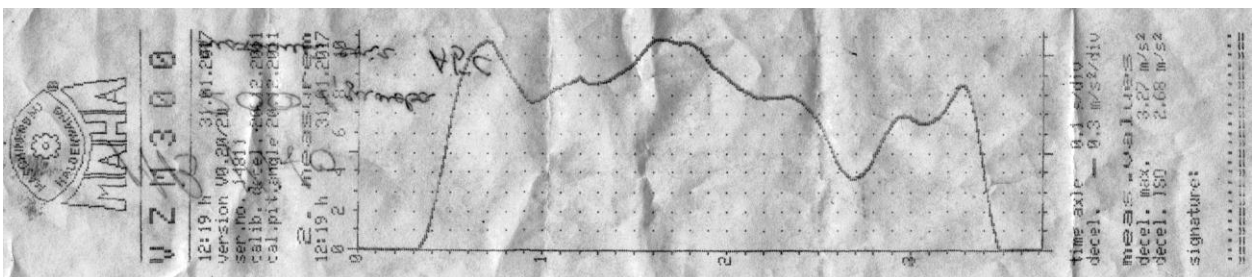
DAF-CF65.210



Opel Omega



MAN 12.220



Mercedes-Benz Vito

Рисунок ЖЗ – Приклади діаграм випробувань, зафіксованих VZM 300

Таблиця Ж2 – Навчальна вибірка (фрагмент) для нейро-нечіткої системи оцінювання коефіцієнта зчеплення автомобільних шин з дорожнім покриттям

Jq , б	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7
N , кг	150	750	625	450	325	150	750	625	450	325	150	750
V , км/год	20	20	40	60	80	100	100	130	20	40	60	60
BS , б	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2
φ	0,825	0,678	0,691	0,714	0,723	0,742	0,610	0,611	0,794	0,827	0,872	0,716
Jq , б	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9
N , кг	625	450	325	160	750	625	450	325	150	750	625	150
V , км/год	80	100	130	26	20	40	60	80	100	100	130	20
BS , б	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	1
φ	0,747	0,789	0,815	1,000	0,830	0,846	0,874	0,886	0,909	0,747	0,748	0,766
Jq , б	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
N , кг	750	625	450	325	150	750	625	450	325	150	750	625
V , км/год	20	40	60	80	100	100	130	20	40	60	60	80
BS , б	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
φ	0,629	0,641	0,662	0,671	0,689	0,566	0,567	0,737	0,767	0,809	0,664	0,693
Jq , б	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	7,85	7,85
N , кг	450	325	150	750	625	450	325	150	750	625	275	150
V , км/год	100	130	20	20	40	60	80	100	100	130	40	20
BS , б	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1
φ	0,732	0,756	0,938	0,770	0,785	0,811	0,822	0,844	0,693	0,694	0,627	0,668
Jq , б	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85
N , кг	750	625	450	325	150	750	625	450	325	150	750	625
V , км/год	20	40	60	80	100	100	130	20	40	60	60	80
BS , б	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
φ	0,548	0,559	0,578	0,585	0,601	0,493	0,494	0,643	0,669	0,705	0,579	0,604
Jq , б	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85	7,85	6,87	6,87
N , кг	450	325	150	750	625	450	325	150	750	625	325	150
V , км/год	100	130	20	20	40	60	80	100	100	130	80	20
BS , б	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	1
φ	0,639	0,659	0,818	0,672	0,685	0,708	0,717	0,736	0,604	0,605	0,584	0,584
Jq , б	6,87	6,87	6,87	6,87	6,87	6,87	6,87	6,87	6,87	6,87	6,87	6,87
N , кг	750	625	450	325	150	750	625	450	325	150	750	625
V , км/год	20	40	60	80	100	100	130	20	40	60	60	80
BS , б	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
φ	0,480	0,489	0,505	0,512	0,526	0,432	0,432	0,563	0,586	0,617	0,507	0,529
Jq , б	6,87	6,87	6,87	6,87	6,87	6,87	6,87	6,87	6,87	6,87	5,89	5,89
N , кг	450	325	150	750	625	450	325	150	750	625	725	150
V , км/год	100	130	20	20	40	60	80	100	100	130	80	20
BS , б	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1
φ	0,559	0,577	0,716	0,588	0,599	0,619	0,627	0,644	0,529	0,530	0,384	0,501

$Jq, \text{ б}$	5,89	5,89	5,89	5,89	5,89	5,89	5,89	5,89	5,89	5,89	5,89	5,89
$N, \text{ кг}$	750	625	450	325	150	750	625	450	325	150	750	625
$V, \text{ км/год}$	20	40	60	80	100	100	130	20	40	60	60	80
$BS, \text{ б}$	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
φ	0,411	0,419	0,433	0,439	0,451	0,370	0,371	0,482	0,502	0,529	0,435	0,453
$Jq, \text{ б}$	5,89	5,89	5,89	5,89	5,89	5,89	5,89	5,89	5,89	5,89	4,91	4,91
$N, \text{ кг}$	450	325	150	750	625	450	325	150	750	625	475	150
$V, \text{ км/год}$	100	130	20	20	40	60	80	100	100	130	80	20
$BS, \text{ б}$	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
φ	0,479	0,495	0,614	0,504	0,514	0,531	0,538	0,552	0,453	0,454	0,427	0,418
$Jq, \text{ б}$	4,91	4,91	4,91	4,91	4,91	4,91	4,91	4,91	4,91	4,91	4,91	4,91
$N, \text{ кг}$	750	625	450	325	150	750	625	450	325	150	750	625
$V, \text{ км/год}$	20	40	60	80	100	100	130	20	40	60	60	80
$BS, \text{ б}$	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
φ	0,343	0,350	0,361	0,366	0,376	0,309	0,309	0,402	0,419	0,441	0,362	0,378
$Jq, \text{ б}$	4,91	4,91	4,91	4,91	4,91	4,91	4,91	4,91	4,91	4,91	3,92	3,92
$N, \text{ кг}$	450	325	150	750	625	450	325	150	750	625	325	150
$V, \text{ км/год}$	100	130	20	20	40	60	80	100	100	130	80	20
$BS, \text{ б}$	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	1
φ	0,399	0,412	0,512	0,420	0,428	0,443	0,448	0,460	0,378	0,379	0,333	0,333
$Jq, \text{ б}$	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92
$N, \text{ кг}$	750	625	450	325	150	750	625	450	325	150	750	625
$V, \text{ км/год}$	20	40	60	80	100	100	130	20	40	60	60	80
$BS, \text{ б}$	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
φ	0,274	0,279	0,288	0,292	0,300	0,246	0,247	0,321	0,334	0,352	0,289	0,302
$Jq, \text{ б}$	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	3,92	2,94	2,94
$N, \text{ кг}$	450	325	150	750	625	450	325	150	750	625	150	750
$V, \text{ км/год}$	100	130	20	20	40	60	80	100	100	130	20	20
$BS, \text{ б}$	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1
φ	0,319	0,329	0,408	0,335	0,342	0,353	0,358	0,368	0,302	0,302	0,250	0,205
$Jq, \text{ б}$	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94
$N, \text{ кг}$	625	450	325	150	750	625	450	325	150	750	625	450
$V, \text{ км/год}$	40	60	80	100	100	130	20	40	60	60	80	100
$BS, \text{ б}$	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
φ	0,209	0,216	0,219	0,225	0,185	0,185	0,241	0,251	0,264	0,217	0,226	0,239
$Jq, \text{ б}$	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	2,94	1,96	1,96	1,96
$N, \text{ кг}$	325	150	750	625	450	325	150	750	625	150	750	625
$V, \text{ км/год}$	130	20	20	40	60	80	100	100	130	20	20	40
$BS, \text{ б}$	2	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1
φ	0,247	0,306	0,252	0,256	0,265	0,269	0,276	0,226	0,227	0,167	0,137	0,140
$Jq, \text{ б}$	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96
$N, \text{ кг}$	450	325	150	750	625	450	325	150	750	625	450	325
$V, \text{ км/год}$	60	80	100	100	130	20	40	60	60	80	100	130

<i>BS</i> , б	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
φ	0,144	0,146	0,150	0,123	0,123	0,161	0,167	0,176	0,145	0,151	0,159	0,165
<i>Jq</i> , б	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,96	1,08	1,08	1,08	1,08
<i>N</i> , кг	150	750	625	450	325	150	750	625	150	750	625	450
<i>V</i> , км/год	20	20	40	60	80	100	100	130	20	20	40	60
<i>BS</i> , б	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1
φ	0,204	0,168	0,171	0,177	0,179	0,184	0,151	0,151	0,092	0,075	0,077	0,079
<i>Jq</i> , б	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08
<i>N</i> , кг	325	150	750	625	450	325	150	750	625	450	325	150
<i>V</i> , км/год	80	100	100	130	20	40	60	60	80	100	130	20
<i>BS</i> , б	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	3
φ	0,081	0,083	0,068	0,068	0,088	0,092	0,097	0,080	0,083	0,088	0,091	0,113
<i>Jq</i> , б	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	1,08	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
<i>N</i> , кг	750	625	450	325	150	750	625	150	750	625	450	325
<i>V</i> , км/год	20	40	60	80	100	100	130	20	20	40	60	80
<i>BS</i> , б	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1
φ	0,092	0,094	0,097	0,099	0,101	0,083	0,083	0,030	0,024	0,025	0,026	0,026
<i>Jq</i> , б	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
<i>N</i> , кг	450	325	150	750	625	450	150	750	625	450	325	150
<i>V</i> , км/год	20	40	60	60	80	100	20	20	40	60	80	100
<i>BS</i> , б	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
φ	0,029	0,030	0,031	0,026	0,027	0,028	0,036	0,030	0,031	0,032	0,032	0,033

Таблиця ЖЗ – Тестова вибірка (фрагмент) для перевірки якості навчання нейро-нечіткої системи оцінювання коефіцієнта зчеплення автомобільних шин з дорожнім покриттям

<i>Jq</i> , б	9,35	9,35	9,35	9,35	9,35	9,35	9,35	9,35	9,35	9,35	9,35	9,35
<i>N</i> , кг	450	325	150	750	625	450	325	150	750	625	450	325
<i>V</i> , км/год	20	40	60	60	80	100	130	20	20	40	60	80
<i>BS</i> , б	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
φ	0,724	0,735	0,755	0,620	0,631	0,652	0,650	0,841	0,691	0,722	0,765	0,795
<i>Jq</i> , б	9,35	9,35	9,35	9,35	9,35	9,35	9,35	9,35	9,35	9,35	8,34	8,34
<i>N</i> , кг	150	750	625	450	325	150	750	625	450	325	450	325
<i>V</i> , км/год	100	100	130	20	40	60	60	80	100	130	20	40
<i>BS</i> , б	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	1	1
φ	0,835	0,686	0,711	0,887	0,900	0,925	0,760	0,773	0,798	0,796	0,646	0,656
<i>Jq</i> , б	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34	8,34
<i>N</i> , кг	650	150	750	625	450	325	150	750	625	450	325	150
<i>V</i> , км/год	100	60	60	80	100	130	20	20	40	60	80	100
<i>BS</i> , б	3	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
φ	0,665	0,674	0,553	0,563	0,581	0,580	0,750	0,616	0,644	0,682	0,709	0,745

<i>N</i> , кг	450	325	450	325	150	750	625	450	325	150	750	625
<i>V</i> , км/год	100	130	20	40	60	60	80	100	130	20	20	40
<i>BS</i> , б	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
φ	0,376	0,375	0,266	0,270	0,277	0,228	0,232	0,239	0,238	0,308	0,253	0,265
<i>Jq</i> , б	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43	3,43
<i>N</i> , кг	450	325	150	750	625	450	325	150	750	625	450	325
<i>V</i> , км/год	60	80	100	100	130	20	40	60	60	80	100	130
<i>BS</i> , б	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3
φ	0,281	0,291	0,306	0,252	0,261	0,325	0,330	0,339	0,279	0,284	0,293	0,292
<i>Jq</i> , б	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45
<i>N</i> , кг	450	325	150	750	625	450	325	150	750	625	450	325
<i>V</i> , км/год	20	40	60	60	80	100	130	20	20	40	60	80
<i>BS</i> , б	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
φ	0,190	0,193	0,198	0,163	0,165	0,171	0,170	0,220	0,181	0,189	0,200	0,208
<i>Jq</i> , б	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	1,47	1,47
<i>N</i> , кг	150	750	625	450	325	150	750	625	450	325	450	325
<i>V</i> , км/год	100	100	130	20	40	60	60	80	100	130	20	40
<i>BS</i> , б	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	1	1
φ	0,219	0,180	0,186	0,232	0,236	0,242	0,199	0,203	0,209	0,209	0,114	0,116
<i>Jq</i> , б	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47
<i>N</i> , кг	150	750	625	450	325	150	750	625	450	325	150	750
<i>V</i> , км/год	60	60	80	100	130	20	20	40	60	80	100	100
<i>BS</i> , б	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
φ	0,119	0,098	0,099	0,102	0,102	0,132	0,109	0,114	0,120	0,125	0,131	0,108
<i>Jq</i> , б	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	1,47	0,78	0,78	0,78	0,78
<i>N</i> , кг	625	450	325	150	750	625	450	325	250	450	325	150
<i>V</i> , км/год	130	20	40	60	60	80	100	130	60	20	40	60
<i>BS</i> , б	2	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1
φ	0,112	0,139	0,142	0,145	0,119	0,122	0,125	0,125	0,075	0,060	0,061	0,063
<i>Jq</i> , б	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
<i>N</i> , кг	750	625	450	325	150	750	625	450	325	150	750	625
<i>V</i> , км/год	60	80	100	130	20	20	40	60	80	100	100	130
<i>BS</i> , б	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2
φ	0,052	0,053	0,054	0,054	0,070	0,058	0,060	0,064	0,066	0,070	0,057	0,059

Додаток И. Експериментальні дані з оцінювання параметрів руху транспортних засобів при маневруванні

При проведенні випробувань з використанням мобільного реєстраційно-вимірювального комплексу ВДВММ 4-001 було отримано понад 60 тис. рядів даних щодо зміни прискорень (сповільнень) при маневруванні з гальмуванням по осям x, y, z. Фрагмент отриманої вибірки, який відображає зафіксовані величини прискорень та сповільнень, що розвивались автомобілем Reno Logan при об'їзді перешкоди з початковою швидкістю маневрування 70 км/год подано в таблиці И1.

Таблиця И1 – Зафіксовані величини прискорень та сповільнень, що розвивались автомобілем Reno Logan при об'їзді перешкоди з початковою швидкістю маневрування 70 км/год (див. рис. 4.25)

Час з початку запису, с	ДЛШ № 29093115, T=30°C			ДЛШ № 29093117, T=29°C		
	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2
201,60475	1,144848633	0,236865234	0,078955078	1,026416	0,236865	-0,23687
201,6185	1,302758789	0,118432617	-0,236865234	0,868506	0,394775	-0,59216
201,63225	1,223803711	0,315820313	0,868505859	0	0	-0,90798
201,646	1,184326172	0,236865234	-0,157910156	0,868506	0,15791	0,118433
201,661375	1,223803711	0,078955078	-0,513208008	0,907983	-0,03948	0,355298
201,67675	1,105371094	0,276342773	-0,157910156	1,026416	0,236865	-0,07896
201,692125	0,986938477	0,473730469	-0,671118164	0,947461	0,15791	-0,19739
201,7075	0,394775391	0,039477539	-0,43425293	0,829028	-0,03948	0,236865
201,722875	0,315820313	0,197387695	-0,986938477	1,026416	0,236865	-0,23687
201,73825	-0,236865234	0,118432617	-0,631640625	0,868506	0,394775	-0,59216
201,753625	0,039477539	0,197387695	-0,473730469	0	0	-0,90798
201,769	0,039477539	0,236865234	0,118432617	0,868506	0,15791	0,118433
201,782875	1,223803711	0,078955078	-0,513208008	0,078955	0,197388	-0,90798
201,79675	1,105371094	0,276342773	-0,157910156	-0,47373	0,197388	-1,42119
201,810625	0,986938477	0,473730469	-0,671118164	-0,23687	0,15791	-0,55269
201,8245	0,394775391	0,039477539	-0,43425293	-0,15791	0,15791	0,118433
201,838375	0,315820313	0,197387695	-0,986938477	-0,3553	0,236865	-0,51321
201,85225	-0,236865234	0,118432617	-0,631640625	-0,11843	0,236865	-0,15791
201,866125	0,039477539	0,197387695	-0,473730469	0,078955	0,276343	-0,3553
201,88	0,039477539	0,236865234	0,118432617	-0,15791	0,47373	-0,3553
201,8955	-0,157910156	0,355297852	-0,315820313	0,078955	0,197388	-0,90798
201,911	0,118432617	0,315820313	-0,394775391	-0,47373	0,197388	-1,42119
201,9265	0,197387695	0,394775391	0,197387695	-0,23687	0,15791	-0,55269
201,942	0	0,473730469	-0,236865234	-0,15791	0,15791	0,118433

201,9575	-0,276342773	0,473730469	-1,065893555	-0,3553	0,236865	-0,51321
201,973	-0,039477539	0,039477539	-0,947460938	-0,11843	0,236865	-0,15791
201,9885	-0,315820313	0,671118164	-0,789550781	0,078955	0,276343	-0,3553
202,004	-0,197387695	0,592163086	-0,750073242	-0,15791	0,47373	-0,3553
202,019625	0	0,315820313	0,355297852	-0,3553	0,039478	-0,63164
202,03525	0	0,631640625	1,223803711	-0,23687	0,671118	-0,15791
202,050875	0,039477539	0,552685547	0,986938477	-0,39478	0,47373	-0,03948
202,0665	0,118432617	0,552685547	1,579101563	-0,43425	0,236865	0,552686
202,082125	0,039477539	0,552685547	1,776489258	0	0,47373	0,197388
202,09775	-0,078955078	0,513208008	0,907983398	-0,27634	0,394775	1,105371
202,113375	-0,039477539	0,473730469	0,157910156	-0,15791	0,31582	1,855444
202,129	-0,039477539	0,907983398	0,631640625	-0,19739	0,394775	1,658057
202,1425	0	0,315820313	0,355297852	-0,23687	0,47373	0,750073
202,156	0	0,631640625	1,223803711	-0,3553	0,31582	1,026416
202,1695	0,039477539	0,552685547	0,986938477	-0,19739	0,789551	0,947461
202,183	0,118432617	0,552685547	1,579101563	-0,55269	0,355298	0,236865
202,1965	0,039477539	0,552685547	1,776489258	-0,3553	0,671118	0,039478
202,21	-0,078955078	0,513208008	0,907983398	-0,11843	0,592163	-0,15791
202,2235	-0,039477539	0,473730469	0,157910156	-0,19739	0,592163	-0,07896
202,237	-0,039477539	0,907983398	0,631640625	-0,3553	0,829028	-0,78955
202,25275	-0,039477539	0,394775391	0,750073242	-0,23687	0,47373	0,750073
202,2685	0,078955078	0,592163086	0,197387695	-0,3553	0,31582	1,026416
202,28425	0,078955078	0,592163086	0,197387695	-0,19739	0,789551	0,947461
202,3	-0,118432617	0,631640625	-0,710595703	-0,55269	0,355298	0,236865
202,31575	-0,43425293	0,907983398	-0,789550781	-0,3553	0,671118	0,039478
202,3315	-0,118432617	0,82902832	-0,868505859	-0,11843	0,592163	-0,15791
202,34725	-0,355297852	0,710595703	-1,184326172	-0,19739	0,592163	-0,07896
202,363	-0,118432617	0,750073242	0	-0,3553	0,829028	-0,78955
202,376625	-0,039477539	0,394775391	0,750073242	-0,27634	0,750073	-0,3553
202,39025	0,078955078	0,592163086	0,197387695	-0,3553	0,710596	-0,3553
202,403875	0,078955078	0,592163086	0,197387695	-0,15791	0,671118	-0,07896
202,4175	-0,118432617	0,631640625	-0,710595703	-0,27634	0,829028	-0,43425
202,431125	-0,43425293	0,907983398	-0,789550781	-0,23687	0,355298	0,31582
202,44475	-0,118432617	0,82902832	-0,868505859	-0,27634	0,394775	0,118433
202,458375	-0,355297852	0,710595703	-1,184326172	-0,27634	0,394775	0,118433
202,472	-0,118432617	0,750073242	0	-0,27634	0,434253	0,236865
202,487625	-0,394775391	0,868505859	0,078955078	-0,27634	0,750073	-0,3553
202,50325	-0,039477539	0,513208008	0,552685547	-0,3553	0,710596	-0,3553
202,518875	-0,197387695	0,789550781	0,078955078	-0,15791	0,671118	-0,07896
202,5345	-0,118432617	0,513208008	-0,671118164	-0,27634	0,829028	-0,43425
202,550125	-0,355297852	0,513208008	0,197387695	-0,23687	0,355298	0,31582
202,56575	-0,276342773	0,789550781	0,592163086	-0,27634	0,394775	0,118433
202,581375	-0,315820313	0,592163086	0	-0,27634	0,394775	0,118433
202,597	0,157910156	0,157910156	-0,631640625	-0,27634	0,434253	0,236865
202,612625	-0,157910156	0,355297852	0,118432617	-0,19739	0,789551	-0,94746
202,62825	-0,355297852	0,592163086	-0,552685547	-0,51321	0,434253	0,750073
202,643875	-0,039477539	0,197387695	-0,276342773	-0,11843	0,118433	-0,15791
202,6595	-0,118432617	0,197387695	-0,592163086	-0,27634	0,355298	-0,51321
202,675125	-0,197387695	0,592163086	-0,986938477	-0,39478	0,513208	-1,02642
202,69075	-0,078955078	0,315820313	-0,592163086	-0,15791	0,15791	-0,47373
202,706375	-0,118432617	0,118432617	0,078955078	-0,39478	0,197388	-0,63164
202,722	-0,197387695	0,552685547	-0,078955078	-0,27634	0,47373	-0,7106
202,7375	-0,157910156	0,355297852	0,118432617	-0,15791	0,276343	-0,59216
202,753	-0,355297852	0,592163086	-0,552685547	-0,55269	0,15791	-0,3553
202,7685	-0,039477539	0,197387695	-0,276342773	-0,15791	0,513208	-0,23687

202,784	-0,118432617	0,197387695	-0,592163086	-0,43425	-0,07896	0,118433
202,7995	-0,197387695	0,592163086	-0,986938477	-0,51321	0,276343	-0,55269
202,815	-0,078955078	0,315820313	-0,592163086	-0,63164	0,31582	-0,67112
202,8305	-0,118432617	0,118432617	0,078955078	-0,90798	0,039478	0,197388
202,846	-0,197387695	0,552685547	-0,078955078	-1,06589	0,197388	0,118433
202,85975	-0,078955078	0,315820313	0,039477539	-0,15791	0,276343	-0,59216
202,8735	-0,078955078	0,276342773	0,473730469	-0,55269	0,15791	-0,3553
202,88725	-0,039477539	0,039477539	0,592163086	-0,15791	0,513208	-0,23687
202,901	-0,197387695	0,236865234	0,276342773	-0,43425	-0,07896	0,118433
202,91475	-0,355297852	0,43425293	0,43425293	-0,51321	0,276343	-0,55269
202,9285	-0,118432617	0,592163086	0,276342773	-0,63164	0,31582	-0,67112
202,94225	-0,236865234	0,631640625	0,750073242	-0,90798	0,039478	0,197388
202,956	-0,197387695	0,552685547	-0,078955078	-1,06589	0,197388	0,118433
202,971625	-0,078955078	0,315820313	0,039477539	-1,06589	0,592163	0,197388
202,98725	-0,078955078	0,276342773	0,473730469	-1,34224	0,592163	0,236865
203,002875	-0,039477539	0,039477539	0,592163086	-1,30276	0,986938	0,15791
203,0185	-0,197387695	0,236865234	0,276342773	-1,50015	1,302759	0,118433
203,034125	-0,355297852	0,43425293	0,43425293	-1,77649	1,658057	0,039478
203,04975	-0,118432617	0,592163086	0,276342773	-2,01335	1,855444	0,236865
203,065375	-0,236865234	0,631640625	0,750073242	-2,05283	2,171265	0,31582
203,081	-0,197387695	0,552685547	-0,078955078	-1,06589	0,197388	0,118433
203,096625	-0,394775391	1,026416016	0,552685547	-1,06589	0,592163	0,197388
203,11225	-0,473730469	1,26328125	0,710595703	-1,34224	0,592163	0,236865
203,127875	-1,065893555	1,69753418	-0,118432617	-1,30276	0,986938	0,15791
203,1435	-1,026416016	1,855444336	-0,197387695	-1,50015	1,302759	0,118433
203,159125	-1,460668945	2,289697266	0,197387695	-1,77649	1,658057	0,039478
203,17475	-1,579101563	2,605517578	-0,236865234	-2,01335	1,855444	0,236865
203,190375	-1,658056641	3,039770508	1,26328125	-2,05283	2,171265	0,31582
203,206	-1,618579102	3,197680664	0,197387695	-1,06589	0,197388	0,118433
203,2215	-1,776489258	4,263574219	0,039477539	-2,21074	2,644995	0,750073
203,237	-1,776489258	4,263574219	0,039477539	-1,81597	2,921338	0,986938
203,2525	-1,618579102	4,303051758	-0,513208008	-2,13179	3,079248	1,144849
203,268	-1,815966797	4,342529297	0,039477539	-2,13179	3,276636	0,907983
203,2835	-1,934399414	4,658349609	0,276342773	-1,42119	3,710889	0,907983
203,299	-1,618579102	4,460961914	-0,473730469	-1,9344	4,145142	0,355298
203,3145	-2,013354492	5,053125	0	-1,77649	4,066187	0,15791
203,33	-2,013354492	5,053125	-0,118432617	-1,89492	4,145142	1,381714
203,3455	-1,776489258	4,263574219	0,039477539	-1,69753	4,263574	0,750073
203,361	-1,776489258	4,263574219	0,039477539	-1,50015	4,776782	0,829028
203,3765	-1,618579102	4,303051758	-0,513208008	-1,5791	4,895215	0,355298
203,392	-1,815966797	4,342529297	0,039477539	-1,5791	4,737305	0,15791
203,4075	-1,934399414	4,658349609	0,276342773	-1,38171	5,013647	-0,67112
203,423	-1,618579102	4,460961914	-0,473730469	-1,38171	5,013647	-0,67112
203,4385	-2,013354492	5,053125	0	-1,46067	4,737305	0,750073
203,454	-2,013354492	5,053125	-0,118432617	-1,53962	4,697827	1,184326
203,469625	-2,013354492	4,934692383	-0,592163086	-1,69753	4,263574	0,750073
203,48525	-2,171264648	5,211035156	-0,197387695	-1,50015	4,776782	0,829028
203,500875	-2,09230957	5,250512695	-0,710595703	-1,5791	4,895215	0,355298
203,5165	-2,250219727	5,013647461	-0,236865234	-1,5791	4,737305	0,15791
203,532125	-2,368652344	4,974169922	-0,276342773	-1,38171	5,013647	-0,67112
203,54775	-2,210742188	4,737304688	-0,039477539	-1,38171	5,013647	-0,67112
203,563375	-2,131787109	4,658349609	0,197387695	-1,46067	4,737305	0,750073
203,579	-2,289697266	4,460961914	0,197387695	-1,53962	4,697827	1,184326
203,59275	-2,013354492	4,934692383	-0,592163086	-1,38171	4,579395	0,513208
203,6065	-2,171264648	5,211035156	-0,197387695	-1,42119	4,460962	0,592163

203,62025	-2,09230957	5,250512695	-0,710595703	-1,42119	4,263574	0,197388
203,634	-2,250219727	5,013647461	-0,236865234	-1,2238	4,303052	0,31582
203,64775	-2,368652344	4,974169922	-0,276342773	-1,73701	3,552979	0,592163
203,6615	-2,210742188	4,737304688	-0,039477539	-1,42119	3,592456	0,513208
203,67525	-2,131787109	4,658349609	0,197387695	-1,85544	3,237158	0,710596
203,689	-2,289697266	4,460961914	0,197387695	-2,17126	3,039771	0,513208
203,704625	-2,368652344	4,500439453	0,355297852	-1,38171	4,579395	0,513208
203,72025	-2,329174805	3,750366211	-0,078955078	-1,42119	4,460962	0,592163
203,735875	-2,329174805	3,750366211	0	-1,42119	4,263574	0,197388
203,7515	-2,644995117	3,395068359	0,078955078	-1,2238	4,303052	0,31582
203,767125	-2,96081543	3,237158203	-0,789550781	-1,73701	3,552979	0,592163
203,78275	-3,039770508	3,000292969	0,118432617	-1,42119	3,592456	0,513208
203,798375	-2,96081543	2,408129883	-0,513208008	-1,85544	3,237158	0,710596
203,814	-3,000292969	2,368652344	-0,078955078	-2,17126	3,039771	0,513208
203,829625	-2,96081543	2,171264648	0	-2,01335	2,960815	-0,07896
203,84525	-2,881860352	1,658056641	-0,315820313	-2,32917	2,329175	0,750073
203,860875	-2,921337891	1,421191406	0,236865234	-2,21074	2,210742	0,078955
203,8765	-2,921337891	0,671118164	0,592163086	-2,17126	2,171265	-0,23687
203,892125	-2,566040039	0,276342773	0,394775391	-2,21074	1,539624	0
203,90775	-2,684472656	-0,078955078	0,118432617	-2,17126	1,342236	-0,03948
203,923375	-2,644995117	-0,315820313	0,552685547	-2,52656	0,671118	-0,07896
203,939	-2,723950195	-0,552685547	1,105371094	-2,48708	0,276343	-0,07896
203,954625	-2,96081543	2,171264648	0	-2,52656	-0,03948	-0,15791
203,97025	-2,881860352	1,658056641	-0,315820313	-2,60552	-0,27634	-0,23687
203,985875	-2,921337891	1,421191406	0,236865234	-2,68447	-0,43425	0
204,0015	-2,921337891	0,671118164	0,592163086	-2,80291	-0,82903	-0,3553
204,017125	-2,566040039	0,276342773	0,394775391	-2,645	-1,06589	0
204,03275	-2,684472656	-0,078955078	0,118432617	-2,88186	-0,86851	-0,07896
204,048375	-2,644995117	-0,315820313	0,552685547	-2,76343	-0,90798	-0,23687
204,064	-2,723950195	-0,552685547	1,105371094	-2,68447	-0,75007	0
204,079375	-2,605517578	-0,986938477	0,552685547	-2,52656	-0,03948	-0,15791
204,09475	-2,329174805	-1,144848633	1,026416016	-2,60552	-0,27634	-0,23687
204,110125	-2,684472656	-0,947460938	-0,157910156	-2,68447	-0,43425	0
204,1255	-2,644995117	-1,026416016	0,039477539	-2,80291	-0,82903	-0,3553
204,140875	-2,605517578	-0,82902832	0,078955078	-2,645	-1,06589	0
204,15625	-2,605517578	-0,868505859	0,513208008	-2,88186	-0,86851	-0,07896
204,171625	-2,487084961	-0,907983398	0,394775391	-2,76343	-0,90798	-0,23687
204,187	-2,605517578	-0,868505859	-0,118432617	-2,68447	-0,75007	0
204,20075	-2,605517578	-0,986938477	0,552685547	-2,72395	-0,75007	-0,31582
204,2145	-2,329174805	-1,144848633	1,026416016	-2,48708	-0,86851	0,197388
204,22825	-2,684472656	-0,947460938	-0,157910156	-2,60552	-0,78955	-0,27634
204,242	-2,644995117	-1,026416016	0,039477539	-2,76343	-0,90798	0,197388
204,25575	-2,605517578	-0,82902832	0,078955078	-2,88186	-0,94746	0,078955
204,2695	-2,605517578	-0,868505859	0,513208008	-3,03977	-0,98694	-0,03948
204,28325	-2,487084961	-0,907983398	0,394775391	-2,80291	-0,78955	-0,27634
204,297	-2,605517578	-0,868505859	-0,118432617	-3,00029	-0,94746	-0,3553
204,312625	-2,644995117	-0,986938477	0,355297852	-2,72395	-0,75007	-0,31582
204,32825	-2,644995117	-0,986938477	0,355297852	-2,48708	-0,86851	0,197388
204,343875	-2,802905273	-1,105371094	0,276342773	-2,60552	-0,78955	-0,27634
204,3595	-2,802905273	-0,907983398	0,592163086	-2,76343	-0,90798	0,197388
204,375125	-2,802905273	-1,065893555	-0,118432617	-2,88186	-0,94746	0,078955
204,39075	-2,921337891	-1,223803711	-0,276342773	-3,03977	-0,98694	-0,03948
204,406375	-2,881860352	-1,144848633	0,592163086	-2,80291	-0,78955	-0,27634
204,422	-3,039770508	-0,82902832	0,513208008	-3,00029	-0,94746	-0,3553
204,437625	-2,881860352	-0,986938477	0,236865234	-3,03977	-1,14485	0,513208

204,45325	-2,921337891	-0,750073242	0	-3,03977	-0,98694	0,039478
204,468875	-3,197680664	-0,513208008	-0,315820313	-3,07925	-0,67112	0,236865
204,4845	-3,158203125	-0,473730469	0,039477539	-3,07925	-0,82903	0
204,500125	-3,158203125	-0,947460938	-0,750073242	-3,07925	-0,43425	-0,47373
204,51575	-3,276635742	-0,631640625	0,394775391	-3,07925	-0,43425	-0,47373
204,531375	-3,079248047	-0,907983398	0,078955078	-2,96082	-0,3553	-0,47373
204,547	-3,513500977	-0,394775391	0	-3,39507	-0,78955	0,118433
204,562625	-2,881860352	-0,986938477	0,236865234	-3,23716	-0,47373	-0,19739
204,57825	-2,921337891	-0,750073242	0	-3,27664	-0,78955	-0,07896
204,593875	-3,197680664	-0,513208008	-0,315820313	-3,31611	-0,3553	-0,15791
204,6095	-3,158203125	-0,473730469	0,039477539	-3,39507	-0,75007	0,236865
204,625125	-3,158203125	-0,947460938	-0,750073242	-3,5135	-0,82903	0,15791
204,64075	-3,276635742	-0,631640625	0,394775391	-3,63193	-0,63164	-0,3553
204,656375	-3,079248047	-0,907983398	0,078955078	-3,59246	-0,82903	0,078955
204,672	-3,513500977	-0,394775391	0	-3,5135	-0,98694	0,47373
204,6855	-3,395068359	-0,868505859	0,157910156	-3,23716	-0,47373	-0,19739
204,699	-3,434545898	-0,907983398	0,078955078	-3,27664	-0,78955	-0,07896
204,7125	-3,631933594	-0,789550781	-0,118432617	-3,31611	-0,3553	-0,15791
204,726	-3,395068359	-0,986938477	0,078955078	-3,39507	-0,75007	0,236865
204,7395	-3,434545898	-1,105371094	0,552685547	-3,5135	-0,82903	0,15791
204,753	-3,631933594	-0,789550781	0,276342773	-3,63193	-0,63164	-0,3553
204,7665	-3,710888672	-0,82902832	0,394775391	-3,59246	-0,82903	0,078955
204,78	-3,631933594	-1,105371094	0,43425293	-3,5135	-0,98694	0,47373
204,795625	-3,395068359	-0,868505859	0,157910156	-3,59246	-0,7106	0,276343
204,81125	-3,434545898	-0,907983398	0,078955078	-3,71089	-0,98694	0,434253
204,826875	-3,631933594	-0,789550781	-0,118432617	-3,67141	-0,94746	0,31582
204,8425	-3,395068359	-0,986938477	0,078955078	-3,82932	-0,90798	0,868506
204,858125	-3,434545898	-1,105371094	0,552685547	-3,75037	-0,75007	0,118433
204,87375	-3,631933594	-0,789550781	0,276342773	-3,71089	-0,86851	-0,07896
204,889375	-3,710888672	-0,82902832	0,394775391	-3,82932	-0,86851	-0,47373
204,905	-3,631933594	-1,105371094	0,43425293	-3,5135	-0,98694	0,47373
204,92075	-3,671411133	-0,986938477	0,276342773	-3,59246	-0,7106	0,276343
204,9365	-3,78984375	-0,868505859	1,144848633	-3,71089	-0,98694	0,434253
204,95225	-3,750366211	-1,026416016	0,118432617	-3,67141	-0,94746	0,31582
204,968	-3,868798828	-1,026416016	-0,513208008	-3,82932	-0,90798	0,868506
204,98375	-3,750366211	-1,26328125	-0,986938477	-3,75037	-0,75007	0,118433
204,9995	-3,829321289	-0,947460938	0,631640625	-3,71089	-0,86851	-0,07896
205,01525	-3,908276367	-1,065893555	0	-3,82932	-0,86851	-0,47373
205,031	-3,631933594	-1,105371094	0,43425293	-3,5135	-0,98694	0,47373
205,046625	-3,829321289	-0,986938477	-0,118432617	-4,02671	-1,10537	-0,78955
205,06225	-4,066186523	-0,710595703	0,197387695	-3,8688	-0,78955	-0,23687
205,077875	-3,987231445	-0,907983398	0,078955078	-4,02671	-0,90798	0
205,0935	-3,868798828	-1,460668945	0,750073242	-3,67141	-0,86851	-0,15791
205,109125	-4,145141602	-0,789550781	0,631640625	-3,8688	-0,55269	-0,31582
205,12475	-3,908276367	-1,223803711	0,197387695	-3,8688	-0,7106	0
205,140375	-4,066186523	-0,789550781	0,315820313	-4,18462	-1,26328	0,039478
205,156	-4,066186523	-0,907983398	0	-4,14514	-0,7106	0,671118
205,1715	-3,829321289	-0,986938477	-0,118432617	-3,8688	-0,63164	0,236865
205,187	-4,066186523	-0,710595703	0,197387695	-4,30305	-0,75007	-0,23687
205,2025	-3,987231445	-0,907983398	0,078955078	-4,18462	-0,67112	-0,27634
205,218	-3,868798828	-1,460668945	0,750073242	-4,2241	-0,78955	-0,19739
205,2335	-4,145141602	-0,789550781	0,631640625	-4,26357	-0,51321	0,039478
205,249	-3,908276367	-1,223803711	0,197387695	-4,50044	-0,78955	-0,07896
205,2645	-4,066186523	-0,789550781	0,315820313	-4,34253	-0,67112	-0,27634
205,28	-4,066186523	-0,907983398	0	-4,34253	-0,78955	0,394775

205,295625	-4,263574219	-0,986938477	0,118432617	-3,8688	-0,63164	0,236865
205,31125	-4,342529297	-0,671118164	-0,039477539	-4,30305	-0,75007	-0,23687
205,326875	-4,460961914	-0,947460938	-0,078955078	-4,18462	-0,67112	-0,27634
205,3425	-4,382006836	-0,82902832	0,118432617	-4,2241	-0,78955	-0,19739
205,358125	-4,303051758	-0,947460938	0,394775391	-4,26357	-0,51321	0,039478
205,37375	-4,421484375	-0,82902832	0,43425293	-4,50044	-0,78955	-0,07896
205,389375	-4,460961914	-0,907983398	0,355297852	-4,34253	-0,67112	-0,27634
205,405	-4,539916992	-1,065893555	-0,157910156	-4,34253	-0,78955	0,394775
205,4185	-4,263574219	-0,986938477	0,118432617	-4,50044	-0,67112	0,078955
205,432	-4,342529297	-0,671118164	-0,039477539	-4,46096	-0,78955	0,276343
205,4455	-4,460961914	-0,947460938	-0,078955078	-4,50044	-0,82903	-0,11843
205,459	-4,382006836	-0,82902832	0,118432617	-4,65835	-0,78955	0,197388
205,4725	-4,303051758	-0,947460938	0,394775391	-4,65835	-0,78955	0,197388
205,486	-4,421484375	-0,82902832	0,43425293	-4,69783	-0,94746	-0,31582
205,4995	-4,460961914	-0,907983398	0,355297852	-4,34253	-0,86851	0,592163
205,513	-4,539916992	-1,065893555	-0,157910156	-4,42148	-0,75007	0,394775
205,52875	-4,500439453	-0,82902832	0,473730469	-4,50044	-0,67112	0,078955
205,5445	-4,61887207	-0,907983398	0,118432617	-4,46096	-0,78955	0,276343
205,56025	-4,539916992	-1,144848633	-0,118432617	-4,50044	-0,82903	-0,11843
205,576	-4,303051758	-1,026416016	0,43425293	-4,65835	-0,78955	0,197388
205,59175	-4,421484375	-0,868505859	-0,236865234	-4,65835	-0,78955	0,197388
205,6075	-4,539916992	-0,82902832	0,315820313	-4,69783	-0,94746	-0,31582
205,62325	-4,697827148	-0,671118164	0,43425293	-4,34253	-0,86851	0,592163
205,639	-4,658349609	-0,947460938	0,078955078	-4,42148	-0,75007	0,394775
205,654625	-4,500439453	-0,947460938	-0,078955078	-4,50044	-0,55269	-0,51321
205,67025	-4,500439453	-0,947460938	0,315820313	-4,53992	-0,55269	-0,43425
205,685875	-4,579394531	-1,065893555	0,43425293	-4,69783	-0,78955	-0,27634
205,7015	-4,500439453	-0,710595703	0,315820313	-4,53992	-0,78955	0,118433
205,717125	-4,500439453	-0,907983398	0,157910156	-4,50044	-0,82903	0,671118
205,73275	-4,658349609	-0,671118164	-0,078955078	-4,69783	-0,86851	0,078955
205,748375	-4,500439453	-0,750073242	0,276342773	-4,50044	-0,59216	0,15791
205,764	-4,776782227	-0,671118164	0,276342773	-4,50044	-0,78955	0,15791
205,779625	-4,500439453	-0,947460938	-0,078955078	-4,57939	-0,51321	0,118433
205,79525	-4,500439453	-0,947460938	0,315820313	-4,46096	-0,67112	0,31582
205,810875	-4,579394531	-1,065893555	0,43425293	-4,69783	-0,59216	0,710596
205,8265	-4,500439453	-0,710595703	0,315820313	-4,57939	-0,59216	-0,15791
205,842125	-4,500439453	-0,907983398	0,157910156	-4,61887	-0,55269	-0,55269
205,85775	-4,658349609	-0,671118164	-0,078955078	-4,61887	-0,55269	0
205,873375	-4,500439453	-0,750073242	0,276342773	-4,61887	-0,75007	0
205,889	-4,776782227	-0,671118164	0,276342773	-4,46096	-0,67112	0,276343
205,904625	-4,579394531	-0,789550781	0,236865234	-4,57939	-0,51321	0,118433
205,92025	-4,579394531	-0,82902832	0,118432617	-4,46096	-0,67112	0,31582
205,935875	-4,697827148	-0,710595703	0,236865234	-4,69783	-0,59216	0,710596
205,9515	-4,579394531	-0,947460938	0	-4,57939	-0,59216	-0,15791
205,967125	-4,539916992	-0,750073242	0,394775391	-4,61887	-0,55269	-0,55269
205,98275	-4,579394531	-0,750073242	0,473730469	-4,61887	-0,55269	0
205,998375	-4,697827148	-0,394775391	0,43425293	-4,61887	-0,75007	0
206,014	-4,776782227	-0,710595703	-0,118432617	-4,46096	-0,67112	0,276343
206,0295	-4,579394531	-0,789550781	0,236865234	-4,61887	-0,59216	0
206,045	-4,579394531	-0,82902832	0,118432617	-4,53992	-0,15791	-0,43425
206,0605	-4,697827148	-0,710595703	0,236865234	-4,85574	-0,59216	-0,03948
206,076	-4,579394531	-0,947460938	0	-4,7373	-0,55269	-0,03948
206,0915	-4,539916992	-0,750073242	0,394775391	-4,7373	-0,59216	0,47373
206,107	-4,579394531	-0,750073242	0,473730469	-4,89521	-0,63164	-0,07896
206,1225	-4,697827148	-0,394775391	0,43425293	-4,89521	-0,47373	0,039478

206,138	-4,776782227	-0,710595703	-0,118432617	-4,85574	-0,39478	0,15791
206,1535	-4,855737305	-0,671118164	0,236865234	-4,61887	-0,59216	0
206,169	-4,737304688	-0,789550781	0,039477539	-4,53992	-0,15791	-0,43425
206,1845	-4,737304688	-0,82902832	0,039477539	-4,85574	-0,59216	-0,03948
206,2	-4,816259766	-0,631640625	0,355297852	-4,7373	-0,55269	-0,03948
206,2155	-4,855737305	-0,552685547	0,82902832	-4,7373	-0,59216	0,47373
206,231	-4,697827148	-0,513208008	0,43425293	-4,89521	-0,63164	-0,07896
206,2465	-4,22409668	-0,947460938	0,789550781	-4,89521	-0,47373	0,039478
206,262	-4,61887207	-0,671118164	-0,355297852	-4,85574	-0,39478	0,15791
206,27575	-4,61887207	-0,671118164	-0,355297852	-4,77678	-0,39478	0,078955
206,2895	-4,895214844	-0,394775391	-0,276342773	-4,61887	-0,78955	0,276343
206,30325	-4,816259766	-0,315820313	0,276342773	-4,7373	-0,63164	0,513208
206,317	-4,934692383	-0,236865234	0,236865234	-4,81626	-0,47373	0,434253
206,33075	-4,816259766	-0,039477539	0,710595703	-4,89521	-0,27634	0,236865
206,3445	-4,697827148	-0,118432617	0,276342773	-4,85574	-0,11843	0,197388
206,35825	-4,895214844	-0,118432617	0,157910156	-4,69783	-0,11843	0,513208
206,372	-4,697827148	-0,197387695	0,315820313	-4,57939	0,078955	0,15791
206,387625	-4,61887207	-0,671118164	-0,355297852	-4,61887	0,078955	-0,11843
206,40325	-4,895214844	-0,394775391	-0,276342773	-4,65835	-0,03948	0,197388
206,418875	-4,816259766	-0,315820313	0,276342773	-4,50044	-0,03948	0,552686
206,4345	-4,934692383	-0,236865234	0,236865234	-5,21104	-0,59216	-0,23687
206,450125	-4,816259766	-0,039477539	0,710595703	-5,21104	-0,59216	-0,23687
206,46575	-4,697827148	-0,118432617	0,276342773	-5,56633	-0,78955	-0,39478
206,481375	-4,895214844	-0,118432617	0,157910156	-5,92163	-1,02642	-0,47373
206,497	-4,697827148	-0,197387695	0,315820313	-3,98723	0,592163	0,118433
206,512625	-4,737304688	-0,473730469	0,039477539	-4,61887	0,078955	-0,11843
206,52825	-5,013647461	-0,868505859	0,197387695	-4,65835	-0,03948	0,197388
206,543875	-5,250512695	-1,026416016	0,197387695	-4,50044	-0,03948	0,552686
206,5595	-5,447900391	-1,26328125	0,197387695	-5,21104	-0,59216	-0,23687
206,575125	-4,579394531	0,315820313	0,394775391	-5,21104	-0,59216	-0,23687
206,59075	-5,447900391	0,078955078	-0,236865234	-5,56633	-0,78955	-0,39478
206,606375	-5,250512695	0,631640625	-0,355297852	-5,92163	-1,02642	-0,47373
206,622	-5,092602539	-0,473730469	0,236865234	-3,98723	0,592163	0,118433
206,637625	-4,737304688	-0,473730469	0,039477539	-5,21104	0,197388	-0,03948
206,65325	-5,013647461	-0,868505859	0,197387695	-4,61887	0,710596	0,197388
206,668875	-5,250512695	-1,026416016	0,197387695	-5,05313	-0,27634	0
206,6845	-5,447900391	-1,26328125	0,197387695	-5,13208	0,15791	0,513208
206,700125	-4,579394531	0,315820313	0,394775391	-5,0926	-0,31582	0,197388
206,71575	-5,447900391	0,078955078	-0,236865234	-5,05313	-0,03948	0,197388
206,731375	-5,250512695	0,631640625	-0,355297852	-5,28999	-0,59216	-0,03948
206,747	-5,092602539	-0,473730469	0,236865234	-5,21104	-0,47373	-0,11843
206,762625	-5,132080078	-0,473730469	0,513208008	-5,21104	0,197388	-0,03948
206,77825	-5,171557617	-0,236865234	0,710595703	-4,61887	0,710596	0,197388
206,793875	-4,934692383	-0,82902832	0,671118164	-5,05313	-0,27634	0
206,8095	-5,013647461	-0,750073242	0,276342773	-5,13208	0,15791	0,513208
206,825125	-4,895214844	-0,710595703	0,236865234	-5,0926	-0,31582	0,197388
206,84075	-5,013647461	-0,473730469	-0,039477539	-5,05313	-0,03948	0,197388
206,856375	-5,013647461	-0,197387695	-0,078955078	-5,28999	-0,59216	-0,03948
206,872	-5,092602539	-0,473730469	0,236865234	-5,21104	-0,47373	-0,11843
206,8895	-4,934692383	0	0,236865234	-5,13208	-0,51321	0,236865
206,907	-4,895214844	0,118432617	0,315820313	-5,05313	-0,27634	0,513208
206,9245	-4,816259766	0,118432617	0,710595703	-4,93469	-0,07896	0,592163
206,942	-4,658349609	0	0,592163086	-4,85574	0,118433	0,236865
206,9595	-4,658349609	-0,394775391	0,276342773	-4,7373	0,276343	0,276343
206,977	-4,579394531	-0,276342773	0,197387695	-4,69783	0,236865	0,394775

206,9945	-4,579394531	-0,355297852	0,118432617	-4,53992	0,118433	0,631641
207,012	-4,61887207	-0,236865234	0,394775391	-4,77678	-0,23687	0,394775
207,027625	-4,934692383	0	0,236865234	-4,65835	-0,11843	0,039478
207,04325	-4,895214844	0,118432617	0,315820313	-4,7373	-0,15791	-0,03948
207,058875	-4,816259766	0,118432617	0,710595703	-4,57939	-0,03948	-0,07896
207,0745	-4,658349609	0	0,592163086	-4,57939	-0,07896	-0,07896
207,090125	-4,658349609	-0,394775391	0,276342773	-4,61887	-0,11843	0,039478
207,10575	-4,579394531	-0,276342773	0,197387695	-4,57939	-0,23687	0,078955
207,121375	-4,579394531	-0,355297852	0,118432617	-4,50044	-0,11843	0,15791
207,137	-4,61887207	-0,236865234	0,394775391	-4,46096	0,039478	0,276343
207,1505	-4,61887207	-0,276342773	-0,157910156	-4,65835	-0,11843	0,039478
207,164	-4,500439453	-0,355297852	0,118432617	-4,7373	-0,15791	-0,03948
207,1775	-4,579394531	-0,236865234	0,197387695	-4,57939	-0,03948	-0,07896
207,191	-4,539916992	-0,078955078	0,118432617	-4,57939	-0,07896	-0,07896
207,2045	-4,579394531	-0,078955078	0,197387695	-4,61887	-0,11843	0,039478
207,218	-4,421484375	0,078955078	0,078955078	-4,57939	-0,23687	0,078955
207,2315	-4,145141602	-0,039477539	0,039477539	-4,50044	-0,11843	0,15791
207,245	-4,145141602	-0,039477539	0,039477539	-4,46096	0,039478	0,276343
207,26075	-3,947753906	-0,236865234	0,157910156	-4,26357	0,197388	0,078955
207,2765	-3,947753906	-0,236865234	0,43425293	-4,18462	0,118433	-0,03948
207,29225	-3,78984375	-0,276342773	0,43425293	-4,10566	0,118433	-0,07896
207,308	-3,710888672	-0,236865234	0,473730469	-4,14514	-0,15791	0,15791
207,32375	-3,710888672	-0,236865234	0,315820313	-4,06619	-0,15791	0,078955
207,3395	-3,671411133	-0,118432617	0,118432617	-3,94775	-0,15791	0,31582
207,35525	-3,671411133	0	0,276342773	-3,8688	-0,15791	0,355298
207,371	-3,631933594	0,039477539	0,118432617	-4,46096	0,039478	0,276343
207,386625	-3,947753906	-0,236865234	0,157910156	-3,82932	-0,15791	0,197388
207,40225	-3,947753906	-0,236865234	0,43425293	-3,67141	-0,03948	0,236865
207,417875	-3,78984375	-0,276342773	0,43425293	-3,67141	0,078955	0,078955
207,4335	-3,710888672	-0,236865234	0,473730469	-3,47402	0,15791	0,078955
207,449125	-3,710888672	-0,236865234	0,315820313	-3,47402	0,15791	0,078955
207,46475	-3,671411133	-0,118432617	0,118432617	-3,43455	0,078955	0,118433
207,480375	-3,671411133	0	0,276342773	-3,35559	-0,03948	0,118433
207,496	-3,631933594	0,039477539	0,118432617	-3,35559	0	0
207,5115	-3,552978516	0,078955078	0,118432617	-3,82932	-0,15791	0,197388
207,527	-3,434545898	0	0,039477539	-3,67141	-0,03948	0,236865
207,5425	-3,35559082	-0,118432617	0,039477539	-3,67141	0,078955	0,078955
207,558	-3,316113281	-0,078955078	0,157910156	-3,47402	0,15791	0,078955
207,5735	-3,197680664	-0,118432617	0,039477539	-3,47402	0,15791	0,078955
207,589	-3,079248047	-0,197387695	-0,039477539	-3,43455	0,078955	0,118433
207,6045	-3,118725586	-0,157910156	0,236865234	-3,35559	-0,03948	0,118433
207,62	-3,039770508	-0,157910156	-0,078955078	-3,35559	0	0
207,635625	-3,552978516	0,078955078	0,118432617	-3,23716	-0,07896	0,078955
207,65125	-3,434545898	0	0,039477539	-3,19768	-0,03948	-0,03948
207,666875	-3,35559082	-0,118432617	0,039477539	-3,19768	-0,07896	0,039478
207,6825	-3,316113281	-0,078955078	0,157910156	-3,11873	-0,03948	0,039478
207,698125	-3,197680664	-0,118432617	0,039477539	-3,03977	0	0,039478
207,71375	-3,079248047	-0,197387695	-0,039477539	-3,07925	0,039478	0,078955
207,729375	-3,118725586	-0,157910156	0,236865234	-3,00029	0,118433	0,078955
207,745	-3,039770508	-0,157910156	-0,078955078	-2,96082	0,15791	0
207,760625	-3,000292969	-0,118432617	0,078955078	-3,23716	-0,07896	0,078955
207,77625	-2,96081543	-0,039477539	0,078955078	-3,19768	-0,03948	-0,03948
207,791875	-2,96081543	-0,078955078	0	-3,19768	-0,07896	0,039478
207,8075	-2,96081543	0,039477539	0,078955078	-3,11873	-0,03948	0,039478
207,823125	-3,000292969	0,078955078	0,078955078	-3,03977	0	0,039478

207,83875	-2,96081543	0,078955078	0,039477539	-3,07925	0,039478	0,078955
207,854375	-2,96081543	0,039477539	0,157910156	-3,00029	0,118433	0,078955
207,87	-2,881860352	0	0,078955078	-2,96082	0,15791	0
207,8855	-2,842382813	-0,078955078	0,157910156	-3,00029	0,078955	0,078955
207,901	-2,802905273	-0,118432617	0,118432617	-3,00029	0,078955	0,078955
207,9165	-2,368652344	-0,157910156	0,157910156	-2,96082	0,039478	0,118433
207,932	-1,302758789	-0,078955078	0,315820313	-2,92134	0	0,078955
207,9475	-0,157910156	-0,039477539	0,039477539	-2,88186	-0,03948	0,118433
207,963	0,355297852	0,157910156	0,078955078	-2,44761	-0,03948	0,15791
207,9785	0,750073242	0,197387695	0,118432617	-1,34224	-0,07896	0,15791
207,994	0,907983398	0,078955078	0,157910156	-0,31582	-0,07896	0,039478
208,009625	-2,842382813	-0,078955078	0,157910156	0,31582	0,118433	-0,19739
208,02525	-2,802905273	-0,118432617	0,118432617	0,671118	0,078955	0,039478
208,040875	-2,368652344	-0,157910156	0,157910156	0,789551	-0,03948	0,15791
208,0565	-1,302758789	-0,078955078	0,315820313	0,631641	-0,11843	0,118433
208,072125	-0,157910156	-0,039477539	0,039477539	0,355298	-0,15791	0,039478
208,08775	0,355297852	0,157910156	0,078955078	0,197388	-0,27634	-0,07896
208,103375	0,750073242	0,197387695	0,118432617	0,039478	-0,15791	-0,31582
208,119	0,907983398	0,078955078	0,157910156	-0,15791	-0,03948	-0,43425
208,134625	0,82902832	0	0,197387695	0,31582	0,118433	-0,19739
208,15025	0,631640625	-0,118432617	0,039477539	0,671118	0,078955	0,039478
208,165875	0,513208008	-0,236865234	-0,118432617	0,789551	-0,03948	0,15791
208,1815	0,315820313	-0,118432617	-0,276342773	0,631641	-0,11843	0,118433
208,197125	0,078955078	-0,039477539	-0,513208008	0,355298	-0,15791	0,039478
208,21275	-0,039477539	0,118432617	-0,43425293	0,197388	-0,27634	-0,07896
208,228375	0,118432617	0,315820313	-0,473730469	0,039478	-0,15791	-0,31582
208,244	0,118432617	0,315820313	-0,473730469	-0,15791	-0,03948	-0,43425
208,259625	0,82902832	0	0,197387695	-0,19739	0,118433	-0,51321
208,27525	0,631640625	-0,118432617	0,039477539	-0,07896	0,197388	-0,47373
208,290875	0,513208008	-0,236865234	-0,118432617	0,039478	0,236865	-0,23687
208,3065	0,315820313	-0,118432617	-0,276342773	0,118433	0,236865	0
208,322125	0,078955078	-0,039477539	-0,513208008	0,118433	0,15791	0,15791
208,33775	-0,039477539	0,118432617	-0,43425293	0,118433	0,15791	0,15791
208,353375	0,118432617	0,315820313	-0,473730469	0	0,039478	0,15791
208,369	0,118432617	0,315820313	-0,473730469	-0,23687	0	0,15791
208,384625	0,197387695	0,315820313	-0,276342773	-0,19739	0,118433	-0,51321
208,40025	0,236865234	0,276342773	-0,276342773	-0,07896	0,197388	-0,47373
208,415875	0,276342773	0,236865234	-0,078955078	0,039478	0,236865	-0,23687
208,4315	0,157910156	0,118432617	0,118432617	0,118433	0,236865	0
208,447125	-0,039477539	0	0	0,118433	0,15791	0,15791
208,46275	-0,118432617	-0,039477539	0,039477539	0,118433	0,15791	0,15791
208,478375	-0,078955078	-0,039477539	0,039477539	0	0,039478	0,15791
208,494	-0,039477539	0	-0,039477539	-0,23687	0	0,15791
208,509625	-0,078955078	0	0	-0,31582	-0,07896	0,078955
208,52525	0	0,039477539	-0,039477539	-0,31582	-0,11843	0,039478
208,540875	0,039477539	0,039477539	0	-0,15791	0	-0,19739
208,5565	0	-0,078955078	0,039477539	-0,15791	0	-0,19739
208,572125	0	-0,118432617	0	-0,11843	0	-0,15791
208,58775	-0,039477539	-0,157910156	0,118432617	-0,03948	0	-0,15791
208,603375	0	-0,078955078	-0,039477539	-0,11843	-0,11843	-0,15791
208,619	0,078955078	-0,078955078	-0,039477539	-0,15791	-0,19739	-0,07896
208,6325	-0,078955078	0	0	-0,15791	-0,15791	-0,11843
208,646	0	0,039477539	-0,039477539	-0,07896	-0,11843	-0,15791
208,6595	0,039477539	0,039477539	0	-0,07896	-0,03948	-0,15791
208,673	0	-0,078955078	0,039477539	0	0	-0,15791

208,6865	0	-0,118432617	0	0	0,039478	-0,07896
208,7	-0,039477539	-0,157910156	0,118432617	-0,03948	0,078955	-0,03948
208,7135	0	-0,078955078	-0,039477539	-0,03948	0,078955	-0,03948
208,727	0,078955078	-0,078955078	-0,039477539	-0,15791	-0,19739	-0,07896
208,742625	0,078955078	0	-0,039477539	-0,15791	-0,15791	-0,11843
208,75825	0,157910156	0	-0,197387695	-0,07896	-0,11843	-0,15791
208,773875	0,157910156	0,118432617	-0,078955078	-0,07896	-0,03948	-0,15791
208,7895	0,118432617	0,118432617	-0,118432617	0	0	-0,15791
208,805125	0,078955078	0,118432617	-0,157910156	0	0,039478	-0,07896
208,82075	0,039477539	0,118432617	-0,039477539	-0,03948	0,078955	-0,03948
208,836375	0,039477539	0,078955078	-0,118432617	-0,03948	0,078955	-0,03948
208,852	0,039477539	0,118432617	0	-0,15791	-0,19739	-0,07896
208,8695	0,039477539	0,039477539	-0,039477539	-0,07896	0,078955	-0,03948
208,887	0,039477539	0,039477539	-0,039477539	-0,15791	0,039478	0
208,9045	0	0,039477539	0,118432617	-0,11843	0,039478	0
208,922	0,039477539	0,039477539	-0,039477539	-0,15791	0	0
208,9395	0	0,039477539	0,039477539	-0,15791	0	0,039478
208,957	0,039477539	0,039477539	0,078955078	-0,15791	-0,03948	-0,03948
208,9745	0,078955078	0	-0,118432617	-0,15791	-0,03948	0,039478
208,992	0	0,078955078	0,039477539	-0,11843	-0,03948	0
209,00975	0,039477539	0,039477539	-0,039477539	-0,11843	0	0
209,0275	0,039477539	0,039477539	-0,039477539	-0,07896	-0,03948	-0,07896
209,04525	0	0,039477539	0,118432617	-0,11843	-0,03948	-0,11843
209,063	0,039477539	0,039477539	-0,039477539	-0,07896	-0,07896	-0,07896
209,08075	0	0,039477539	0,039477539	-0,07896	0	-0,11843
209,0985	0,039477539	0,039477539	0,078955078	-0,07896	-0,03948	-0,03948
209,11625	0,078955078	0	-0,118432617	-0,03948	0,039478	-0,03948
209,134	0	0,078955078	0,039477539	-0,11843	-0,03948	0
209,149375	0,078955078	0	-0,118432617	-0,11843	0	0
209,16475	0,078955078	0	0	-0,07896	-0,03948	-0,07896
209,180125	0,078955078	-0,039477539	-0,157910156	-0,11843	-0,03948	-0,11843
209,1955	0,078955078	0,078955078	0	-0,07896	-0,07896	-0,07896
209,210875	0,039477539	0,078955078	0	-0,07896	0	-0,11843
209,22625	0,039477539	0,157910156	0,078955078	-0,07896	-0,03948	-0,03948
209,241625	0,039477539	0,157910156	0,078955078	-0,03948	0,039478	-0,03948
209,257	0	0,078955078	0,039477539	-0,11843	-0,03948	0
209,27275	0,078955078	0	-0,118432617	-0,11843	0	0,039478
209,2885	0,078955078	0	0	-0,07896	0	0
209,30425	0,078955078	-0,039477539	-0,157910156	-0,11843	0,078955	0
209,32	0,078955078	0,078955078	0	-0,15791	0	-0,03948
209,33575	0,039477539	0,078955078	0	-0,15791	0	-0,07896
209,3515	0,039477539	0,157910156	0,078955078	-0,11843	-0,03948	-0,07896
209,36725	0,039477539	0,157910156	0,078955078	-0,11843	-0,03948	-0,03948
209,383	0	0,078955078	0,039477539	-0,03948	-0,03948	-0,03948
209,398625	0,039477539	0,039477539	-0,118432617	-0,11843	0	0,039478
209,41425	0,039477539	0,039477539	-0,078955078	-0,07896	0	0
209,429875	0,039477539	0	-0,039477539	-0,11843	0,078955	0
209,4455	0,078955078	0	-0,157910156	-0,15791	0	-0,03948
209,461125	0,078955078	0	0	-0,15791	0	-0,07896
209,47675	0,118432617	-0,039477539	-0,039477539	-0,11843	-0,03948	-0,07896
209,492375	0,039477539	0	-0,039477539	-0,11843	-0,03948	-0,03948
209,508	0,039477539	0	0,039477539	-0,03948	-0,03948	-0,03948
209,523625	0	0	0,039477539	-0,11843	-0,03948	-0,07896
209,53925	0,039477539	0	-0,039477539	-0,15791	-0,03948	0
209,554875	0,039477539	0	-0,118432617	-0,15791	0	-0,03948

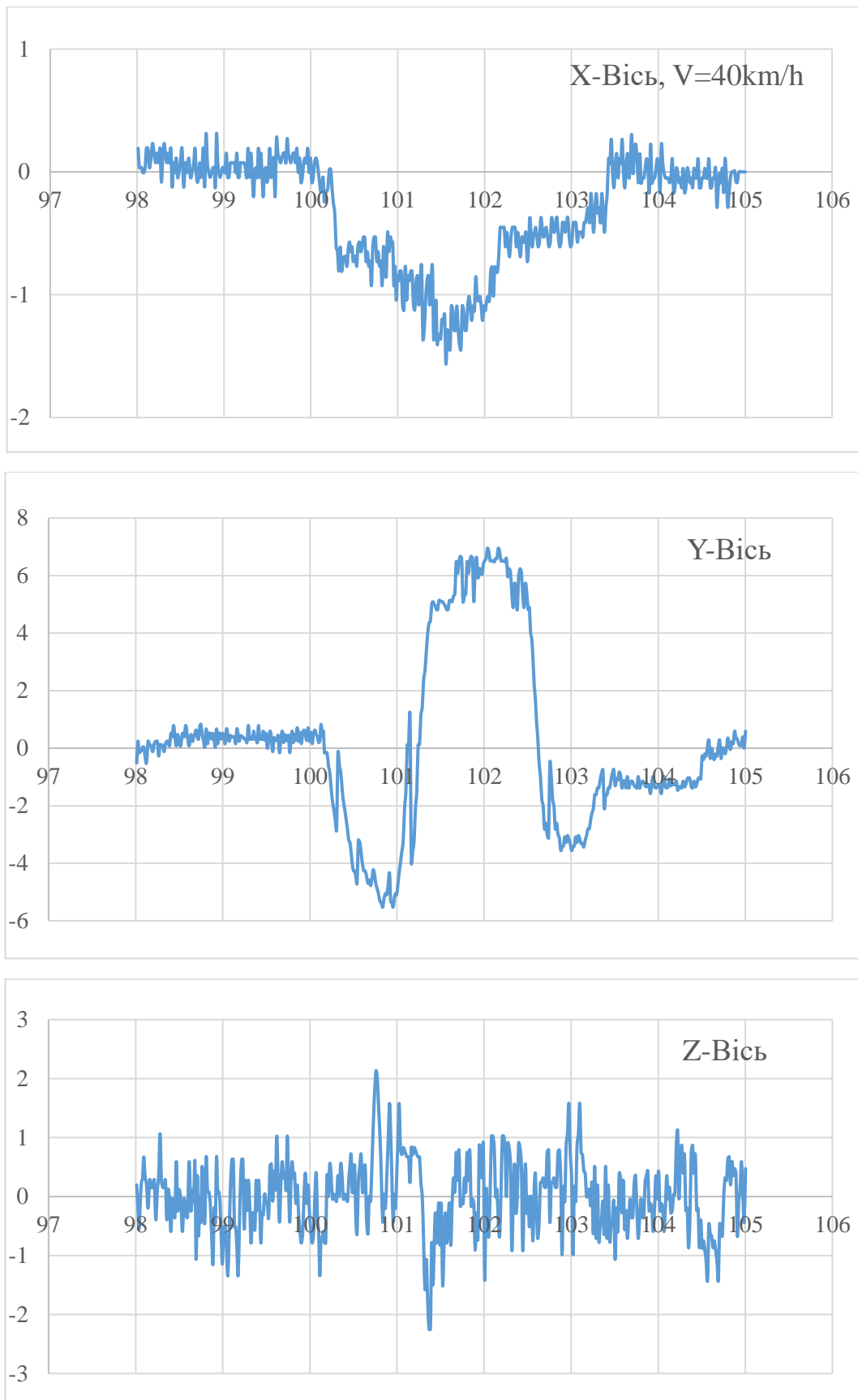


Рисунок И.1 – Діаграма вимірювання прискорень та сповільнень, що розвивались автомобілем Renault Logan при об'їзді дорожньої техніки

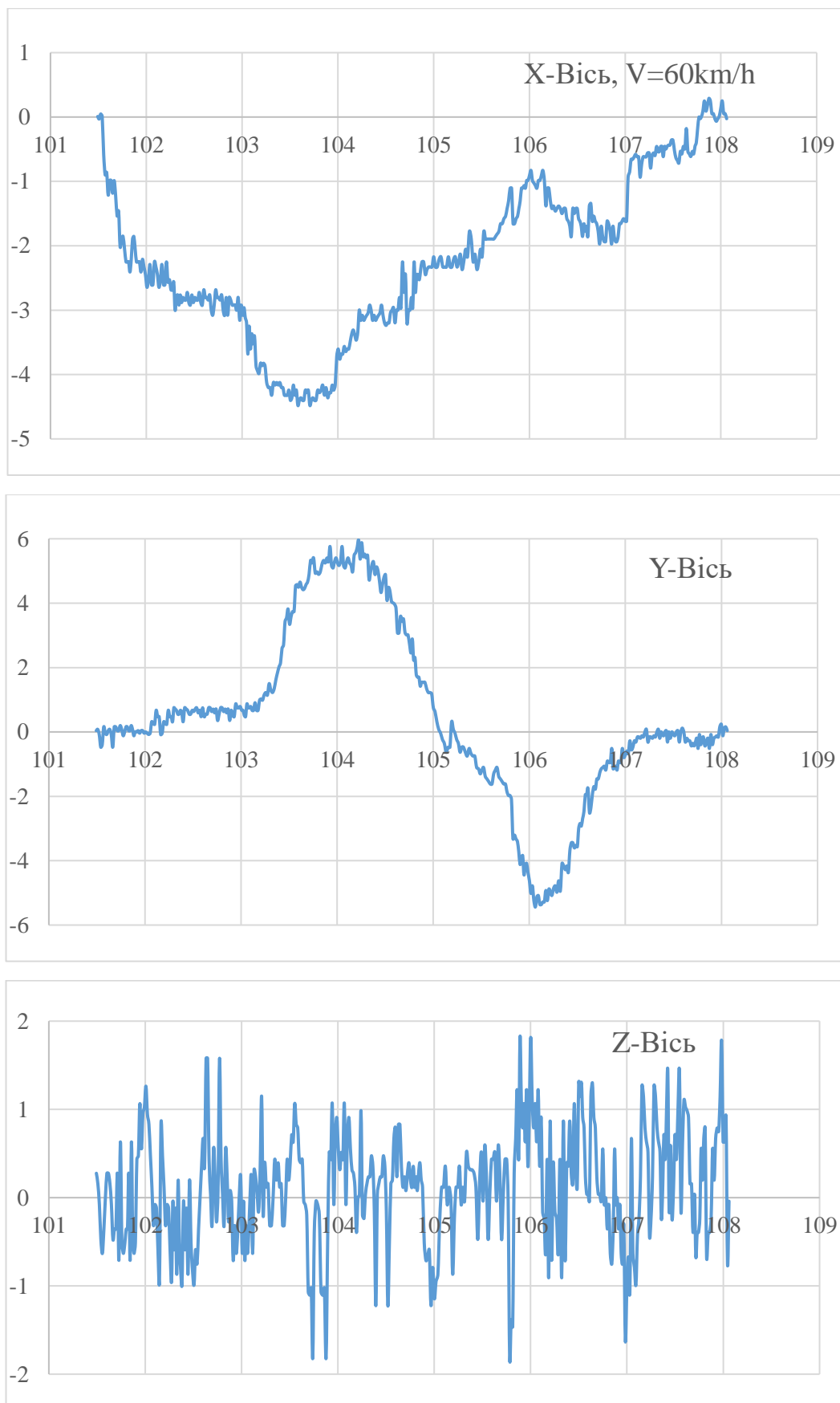


Рисунок И.2 – Діаграма вимірювання прискорень та сповільнень, що розвивались автомобілем Renault Logan при об'їзді перешкоди

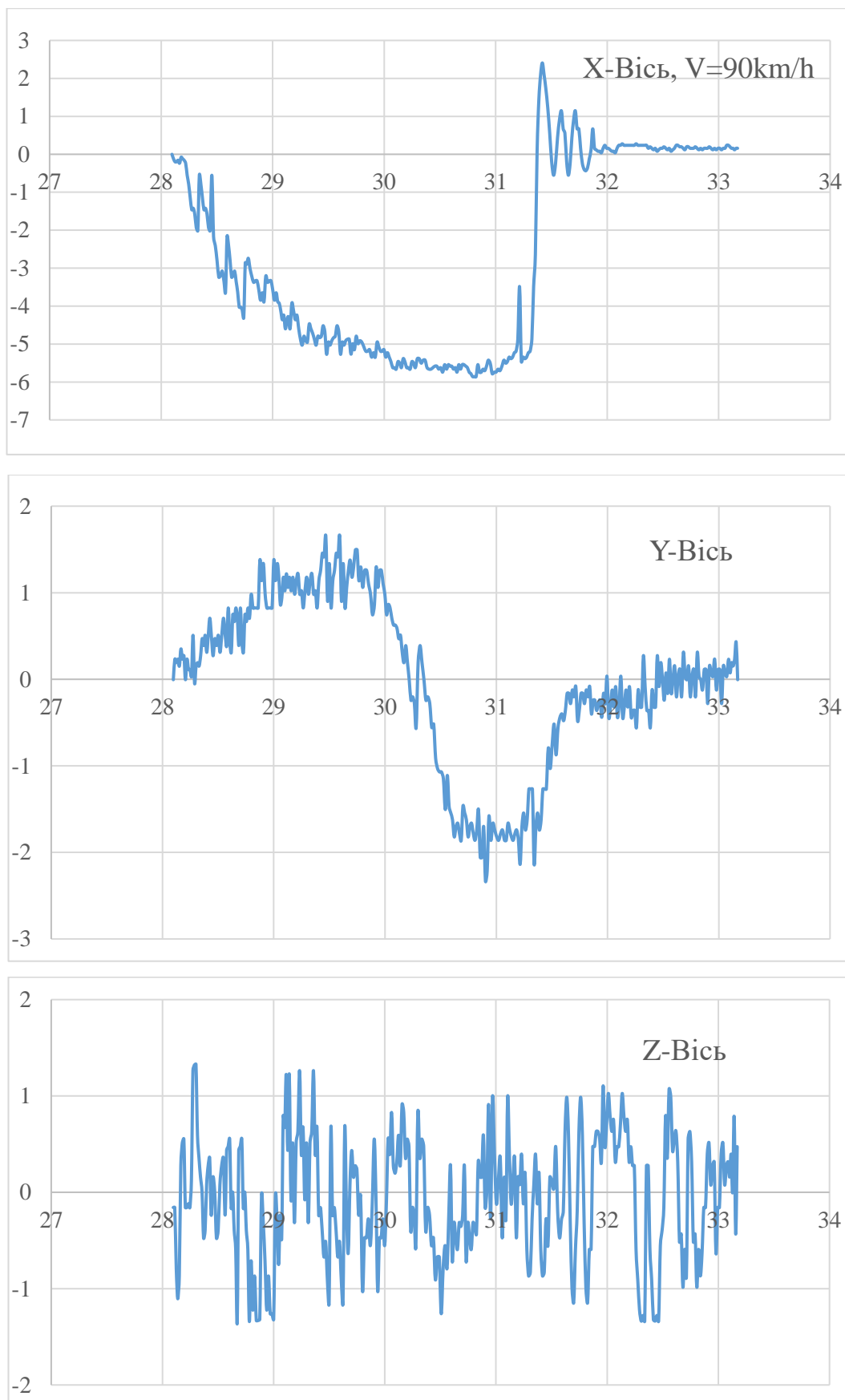


Рисунок И.3 – Діаграма вимірювання прискорень та сповільнень, що розвивались автомобілем Reno Logan при об'їзді попутного ТЗ

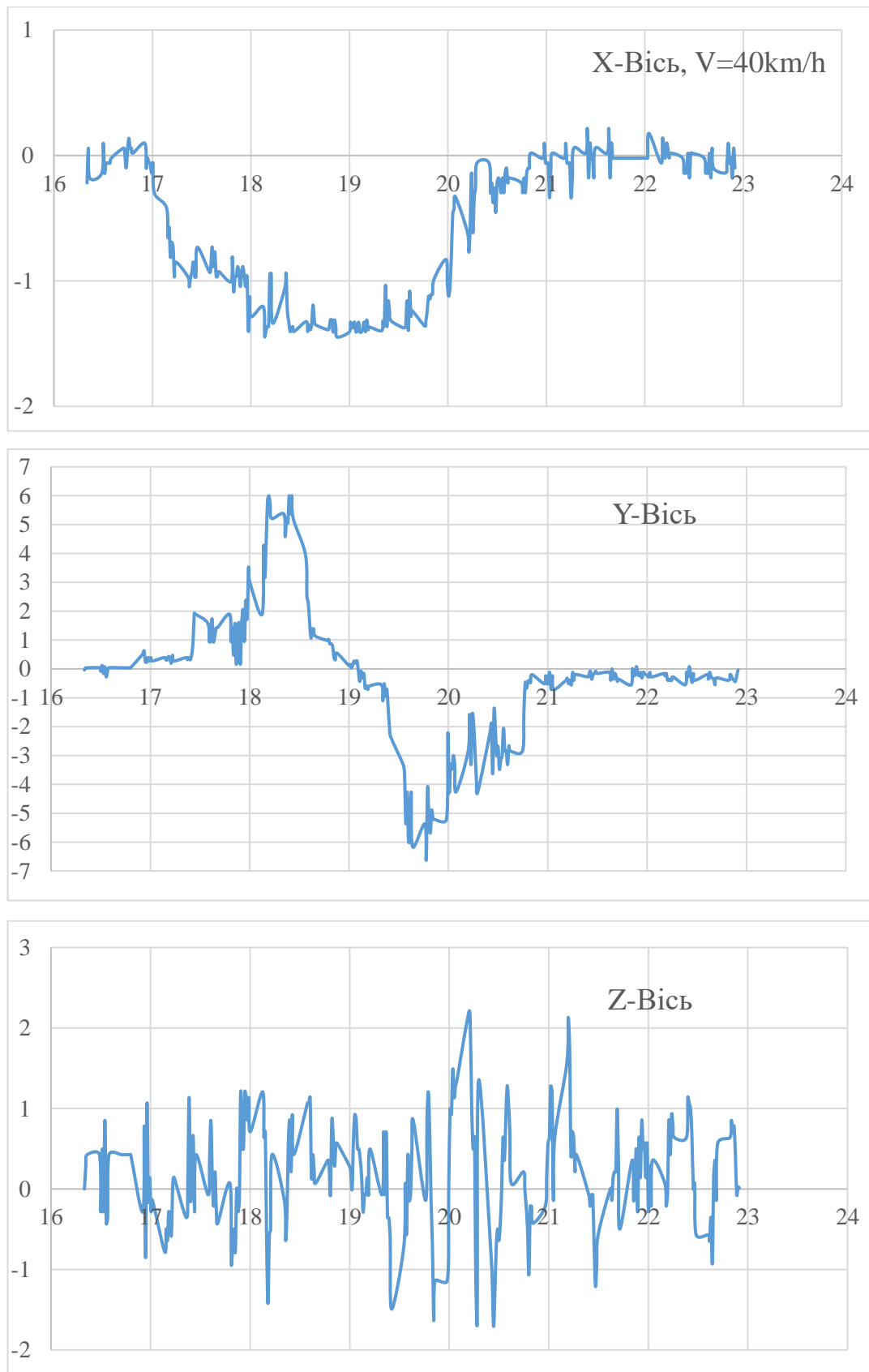


Рисунок И.1 – Діаграма вимірювання прискорень та сповільнень, що розвивались автомобілем Hyundai i30 при об'їзді перешкоди

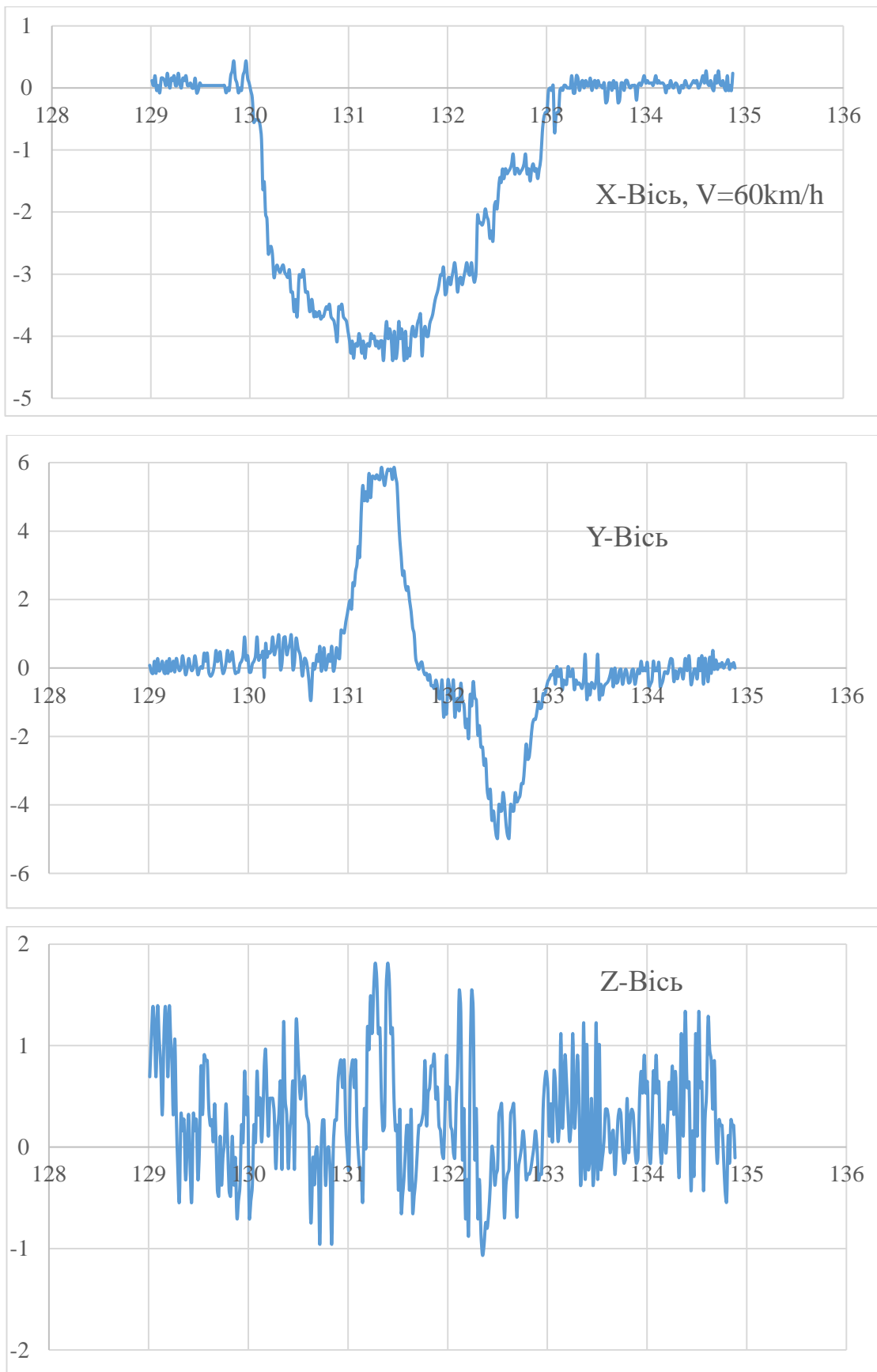


Рисунок И.1 – Діаграма вимірювання прискорень та сповільнень, що розвивались автомобілем Hyundai i30 при об'їзді дорожньої техніки

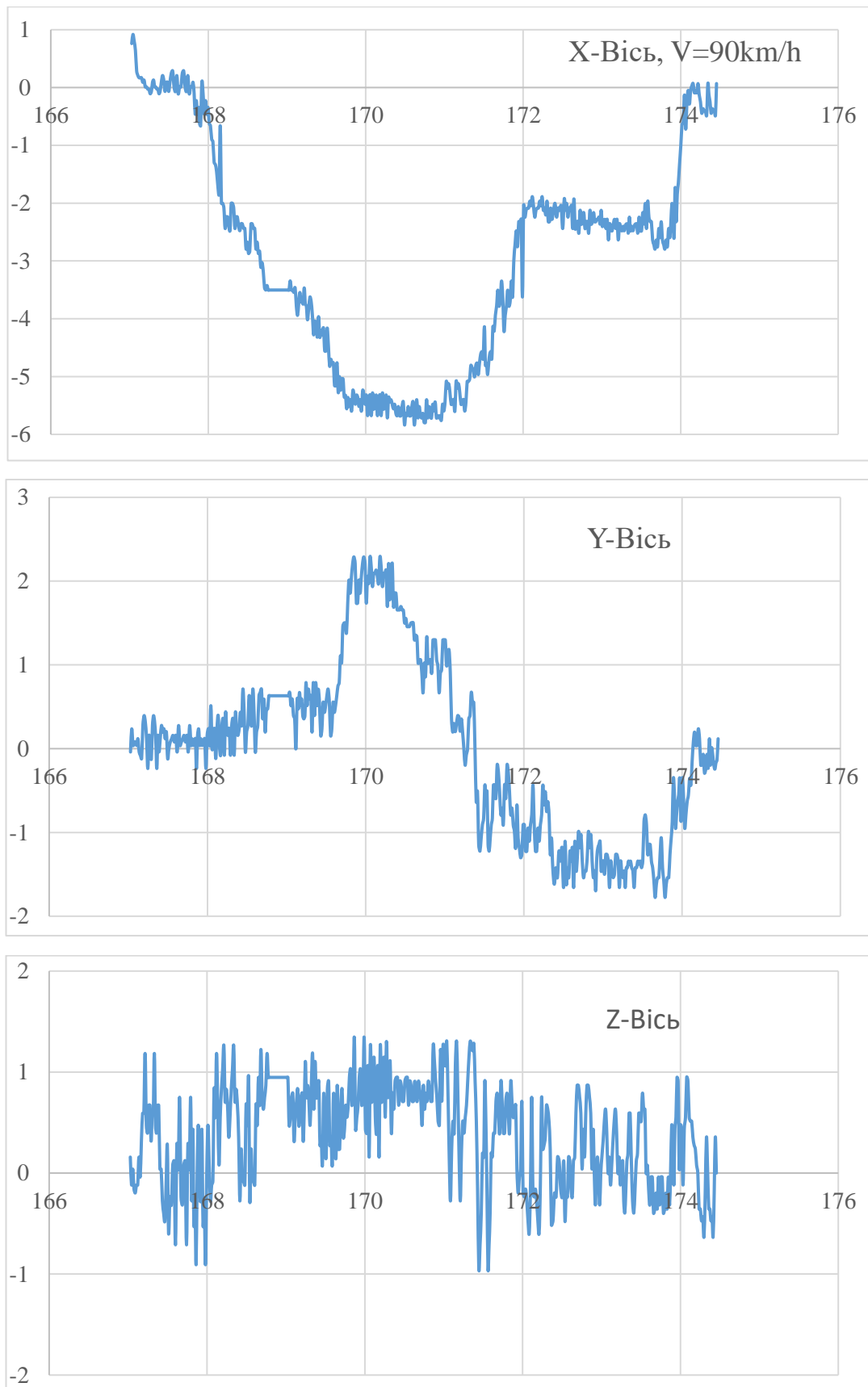


Рисунок И.1 – Діаграма вимірювання прискорень та сповільнень, що розвивались автомобілем Hyundai i30 при об'їзді попутного ТЗ

Додаток К. Науково-технічні експертизи складних випадків дорожньо-транспортних пригод

К.1 Автотехнічні дослідження механізму наїзду транспортного засобу на пішохода у темну пору доби

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ
ЕКСПЕРТНО-КРИМІНАЛІСТИЧНИЙ ЦЕНТР**

вул. В. Порика, буд.8, м. Вінниця, 21021, тел. факс (0432) 56-03-01, 56-02-86
електронна пошта: Internet - ndekc@i.ua,
відомча (МВС України) – ndekc@pol01.vinn.ua

ВИСНОВОК ЕКСПЕРТА

12.03.2018

м. Вінниця

№ 190а

До Вінницького науково-дослідного експертно-криміналістичного центру МВС України 06.03.2018 при супровідному листі від 06.03.2018 №2505/202-2018 з СВ Вінницького РВП Вінницького відділу поліції ГУ Національної поліції у Вінницькій області надійшла постанова від 06.03.2018 про призначення судової автотехнічної експертизи, винесена старшим слідчим Степанюком О.А. у кримінальному провадженні, внесеному до Єдиного реєстру досудових розслідувань 17.02.2018 за № 120180201000 [REDACTED].

Проведення судової експертизи доручено завідувачу сектора автотехнічних досліджень Діордіці Василю Миколайовичу, який має вищу технічну освіту, кваліфікацію судового експерта з правом проведення експертиз за експертною спеціальністю 10.1 «Дослідження обставин дорожньо-транспортних пригод», (свідоцтво № 5804, видане ЕКК МВС України 25.10.2002, свідоцтво про підтвердження кваліфікації судового експерта, видане ЕКК МВС України 18.10.2017), стаж експертної роботи з 2001 року.

Про відповідальність за завідомо неправдивий висновок та відмову без поважних причин від виконання покладених обов'язків за статтями 384, 385 Кримінального кодексу України попереджений.

В.М. Діордіца

Обставини справи (з постанови про призначення судової експертизи):
 «16.02.2017 близько 23.20 годин навпроти будинку за адресою Вінницька область, Вінницький район, вул. Травнева, 27 водій [REDACTED] Вадим Вікторович, 26.11.19[REDACTED] року народження проживає Вінницький район, с. Зарванці, вул. [REDACTED], [REDACTED] рухаючись за кермом автомобіля марки «ЗАЗ 110557», державний номер АВ[REDACTED]МІ допустив наїзд на пішохода [REDACTED] Катерину Володимирівну, 08.01.19[REDACTED] року народження проживає Вінницький район, с. Зарванці, провулок [REDACTED], [REDACTED] яка рухалася в попутному з автомобілем напрямку, внаслідок чого [REDACTED] К.В. було доставлено до МКЛ ШМД м. Вінниця з тілесними ушкодженнями у вигляді: закритий перелом лівої променевої кістки в ліктьовому місці з незначним зміщенням, поверхнева рана потилиці, забій правого плечового суглобу..»

На експертизу надано:

- матеріали кримінального провадження №120180201000 [REDACTED] на 38арк.;

На вирішення судової експертизи поставлені питання:

«1. Як повинен був діяти в даній дорожній обстановці водії автомобіля ЗАЗ 110557», державний номер АВ[REDACTED]МІ [REDACTED] Вадим Вікторович відповідно до вимог ПДР України ?

2. Чи мав водій автомобіля ЗАЗ 110557», державний номер АВ[REDACTED]МІ [REDACTED] Вадим Вікторович технічну можливість уникнути дорожньо-транспортної пригоди, а саме наїзду на пішохода [REDACTED] Катерину Вадимівну?

3. Чи вбачаються в даній дорожній обстановці в діях водія [REDACTED] Вадима Вікторовича та пішохода [REDACTED] Катерини Вадимівни невідповідності вимогам ПДР України та чи знаходяться дані невідповідності в причинному зв'язку з наслідками ДТП ?

4. Що з технічної точки зору стало причиною ДТП?»

Вихідні дані(прийняті з постанови про призначення експертизи):

1. **Покриття:** вулиця травнева, с. Зарванці, вінницького району, вінницької області є головною, покриття вкрите шаром укатаного снігу товщиною 4 сантиметра, пряме зі спуском 6 градусів, призначене для руху в двох напрямках, по одній смузі руху в кожному напрямку, лінії дорожньої розмітки відсутні.

2. **Швидкість та напрямок руху:** автомобіль «ЗАЗ 110557», державний номер АВ[REDACTED]МІ рухався на відстані 0.4 м (зі слів водія) до лівого краю проїзної частини в напрямку вул. Лісна, с. Зарванці, Вінницького району, Вінницької області, зі швидкістю 40 км/год (зі слів водія).

3. **На автодорозі:** на проїзній частині вулиці травнева, с. Зарванці, Вінницького району, Вінницької області на відстані 2.5 м від краю будівлі № 27 та на відстані 0.5 від лівого краю проїзної частини наявний уламок

полімерного матеріалу чорного кольору, на відстані 5.1 м від вказаного уламку та на відстані 1.2 м від лівого краю проїзної частини наявний аналогічний уламок від якого на відстані 1.9 м та на відстані 1 м наявний інший уламок полімерного матеріалу.

4. **Завантаженість:** автомобіль «ЗАЗ 110557», державний номер АВ [REDACTED] МІ – рухався без пасажирів та вантажу (зі слів водія та протоколу ОМП).

5. **Сліди гальмівного юзу:** наявний слід юзу колеса автомобіля «ЗАЗ 110557», державний номер АВ [REDACTED] МІ довжиною 24.3 м, який розпочинається на відстані 3.2 м від лівого краю та закінчується на відстані 3.2 м відповідно до лівого краю проїзної частини.

6. **Освітленість:** темна пора доби.

7. **Наїзд відбувся:** лівою частиною автомобіля «ЗАЗ 110557», державний номер АВ [REDACTED] МІ.

8. **Видимість пішохода та елементів дороги:** місце наїзду розташоване на відстані 0.4 м від лівого краю проїзної частини дороги та лівого плеча пішохода та на відстані 1.8 м до краю будинку № 27 по вулиці Травнева, с. Зарванці, Вінницького району, Вінницької області. При цьому пішохід [REDACTED] К.В. рухалася в темпі спокійного кроку (зі слів пішохода) в напрямку вул. Лісна, с. Зарванці, Вінницького району, Вінницької області, та її видимість складала 41.1 м, видимість елементів дороги складала 72.4 м (зі слів водія).

9. **Момент виникнення небезпеки** для водія автомобіля «ЗАЗ 110557», державний номер АВ [REDACTED] МІ [REDACTED] В.В. відповідає моменту появи пішохода в полі його зору.

При проведенні експертизи використовувалися наступні інформаційні джерела:

1. Боровский Б.Е. Безопасность движения автомобильного транспорта. Анализ дорожно-транспортных происшествий [Текст] / Б.Е. Боровский. — Л.: Лениздат, 1984. — 304 с.: ил.

2. Судебная автотехническая экспертиза. Часть II. Теоретические основы и методики экспертного исследования при производстве автотехнической экспертизы [Текст]: Пособие для экспертов-автотехников, следователей и судей; ответственный редактор В.А. Иларионов. — М.: ВНИИСЭ, 1980. — 392 с.: ил.

3. Применение дифференцированных значений времени реакции водителя в экспертной практике. ВНИИСЭ, М., 1987.

4. Правила дорожнього руху України.

5. Результаты систематизации экспериментально-расчетных значений параметров торможения автотранспортных средств. Москва, 1990г.

6. Галаса П.В. Экспертний аналіз дорожньо-транспортних пригод [Текст]: Посібник для спеціалістів та водіїв-аматорів / П.В. Галаса, В.Б. Кисельов, А.С. Куйбіда та ін.; під заг. ред. П.В. Галаси; Український центр післяварійного захисту «ЕКСПЕРТ-СЕРВІС». — К., 1995. — 190 с.: іл.

7. Методика 10.1.03 «Дослідження гальмування транспортних засобів». ВНДІСЕ.1980.

8. Методика 10.1.07. «Дослідження наїзду транспортних засобів на пішохода або інші перешкоди». ВНДІСЕ. ЦНДІСЕ. 1980,1971.

9. Суворов Ю.Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза (учеб. пособие для студентов вузов) [Текст] / Ю.Б. Суворов; Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. — М.: Издательство «Экзамен», издательство «Право и закон», 2003. — 208 с. : ил.

10. «Інструкція з організації проведення та оформлення експертних проваджень у підрозділах Експертної служби Міністерства внутрішніх справ України.» затверджена наказом Міністерства внутрішніх справ України №591 від 17.07.2017.

ДОСЛІДЖЕННЯ

1. Як слідує з постанови про призначення експертизи дорожньо-транспортна пригода сталась в темний час доби біля 23.20 годин 16.02.2018. Під час даної ДТП водій ████████ В.В., керуючи автомобілем ЗАЗ-110557 державний номер АВ ████████ МІ, рухаючись по вул. Травневій в с. Зарванці Вінницького району допустив наїзд на пішохода ████████ К.В., яка рухалась в попутному напрямку.

Враховуючи встановлені слідством особливості фактичної дорожньої ситуації, експерт вважає, що в даній дорожній обстановці дії водія автомобіля ЗАЗ-110557 державний номер АВ ████████ МІ ████████ В.В. з технічної точки зору регламентувались вимогами п.п. 12.2, 12.3 Правил дорожнього руху.

Згідно п.12.2 ПДР: «У темну пору доби та в умовах недостатньої видимості швидкість руху повинна бути такою, щоб водій мав змогу зупинити транспортний засіб у межах видимості дороги.»

Згідно п.12.3 ПДР: «У разі виникнення небезпеки для руху або перешкоди, яку водій об'єктивно спроможний виявити, він повинен негайно вжити заходів для зменшення швидкості аж до зупинки транспортного засобу або безпечною для інших учасників руху об'їзду перешкоди».

2. Під технічною можливістю попередження ДТП в експертній практиці розуміють можливість уникнути наїзду (зіткнення, перекидання) шляхом зниження швидкості, зупинки транспортного засобу або маневру. Дослідження питання стосовно технічної можливості попередження ДТП пов'язано з визначенням моменту виникнення небезпеки такої дорожньо-транспортної ситуації, в якій водій повинен негайно вживати заходи спрямовані на попередження ДТП або зменшення ступеня його наслідків.

Оскільки під час проведення огляду місця ДТП виявлено та зафіксовано сліди гальмування автомобіля, тому визначимо, яка швидкість їм відповідає. Величина швидкості руху автомобіля ЗАЗ 110557 держ.номер АВ ████████ МІ, яка відповідає довжині слідів гальмування визначається по наступній формулі:

$$J = J_n * \cos A - 9.81 * \sin A = (2.0 \div 2.9) * 0.994 - 9.81 * 0.104 = 1.0 \div 1.9 \frac{\text{м}}{\text{с} * \text{с}}$$

$$J_k = 9.81 * f = 9.81 * ((0.025 \div 0.030)) = 0.25 \div 0.29$$

$$V_k = 1.8 * T_5 * J + \sqrt{26 * J_k * S_k}$$

$$V_k = 1.8 * 0.3 * (1.0 \div 1.9) + \sqrt{26 * 47.9 * (0.25 \div 0.29)} = 18.2 \div 20.0 \text{ км/год}$$

$$V_a = 1.8 * T_3 * J + \sqrt{26 * (S_{\text{ю}} - L) * J + V_k^2}$$

$$V_a = 1.8 * 0.1 * (1.0 \div 1.9) + \sqrt{26 * (24.3 - 2.32) * (1.0 \div 1.9) + (18.2 \div 20.0)^2} = 30.2 \div 38.9 \text{ км/год}$$

де

A – кут нахилу проїзної частини, спуск, град: 6.0;

J_n – усталене сповільнення автомобіля ЗАЗ 110557 (за гальмівними якостями віднесений до 3-ої групи категорії М1) при гальмуванні на горизонтальній ділянці дороги, м/с*с: 2.0 2.9;

T₃ – час наростання сповільнення автомобіля ЗАЗ-110557 (за гальмівними якостями віднесений до 3-ої групи категорії М1), с: 0.1.

T₅ – час розгальмовування автомобіля ЗАЗ 110557 (за гальмівними якостями віднесений до 3-ої групи категорії М1), с: 0.3;

S_ю – загальна довжина сліду гальмування, м: 24.3;

S_k – відстань, яку подолав автомобіль ЗАЗ-110557 без залишення сліду гальмування, м: 47.9;

f – коефіцієнт опору кочення: 0.025; 0.030;

L – колісна база автомобіля ЗАЗ 110557, м: 2.32.

Отже швидкість руху автомобіля ЗАЗ 110557 державний номер АВ [REDACTED] МІ, яка відповідає довжині видимих зафіксованих слідів гальмування коліс та коченню автомобіля ЗАЗ 110557 до повної зупинки без слідів гальмування, при умові, що дані сліди гальмування залишені колесами автомобіля ЗАЗ 110557 державний номер АВ [REDACTED] МІ, визначається рівною біля 30.2-38.9 км/год.

Так як частина слідів могла не відобразитися, тоді враховуючи проведенні розрахунки швидкість руху автомобіля ЗАЗ 110557 державний номер АВ [REDACTED] МІ могла становити і 40 км/год, як вказано в постанові про призначення експертизи та не протирічить проведеним розрахункам і буде приймати при проведенні подальших розрахунків.

Так як пригода мала місце в темний час доби, тому визначимо, яка повинна бути безпечна швидкість руху автомобіля по умовам видимості дороги.

Безпечна швидкість руху автомобіля ЗАЗ 110557 державний номер АВ [REDACTED] МІ за умовами видимості дороги визначається за такими формулами:

$$T = T_v + T_2 + 0.5 * T_3$$

$$T = 0.3 + 0.2 + 0.5 * 0.1 = 0.55 \text{ сек}$$

$$Vd = 3.6 * J * T * \left(\sqrt{\frac{2 * S_B}{J * T^2} + 1} - 1 \right)$$

$$Vd = 3.6 * (1.0 \div 1.9) * 0.55 * \left(\sqrt{\frac{2 * 72.4}{(1.0 \div 1.9) * 0.55^2} + 1} - 1 \right) = 41.4 \div 56.1 \text{ км/год}$$

де

T - час реакції водія автомобіля ЗАЗ-110557 при виборі швидкості руху по умовам видимості, с: 0.3;

S_B - видимість полотна дороги, м: 72.4;

T_2 - час запізнення спрацювання гальмівного приводу автомобіля ЗАЗ 110557 (за гальмівними якостями віднесений до 3-ої групи категорії М1), с: 0.2;

В умовах даної пригоди величина безпечної швидкості руху ($V_{ад}$) автомобіля ЗАЗ-110557, яка відповідає величині видимості дороги, визначається рівною не більше 41.4-56.1 км/год, що в даному випадку є більшою ніж фактична швидкість руху автомобіля ЗАЗ-110557 вказаної в постанові про призначення експертизи – 40 м/год, що в цілому може свідчити, про можливу відповідність дій водія автомобіля ЗАЗ-110557 вимогам п.12.2 ПДР України.

Технічна можливість попередження наїзду на пішохода у водія автомобіля ЗАЗ 110557 ██████████ В.В. передбачає порівнянням відстані, яка була між автомобілем та пішоходом в момент появи останнього в полі зору водія та відстані, якої було б достатньо, щоб знизити швидкість руху автомобіля до швидкості руху пішохода для того, щоб не відбулося контактування, вказана умова має наступний вигляд:

$$S = T * \frac{\Delta V}{3.6} + \frac{\Delta V^2}{25.92 * J} < S_a$$

$$\Delta V = V_a - V_n$$

$$T = T_1 + T_2 + 0.5 * T_3$$

де

S_a - відстань видимості пішохода в момент виявлення останнього в полі зору водія, м: 41.1;

T_1 - ситуаційний час реакції водія автомобіля ЗАЗ 110557, с: 1.0;

V_n – швидкість руху пішохода в темпі спокійного кроку (згідно табличних даних Ленінградської НДЛІСЕ, 1966р), км/год: 4.6; 5.6;

V_a – швидкість руху автомобіля ЗАЗ-110557, згідно постанови про призначення експертизи, км/год: 40.0.

$$\Delta V = 40 - (4.6 \div 5.6) = 35.4 \div 34.4 \text{ км/год}$$

$$T = 1.0 + 0.2 + 0.5 * 0.1 = 1.25 \text{ сек}$$

$$S = 1.25 * \frac{35.4 \div 34.4}{3.6} + \frac{(35.4 \div 34.4)^2}{25.92 * (1.0 \div 1.9)} = (60.6 \div 37.7) \div (57.6 \div 36.0) <> 41.1$$

Враховуючи проведені вище розрахунки, слід відмітити, що умова або виконується або не виконується, тобто в даному випадку слід дійти висновку, що в ситуації, яка склалася, при технічних параметрах вказаних в постанові про призначення експертизи та при нижній границі коефіцієнту зчеплення шин з дорожнім покриттям, водій автомобіля ЗАЗ 110557 [REDACTED] В.В. не мав технічної можливості попередити наїзд на пішохода шляхом екстреного гальмування із зниженням швидкості руху автомобіля до швидкості руху пішохода, а при верхній границі коефіцієнта зчеплення шин з дорожнім покриттям, водій автомобіля ЗАЗ 110557 [REDACTED] В.В. мав технічну можливість попередити наїзд на пішохода шляхом екстреного гальмування із зниженням швидкості руху автомобіля до швидкості руху пішохода.

Відповідно до вимог п.10.1 Правил дорожнього руху, пішохід, що рухається в попутному напрямку буде являтися для водія [REDACTED] В.В. перешкодою для руху, при умові якщо останній не буде змінювати напрямок руху та буде відсутній зустрічний транспорт.

При врахуванні технічних параметрів вказаних в слідчому експерименті слідує, що автомобіль ЗАЗ 110557 рухався на відстані 0.4 м від лівого краю проїзної частини, сам пішохід розташовувався на відстані 0.4 м від того ж краю проїзної частини, його ліва сторона.

Відповідно до довідкової літератури величина безпечного бокового інтервалу, при об'їзді пішохода вданій обстановці, визначається за формулою:

$$X = \frac{(1.4 * L + 5) * V_a}{1000} = \frac{(1.4 * 3.9 + 5) * 40}{1000} \cong 0.42 \text{ м}$$

де

L- габаритна довжина автомобіля ЗАЗ 110557, м: 3.9.

Відповідно до довідкової літератури поперечний розмір простору, який займає пішохід, що рухається, при проведенні розрахунків приймається рівним біля 1.0 м. Враховуючи проведені вище розрахунки можливо стверджувати, що автомобілю ЗАЗ 110557 необхідно зміститися на відстань з врахуванням безпечного бокового інтервалу: $1.0 + 0.4 + 0.42 = 1.82$ м, тобто в даному випадку автомобіль вправо повинен зміститися на 1.82 м.

Поперечне зміщення автомобіля ЗАЗ 110557, яке необхідне для об'їзду пішохода справа з врахуванням безпечного бокового інтервалу визначається рівним 1.82м, що зазначено вище.

Поздовжнє зміщення автомобіля, яке теоретично необхідно для зміщення його в сторону на Y_m :

$$X_m = 0.25 * V_a * \sqrt{\frac{Y_m}{\varphi}} = 0.25 * 40 * \sqrt{\frac{1.82}{0.2 \div 0.3}} = 30.2 \div 24.6\text{м}$$

Коефіцієнт маневру:

$$K_m = 1.0 + 0.001 * V_a = 1.0 + 0.001 * 40 \cong 1.04$$

Фактичне необхідне зміщення автомобіля:

$$X_\phi = K_m * X_m = 1.04 * (30.2 \div 24.6) = 31.4 \div 25.6\text{м}$$

Віддалення автомобіля ЗАЗ-110557 від місця наїзду:

$$S_a = \frac{S_b * V_a}{V_a - V_n} = \frac{41.1 * 40}{40 - (4.6 \div 5.6)} = 46.4 \div 47.8\text{м}$$

Умова безпечного об'їзду пішохода:

$$X_\phi \leq S_a - (T_1 + T_{py}) * \frac{V_a}{3.6}$$

$$31.4 \div 25.6 < (46.4 \div 47.2) - (1.0 + 0.2) * \frac{40}{3.6} = 33.1 \div 33.9$$

де

T_{py} – час запізнення спрацювання рульового приводу автомобіля ЗАЗ 110557, с: 0.2.

Отже умова виконується, тобто слід дійти висновку, що в ситуації, яка склалася, при технічних параметрах вказаних в постанові про призначення експертизи та містяться в матеріалах кримінального провадження, водій автомобіля ЗАЗ 110557 [REDACTED] В.В. мав технічну можливість застосувавши маневр здійснити безпечний об'їзд пішохода справа, при умові, що останній не змінює напрямку руху.

3. Оскільки швидкість руху вибрана водієм автомобіля ЗАЗ 1103557 [REDACTED] В.В. відповідала вимогам п.12.2 Правил дорожнього руху, і останній мав технічну можливість попередити наїзд на пішохода шляхом виконання вимог п.12.3 ПДР України, тому можливо прийти до висновку, що в ситуації,

яка склалася, при технічних параметрах вказаних в постанові про призначення експертизи, в діях водія автомобіля ЗАЗ 110557 [REDACTED] В.В. вбачається невідповідність вимогам п.12.3 Правил дорожнього руху, які з технічної точки зору знаходяться в причинному зв'язку з виникненням події даної дорожньо-транспортної пригоди.

Питання, чи вбачається в діях пішохода невідповідність вимогам Правил дорожнього руху, експертом не досліджувалось, так як спеціальних пізнань в галузі автотехніки не потрібно, і може бути вирішене органами слідства(суду) самостійно відповідно до вимог розділу 4 «Обов'язки і права пішоходів» Правил дорожнього руху.

4.В ситуації, яка склалася, при технічних параметрах вказаних в постанові про призначення експертизи, невідповідність дій водія автомобіля ЗАЗ 110557 [REDACTED] В.В. вимогам п.12.3 Правил дорожнього руху з технічної точки зору стало причиною даної дорожньо-транспортної пригоди.

Разом із висновком повертаються матеріали кримінального провадження № 12018020201000 [REDACTED] на 38 арк.

Дослідження проводили у вимірювальній лабораторії Вінницького НДЕКЦ МВС України (свідоцтво про атестацію від 19.12.2017 №ПУ-0109/17).

В И С Н О В К И

1. В даній дорожній обстановці дії водія автомобіля ЗАЗ-110557 державний номер АВ [REDACTED] МІ [REDACTED] В.В. з технічної точки зору регламентувались вимогами п.п.12.2, 12.3 Правил дорожнього руху, зміст яких викладений в дослідницькій частині.

2. В ситуації, яка склалася, при технічних параметрах вказаних в постанові про призначення експертизи та при нижній границі коефіцієнту зчеплення шин з дорожнім покриттям, водій автомобіля ЗАЗ 110557 [REDACTED] В.В. не мав технічної можливості попередити наїзд на пішохода шляхом екстреного гальмування із зниженням швидкості руху автомобіля до швидкості руху пішохода, а при верхній границі коефіцієнта зчеплення шин з дорожнім покриттям, водій автомобіля ЗАЗ 110557 [REDACTED] В.В. мав технічну можливість попередити наїзд на пішохода шляхом термінового гальмування із зниженням швидкості руху автомобіля до швидкості руху пішохода.

В ситуації, яка склалася, при технічних параметрах вказаних в постанові про призначення експертизи та містяться в матеріалах кримінального провадження, водій автомобіля ЗАЗ 110557 [REDACTED] В.В. мав технічну можливість застосувавши маневр здійснити безпечний об'їзд пішохода справа, при умові, що останній не змінює напрямку руху.

3. В ситуації, яка склалася, при технічних параметрах вказаних в постанові про призначення експертизи, в діях водія автомобіля ЗАЗ 110557 [REDACTED] В.В. вбачається невідповідність вимогам п.12.3 Правил дорожнього руху, які з технічної точки зору знаходяться в причинному зв'язку з виникненням події даної дорожньо-транспортної пригоди.

Питання, чи вбачається в діях пішохода невідповідність вимогам Правил дорожнього руху, експертом не досліджувалось, так як спеціальних пізнань в галузі автотехніки не потрібно, і може бути вирішене органами слідства(суду) самостійно відповідно до вимог розділу 4 «Обов'язки і права пішоходів» Правил дорожнього руху.

4. В ситуації, яка склалася, при технічних параметрах вказаних в постанові про призначення експертизи, невідповідність дій водія автомобіля ЗАЗ 110557 [REDACTED] В.В. вимогам п.12.3 Правил дорожнього руху з технічної точки зору стала причиною даної дорожньо-транспортної пригоди.

Судовий експерт

В.М. Діордіца

К.2 Автотехнічні дослідження механізму зіткнення транспортних засобів

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ
ЕКСПЕРТНО- КРИМІНАЛІСТИЧНИЙ ЦЕНТР**

вул. В.Порика, буд.8, м. Вінниця, 21021, тел. факс (0432) 56-03-01, 56-02-86
електронна пошта: Internet - ndekc@i.ua,
відомча (МВС України) – ndekc@pol01.vinn.ua

ВИСНОВОК ЕКСПЕРТА

23.01.2018

м. Вінниця

№ 817а

До Вінницького науково-дослідного експертно-криміналістичного центру МВС України 20.10.2017 при супровідному листі від 11.10.2017 №20022 з Тернівського районного суду м. Кривого Рогу Дніпропетровської області надійшла постанова від 08.08.2017 про призначення судової автотехнічної експертизи, винесена суддею Дудіковим А.В. у адміністративній справі №215/1248/█, №3/215/758/█.

Проведення судової експертизи доручено завідувачу сектора автотехнічних досліджень Діордіці Василю Миколайовичу, який має вищу технічну освіту, кваліфікацію судового експерта з правом проведення експертиз за експертною спеціальністю 10.1 «Дослідження обставин дорожньо-транспортних пригод», (свідоцтво № 5804, видане ЕКК МВС України 25.10.2002, свідоцтво про підтвердження кваліфікації судового експерта, видане ЕКК МВС України 18.10.2017) та 10.4 «Транспортно-трасологічні дослідження», (свідоцтво № 6810, видане ЕКК МВС України 01.10.2004, свідоцтво про підтвердження кваліфікації судового експерта №62, видане ЕКК МВС України 23.03.2015), стаж експертної роботи з 2001 року.

Про відповідальність за завідомо неправдивий висновок та відмову без поважних причин від виконання покладених обов'язків за статтями 384, 385 Кримінального кодексу України попереджений.

В.М. Діордіца

Обставини справи (з постанови про призначення судової експертизи):

«Відповідно до протоколу про адміністративне правопорушення, 21.02.2017 року о 15год.00хв. █ А.Є., керуючи транспортним засобом марки «Chevrolet», модель «Aveo», номерний знак АЕ █ ВМ на регульованому автоматичним світлофором перехресті по вул. Лісова, рухаючись на зелений сигнал світлофору, маючи об'єктивну можливість оцінити дорожню обстановку, а також маючи об'єктивну можливість виявити

небезпеку для руху, проявив бездіяльність до дорожньої обстановки, своєчасно не вжив заходів до зменшення швидкості аж до зупинки транспортного засобу та допустив зіткнення з автомобілем «Porsche Cayenne» д.н.з. АЕ [REDACTED] ІА під керуванням водія [REDACTED] Ф.Р., який виконував маневр повороту ліворуч у бік мкр. «Східний».

На експертизу надано:

- матеріали адміністративної справи №215/1348/[REDACTED], №3/215/758/[REDACTED] на 115 арк..

На вирішення судової експертизи поставлені питання:

«1. Як повинні були діяти водії транспортних засобів «Chevrolet Aveo», номерний знак АЕ [REDACTED] ВМ та «Porsche Cayenne», д.н.з. АЕ [REDACTED] ІА, в даній дорожній обстановці, щоб уникнути ДТП ?

2. Чи могли водій автомобіля транспортного засобу «Chevrolet Aveo» [REDACTED] А.Є. та водій автомобіля «Porsche Cayenne», [REDACTED] Ф.Д. запобігти зіткненню транспортних засобів ?

3. Невідповідність яким вимогам Правил дорожнього руху України вбачається в діях водія [REDACTED] А.Є. з керування автомобілем «Chevrolet Aveo» та водія [REDACTED] Ф.Д. з керуванням автомобілем «Porsche Cayenne», та які з них знаходяться у причинному зв'язку з дорожньо-транспортною пригодою ?

4. Чи вбачається невідповідність вимог п. 12.3 ПДР України в діях водія [REDACTED] А.Є. з керуванням автомобілем «Chevrolet Aveo», якщо так, то чи знаходиться вона у причинно-наслідковому зв'язку з ДТП яка розглядається ?»

Вихідні дані (прийняті з постанови про призначення експертизи):

В розпорядженні експертів надати матеріали справи про адміністративне правопорушення №215/1348/[REDACTED], №3/215/758/[REDACTED], в яких містяться вихідні дані.

Під час проведення експертизи використовувалися такі інформаційні джерела:

1. Боровский Б.Е. Безопасность движения автомобильного транспорта. Анализ дорожно-транспортных происшествий [Текст] / Б.Е. Боровский. — Л.: Лениздат, 1984. — 304 с.: ил.

2. Судебная автотехническая экспертиза. Часть II. Теоретические основы и методики экспертного исследования при производстве автотехнической экспертизы [Текст]: Пособие для экспертов-автотехников, следователей и судей; ответственный редактор В.А. Иларионов. — М.: ВНИИСЭ, 1980. — 392 с.: ил.

3. Правила дорожнього руху України.

4. Галаса П.В. Експертний аналіз дорожньо-транспортних пригод [Текст]: Посібник для спеціалістів та водіїв-аматорів / П.В. Галаса,

В.Б. Кисельов, А.С. Куйбіда та ін.; під заг. ред. П.В. Галаси; Український центр післяаварійного захисту «ЕКСПЕРТ-СЕРВІС». — К., 1995. — 190 с.: іл.

5. Результаты систематизации экспериментально-расчетных значений параметров торможения автотранспортных средств. Москва, 1990г.

6. Экспертная техника. Выпуск 117. ВНИИСЭ.,1980.-1990г.

7. Транспортно-трасологическая экспертиза по делам о дорожно-транспортных происшествиях (диагностические исследования) [Текст]: Пособие для экспертов, следователей и судей. – М.: ВНИИСЭ, 1988. – Вып. 2.

8. Кристи Н.М. Методические рекомендации по производству автотехнической экспертизы [Текст] / Н.М. Кристи.— М.: ЦНДИСЭ, 1971.

9. Суворов Ю.Б. Судебная дорожно-транспортная экспертиза (учеб. пособие для студентов вузов) [Текст] / Ю.Б. Суворов; Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. — М.: Издательство «Экзамен», издательство «Право и закон», 2003. — 208 с. : ил.

10. «Інструкція з організації проведення та оформлення експертних проваджень у підрозділах Експертної служби Міністерства внутрішніх справ України.» затверджена наказом Міністерства внутрішніх справ України №591 від 17.07.2017.

ДОСЛІДЖЕННЯ

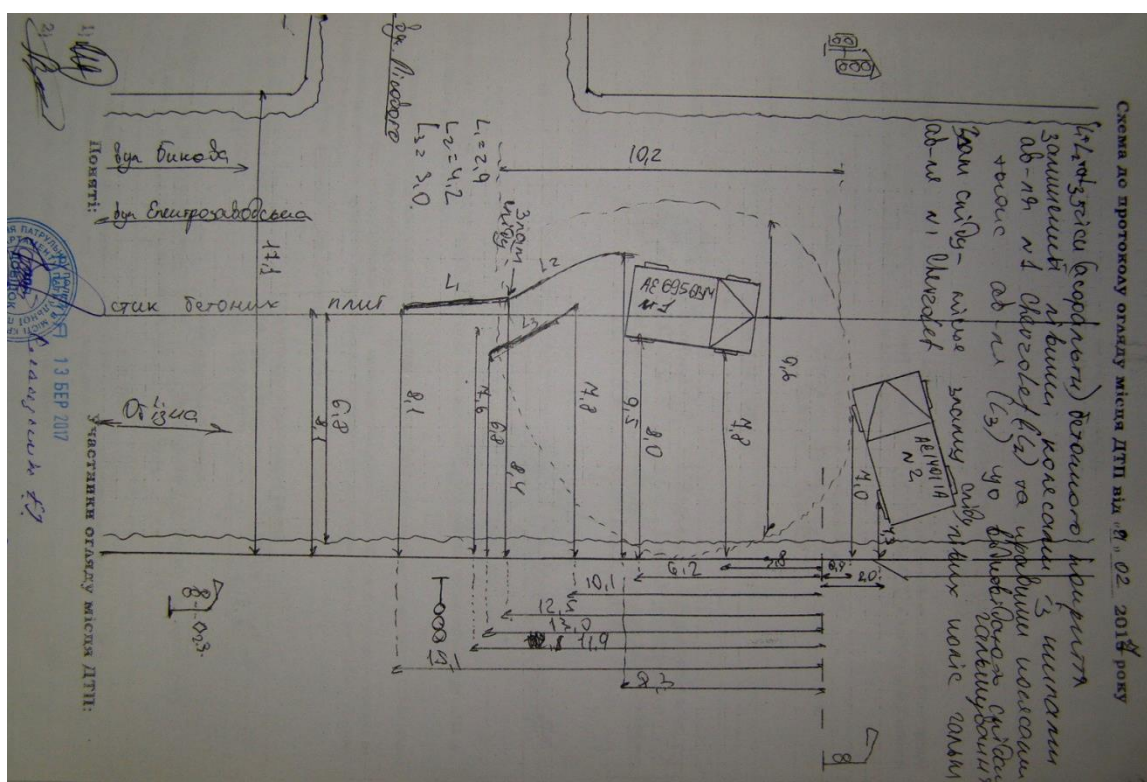
Дослідження проводиться відповідно до вимог методики 10.1.03 «Дослідження гальмування транспортних засобів», 10.1.05 «Дослідження маневру транспортних засобів», 10.1.06 «Дослідження зіткнень транспортних засобів, 10.4.02 «Визначення розташування місця зіткнення (наїзду)».

1. Як слідує з постанови про призначення експертизи та матеріалів адміністративної справи дорожньо-транспортна пригода сталась в світлий час доби біля 15.00 год. 21.02.2017. Під час даної ДТП в межах перехрестя Об'їзна дорога – вул. Лісова в м. Кривий Ріг сталося зіткнення автомобіля Chevrolet Aveo державний номер АЕ [REDACTED] ВМ під керуванням водія [REDACTED] А.Є., який рухався по Об'їзній дорозі прямо та автомобіля Porsche Cayenne державний номер АЕ [REDACTED] ІА під керуванням водія [REDACTED] Ф.Р., який рухаючись по Об'їзній дорозі попереду виконував маневр лівого повороту на вул. Лісову.

Згідно пояснення водія [REDACTED] А.Є. (а.с.11) слідує, що він на керованому ним автомобіля рухався в лівій крайній смузі, попереду рухався автомобіль Porsche-Cayenne державний номер АЕ [REDACTED] ІА по центру дороги, зупинився і при наближенні до нього останній розпочав виконувати маневр повороту ліворуч, не зайнявши відповідне крайнє положення, в результаті чого сталося зіткнення транспортних засобів, при цьому згідно його ж пояснень автомобіль рухався зі швидкістю 70 км/год. (див. зображення №№ 1, 2).

Отже при вивченні пояснень водіїв встановлено, що вони містять протиріччя про механізм розвитку події ДТП, тому експертом буде проаналізовано протокол та схема огляду місця ДТП від 21.02.2017, фотоілюстрації, які містяться в матеріалах справи, які можливо дозволять усунути протиріччя, зокрема і визначити, з якого саме положення міг здійснювати маневр повороту ліворуч автомобіль Porsche-Cayenne державний номер АЕ [REDACTED] ІА, для того, щоб вирішити дане та послідуєчі питання.

Згідно протоколу огляду місця ДТП слідує, що: «...Місце зіткнення ТЗ розташоване в місці зламу між слідами L1 та L2...», що підтверджується схемою огляду місця пригоди.(див. зображення №4).



Зображення 4. Фрагмент схеми огляду місця ДТП.

Також згідно довідкової літератури, однією з ознак, які дозволяють визначити місце зіткнення є: «...»

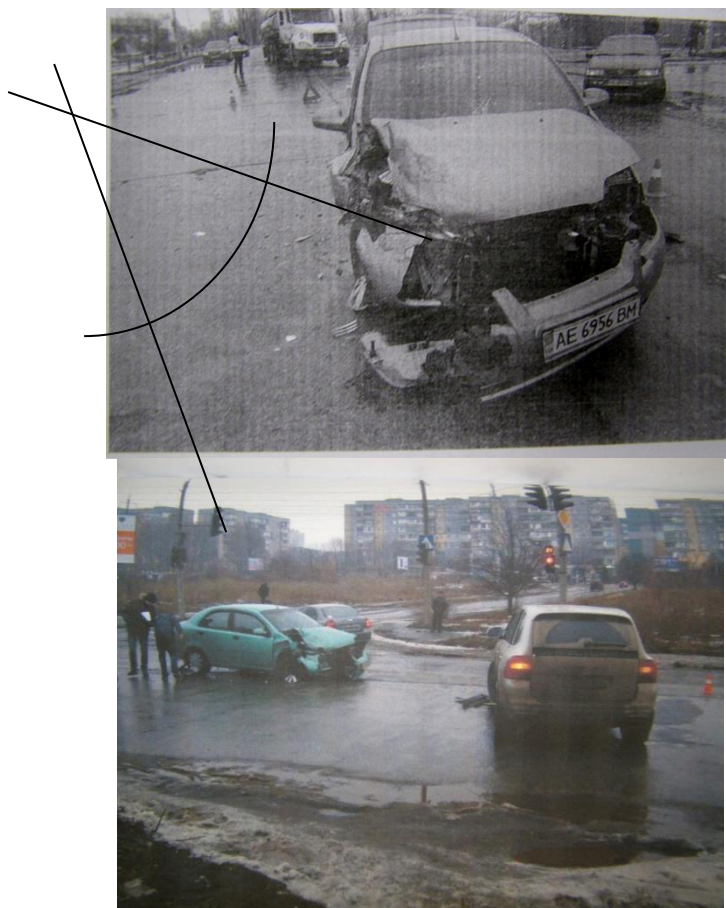
- різке відхилення сліду колеса від початкового напрямку (при екстремому ударі по транспортному засобі або по передньому колесі);
- боковий зсув сліду колеса (більш точніше визначається положення транспортного засобу при зіткненні);
- боковий слід незаблокованого колеса (такі сліди майже непомітні і рідко фіксуються).

Також інформацію про переміщення транспортних засобів по проїзній частині містять сліди гальмування транспортних засобів...».

Враховуючи наведені вище міркування нанесемо на міліметровий аркуш паперу елементи проїзної частини, а саме там де рухались автомобілі, після цього було нанесено слід гальмування L1-2.9м, в місці його закінчення було розміщено переднє ліве колесо масштабного зображення автомобіля

Chevrolet Aveo, сам же автомобіль був розміщений в такому положенні і напрямку, як розміщений даний слід. Таке положення автомобіля Chevrolet Aveo відповідає положенню його в момент зіткнення відносно елементів проїзної частини. Оскільки транспортні засоби не були надані експерту на дослідження, тому було проаналізовано розташування та характер пошкоджень на них, які б дозволили в найбільш ймовірній формі визначити, як міг розташовуватись автомобіль Porsche Cayenne на момент контактування.

При аналізі пошкоджень на автомобілі Chevrolet Aveo встановлено, що основні з них розташовані в передній, передній правій (кутовій) частині. Передній бампер зірваний з місця свого конструктивного кріплення, права кутова частина має руйнування. Переднє праве крило має зміщення спереду назад та змяття металу. Капот має деформацію у вигляді згину, яка проходить по всій лощині і з врахуванням фотоілюстрацій, які містяться в матеріалах справи, кут між подовжньою віссю капоту та лінією згину становить біля 50 градусів. (див. зображення №№5,6).



Зображення 5,6. Загальний вигляд розташування пошкоджень на автомобілі Chevrolet Aveo.

При аналізі пошкоджень на автомобілі Porsche Cayenne слідє, що основні з них розташовані в районі задньої лівої двері - лівого порогу. Задня ліва дверка має деформацію у вигляді вм'ятин металу. Арка заднього лівого крила має деформацію у вигляді вм'ятин металу в передній частині. Лівий

поріг в задній частині має деформацію кутоподібну в районі розташування задньої лівої дверки та у вигляді складок металу. Задня ліва боковина без деформацій, задній бампер знаходиться на своєму конструктивному місці. (див. зображення № 7).



Зображення 7. Розташування пошкоджень на автомобілі Porsche Cayenne

Характер пошкоджень на транспортних засобах дає підстави стверджувати, що був блокуючий удар, при цьому з врахуванням напрямків прикладання деформуючого зусилля, в момент контактування кут між подовжніми осями транспортних засобів найбільш ймовірно міг становити близько 50 градусів, при цьому в місці кутоподібної деформації автомобіля Porsche Cayenne лівого порогу міг розташовуватись передній правий лонжерон автомобіля Chevrolet Aveo. Тому на міліметровий аркуш паперу відносно автомобіля Chevrolet Aveo було розміщено масштабне зображення автомобіля Porsche Cayenne під тим кутом, як вони найбільш ймовірно могли контактувати. Згідно довідкової літератури мінімальний радіус повороту автомобіля Porsche Cayenne становить 6.1 м. Так як пояснення водія [REDACTED] Ф.Д. не містять будь-яких числових значень про швидкість руху автомобіля Porsche Cayenne, а згідно пояснення водія [REDACTED] А.Є., даний автомобіль зупинився, а потім розпочав виконувати маневр повороту ліворуч, тому з врахуванням мінімального радіуса повороту (згідно довідкової літератури), було переміщено масштабне зображення автомобіля Porsche Cayenne в те теоретичне положення, з якого останній міг виконувати поворот ліворуч, для того, щоб опинитися в положенні вказаному вище.. Також необхідно зазначити, що в момент контактування кут між транспортним засобами на думку експерта міг бути не менше ніж 45 градусів, так як при меншому куті автомобіль Porsche Cayenne не могло б відкинути та поставити в таке, як зафіксовано в схемі післяаварійне положення, тобто кут міг бути і більшим, а якщо кут між подовжніми осями в момент контактування

був більшим, тоді автомобіль Porsche Cayenne буде знаходитись, ще правіше відносно центру дороги.

Враховуючи результати проведених вище досліджень в цілому можливо прийти до висновку, що на момент виконання маневру повороту ліворуч автомобіль Porsche Cayenne знаходився правіше від смуги руху автомобіля Chevrolet Aveo.

Враховуючи встановлені слідством особливості фактичної дорожньої ситуації та результати проведених вище досліджень, експерт вважає, що в даній дорожній обстановці:

- дії водія автомобіля Porsche Cayenne державний номер АЕ [REDACTED] ІА [REDACTED] Ф.Р. з технічної точки зору регламентувались вимогами п.п. 10.1, 10.4 Правил дорожнього руху;

- дії водія автомобіля Chevrolet Aveo державний номер АЕ [REDACTED] ВМ [REDACTED] А.Є. з технічної точки зору регламентувались вимогами п.12.3 Правил дорожнього руху, та у випадку руху зі швидкістю більше 60 км/год, ще і вимогами п. 12.4 Правил дорожнього руху.

Згідно п. 10.1 ПДР: «Перед початком руху, перестроюванням та будь-якою зміною напрямку руху водій повинен переконатися, що це буде безпечним і не створить перешкод або небезпеки іншим учасникам руху».

Згідно п.10.4 ПДР: «Перед поворотом праворуч та ліворуч, у тому числі в напрямку головної дороги, або розворотом водій повинен завчасно зайняти відповідне крайнє положення на проїзній частині, призначеній для руху в цьому напрямку, крім випадків, коли здійснюється поворот у разі в'їзду на перехрестя, де організовано круговий рух, напрямок руху визначено дорожніми знаками чи дорожньою розміткою або рух можливий лише в одному напрямку, установленому конфігурацією проїзної частини, дорожніми знаками чи розміткою.

Водій, що виконує поворот ліворуч або розворот поза перехрестям з відповідного крайнього положення на проїзній частині даного напрямку, повинен дати дорогу зустрічним транспортним засобам, а при виконанні цих маневрів не з крайнього лівого положення на проїзній частині – і попутним транспортним засобам. Водій, що виконує поворот ліворуч, повинен дати дорогу попутним транспортним засобам, які рухаються попереду нього і виконують розворот.

За наявності трамвайної колії посередині проїзної частини водій нерейкового транспортного засобу, що виконує поворот ліворуч або розворот поза перехрестям, повинен дати дорогу трамваю.».

Згідно п. 12.3 ПДР: «У разі виникнення небезпеки для руху або перешкоди, яку водій об'єктивно спроможний виявити, він повинен негайно взяти заходів для зменшення швидкості аж до зупинки транспортного засобу або безпечного для інших учасників руху об'їзду перешкоди».

Згідно п. 12.4 ПДР: «У населених пунктах рух транспортних засобів дозволяється із швидкістю не більше 60км/год».

Відповідно до вимог п.1.10 ПДР України слідує:

небезпека для руху - зміна дорожньої обстановки (у тому числі поява рухомого об'єкта, який наближається до смуги руху транспортного засобу чи перетинає її) або технічного стану транспортного засобу, яка загрожує безпеці дорожнього руху і змушує водія негайно зменшити швидкість або зупинитися. Окремим випадком небезпеки для руху є рух у межах смуги транспортного засобу іншого транспортного засобу назустріч загальному потоку;

перешкода для руху – нерухомий об'єкт у межах смуги руху транспортного засобу або об'єкт, що рухається попутно в межах цієї смуги (за винятком транспортного засобу, що рухається назустріч загальному потоку транспортних засобів) і змушує водія маневрувати або зменшувати швидкість аж до зупинки транспортного засобу;

крайне положення на проїзній частині – положення транспортного засобу на відстані від краю проїзної частини (середини проїзної частини або розділювальної смуги), яка не дає можливості рухатися попутному транспортному засобу (у тому числі двоколісному) ще ближче до краю проїзної частини (середини проїзної частини або розділювальної смуги).

2. Під технічною можливістю попередження ДТП в експертній практиці розуміють можливість уникнути наїзду (зіткнення, перекидання) шляхом зниження швидкості, зупинки транспортного засобу або маневру. Дослідження питання стосовно технічної можливості попередження ДТП пов'язано з визначенням моменту виникнення небезпеки такої дорожньо-транспортної ситуації, в якій водій повинен негайно вживати заходи спрямовані на попередження ДТП або зменшення ступеня його наслідків.

В свою чергу відповідно з довідковою літературою розрахунок технічної можливості проводиться тільки для водія, якщо водій має перевагу на рух.

Згідно наданих на експертизу матеріалів адміністративної справи в поясненні водія ██████████ А.Є. вказано, що вперше він побачив автомобіль Porsche Cayenne на відстані 200 м, який рухався посередині проїзної частини, що в даному випадку не протирічить проведеним вище дослідженням, і в даному випадку не буде для водія ██████████ А.Є. небезпекою для руху, так як розташування автомобіля Porsche Cayenne дозволяє прямо лінійний рух автомобіля Chevrolet-Aveo без вірогідності контактування. А за 7-8 м від керованого ним автомобіля останній розпочав виконувати маневр повороту ліворуч, при цьому приблизно через 2 секунди відбулося зіткнення.

При аналізі величини 7-8 метрів, необхідно зазначити наступне, що дана величина є технічно необґрунтованою, так як при такій величині, пошкодження на автомобілі Porsche Cayenne повинні були б розташовуватись в передній частині, що не відповідає розташуванню фактичних пошкоджень, а також той факт, що мінімальна відстань, на якій буде знаходитись автомобіль Chevrolet Aveo від початку видимих слідів гальмування буде становити $S_{min} = 15.1-11.6$ м, що видно з проведених нижче розрахунків:

$$S_{\text{мін}} = (T1_{\text{мін}} + T2 + 0.5 * T3) * \frac{V_a}{3.6} = (0.3 + 0.2 + 0.5 * (0.15 \div 0.2)) * \frac{70}{3.6} = 15.1 \div 11.6 \text{ м} \quad (1)$$

де

T1 – мінімальний ситуаційний час реакції водія автомобіля Chevrolet Aveo, с: 0.3;

T2 – час запізнення спрацювання гальмівного приводу автомобіля Chevrolet Aveo (за гальмівними якостями віднесений до 3-ої групи категорії M1), с: 0.2;.

T3 – час наростання сповільнення автомобіля Chevrolet Aveo (за гальмівними якостями віднесений до 3-ої групи категорії M1), с: 0.15; 0.2.

А тому від місця зіткнення автомобіль Chevrolet-Aveo буде знаходитись на відстані: $(15.1-11.6)+2.9=18.0-14.5\text{м}$, що більше ніж 7-8метрів, тому дану величину експерт не буде використовувати при проведенні подальших досліджень, так як її застосування може призвести до хибного висновку. Що ж стосується величини часу руху 2.0 с, то дана величина може бути технічно обґрунтованою і приймалася експертом до уваги при подальших дослідженнях, про що зазначено нижче.

Також необхідно зазначити, що небезпека для руху водію [REDACTED] А.Є. відповідно до довідкової літератури буде виникати з момент початку зміни напрямку руху ліворуч автомобілем Porsche Cayenne.

Технічна можливість попередити зіткнення з автомобілем Porsche Cayenne встановлюється порівнянням відстані (S_a), на якій автомобіль Chevrolet Aveo державний номер АЕ [REDACTED] ВМ знаходився від місця зіткнення в момент виникнення небезпеки для руху на шляху вказаному у вихідних даних, які містяться в матеріалах адміністративної справи і зупинного шляху автомобіля Chevrolet Aveo ($S_{од}$) в умовах місця пригоди, при русі з допустимою для даних дорожніх умов швидкістю.

Зупинний шлях автомобіля Chevrolet Aveo в умовах місця події при допустимій швидкості руху $V_{ад} = 60\text{км/год}$ (згідно вимог п.12.4 ПДР України) дорівнює $S_{од} = 53.5-41.9\text{м}$, що видно з розрахунку приведеного нижче:

$$S_{од} = (T1 + T2 + 0.5 * T3) * \frac{V_{ад}}{3.6} + \frac{V_{ад}^2}{25.92 * J} \quad (2)$$

$$S_{од} = (0.8 + 0.2 + 0.5 * (0.15 \div 0.20)) * \frac{60}{3.6} + \frac{60^2}{25.92 * (3.9 \div 5.9)} = 53.5 \div 41.9\text{м}$$

де

T1 – ситуаційний час реакції водія автомобіля Chevrolet Aveo, с: 0.8;

J – усталене сповільнення автопоїзда в автомобіля Chevrolet Aveo (за гальмівними якостями віднесений до 3-ої групи категорії M1) при гальмуванні на горизонтальній ділянці дороги, м/с^2 : 3.9; 5.9.

Згідно довідкової літератури колісна база автомобіля Chevrolet Aveo становить 2.48 м, з врахуванням ще і переднього звису автомобіля Chevrolet Aveo, який дорівнює 0.8 м, можливо стверджувати, що зіткнення сталося без гальмування, так як у частині виразу про переміщення автомобіля Chevrolet Aveo в загальмованому стані до місця зіткнення буде від'ємне значення, тобто зіткнення відбулося без гальмування:

$$St = (S_{\text{ю}} - L - C) = (2.9 - 2.48 - 0.8) \cong -0.38\text{м.} \quad (3)$$

де

C – передній звис автомобіля Chevrolet Aveo, м: 0.8;

$S_{\text{ю}}$ – довжина сліду гальмування коліс автомобіля Chevrolet Aveo до моменту контакту (з врахуванням схеми та протоколу ОМДТП), м: 2.9;

L – колісна база автомобіля Chevrolet Aveo, м: 2.48.

Визначимо величину віддалення автомобіля Chevrolet Aveo від місця зіткнення по наступній формулі:

$$Sa = \frac{Va}{3.6} * Tn = \frac{70}{3.6} * 2 \cong 38.9\text{м} \quad (4)$$

де

Tn – час руху автомобіля Porsche Cayenne з моменту виникнення небезпеки для руху (початку виконання маневру повороту ліворуч) до моменту зіткнення, с: 2.

Порівнюючи величину видалення автомобіля Chevrolet Aveo від місця зіткнення у момент виникнення небезпеки для руху $Sa = 38.8$ м з величиною зупинного шляху автомобіля Chevrolet Aveo в умовах місця події, при русі з допустимою для даних дорожніх умов швидкістю $S_{\text{од}} = 53.5-41.9$ м, слід дійти висновку, що в ситуації, яка склалася, при технічних параметрах, що містяться в матеріалах адміністративної справи та при умові, що з моменту виникнення небезпеки для руху до моменту зіткнення автомобіль Porsche Cayenne рухався 2.0 с (згідно пояснення водія [REDACTED] А.Є.) так як інші технічні параметри для проведення розрахунків в поясненнях водіїв відсутні, водій автомобіля Chevrolet Aveo [REDACTED] А.Є. не мав технічної можливості попередити зіткнення з автомобілем Porsche Cayenne шляхом екстреного гальмування, з зупинкою автомобіля Chevrolet Aveo до смуги руху автомобіля Porsche Cayenne, при русі з допустимою для даних дорожніх умов швидкістю 60 км/год.

В ситуації, яка склалася, можливість попередження зіткнення у водія автомобіля Porsche Cayenne [REDACTED] Ф.Д. полягала у виконанні ним вимог п.п. 10.1, 10.4 Правил дорожнього руху, при умові постійного контролю за рухом даного автомобіля.

Даний висновок не є категоричним, так як всі параметри приймалися зі слів водія, що є суб'єктивною оцінкою ним дорожньої обстановки, для вирішення питання в категоричній формі необхідно проведення слідчого експерименту з метою встановлення часу руху автомобіля Porsche Cayenne з моменту початку зміни напрямку руху ліворуч (виникнення небезпеки для руху) до моменту зіткнення.

3. Оскільки в ситуації, яка склалася, водій автомобіля Chevrolet Aveo [REDACTED] А.Є. не мав технічної можливості попередити зіткнення з автомобілем Porsche Cayenne шляхом виконання вимог п.п. 12.3, 12.4 Правил дорожнього руху, тому слід дійти висновку, що в ситуації, яка склалася, при технічних параметрах, що містяться в матеріалах адміністративної справи та при умові, що з моменту виникнення небезпеки для руху до моменту зіткнення автомобіль Porsche Cayenne рухався 2.0 с (згідно пояснення водія [REDACTED] А.Є.) так як інші технічні параметри для проведення розрахунків в поясненнях водіїв відсутні, в діях водія автомобіля Chevrolet Aveo [REDACTED] А.Є. буде вбачатись невідповідність вимогам п. 12.4 Правил дорожнього руху, проте дана невідповідність не буде знаходитись з технічної точки зору в причинному зв'язку з виникненням події даної дорожньо-транспортної пригоди.

В ситуації, яка склалася, при технічних параметрах, що містяться в матеріалах адміністративної справи та при умові, що з моменту виникнення небезпеки для руху до моменту зіткнення автомобіль Porsche Cayenne рухався 2.0 с (згідно пояснення водія [REDACTED] А.Є.) так як інші технічні параметри для проведення розрахунків в поясненнях водіїв відсутні, в діях водія автомобіля Porsche Cayenne [REDACTED] Ф.Р. вбачається невідповідність вимогам п.п. 10.1, 10.4 Правил дорожнього руху, які з технічної точки зору знаходяться в причинному зв'язку з виникненням події даної дорожньо-транспортної пригоди.

Даний висновок не є категоричним, так як всі параметри приймалися зі слів водія, що є суб'єктивною оцінкою ним дорожньої обстановки, для вирішення питання в категоричній формі необхідно проведення слідчого експерименту з метою встановлення часу руху автомобіля Porsche Cayenne з моменту початку зміни напрямку руху ліворуч (виникнення небезпеки для руху) до моменту зіткнення.

4. В ситуації, яка склалася, при технічних параметрах, що містяться в матеріалах адміністративної справи та при умові, що з моменту виникнення небезпеки для руху до моменту зіткнення автомобіль Porsche Cayenne рухався 2.0 с (згідно пояснення водія [REDACTED] А.Є.) так як інші технічні параметри для проведення розрахунків в поясненнях водіїв відсутні, в діях водія автомобіля Chevrolet Aveo [REDACTED] А.Є. не вбачається невідповідностей вимогам п. 12.3 Правил дорожнього руху.

ВИСНОВКИ

1. В даній дорожній обстановці, дії водія автомобіля Porsche Cayenne державний номер АЕ [REDACTED] ІА [REDACTED] Ф.Р. з технічної точки зору регламентувались вимогами п.п. 10.1, 10.4 Правил дорожнього руху, зміст яких викладений в дослідницькій частині.

В даній дорожній обстановці, дії водія автомобіля Chevrolet Aveo державний номер АЕ [REDACTED] ВМ [REDACTED] А.Є. з технічної точки зору регламентувались вимогами п. 12.3 Правил дорожнього руху, та у випадку руху зі швидкістю більше 60 км/год, ще і вимогами п. 12.4 Правил дорожнього руху, зміст яких викладений в дослідницькій частині.

2. В ситуації, яка склалася, при технічних параметрах, що містяться в матеріалах адміністративної справи та при умові, що з моменту виникнення небезпеки для руху до моменту зіткнення автомобіль Porsche Cayenne рухався 2.0 с (згідно пояснення водія [REDACTED] А.Є.) так як інші технічні параметри для проведення розрахунків в поясненнях водіїв відсутні, водій автомобіля Chevrolet Aveo [REDACTED] А.Є. не мав технічної можливості попередити зіткнення з автомобілем Porsche Cayenne шляхом термінового гальмування, з зупинкою автомобіля Chevrolet Aveo до смуги руху автомобіля Porsche Cayenne, при русі з допустимою для даних дорожніх умов швидкістю 60 км/год.

В ситуації, яка склалася, можливість попередження зіткнення у водія автомобіля Porsche Cayenne [REDACTED] Ф.Д. полягала у виконанні ним вимог п.п. 10.1, 10.4 Правил дорожнього руху, при умові постійного контролю за рухом даного автомобіля.

Даний висновок не є категоричним, так як всі параметри приймалися зі слів водія, що є суб'єктивною оцінкою ним дорожньої обстановки, для вирішення питання в категоричній формі необхідно проведення слідчого експерименту з метою встановлення часу руху автомобіля Porsche Cayenne з моменту початку зміни напрямку руху ліворуч (виникнення небезпеки для руху) до моменту зіткнення.

3. В ситуації, яка склалася, при технічних параметрах, що містяться в матеріалах адміністративної справи та при умові, що з моменту виникнення небезпеки для руху до моменту зіткнення автомобіль Porsche Cayenne рухався 2.0 с (згідно пояснення водія [REDACTED] А.Є.) так як інші технічні параметри для проведення розрахунків в поясненнях водіїв відсутні, в діях водія автомобіля Chevrolet Aveo [REDACTED] А.Є. вбачається невідповідність вимогам п. 12.4 Правил дорожнього руху, проте дана невідповідність не буде знаходитись з технічної точки зору в причинному зв'язку з виникненням події даної дорожньо-транспортної пригоди.

В ситуації, яка склалася, при технічних параметрах, що містяться в матеріалах адміністративної справи та при умові, що з моменту виникнення небезпеки для руху до моменту зіткнення автомобіль Porsche Cayenne рухався

2.0 с (згідно пояснення водія [REDACTED] А.Є.) так як інші технічні параметри для проведення розрахунків в поясненнях водіїв відсутні, в діях водія автомобіля Porsche Cayenne [REDACTED] Ф.Р. вбачається невідповідність вимогам п.п. 10.1, 10.4 Правил дорожнього руху, які з технічної точки зору знаходяться в причинному зв'язку з виникненням події даної дорожньо-транспортної пригоди.

Даний висновок не є категоричним, так як всі параметри приймалися зі слів водія, що є суб'єктивною оцінкою ним дорожньої обстановки, для вирішення питання в категоричній формі необхідно проведення слідчого експерименту з метою встановлення час руху автомобіля Porsche Cayenne з моменту початку зміни напрямку руху ліворуч (виникнення небезпеки для руху) до моменту зіткнення.

4. В ситуації, яка склалася, при технічних параметрах, що містяться в матеріалах адміністративної справи та при умові, що з моменту виникнення небезпеки для руху до моменту зіткнення автомобіль Porsche Cayenne рухався 2.0 с (згідно пояснення водія [REDACTED] А.Є.) так як інші технічні параметри для проведення розрахунків в поясненнях водіїв відсутні, в діях водія автомобіля Chevrolet Aveo [REDACTED] А.Є. не вбачається невідповідностей вимогам п. 12.3 Правил дорожнього руху.

Разом із висновком повертаються матеріали адміністративної справи № 215/1348/[REDACTED], №3/215/758/[REDACTED] на 115арк.

Судовий експерт

В.М. Діордіца

Додаток Л. Акти впровадження результатів дисертаційної роботи

Затверджую
 Директор Харківського науково-дослідного
 експертно-криміналістичного центру
 МВС України



С.І. Перлін

10 січня 2017 р

АКТ

про впровадження розробок
 здобувача вченого ступеня доктора технічних наук
 Кашканова Андрія Альбертовича
 з удосконалення методів дослідження дорожньо-транспортних пригод

Даний акт складений комісією в складі:

Голова комісії - Заступник директора -
 завідувач відділу інженерних, економічних,
 товарознавчих видів досліджень та
 оціночної діяльності Харківського
 НДЕКЦ МВС України

І. А. Давиденко

Члени комісії:

- Заступник завідувача відділу -
 завідувач сектору автотехнічних досліджень
 Харківського НДЕКЦ МВС України

С.В. Данець

- Завідувач кафедрою ТМ і РМ
 Харківського національного автомобільно-
 дорожнього університету (ХНАДУ)

М.А. Подригало

Комісія встановила, що на кафедрі автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету проводилися дослідження зі створення концепції підвищення ефективності автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод. На підставі цих досліджень прийняті до впровадження в сектор автотехнічних досліджень

відділу інженерних, економічних, товарознавчих видів досліджень та оціночної діяльності Харківського НДЕКЦ МВС України наступні розробки:

- методика зменшення невизначеності довідкових та розрахункових параметрів в задачах автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод;

- методика оцінювання якості розслідування та проведення автотехнічних експертиз дорожньо-транспортних пригод.

Ступінь участі в цих розробках доцента Кашканова А.А. складає близько 80 %.

Голова комісії

Члени комісії:

І. А. Давиденко

С.В. Данець

М.А. Подригало

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. директора
 Департаменту енергетики, транспорту та зв'язку
 Вінницької міської ради

С.П. Левченко

2018 р



АКТ

про використання результатів
 дисертаційної роботи здобувача наукового ступеня доктора технічних наук
Кашканова Андрія Альбертовича
 на тему «Концепція підвищення ефективності автотехнічної експертизи
 дорожньо-транспортних пригод»

Комісія у складі: голови – начальника Відділу транспорту та зв'язку Департаменту енергетики, транспорту та зв'язку (ДЕТЗ) Вінницької міської ради (ВМР) Бузниковатого С. В., членів комісії: Месніковича В. Ф., Соколовського А. О. – головних спеціалістів Відділу транспорту та зв'язку ДЕТЗ ВМР склали цей акт про те, що результати дисертаційної роботи канд. техн. наук Кашканова Андрія Альбертовича прийняті до використання Відділом транспорту та зв'язку Департаменту енергетики, транспорту та зв'язку Вінницької міської ради при проведенні індивідуальних та групових занять, інструктажів, нарад, семінарів щодо попередження аварійності, розборів обставин і причин виникнення дорожньо-транспортних пригод (ДТП) у наступному вигляді:

- технології дослідження основних видів ДТП;
- технології отримання об'єктивної доказової інформації при розслідуванні ДТП на основі даних електронних систем безпеки і керування транспортного засобу;
- рекомендації щодо формування сучасних інструментальних засобів збору, обробки, зберігання та передачі даних з місця ДТП та комплектування мобільної лабораторії реконструкції ДТП.

Використання зазначених результатів дозволяє підвищити якість реалізації державної політики комплексного розвитку та реформування у сфері транспорту на основі активної пропаганди новітніх досягнень науки, техніки і передового досвіду в області забезпечення безпеки дорожнього руху та їх впровадження в практику роботи автотранспортних підприємств.

Голова комісії

С. В. Бузниковатий

Члени комісії:

В. Ф. Меснікович

А. О. Соколовський

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор
технічного департаменту
ПрАТ «Акціонерна компанія
«Київводоканал»

Ю. В. Київський
05 2018 р



АКТ

про використання результатів
дисертаційної роботи
Кашканова Андрія Альбертовича

Комісія у складі: голови – начальника управління транспорту технічного департаменту ПрАТ «Акціонерна компанія «Київводоканал» Воронова О.Ю., членів комісії: Чухрая В.В. – заступника начальника управління транспорту технічного департаменту ПрАТ «Акціонерна компанія «Київводоканал», Бойка С. В. начальника служби безпеки дорожнього руху управління транспорту технічного департаменту ПрАТ «Акціонерна компанія «Київводоканал» склали цей акт про те, що результати дисертаційної роботи кандидата технічних наук, доцента Кашканова Андрія Альбертовича на тему «Концепція підвищення ефективності автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод» прийняті до використання управлінням транспорту технічного департаменту ПрАТ «Акціонерна компанія «Київводоканал» при проведенні інструктажів, нарад, занять та семінарів щодо попередження дорожньо-транспортних пригод (надалі - ДТП), розбору обставин і причин виникнення аварійних ситуацій у наступному вигляді:

- методи дослідження основних видів ДТП;
- вплив невизначеності даних на результати розслідування ДТП;
- вплив вибору методики аналізу та реконструкції обставин ДТП на точність розрахунків та категоричність висновків експерта.

Використання зазначених результатів дозволяє підвищити професійну підготовку працівників підприємства, задіяних у сфері технічної експлуатації автотранспорту на основі популяризації новітніх досягнень науки, техніки і передового досвіду в області забезпечення безпеки дорожнього руху.

Голова комісії:

Начальник управління транспорту

О. Ю. Воронов

Члени комісії:

Заступник начальника управління транспорту

В. В. Чухрай

Начальник служби безпеки дорожнього руху

С. В. Бойко

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Перший проректор з науково-педагогічної
роботи по організації навчального процесу
та його науково-методичного забезпечення
Вінницького національного технічного
університету



Василь
О.М. Васілевський
«20» 12 2018 р

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи
к.т.н., доцента Кашканова Андрія Альбертовича на тему
«Концепція оцінювання і вибору способу зменшення невизначеності в задачах
автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод» у навчальний процес

Комісія у складі декана факультету машинобудування та транспорту к.т.н., проф. Буреннікова Ю.А., заступника декана факультету з навчально методичної роботи к.т.н., доц. Петрова О.В., завідувача кафедри автомобілів та транспортного менеджменту д.т.н., проф. Біліченка В.В. склали цей акт про те, що на кафедрі автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету під час читання лекцій, проведення лабораторних робіт та практичних занять з дисциплін «Основи автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод», «Безпека дорожнього руху», «Правила безпеки дорожнього руху», «Інформаційно-комп'ютерні системи на автомобільному транспорті», а також при виконанні магістерських кваліфікаційних робіт впроваджені такі матеріали дисертаційної роботи Кашканова А.А.:

- результати дослідження ефективності розв'язування задач автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод (ДТП) сучасними методами;
- концептуальні засади оцінювання та вибору способу зменшення невизначеності в задачах автотехнічної експертизи ДТП;
- моделі підвищення об'єктивності експертних досліджень ДТП.

Впровадження матеріалів дисертаційної роботи Кашканова А.А. у навчальний процес дозволяє поглибити знання студентів спеціальностей 274 «Автомобільний транспорт», 275 «Транспортні технології».

Декан ФМТ, к.т.н., проф.

Ю.А. Буренніков

Заступник декана ФМТ, к.т.н., доц.

О.В. Петров

Завідувач кафедри АТМ, д.т.н., проф.

В.В. Біліченко

Затверджую
 Директор Вінницького науково-
 дослідного експертно-криміналістичного
 центру (НДЕКЦ) МВС України



М.П. Лайтер

2018 р

АКТ

про впровадження розробок
 здобувача вченого ступеня доктора технічних наук
 Кашканова Андрія Альбертовича
 з удосконалення методів дослідження дорожньо-транспортних пригод

Даний акт складений комісією в складі:

Голова комісії – заступник директора центру, завідувач відділу автотехнічних досліджень та криміналістичного дослідження транспортних засобів Сьомченков О. А.

Члени комісії: завідувач сектора автотехнічних досліджень Діордіца В. М., завідувач сектора матеріально-технічного забезпечення Білий О. Г.

Комісія підтверджує що результати наукових досліджень, які особисто отримані Кашкановим Андрієм Альбертовичем у дисертаційному дослідженні, використовуються в секторі автотехнічних досліджень відділу автотехнічних досліджень та криміналістичного дослідження транспортних засобів Вінницького НДЕКЦ МВС України, а саме:

- методика оцінювання та вибору способу зменшення невизначеності в задачах автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод;
- модель ідентифікації коефіцієнта зчеплення коліс автомобіля з дорожнім покриттям;
- модель ідентифікації відстані видимості дорожніх об'єктів в темну пору доби;
- модель оцінювання часу сенсомоторної реакції водія.

Впровадження наукових і практичних результатів дозволило сформувати заходи, спрямовані на покращення якості розслідування та проведення автотехнічних експертиз дорожньо-транспортних пригод.

Голова комісії

О. А. Сьомченков

Члени комісії:

В. М. Діордіца

О. Г. Білий

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Департаменту з організації внутрішніх та міжнародних пасажирських перевезень АТ «Укрзалізниця»



О.М. Красноштан

2019 р.

АКТ

про використання результатів дисертаційної роботи здобувача наукового ступеня доктора технічних наук **Кашканова Андрія Альбертовича**

Даний акт складений комісією в складі: голови – заступника директора Департаменту з організації внутрішніх та міжнародних пасажирських перевезень АТ «Укрзалізниця» В.П. Максимова, членів комісії: Гладішка С.Б.- начальника відділу технічного та технологічного розвитку Департаменту з організації внутрішніх та міжнародних пасажирських перевезень АТ «Укрзалізниця», Топоровський О.М. - головний фахівець (з безпеки руху) Департаменту з організації внутрішніх та міжнародних пасажирських перевезень АТ «Укрзалізниця».

Комісія підтверджує те, що результати дисертаційної роботи докторанта Харківського національного автомобільно-дорожнього університету Кашканова Андрія Альбертовича прийняті до використання Департаментом безпеки руху АТ «Укрзалізниця» при проведенні індивідуальних та групових занять, інструктажів, нарад, семінарів щодо попередження аварійності, розборів обставин і причин виникнення дорожньо-транспортних пригод (ДТП) у наступному вигляді:

- технології дослідження основних видів ДТП;
- технології отримання об'єктивної доказової інформації при розслідуванні ДТП;
- вплив невизначеності даних та вибору методики аналізу обставин ДТП на точність розрахунків та категоричність висновків експерта.

Використання зазначених результатів дозволяє підвищити якість реалізації державної політики комплексного розвитку та реформування у сфері транспорту на основі активної пропаганди новітніх досягнень науки, техніки і передового досвіду в області забезпечення безпеки дорожнього руху та їх впровадження в практику роботи підприємства.

Голова комісії:

В.П. Максимов

Члени комісії:

С.Б. Гладішко

О.М. Топоровський

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник командувача

Національної гвардії України

(з тилу – начальник логістики)

генерал-майор

/ О. Є. Кулик



17.09.2019

АКТ

про впровадження результатів дисертаційного дослідження

Кашканова Андрія Альбертовича

Комісія у складі:

начальника управління бойової та спеціальної підготовки Головного управління Національної гвардії України генерал-майора Гарчу О. Д. (голова комісії);

начальника служби координації наукової роботи відділу військової освіти та науки роботи управління бойової та спеціальної підготовки Головного управління Національної гвардії України полковника Війтика О. А. (заступник голови комісії);

начальника відділу нормативно-правового забезпечення юридичного управління Головного управління Національної гвардії України полковника юстиції Мішина В. В.;

старшого офіцера відділу військової освіти та наукової роботи управління бойової та спеціальної підготовки Головного управління Національної гвардії України підполковника Ктіторова М. О.,

що діє на підставі наказу командувача Національної гвардії України від 20.12.2018 № 800 «Про призначення персонального складу постійно діючих комісій Головного управління Національної гвардії України на 2019 рік» констатують, що службою безпеки дорожнього руху управління озброєння та техніки логістики Національної гвардії України були використані результати, отримані в дисертаційній роботі на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук Кашканова Андрія Альбертовича, а саме:

методи дослідження основних видів дорожньо-транспортних пригод (далі - ДТП);

методи зменшення невизначеності довідкових та розрахункових параметрів в задачах автотехнічної експертизи ДТП;

методи отримання об'єктивної доказової інформації при розслідуванні ДТП на основі даних електронних систем безпеки і керування транспортного засобу;

рекомендації щодо формування сучасних інструментальних засобів збору, обробки, зберігання та передачі даних з місця ДТП та комплектування мобільної лабораторії реконструкції ДТП.

Впровадження наукових і практичних результатів дозволило сформувавши заходи, спрямовані на покращення забезпечення безпеки дорожнього руху за участю транспортних засобів, закріплених за підрозділами Національної гвардії України. Використання зазначених результатів дозволяє підвищити якість:

методичного забезпечення діяльності, пов'язаної із запобіганням ДТП, до яких причетні відомчі транспортні засоби;

аналізу стану аварійності та фактів порушення особовим складом Національної гвардії України, який керує відомчими транспортними засобами, Правил дорожнього руху України, ужиття заходів щодо їх запобігання і контролю за проведенням таких заходів.

обліку звітної інформації про ДТП за участю відомчих транспортних засобів та їх наслідків.

Впровадження наукових та практичних результатів дозволило сформувавши вимоги щодо підвищення маневреності військових автомобільних колон, шляхом застосування методики раціонального шикування автомобілів в колону з урахуванням інтегрального відносного індексу динамічності. Отримані результати можуть бути використані при складанні вимог до тактико-технічних та експлуатаційних показників, технічного завдання на модернізацію існуючих та створення нових, перспективних зразків автомобільної та бронетанкової техніки Національної гвардії України, створених за модульним принципом побудови.

Голова комісії: генерал-майор

Члени комісії: полковник

полковник юстиції

підполковник

О. Д. Гарчу

О. А. Війтик

В. В. Мішин

М. О. Ктіторов

Погоджено:

Начальник управління озброєння та техніки логістики ГУ НГ України
полковник

В. В. Коросташ

и.к. P.I. Tonziy



ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Житомирського
науково-дослідного
експертно-криміналістичного
центру МВС України

Олександр ГУНЬКО

АКТ

про впровадження результатів
дисертаційної роботи здобувача наукового ступеня доктора технічних наук
Кашканова Андрія Альбертовича, докторанта
Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

Даний акт складений комісією в складі:

Голова комісії – заступник директора центру-завідувач відділу автотехнічних досліджень та криміналістичного дослідження транспортних засобів Рейко С. Л.

Члени комісії: завідувач сектору автотехнічних досліджень Зозік С.В., головний судовий експерт сектору автотехнічних досліджень Костенко М.С.

Комісія підтверджує, що результати наукових досліджень, які особисто отримані Кашкановим Андрієм Альбертовичем у дисертаційному дослідженні, використовуються в секторі автотехнічних досліджень відділу автотехнічних досліджень та криміналістичного дослідження транспортних засобів Житомирського НДЕКЦ МВС, а саме:

- методика оцінювання та вибору способу зменшення невизначеності в задачах автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод;
- метод оцінювання коефіцієнта зчеплення коліс автомобіля з дорожнім покриттям;
- 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).

Впровадження наукових і практичних результатів дозволило сформулювати заходи, спрямовані на покращення якості розслідування та проведення автотехнічних експертиз дорожньо-транспортних пригод.

Голова комісії

Члени комісії:

С. Л. Рейко

С. В. Зозік

М. С. Костенко

Додаток М. Публікації здобувача за темою дисертації, відомості про апробацію дисертаційних досліджень

Наукові праці, в яких опубліковані 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., Ребедайло 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. *Вимірювальна 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 автоматизації. *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). Ч1. 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) (Частина 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), Частина 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/АТ.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: <https://doi.org/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: СНУ 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 зчіпної здатності дороги і шини при екстремому 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.

Відомості про апробацію дисертаційних досліджень

Основні результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та отримали позитивну оцінку на: міжнародній науково-технічній конференції «Перспективні напрямки розвитку конструкції автомобіля» (Харків, ХНАДУ, 25-27 жовтня 2001 р., очна форма участі); V-XVI міжнародних науково-технічних конференціях «Автомобільний транспорт: проблеми і перспективи» (Севастополь, СевНТУ, вересень 2002-2013, очна форма участі); міжнародній науково-технічній конференції «Автомобільний транспорт у XXI столітті» (Харків, ХНАДУ, 19-20 листопада 2003 р., очна форма участі); I-XI міжнародних науково-практичних конференціях «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (Житомир, ЖДТУ, 24 жовтня 2008 р., 25-27 жовтня 2010 р., 22-24 жовтня 2012 р., 20-22 жовтня 2014 р., 24-26 жовтня 2016 р., очна форма участі, 22-24 жовтня 2018 р., заочна форма участі; Вінниця, ВНТУ, 19-20 жовтня 2009 р., 24-26 жовтня 2011 р., 21-23 жовтня 2013 р., 19-21 жовтня 2015 р., 23-25 жовтня 2017 р., 21-23 жовтня 2019 р., очна форма участі);

I-VI міжнародних науково-технічних конференціях «Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузі» (Луцьк, ЛНТУ, 17-20 травня 2010 р., 28-31 травня 2012 р., 29 травня - 1 червня 2014 р., 2016, очна форма участі, 29 травня - 1 червня 2018 р., заочна форма участі, 26-29 травня 2020 р., дистанційна форма участі); III-IV міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики» (Євпаторія, ВНУ ім. В. Даля, 3-8 травня 2012 р., 14-16 травня 2013 р., заочна форма участі); XI міжнародній науково-практичній конференції «Прогресивні технології в транспортних системах» (Росія, Оренбург, 24-26 квітня 2013 р., заочна форма участі); I-VII міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Проблеми та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (Вінниця, ВНТУ, квітень 2013-2019, заочна форма участі); міжнародній науково-методичній конференції «Проблеми підготовки кадрів автомобільної галузі та шляхи їх вирішення» (Харків, ХНАДУ, 7-8 листопада 2013 р., очна форма участі); міжнародній науково-практичній конференції до Дня автомобіліста і дорожника «Новітні технології розвитку конструкції, виробництва, експлуатації, ремонту та експертизи автомобіля», присвяченій 90-річчю проф. Говорущенко М.Я. (Харків, ХНАДУ, 15-16 жовтня 2014 р., заочна форма участі); VIII всеукраїнській науково-практичній конференції студентів та аспірантів «Підвищення надійності машин і обладнання» (Кіровоград, КНТУ, 16-18 квітня 2014 р., заочна форма участі); міжнародній науково-практичній конференції «Новітні технології в автомобілебудівництві та транспорті» присвяченій 85-річчю заснування ХНАДУ, 85-річчю заснування автомобільного факультету та з нагоди Дня автомобіліста і дорожника (Харків, ХНАДУ, 15-16 жовтня 2015 р., заочна форма участі); всеукраїнській науково-практичній конференції «Новітні шляхи створення, технічної експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів» (Одеса, Військова академія, 8-11 вересня 2015 р., очна форма участі); всеукраїнській науково-методичній конференції «Шляхи забезпечення якості підготовки фахівців транспортної галузі» (Харків, ХНАДУ, 10 листопада 2015 р., очна форма участі); XXX-

XLVIII науково-технічних конференціях підрозділів ВНТУ (Вінниця, ВНТУ, березень 2001-2019, очна форма участі); міжнародній науково-практичній та науково-методичній конференції присвяченій 85-річчю кафедри автомобілів та 100-річчю з Дня народження професора А. Б. Гредескула «Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті і при підготовці фахівців» (Харків, ХНАДУ, 20-21 жовтня 2016 р., заочна форма участі); міжнародній науково-практичній конференції «Синергетика, мехатроніка, телематика дорожніх машин і систем у навчальному процесі та науці» (Харків, ХНАДУ, 16 березня 2017 р., заочна форма участі); всеукраїнській науково-технічній конференції «Актуальні проблеми проектування, виготовлення і експлуатації озброєння та військової техніки» (Вінниця, ВНТУ, 17-19 травня 2017 р., очна форма участі); міжнародній науково-практичній конференції «Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології і методи підготовки фахівців» з нагоди Дня автомобіліста і дорожника та присвячена 50-річчю кафедри ДВЗ (Харків, ХНАДУ, 19-20 жовтня 2017 р., очна форма участі); the international research and practical conference «The development of technical sciences: problems and solutions» (Brno, the Czech Republic, April 27-28, 2018, заочна форма участі); the international scientific and practical conference «Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects» (April 28 – May 5, 2018, Rome, Italy, заочна форма участі); міжнародній науково-практичній конференції «Новітні технології розвитку автомобільного транспорту» (Харків, ХНАДУ, 16-19 жовтня 2018 р., очна форма участі); міжнародній науково-технічній конференції «Перспективи розвитку машинобудування та транспорту» (Вінниця, ВНТУ, 13-15 травня 2019 р., очна форма участі); міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології на автомобільному транспорті та машинобудуванні» (Харків, ХНАДУ, 15-18 жовтня 2019 р., очна форма участі); IV міжнародній науково-практичній конференції «Безпека на транспорті – основа ефективної інфраструктури: проблеми та перспективи» (Харків, ХНАДУ, 26-27 листопада 2019 р., заочна форма участі).