



ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА ТРАНСПОРТУ



КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

**«Вплив конструктивних особливостей та технічного стану
гальмівних систем легкових автомобілів на показники
ефективності їх гальмування в контексті проведення експертного
аналізу дорожньо-транспортної пригоди на базі кафедри
«Експлуатація та ремонт машин» Центральноукраїнського
національного технічного університету»**

Виконав:

магістрант групи АТ-21М (1,4)

Олександр ДИМУРА

Консультант:

к.т.н., доцент Олег БЕВЗ

Керівник:

к.т.н., доцент Сергій МАГОПЕЦЬ

«ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри:

к.т.н., доцент Сергій МАГОПЕЦЬ

«__» _____ 2022 р.

Рецензент:

_____, _____ (наук. ст., вч. звання) _____ (підпис) _____ (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2022 р.

Кропивницький – 2022 р.

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

Рівень вищої освіти: другий (магістерський) рівень вищої освіти

Галузь знань: 27 «Транспорт»

Спеціальність: 274 «Автомобільний транспорт»

Освітньо-професійна програма: «Автомобільний транспорт»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри «Експлуатація та
ремонт машин»

_____ Сергій МАГОПЕЦЬ
«__» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

ДИМУРА Олександр Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Вплив конструктивних особливостей та технічного стану гальмівних систем легкових автомобілів на показники ефективності їх гальмування в контексті проведення експертного аналізу дорожньо-транспортної пригоди на базі кафедри «Експлуатація та ремонт машин» Центральноукраїнського національного технічного університету»

керівник роботи МАГОПЕЦЬ Сергій Олександрович, к.т.н, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові) (науковий ступінь) (вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «__» ____ 2022 року № ____

2. Строк подання здобувачем роботи «30» листопада 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: встановити причинно-наслідковий механізм впливу технічного стану елементів гальмівних систем автомобілів категорії М1 на ефективність проведення процесу екстреного гальмування під час уникнення дорожньо-транспортної пригоди

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

4.1. Розділ 1. Оцінити наявний науково-технічний потенціал кафедри ЕРМ. На основі оцінки стану безпеки дорожнього руху в Україні сформулювати мету, об'єкт, предмет досліджень та основні завдання, які потребують вирішення в роботі

4.2. Розділ 2. Дослідити особливості оцінки ефективності гальмування ТЗ при проведенні експертного аналізу ДТП. Провести аналіз методів оцінки гальмівного й зупиночного шляхів та сповільнення транспортних засобів під час гальмування

4.3. Розділ 3. Розробити математичну модель оцінки ефективності гальмування автомобіля із урахуванням технічного стану його гальмівної системи та ефективності її роботи

4.4. Розділ 4. Описати методику експлуатаційних випробувань гальмівних систем автомобілів категорії М1 та розробити практичні рекомендації щодо застосування результатів проведених досліджень.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

5.1. Аналіз динаміки зміни загальної кількості ДТП в Україні за останні роки та його розподіл за видами. 5.2. Аналіз причинно-наслідкового механізму виникнення ДТП та актуальність проведених наукових досліджень. 5.3. Аналіз основних несправностей гальмівних систем автомобілів категорії М1. 5.4 Мета, об'єкт, предмет досліджень та основні завдання, які потребують вирішення в роботі. 5.5.-5.6. Оціночні параметри процесу ефективності гальмування ТЗ. 5.7.-5.8. Математична модель визначення коефіцієнту ефективності гальмування із урахуванням ефективності роботи гальмівної системи автомобіля. 5.9.-5.10. Результати визначення коефіцієнту ефективності гальмування за розробленою математичною моделлю 5.11. Загальні висновки по роботі.

ГРАФІК ВИКОНАННЯ ЕТАПІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1. Обґрунтування напрямку наукових досліджень	28.10.2022	
2	Розділ 2. Оціночні показники процесу гальмування ТЗ	11.11.2022	
3	Розділ 3. Дослідження зміни коефіцієнта ефективності гальмування ТЗ в експлуатаційних умовах	18.11.2022	
4	Розділ 4. Використання результатів дослідження	25.11.2022	
5	Загальні висновки по роботі	28.11.2022	
6	Оформлення структурних елементів МР	28.11.2022	
7	Ілюстративний матеріал до МР	30.11.2022	

Магістрант

(підпис)

ДИМУРА О.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

МАГОПЕЦЬ С.О.
(ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Метою дослідження виступало підвищення точності оцінки ефективності гальмування транспортних засобів шляхом врахування реального поточного технічного стану та характеристик їх гальмівних систем.

В першому розділі роботи «Обґрунтування напрямку наукових досліджень» проведена оцінка стану безпеки дорожнього руху в Україні та визначений його вплив на формування задач автотехнічної експертизи ДТП; обґрунтована актуальність обраного напрямку наукових досліджень; встановлено причинно-наслідковий механізм виникнення ДТП; визначені: мета, об'єкт, предмет досліджень та поставлені основні завдання, які потребують вирішення в роботі.

Так об'єктом дослідження обрано процес гальмування транспортних засобів. Предметом дослідження була оцінка ефективності гальмування транспортних засобів при дослідженні ДТП.

В кваліфікаційній роботі вирішені наступні завдання:

- підвищено точність методу оцінки ефективності гальмування ТЗ на основі підвищення точності визначення коефіцієнту ефективності гальмування та усталеного сповільнення;

- розроблено та вирішена математична модель оцінки ефективності гальмування ТЗ, яка враховує реальний технічний стан елементів основної гальмівної системи;

- проведено оцінку адекватності запропонованої математичної моделі та методу оцінки ефективності роботи гальмівної системи ТЗ.

В другому розділі «Оціночні показники процесу гальмування ТЗ » проаналізовані методи оцінки гальмівного та зупиночного шляхів ТЗ; сповільнення транспортних засобів під час гальмування.

В третьому розділі «Дослідження зміни коефіцієнта ефективності гальмування ТЗ в експлуатаційних умовах» у відповідності до діючих нормативних положень розроблена математична модель визначення коефіцієнту ефективності гальмування ТЗ з урахуванням ступеня ефективності роботи елементів гальмівної системи автомобіля категорії М1.

В четвертому розділі «Використання результатів дослідження» визначенні вимоги та особливості проведення оцінки технічного стану гальмівної системи автомобіля при забезпеченні безпечних умов праці й зроблені рекомендації щодо застосування результатів наукового дослідження.

Кваліфікаційна магістерська робота складається з вступу, 4 розділів, висновків; списку використаних джерел; містить 75 сторінок тексту, 23 рисунки, 9 таблиць та 6 додатків.

РЕФЕРАТ	
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	
ВСТУП	
РОЗДІЛ 1. ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	
1.1 Наукова діяльність кафедри експлуатації та ремонту машин	
1.2 Стан безпеки дорожнього руху в Україні та його вплив на формування задач автотехнічної експертизи ДТП	
1.3 Актуальність обраного напрямку наукових досліджень	
1.4 Причинно-наслідковий механізм виникнення ДТП	
1.5 Мета, об'єкт, предмет досліджень та основні завдання, які потребують вирішення в роботі	
РОЗДІЛ 2. ОЦІНОЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРОЦЕСУ ГАЛЬМУВАННЯ ТЗ	
2.1 Особливості оцінки ефективності гальмування ТЗ	
2.2 Аналіз методів оцінки гальмівного та зупиночного шляхів ТЗ	
2.3 Визначення сповільнення j транспортних засобів під час гальмування	
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ КОЕФІЦІЄНТА ЕФЕКТИВНОСТІ ГАЛЬМУВАННЯ ТЗ В ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВАХ	
3.1 Нормативні положення щодо визначення коефіцієнту ефективності гальмування ТЗ	
3.2 Визначення коефіцієнту ефективності гальмування із урахуванням ефективності роботи гальмівної системи автомобіля	
РОЗДІЛ 4. ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ..	
4.1 Нормативні вимоги та особливості проведення оцінки технічного стану гальмівної системи автомобіля	
4.2 Створення безпечних умов при діагностуванні гальмівних систем ТЗ на стендах	
4.3 Рекомендації щодо застосування результатів дослідження	
ВИСНОВКИ	
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	
ДОДАТКИ	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

БДР – Безпека дорожнього руху

ДТП – дорожньо-транспортна пригода

ДТС – дорожньо-транспортна ситуація

ДР – дорожній рух

ЄЕК – Європейська Економічна Комісія

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)

ВСТУП

Тенденції, що склалися в динаміці зміни парку легкових автомобілів в нашій країні за останні роки, на фоні збільшення кількісних показників, нажаль формують негативний тренд на поповнення транспортними засобами із Євросоюзу, які мають суттєві експлуатаційні пробіги та з США, звідки надходять автомобілі із значними пошкодженнями основних механізмів і систем.

В структурі цього парку, середній вік автомобілів якого складає близько 22 років, та на початок 2022 року налічує понад 8,4 млн. автомобілів - лише 16% мають експлуатаційні терміни до 5 років. Понад 80% автомобілів мають певні відхилення в технічних параметрах роботи більшості систем та механізмів. Сьогодні в Україні не діє обов'язкова система державного контролю за технічним станом легкових автомобілів індивідуальних власників; це покладає відповідальність за підтриманням технічного стану транспортних засобів (ТЗ) на його власника, який проводить сервісні дії на власний розсуд, інколи орієнтуючись лише на поточні фінансові можливості.

Автомобіль же завжди залишається потенційним джерелом підвищеної небезпеки, а значна щільність автомобільних потоків, на яку в більшості не розрахована теперішня дорожня інфраструктура (особливо в містах), суттєво збільшує ймовірність виникнення дорожньо-транспортних пригод (ДТП). Додатковим негативним фактором, який підсилює дану ситуацію, виступає вкрай низький рівень культури поведінки всіх учасників дорожнього руху (ДР), саме тому – ДТП на наших дорогах виникають дуже часто та, нажаль, із зростаючими показниками травмування та загибелі людей.

У відповідності до чинного законодавства будь-яка ДТП потребує проведення об'єктивного аналізу причин її виникнення, механізму розвитку та встановлення винних. Для цього призначається та проводиться автотехнічна експертиза, яка проводиться у відповідності до нормативних інструкцій та затверджених методик базуючись на законах динаміки руху автомобіля.

До основних завдань автотехнічної експертизи відноситься оцінка параметрів ефективності гальмування ТЗ, так як, саме гальмування законодавчо визначено основним технічним заходом, який повинен реалізувати водій у разі

виникнення небезпеки для руху. Оцінка ступеня реалізації ефективності гальмування ТЗ є фундаментальним та вирішальним етапом дослідження механізму ДТП, який впливає на кінцевий результат експертизи.

Разом з тим, діючі нормативні методи розрахунку ефективності процесу гальмування мають порівняно низьку точність та формують похибку при оцінці цього процесу на рівні 5...35%. Основними причинами цього є недостатня відповідність факторів впливу конструктивним особливостям гальмівних систем автомобілів. Це стосується конструкцій як нових ТЗ, гальмівні системи яких налаштовані на роботу без блокування коліс в процесі гальмування (антиблокувальні системи - ABS), так й автомобілів вікової групи 20...40 років, які характеризуються суттєвими відхилення від нормативів в роботі систем керування, в першу чергу у гальмівних системах.

Проведений попередній пошуковий аналіз наукових досліджень з означеної проблематики показав, що науковцями нашої країни останнім часом значна увага приділяється адаптації фізичних моделей, що описують процес гальмування, технічному рівню сучасних гальмівних систем; в той час як вплив технічного стану залишається малодослідженим.

Існуючі в експертній практиці методи оцінки ефективності процесу гальмування, не враховують дійсний технічний стан гальмівної системи автомобіля, рівень спрацювання різних вузлів й механізмів тощо. Тому актуальним є питання правомірності застосування таких розрахункових методів для оцінки ступеня ефективності гальмування автомобіля при дослідженні механізму ДТП. Вирішення даної актуальної проблеми визначається необхідністю підвищення точності та об'єктивності оцінювання цієї експлуатаційної властивості автомобіля.

РОЗДІЛ 1.

ОБҐРУНТУВАННЯ НАПРЯМКУ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Наукова діяльність кафедри експлуатації та ремонту машин

Кафедра експлуатації та ремонту машин (ЕРМ) має потужну наукову школу [1], яка охоплює здобувачів освітніх рівнів «бакалавр», «магістр» та «доктор філософії» всіх чотирьох випускових спеціальностей – 132 «Матеріалознавство», 208 «Агроінженерія» (ОПП «Технічний сервіс сільськогосподарської техніки»), 274 «Автомобільний транспорт» та 275 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» [2], професорсько-викладацький склад, наукові лабораторії та гуртки [1]. Наукові дослідження проводяться із використанням високотехнологічного обладнання [3], комп'ютерної техніки, сучасного фахового програмного забезпечення під керівництвом кращих науковців кафедри. Проблематика наукових досліджень формується на основі:

- специфіки освітньо-професійних програм спеціальностей;
- особливостей функціонування кожної наукової лабораторії;
- програм економічного розвитку регіону на основі аналізу нагальних потреб базових промислових підприємств (зовнішніх стейхолдерів) тощо.

За спеціальністю «Автомобільний транспорт» найбільш актуальними проблемами виступають (в контексті затверджених МОН України наукових секцій за фаховими напрямками):

1) оптимізація діючої системи сервісу (технічного обслуговування та/або ремонту) автомобілів в експлуатаційних умовах, які характеризуються змінністю та багатофакторністю впливу;

2) дослідження факторів, що визначають ефективність провадження транспортних процесів та впливають на показники безпеки дорожнього руху;

3) підвищення екологічної безпеки автомобілів в експлуатаційних умовах на основі проведення досліджень, що визначають розробку та впровадження новітніх технічних рішень спрямованих на вдосконалення процесів газообміну двигунів внутрішнього згорання та нейтралізації шкідливих речовин у відпрацьованих газах;

4) розробка перспективних технологій відновлення деталей вузлів й механізмів автомобілів (та інших машин) та сервісного обладнання, що забезпечують поновлення та/або збільшення їх експлуатаційного ресурсу, підвищення якісних показників роботи, мінімізацію витрат тощо.

Залучення здобувачів до участі в наукових дослідженнях кафедри починається з перших років навчання: спочатку в складі робочих груп наукового гуртка «Проблеми якості і надійності в галузі транспорту» (під керівництвом д.т.н., проф. Віктора Ауліна), а далі – в складі наукових колективів, що виконують держбюджетні та госпдоговірні наукові дослідження й під час навчання в магістратурі та аспірантурі.

Колектив кафедри ЕРМ, який провадить викладацьку роботу та наукову діяльність, складається з 18-ти штатних науково-педагогічних працівників: 5 докторів наук (професорів) (28% від загальної чисельності) та 13 к.т.н. (доцентів) (72% чисельності) [2].

Оцінюючи ефективність наукової діяльності викладачів та здобувачів кафедри ЕРМ слід зазначити, що лише за останні 5 років (з 2018 по 2022 рр.) науковцями кафедри захищено 5 кандидатських та 2 докторські дисертації, успішно виконано та впроваджено у виробництво 2 фундаментальних та 2 прикладних наукових теми. Загальні оціночні показники наукового потенціалу кафедри та результати діяльності наукової школи представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. - Оціночні показники наукового потенціалу кафедри та результати її наукової діяльності за 5 попередніх років

Оціночні показники наукового потенціалу кафедри		Рік				
		2018	2019	2020	2021	2022 (I-е півр.)
-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-	-7-
<i>Показники наукового потенціалу кафедри</i>						
1	Загальна чисельність науково-педагогічних працівників (НПП)	23	23	23	19	18
2	Чисельність докторів наук у складі НПП	4	4	4	5	5
3	Чисельність кандидатів наук у складі НПП	16	16	15	13	13
4	Чисельність аспірантів	9	9	8	6	8
5	Чисельність докторантів	2	2	1	1	1

Продовження таблиці 1.1

-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-	-7-
6	Чисельність молодих вчених	2	2	1	1	1
7	Кількість захищених кандидатських дисертацій	1	0	0	3	0
8	Кількість захищених докторських дисертацій працівниками кафедри ЕРМ	1	0	0	1	0
9	Чисельність молодих учених кафедри, які є виконавцями наукових робіт та науково-технічних (експериментальних) розробок, що фінансуються за кошти загального та/або спеціального фондів державного бюджету	2	2	1	3	2
10	Чисельність працівників кафедри, які є членами редакційних колегій наукових видань (журналів), які індексуються у наукометричних базах даних Scopus та/або Web of Science	0	0	1	1	3
<i>Основні результати наукової діяльності ПВС кафедри</i>						
11	Обсяг коштів на виконання наукових досліджень та розробок, які фінансуються з державного фонду	351,3	351,3	0,0	455,8	480,5
12	Кількість публікацій у наукових виданнях, які індексуються у наукометричній базі даних Scopus	3	9	14	11	8
13	Кількість публікацій НПП кафедри у фахових наукових виданнях України категорії Б	26	14	19	22	15
14	Кількість Міжнародних наукових конференцій, що проводяться на базі кафедри	1	2	2	3	2

1.2 Стан безпеки дорожнього руху в Україні та його вплив на формування задач автотехнічної експертизи ДТП

«Безпека дорожнього руху (БДР) - стан процесу дорожнього руху, що виключає загрозу здійснення ДТП із усіма наслідками, що випливають, оскільки водій зберігає можливість керування транспортним засобом, адекватно оцінюючи ДТЗ, по своїй розумній волі керуючись вимогами Правил дорожнього руху [6]».

За своєю сутністю БДР представляє собою систему сформованих правил, комплекс заходів й засобів та реалізують захист учасників дорожнього руху, зберігають їх здоров'я та життя, зберігають майно та дорожню обстановку.

Основний вплив на БДР здійснюють такі фактори:

- рівень активної та пасивної безпеки дороги, автомобіля, водія та пасажирів;
- технічний стан проїзної частини дороги;
- технічний стан транспортного засобу (ТЗ), який визначається якістю проведених сервісних операцій;

- якість дорожньої інфраструктури та ефективність організації дорожнього руху;
- кваліфікація водія, його психофізіологічний стан (адаптація, рівень активної та пасивної уваги, наявність або відсутність аперцепції тощо);
- наявність ефективної системи нагляду за організацією та контролем дорожнього руху тощо.

Нажаль, ментальністю сьогодення нашої країни є високий рівень аварійності й превалюючи негативні тенденції щодо погіршення цієї ситуації. Така ситуація формується:

- зростаючим попитом населення до підвищення власної мобільності, що супроводжуються інтенсивним зростанням парку індивідуальних автотранспортних засобів (АТЗ);
- занадто незначним в забезпеченні пасажирських перевезень сектором громадського транспорту й превалюючим обсягом перевезень індивідуальним транспортом;
- зменшенням обсягів пасажиро- та вантажоперевезень залізничним транспортом;
- незадовільною дорожньою обстановкою, яка включає низьку якість дорожнього покриття, облаштування доріг та витрат на утримання дорожньої мережі в належному стані;
- наявною диспропорцією між існуючим парком транспортних засобів, протяжністю й пропускнуою здатністю мережі автодоріг, яка не спроможна обслуговувати реальні транспортні потоки при існуючому вже зараз рівні забезпечення автомобілями в містах (200 штук на 1 тис. жителів), при проектному рівні 65...100 автомобілів на 1 тис. мешканців;
- вкрай низькою дисципліною учасників дорожнього руху, що склалася в Україні та яка провокується недосконалістю нормативно-правової бази в сфері контролю за безпекою дорожнього руху тощо.

Аналіз статистичних даних показників рівня й наслідків ДТП в Україні за 2012–2021 роки та 5 місяців 2022 року (наведений на рис. 1.1-1.3) виявив доволі тривожну ситуацію. Так, загальна кількість лише офіційно зареєстрованих ДТП склала 1 млн. 672 тис. випадків; у понад 273 тис. з яких були постраждалі; при

цьому загальна кількість травмованих склала 337 тис. 645 осіб, а загиблих – 39 тис. 504 особи. Такий рівень смертності та травматизму внаслідок ДТП в Україні є одним з найвищих в Євросоюзі та за звітами експертів Світового банку, Всесвітньої організації охорони здоров'я й інших міжнародних організацій обумовлений в першу чергу вкрай незадовільним рівнем організації БДР.

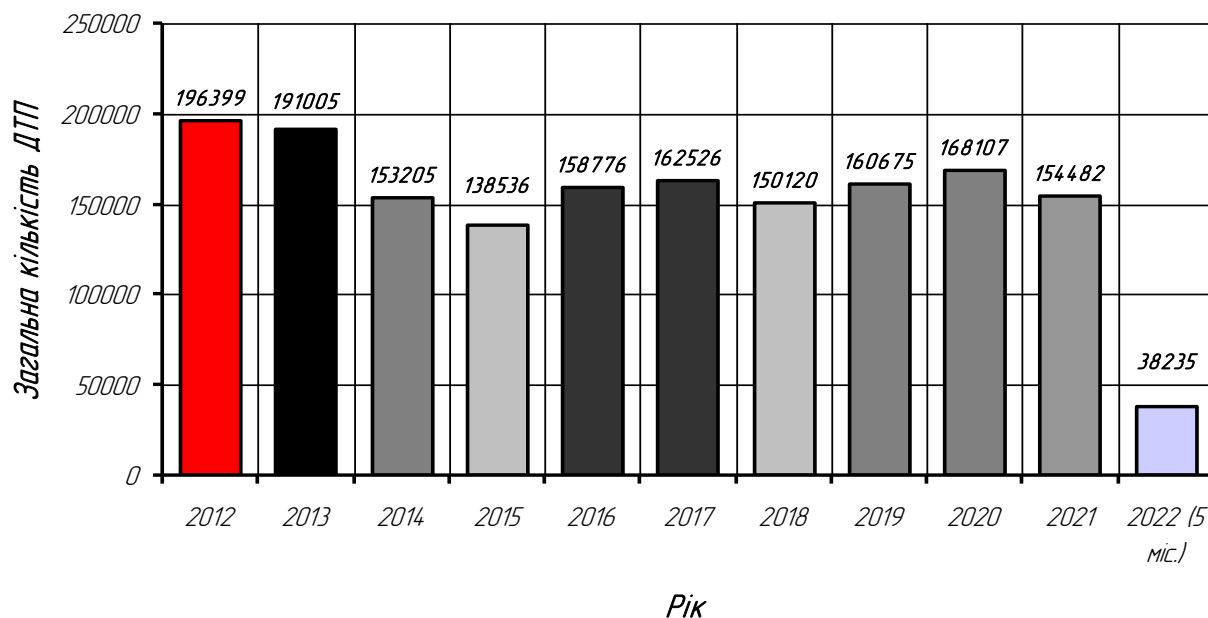


Рисунок 1.1 – Динаміка загальної кількості ДТП в Україні за 2012–2022 рр.

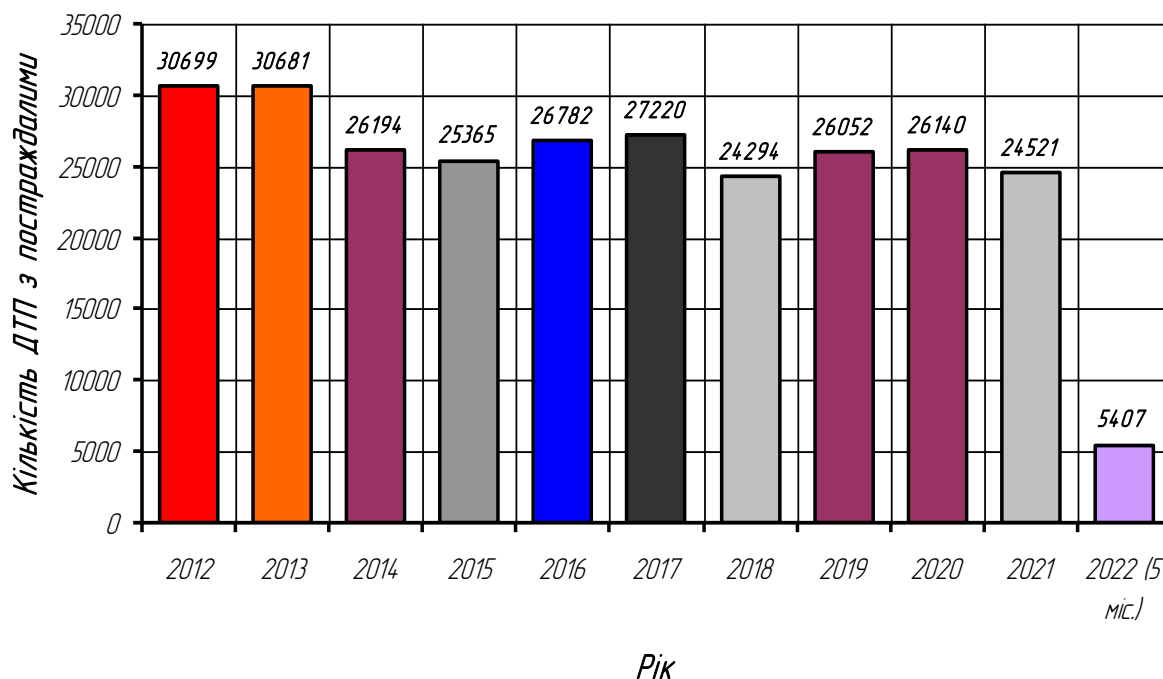


Рисунок 1.2 – Динаміка кількості ДТП з постраждалими в Україні за 2012–2022 рр.

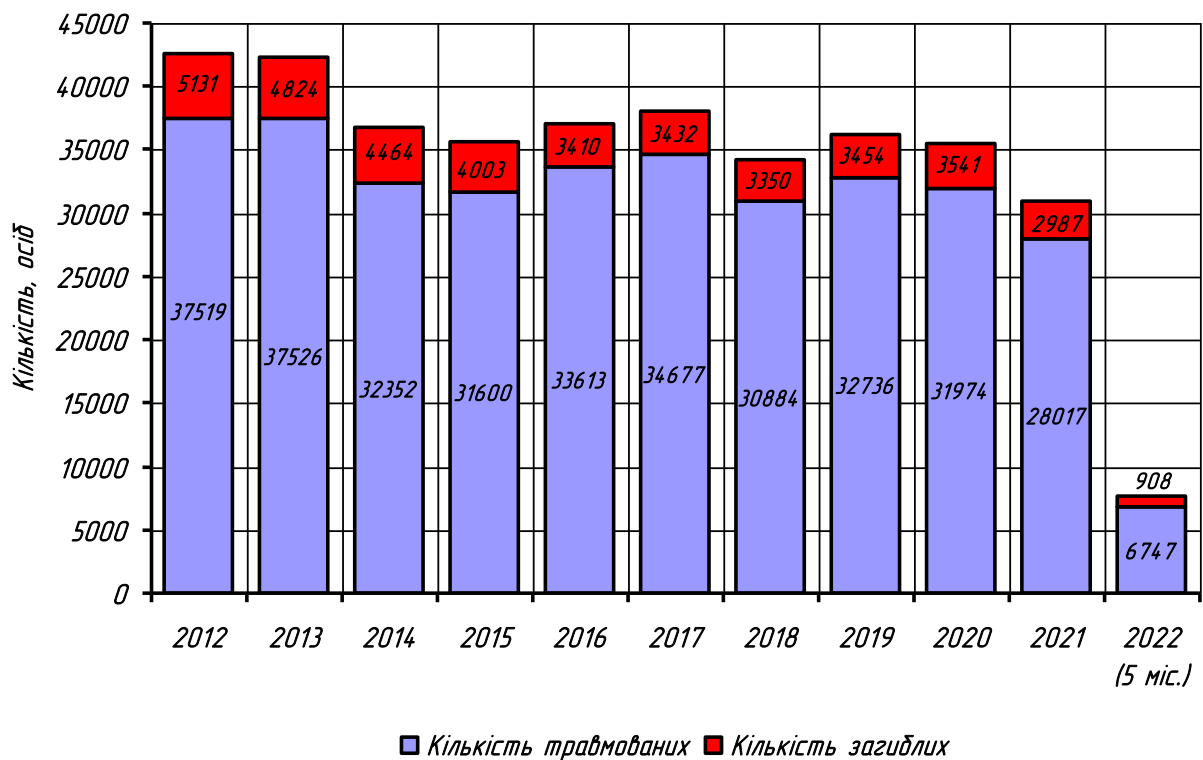


Рисунок 1.3 – Динаміка кількості ДТП з травмованими та загиблими в Україні за 2012–2022 рр.

Запровадження державних програм, спрямованих на підвищення рівня безпеки дорожнього руху в Україні дозволили отримати деяке покращення в статистиці за останні роки (див. рис. 1.1 – рис. 1.3), разом з тим проблема кількості та тяжкості ДТП залишається критичною, що вимагає запровадження цілого комплексу завдань, спрямованих на підвищення рівня БДР. Так, оцінюючи показники загальної кількості ДТП у 2021 році (154482 випадки) із показниками 2012 р. (196399 випадків) та попереднього 2020 р. (168107 випадків) (див. рис. 1.1) можна констатувати падіння рівнів відповідно на 21,4% та 8,1%, що визначає позитивну динаміку [7]. При цьому рівень травмування у 2021 р. зменшився відповідно на 25,3% (2012 р.) та 12,3% (2020 р.); кількість загиблих у ДТП в 2021 році скоротилася відповідно на 42,1% (2012 р.) та 15,7% (2020 р.), що також є дуже позитивними явищами.

Разом з тим, у 2021 році щоденно на дорогах України відбувалося в середньому 420 аварій, в яких травмувалися 77 людей, а 8 людей – гинуло. Це дуже значні добові статистичні цифри, які нажаль свідчать про наявну проблему із організацією БДР в країні.

За п'ять місяців 2022 року в Україні вже зафіксовано 5407 випадки ДТП із загиблими та/або травмованими [8]. Позитивним є те, що ця кількість на 33,7% менша аналогічного періоду попереднього 2021 року (8152 випадків); при цьому кількість загиблих становила 908 осіб (на 9,3% менша аналогічного періоду 2021 року (1001 особа)) та на 31,8% менша кількість людей отримали травми (6747 осіб у 2022 р. в порівнянні з 9887 особами 2021 року). Зменшення рівня ДТП, звісно ж, пов'язано із багатьма факторами, основним з яких є зменшення інтенсивності руху на дорогах країни в зв'язку із дією Воєнного стану, особливо у квітні та травні. Проте, з'явилися й нові причини появи ДТП, особливо із тяжкими наслідками, які є наслідками як спеціального перешкоджання руху автотехніки ворога та потрібні для оборони нашої країни так й руйнування дорожньої інфраструктури під час ракетних обстрілів:

- відсутність належних дорожніх знаків;
- штучні перешкоди на місцях розташування блок-постів та перекриті з'їзди та виїзди з доріг;
- зруйновані дорожні об'єкти та захисні споруди;
- відсутність належного освітлення доріг та вимкнені світлофори (особливо в темну пору доби) та ніші.

Розподіл ДТП за останні 3 роки (2020-2022 рр.) за основними видами наведений на рис. 1.4.

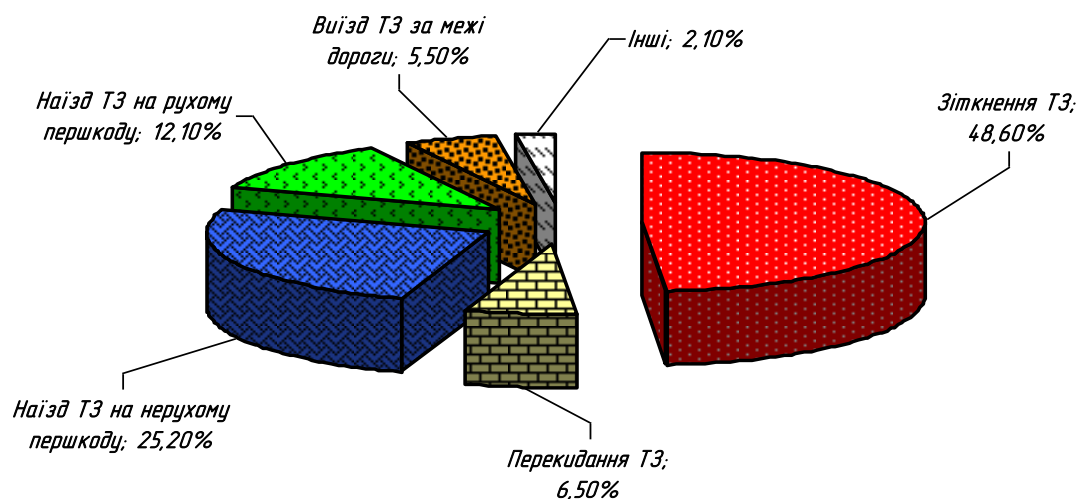


Рисунок 1.4 – Розподіл ДТП у 2020-2022 роках видами

Основні офіційно встановлені причини скоєння ДТП із загиблими та/або травмованими особами за останні 3 роки (2020-2022 рр.) представлені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Офіційні причини виникнення ДТП із загиблими та/або травмованими особами у 2020-2022 рр. [9, 10]

№	Причина ДТП	Частота появи, %
1	Перевищення регламентованої швидкості руху ТЗ	31,5
2	Порушення правил маневрування	19,1
3	Невиконання вимог сигналів регулювання ДР	2,3
4	Порушення правил обгону ТЗ	6,7
5	Порушення правил об'їзду перешкоди	3,1
6	Виїзд на зустрічну смугу руху	4,6
7	Порушення правил проїзду перехресть	8,2
8	Порушення правил проїзду пішохідних переходів	4,1
9	Порушення правил надання безперешкодного проїзду	1,2
10	Обрання невірної дистанції та інтервалу руху	7,0
11	Раптова поява пішохода на дорозі у невстановленому місці	4,4
12	Керування ТЗ у нетверезому стані	5,6
13	Інші	2,2

За даними таблиці 1.2 найбільш частими порушеннями БДР є перевищення швидкості руху ТЗ (31,5%), порушення правил маневрування (19,1%) та порушення правил проїзду перехресть (8,2%).

Загальновідомо, що з точки зору безпеки руху водію автомобіля доцільніше обрати швидкість, яка узгоджується із швидкістю транспортного потоку. При відхиленні швидкості руху автомобіля у потоці від швидкості потоку на 30 км/год (в більший або менший бік) ймовірність його потрапляння у ДТП зростає на порядок. Статистичні дані різниці швидкостей руху автомобілів на автомагістралях показують набагато більш критичні розбіжності, які досягають 60 км/год й більше, що багатократно збільшує ймовірність виникнення ДТП. Нажаль, як показує практика, єдиним дієвим фактором стримування швидкості руху автомобілів є наявність на певних ділянках дороги засобів автоматичної фіксації швидкості. На поточний момент, із урахуванням дії воєнного стану, в Україні відновлено роботу лише 128 стаціонарних приладів контролю у 20 містах та 10 областях держави. В зонах, де тривають активні бойові дії (Донецькій,

Луганській, Запорізькій та Херсонській областях), прилади контролю до загальної системи контролю тимчасово не підключені.

До основних технічних причин перевищення швидкісних показників руху автомобілів можна віднести здатність сучасного автомобіля набирати та підтримувати швидкість без суттєвих навантажень та наслідків для нього, яка визначається ступенем конструктивної досконалості ТЗ, їх фактичним технічним станом тощо.

1.3 Актуальність обраного напрямку наукових досліджень

При підготовці фахівців зі спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» на кафедрі ЕРМ реалізується активне залучення до навчального процесу профільних підприємств Кіровоградської області та м. Кропивницький. Участь провідних фахівців цих підприємств при проведенні виробничих та науково-дослідних практик, формуванні тематики курсових та кваліфікаційних робіт, наукових тематик; проведенні семінарів, навчань та тренінгів - є традиційною формою взаємодії та позитивно впливає, як на якісні показники випускників спеціальності, так й на потенційну забезпеченість підприємств майбутніми кваліфікованими працівниками.

Оновлення наукової проблематики підприємств, яка потребує вирішення зусиллями ПВС та здобувачів кафедри, проводиться регулярно й формує тематику магістерських кваліфікаційних робіт.

Визначенню актуальності наукового дослідження за даною кваліфікаційною роботою, а саме: «Вплив конструктивних особливостей та технічного стану гальмівних систем легкових автомобілів на показники ефективності їх гальмування в контексті проведення експертного аналізу дорожньо-транспортної пригоди...» сприяв запит відділу автотехнічних експертиз Кропивницького відділення Київського науково-дослідного інституту судових експертиз (м. Кропивницький), який був реалізований кафедрою ЕРМ за підтримки спеціалізованого автосервісного підприємства СТО «Best Car Service» (м. Кропивницький).

Актуальність теми дослідження та її доцільність визначаються зростаючою негативною динамікою кількості дорожньо-транспортних пригод (ДТП) на автомобільному транспорті в Україні, яка підсилюється важкістю

наслідків та зумовлює необхідність більш об'єктивного та якісного дослідження.

Правилами дорожнього руху в нашій країні визначені обов'язки водія транспортного засобу, які визначають механізм уникнення дорожньо-транспортної пригоди (ДТП) та зобов'язують його виконання певних дій [4]. Ці дії повинні бути зваженими та реалізованими в найкоротші часові інтервали. Нажаль, перелік цих дій, які реалізовується через механізми керування автомобілем (гальмівну систему, двигун та рульове керування), є доволі обмеженим. Так, під час руху автомобіля задля запобігання ДТП водій може застосувати (рис. 1.5):

- 1) основну (робочу) гальмівну систему автомобіля для зменшення швидкості його руху;
- 2) систему керування двигуном для прискорення автомобіля та збільшення швидкості його руху;
- 3) рульове керування для зміни напрямку руху (маневрування);
- 4) одночасно декілька (дві) систем для зміни напрямку й швидкості руху автомобіля (маневрування з прискоренням або маневрування із сповільненням).

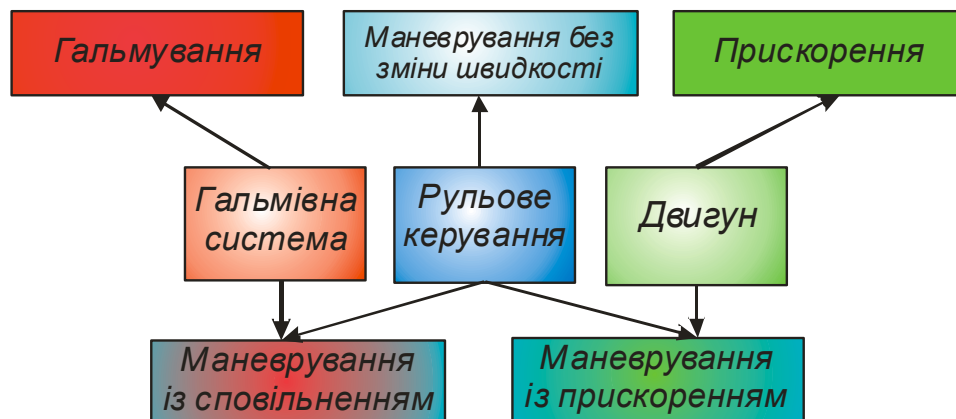


Рисунок 1.5 – Варіанти дій водія автомобіля під час уникнення ДТП

Зменшення швидкості автомобіля та появу його сповільнення можна досягти й без застосування робочої гальмівної системи, наприклад відключенням подачі палива, яке реалізується у випадку припинення натискання водієм на педаль акселератора, за умови з'єднання двигуна й трансмісії. Але значення такого сповільнення є таким, що не відповідає головній умові – не забезпечує критичних значень падіння швидкості руху автомобіля необхідних для уникнення ДТП.

Слід також зазначити, що ДТП може відбутися й після зупинки автомобіля, наприклад в результаті його скочування або сковзання по поверхні дороги. Для уникнення появи та розвитку такої ситуації в його конструкції передбачено стоянкову гальмівну систему, яка відповідає за утримання автомобіля на поверхні ділянки дороги.

Для запобігання ДТП водію в більшості випадків правилами дорожнього руху [4] дозволено застосовувати лише гальмування й лише у деяких, менш небезпечних випадках - дозволено поряд із гальмуванням використовувати маневрування. Тими ж Правилами дорожнього руху й передбачено, що обираючи безпечну дистанцію до перешкоди (автомобіля), що рухається попереду, або швидкість руху власного автомобіля в різних дорожніх умовах, водій повинен забезпечити собі саме можливість безпечної зупинки автомобіля у разі виникнення перешкоди для руху [4], а не об'їзду (обгону) перешкоди.

Безпечно виконати маневрування з технічної точки зору за наявний мінімальний часовий відрізок, більш складно й небезпечно, ніж різко натиснувши на педаль гальм - екстрено загальмувати транспортний засіб. Статистичні дані стверджують, що у понад 76% всіх випадків, з метою уникнення ДТП водії застосовують саме гальмування, й лише близько 16% припадає на маневрування; інші технічні дії (комбіновані) мають значно меншу частоту реалізації й в більшості характеризуються відсутністю або наявністю у водія досвіду (так званою апперцепцією).

При проведенні автотехнічної експертизи в рамках судового розгляду ДТП, незалежно від того чи було застосовано водієм гальмування під час ДТП, чи водій обрав інший варіант можливих вид дій, експерт-автотехнік зобов'язаний провести оцінку ефективності гальмування автомобіля в заданих дорожніх умовах для надання вичерпної відповіді на технічні питання слідчого та/або суду [5, 6]. Це прописано Міністерством юстиції України у підзаконних актах, й фактично стосується понад 65% всіх випадків ДТП.

Саме тому, оцінка ефективності гальмування транспортного засобу є дуже вагомою, оскільки впливає на всі без виключення етапи розрахунку механізму ДТП й головним чином визначає результати експертизи в цілому.

1.4 Причинно-наслідковий механізм виникнення ДТП

«Сам перебіг подій та їх наслідки виникають внаслідок взаємодії чотирьох основних елементів: дорожньої обстановки, транспортного засобу, водія та перешкоди [5, 6]» (рис. 1.6).

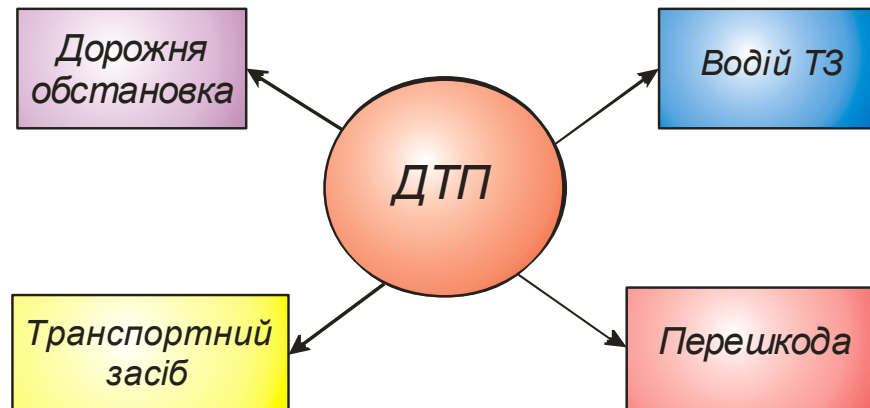


Рисунок 1.6 – Елементи, що визначають появу та розвиток ДТП

«Якщо розглядати такий елемент як дорожня обстановка, то вона сама по собі та її окремі деталі можуть бути технічною причиною ДТП, а саме: незадовільне планування доріг; недосконалість дорожнього покриття, споруд та засобів регулювання, дефекти дорожнього полотна; мала пропускна спроможність вулиць; незадовільна оглядовість, особливо на перехрестях; погана видимість, зокрема і в темноті, в умовах туману, пересіченої місцевості, на поворотах; відсутність освітлення чи погана видимість дорожніх знаків та вуличних магістралей і вкрай несприятливі метеорологічні умови і т. ін. [6]»

«Другий елемент - транспортний засіб – за статистикою є найбільш активним в розвитку механізму ДТП. Причому, автотранспортні засоби на момент виникнення ДТП можуть вже мати несправності (особливо тих агрегатів та вузлів, що впливають на безпеку руху), й саме ці несправності були причиною виникнення пригоди або за іншими технічними причинами об'єктивного характеру (за виключенням несправностей) приймали участь у ДТП [5, 6]».

«Третій елемент ДТП - водій - потребує специфічного дослідження на місці пригоди у вигляді огляду з метою визначення його психофізіологічного стану (зокрема, чи не знаходився він у стані алкогольного сп'яніння, чи у хворобливому стані, а також які його навички управління) [6]».

Четвертим елементом ДТП прийнято вважати перешкоду для руху ТЗ, яка може бути як живою істотою (людина або тварина) так й неживою (інший автомобіль, елемент дорожньої обстановки, сторонній предмет тощо); крім цього вирізняють й особливості переміщення перешкоди – нерухома або рухома [5, 6].

За офіційними статистичними даними переважна більшість ДТП спричиняється другою та четвертою групою елементів [12]. Що стосується другої групи причин ДТП, то слід зауважити, що термін експлуатації ТЗ розрахований на 8...10 років. Аналіз вікового складу парку ТЗ України, проведений у 2021 році (нажаль інформація за 2022 рік відсутня) показує, що характерною особливістю автопарку країни є значне співвідношення автомобілів різних вікових груп із різними рівнями конструктивної безпеки. За даними інфографіки представленої Федерацією роботодавців автомобільної галузі України (рис. 1.7 та рис. 1.8) в Україні загальна кількість зареєстрованих транспортних засобів на кінець 2020 року становить 9,7 млн. одиниць (у 2019 році було 9,2 млн. автомобілів). З них загальна кількість легкових автомобілів перевищувала 8,4 млн. (у 2019 році - 7,9 млн.) [11].

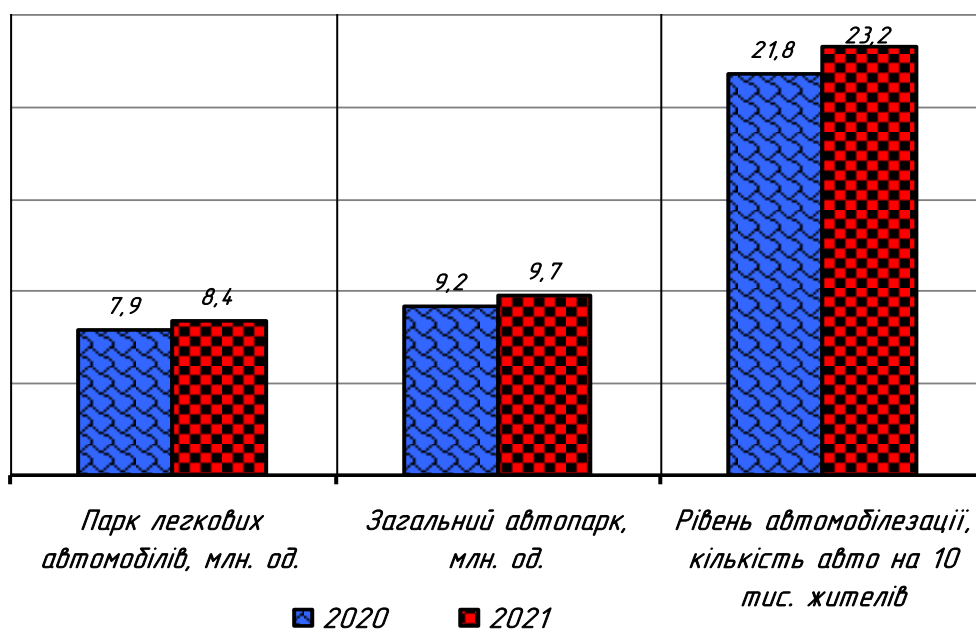


Рисунок 1.7 – Динаміка зміни кількості ТЗ в Україні за 3 останніх роки

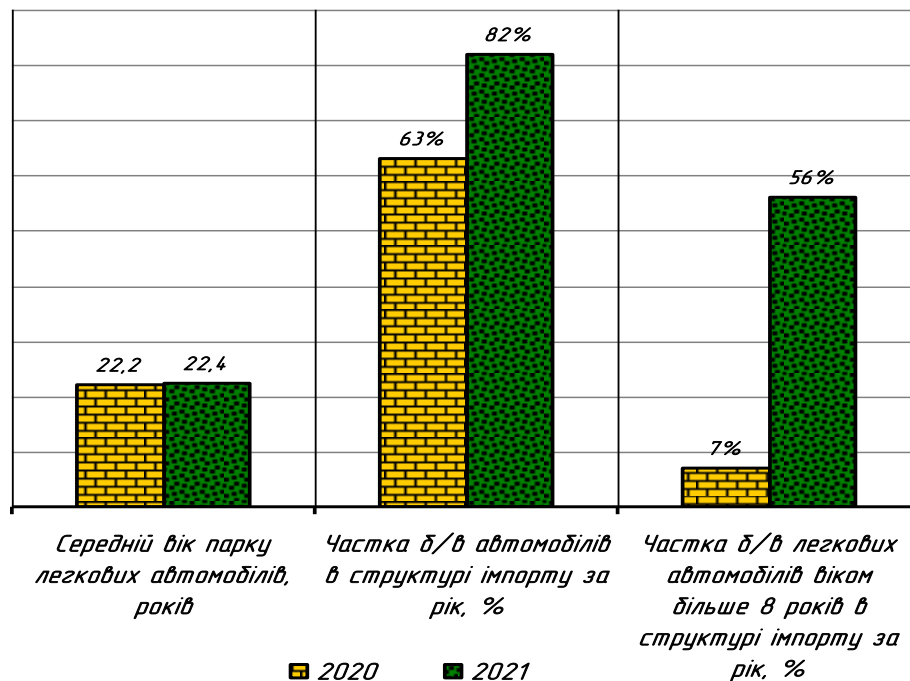


Рисунок 1.8 – Вікова структура парку легкових в Україні за 3 останніх роки

Зафіксований рівень автомобілізації країни у 2021 році становив 232 автомобіля на 1000 мешканців при середньому віку парку легкових автомобілів - 22,4 роки. Щорічні показники старіння парку автомобілів є доволі високими й складають +0,4 роки (по відношенню до попереднього року). Означена негативна динаміка визначається двома факторами: старінням внутрішнього автопарку країни та ввезенням з-за кордону переважно старих автомобілів з терміном експлуатації понад 8 років (рис. 1.8 та рис. 1.9).

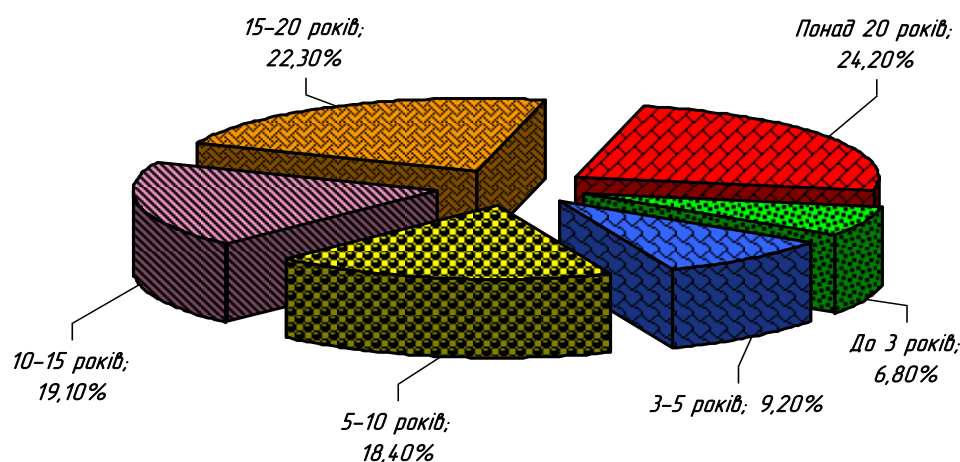


Рисунок 1.9 – Вікові групи ТЗ категорії М1 в Україні

Вплив вікових груп на безпеку руху автомобілів є вирішальним, так як від характеристик та технічного стану всіх основних систем ТЗ (визначених рис. 1.5) залежить характер протікання та наслідки ДТП. Так, враховуючи той факт, що масове впровадження змін в конструктивній безпеці автомобілів, наприклад, оснащення гальмівних систем ТЗ підсистемами ABS, починається у 90-их роках минулого сторіччя, можна спрогнозувати, що сучасним вимогам безпеки відповідає лише 50% ТЗ категорії А1 (легкових автомобілів), до 30% парку ТЗ категорій А2 та А3 (мікроавтобуси та автобуси) й лише 22% автопарку ТЗ категорій N1-N3 (вантажівок).

В перерахунку же на кількісні показники це означає, що на поточний момент в Україні в експлуатації перебуває фактично 25 млн. автомобілів, технічний стан гальмівних (та інших) систем яких не в повній мірі відповідає сучасним вимогам безпеки руху. Зауважимо також, що в даному випадку не враховані природні зміни технічного стану систем автомобілів спричинені дією таких експлуатаційних факторів як: зношення, пошкодження та поломки.

«Поява експлуатаційних дефектів та відмов є причинами неправильної експлуатації автомобіля, недотримання умов технічного обслуговування (ТО) та інших факторів. Майже половина всіх відмов належить до поступових, з яких 60...65% залежать від регулярності та якості виконання операцій технічного обслуговування. Біля 20% становить кількість раптових відмов, появу яких неможливо спрогнозувати за результатами статистичного аналізу [13]».

«Для того щоб поліпшити експлуатаційні властивості автомобілів і підвищити техніко-економічні показники (безпеку руху, продуктивність, економічність, рентабельність), необхідно знати закономірності зміни їх технічного стану, причини і характер виникнення відмов [13]».

В таблиці 1.3 представлений аналіз впливу відмов та несправностей різних систем ТЗ на частоту потрапляння автомобіля у ДТП, у відповідності до якого найбільш частими (у понад 85% випадків) причинами є наявність відхилень в технічних характеристиках таких систем як: механізми керування (гальмівні системи (43,1%) та рульове керування (15,3%)), колеса та шини (13,9%), прилади освітлення і сигналізації (7,3%), ходові частини (6,2%) тощо. Даний аналіз проведений фахівцями

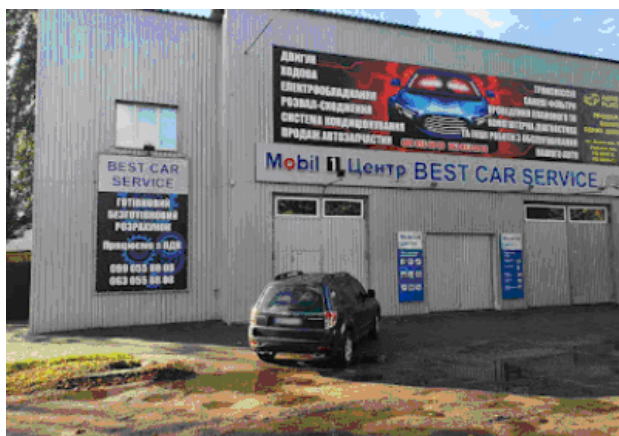
СТО «Best Car Service» (м. Кропивницький, вул. Панфіловців, 22а) (рис. 1.10 а-в.) у 2020-2022 роках під час проведення діагностичних й сервісних операцій автомобілів категорії М1 індивідуальних власників ТЗ.

Таблиця 1.3 – Вплив технічного стану різних систем на частоту потрапляння ТЗ у ДТП (за даними СТО «Best Car Service»)

№	Система ТЗ відповідальна за ДТП	Частота появи ДТП, %
1	Гальмівна система	43,1
2	Рульове керування	15,3
3	Колеса та шини	13,9
4	Прилади освітлення та сигналізації	7,3
5	Ходові частини	6,2
6	Двигун	4,6
7	Трансмісія	4,1
8	Несуча система	3,8
9	Інші	2,4

У відповідності до вимог ПДР України, експлуатація всіх ТЗ з несправностями, які визначають БДР, а саме: з несправностями гальмівної системи та рульового керування, зовнішніх світлових приладів, склоочисників і склоомивачів вітрового скла, коліс й шин, двигуна та інших елементів конструкції – категорично заборонена [4].

Серед основних несправностей гальмівних систем автомобілів категорії М1 з гідравлічним приводом, які були виявлені під час проведення діагностичних та сервісних робіт фахівцями даного підприємства виступали (таблиця 1.4):



а)



б)



в)



г)

а) – приміщення сервісної зони підприємства; б) – приміщення зони діагностування автомобілів; в) – обладнання сервісної та ремонтної зон

Рисунок 1.10 - СТО «Best Car Service» (м. Кропивницький, вул. Панфіловців, 22а)

Серед основних несправностей гальмівних систем автомобілів категорії М1 з гідравлічним приводом, які були виявлені під час проведення діагностичних та сервісних робіт фахівцями даного підприємства виступали (таблиця 1.4):

Таблиця 1.4 – Частота виявлення основних несправностей гальмівних систем автомобілів категорії М1 з гідравлічним приводом (за даними СТО «Best Car Service»)

№	Несправність гальмівної системи ТЗ	Частота виявлення на ТЗ різних вікових груп, %			
		До 10 років	10-20 років	Понад 20 років	Усереднена
-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-
1	Задири та rischi на поверхнях гальмівних дисків (див. рис. А.1 а-б додатку А)	27,3	35,1	68,1	43,5
2	Перегрів, короблення та тріщини гальмівних дисків (див. рис. А.2 а-г додатку А)	7,1	11,2	10,5	9,6
3	Зношення напрямних гальмівних супортів (див. рис. А.3 додатку А)	4,2	18,5	22,7	15,1
4	Тріщини, нерівномірний знос та відшарування фрикційних накладок від основи гальмівних колодок (див. рис. А.4 а-в додатку А)	4,8	16,6	28,8	16,7
5	Ушкодження, тріщини, втрата пропускної здатності та негерметичність гальмівних трубопроводів (див. рис. А.5 а-г додатку А)	2,1	12,9	17,2	10,7
6	Негерметичність головного та робочих гальмівних циліндрів (див. рис. А.6 а-б додатку А)	3,3	12,4	25,2	13,6

Продовження таблиці 1.4

-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-
7	Заклинювання поршнів головного та колісних гальмівних циліндрів (див. рис. А.7 додатку А)	1,3	4,4	7,1	4,1
8	Порушення роботи вакуумного підсилювача та системи вакуумних трубопроводів (див. рис. А.8 а-б додатку А)	1,7	6,5	5,4	4,5
9	Відмова елементів системи ABS (насосу, регулятора, колісних датчиків та ін.)	3,2	9,4	1,8	4,8
10	Вихід з ладу приводу та елементів стоянкової гальмівної системи (див. рис. А.9 додатку А)	5,6	13,8	18,3	12,6
11	Погіршення властивостей гальмівної рідини (втрата прозорості, наявність повітря та води) (див. рис. А.10 додатку А)	2,6	22,6	24,4	16,5

Аналіз даних наведених в таблиці 1.4 показує, що у більшості автомобілів технічний стан основної та стоянкової гальмівних систем знаходиться у вкрай незадовільному стані. В більшості це стосується автомобілів старших вікових груп (від 10 років експлуатації) із суттєвими експлуатаційними пробігами. Найбільш частою причиною невідповідності гальмівної системи технічному регламенту для автомобілів всіх вікових груп виявилися задири та ризики на поверхнях гальмівних дисків (поз. 1 у таблиці 1.4), які зустрічаються в середньому у 43,5% автомобілів. На другому місці серед типових несправностей із показником 16,7% - тріщини, нерівномірний знос та відшарування фрикційних накладок від основи гальмівних колодок (поз. 4 у таблиці 1.4). Замикає трійку найбільш частих несправностей погіршення властивостей гальмівної рідини (втрата прозорості, наявність повітря та води) із середнім значенням 16,5% (поз. 11 у таблиці 1.4).

Інші несправності зустрічаються хоча й не набагато, але все ж таки рідше. В окремих випадках спостерігається зниження частоти появи несправностей із збільшенням термінів експлуатації автомобілів, що пояснюється заміною окремих елементів в процесі проведення сервісних операцій із відновленням характеристик роботи того чи іншого механізму гальмівної системи (наприклад поз. 2 та поз. 8 таблиці 1.4).

Разом з тим, кожна із описаних несправностей впливає на ефективність роботи гальмівної системи автомобіля, а отже й на ефективність процесу його

гальмування. Для автомобілів, які мають порушення у роботі гальмівної системи при проведенні експертних досліджень не можна приймати максимальну величину усталеного сповільнення відповідно до його категорії, так як реальне сповільнення буде значно відрізнятись в меншу сторону. Тому виникає актуальне питання щодо можливості використання існуючих розрахункових методик оцінки ефективності гальмування ТЗ при дослідженні ДТП. Вирішення цієї актуальної проблеми дозволить суттєво підвищити точність та об'єктивність оцінювання гальмівних властивостей автомобілів із врахуванням реального стану їх гальмівних систем.

1.5 Мета, об'єкт, предмет досліджень та основні завдання, які потребують вирішення в роботі

Метою дослідження є підвищення точності оцінки ефективності гальмування транспортних засобів шляхом врахування реального поточного технічного стану та характеристик їх гальмівних систем.

Об'єкт дослідження: процес гальмування транспортних засобів.

Предмет дослідження: оцінка ефективності гальмування транспортних засобів при дослідженні ДТП.

Завдання дослідження:

- підвищити точність методу оцінки ефективності гальмування ТЗ на основі підвищення точності визначення коефіцієнту ефективності гальмування та усталеного сповільнення;

- розробити та вирішити математичну модель оцінки ефективності гальмування ТЗ, яка б враховувала реальний технічний стан елементів основної гальмівної системи;

- оцінити адекватність запропонованої математичної моделі та методу оцінки ефективності роботи гальмівної системи ТЗ.

РОЗДІЛ 2

ОЦІНОЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРОЦЕСУ ГАЛЬМУВАННЯ ТЗ

2.1 Особливості оцінки ефективності гальмування ТЗ

У відповідності до діючих рекомендацій Міністерства Юстиції України під час проведення експертного дослідження ДТП та встановлення причинно-наслідкових зв'язків, експерт-автотехнік зобов'язаний об'єктивно встановити всі обставини та максимально точно відтворити механізм ДТП [14]. Цей же документ регламентує надання експертом відповідей на встановлений перелік з одинадцяти питань, сім із яких (фактично 65%), вимагають від експерта вибору аналітичних залежностей для встановлення параметрів ефективності гальмування ТЗ [14].

Процес відтворення ДТП із гальмуванням ТЗ, від початку його виникнення до повної зупинки, є складним й потребує від експерта послідовного виконання певних етапів (див. рис. 2.1) із отриманням, оцінкою та контролем всіх проміжних результатів. Слід зауважити, що в загальному випадку, автомобіль який рухається із певною швидкістю V_a у відповідності до законів фізики володіє кінетичною енергією E_k , яка залежить від квадрату цієї швидкості та маси m автомобіля. Отже, процес гальмування є нічим іншим як процесом витрати кінетичної енергії, яка відбувається в зв'язку із зменшенням швидкості при постійній масі (рис. 2.2).

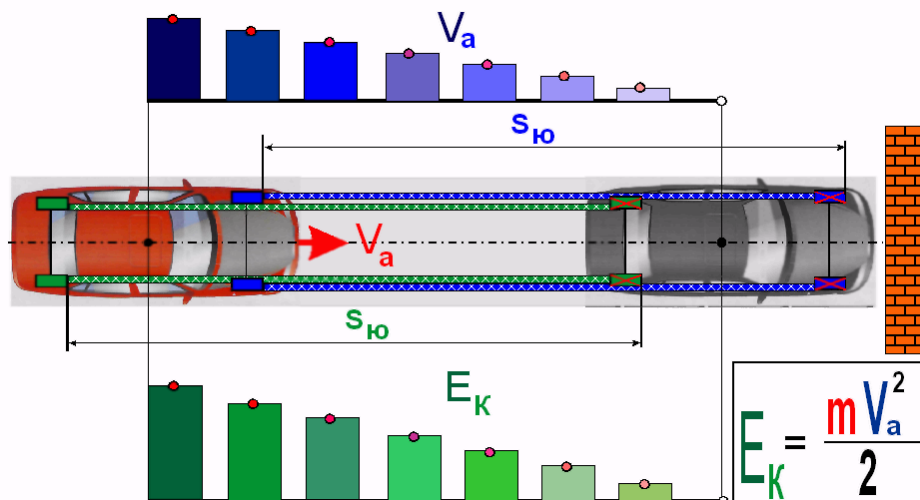


Рисунок 2.2 – Витрати кінетичної енергії та зміна швидкості руху автомобіля при гальмуванні із заблокованими колесами (при наявності слідів юзу)

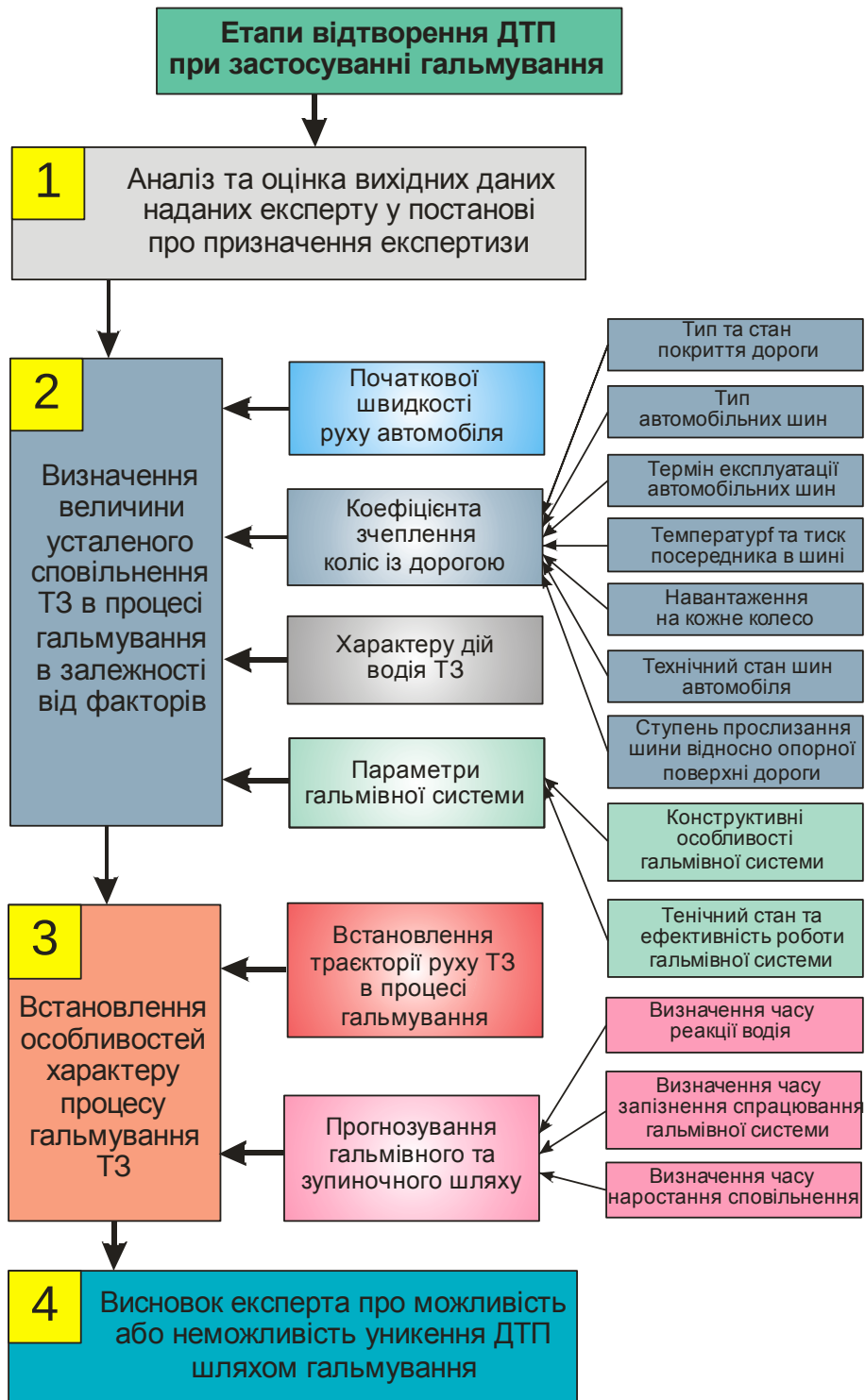


Рисунок 2.1 – Етапи дослідження ДТП при наявності гальмуванням ТЗ

Процес гальмування може супроводжуватися блокуванням коліс, або відбуватися без блокування. В першому випадку «кінетична енергія мас автомобіля, що рухаються поступально, перетворюється в роботу сил тертя в контактах коліс з дорогою, що не деформується; якщо ж колеса не заблоковані - тоді ця енергія перетворюється в теплову енергію частково в гальмівних механізмах й частково в контакті коліс з дорогою [15, 16]».

Динаміка процесу гальмування автомобілів досліджена й описана у багатьох навчально-методичних підручниках [5, 6, 15, 16] складається з чотирьох просторово-часових етапів (додаток Б) й в кінцевому, найбільш поширеному варіанті, дозволяє визначити гальмівні та зупиночні часи й шляхи автомобіля.

Отже, час гальмування та зупинки автомобіля (в секундах) визначаються як [5]:

$$T_2 = t_2 + 0,5 \cdot t_3 + \frac{V_a}{3,6 \cdot j}. \quad (2.1)$$

$$T_3 = t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3 + \frac{V_a}{3,6 \cdot j}. \quad (2.2)$$

де t_1 - час реакції водія, с;

t_2 - час запізнення спрацювання гальмівного приводу, с;

t_3 - час наростання сповільнення, с;

t_4 - час руху автомобіля із усталеним сповільненням або час повного гальмування;

V_a - швидкість руху автомобіля на початку процесу гальмування;

j - усталене максимальне сповільнення при гальмуванні транспортного засобу, м/с².

3,6 - коефіцієнт, який при підстановці швидкості в км/год, а сповільнення в м/с², дозволяє отримати значення часу t_4 в секундах.

Використовуючи залежності (2.1) та (2.2) із врахуванням швидкості руху ТЗ отримані розгорнуті залежності гальмівного й зупиночного шляхів [5]:

$$S_2 = (t_2 + 0,5t_3) \frac{V_a}{3,6} + \frac{V_a^2}{26 \cdot j}, \text{ м} \quad (2.3)$$

$$S_3 = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3) \frac{V_a}{3,6} + \frac{V_a^2}{26 \cdot j}, \text{ м} \quad (2.4)$$

Проміжки (інтервали) часу t_1 , t_2 та t_3 залежать від багатьох факторів і визначаються експериментально. Визначити дійсну величину цих проміжків часу в процесі дослідження ДТП, як правило, неможливо, тому в розрахунках експерт користується усередненими експериментальними табличними даними.

Так, наприклад, час реакції водія t_1 визначається багатьма не пов'язаними між собою факторами, серед яких можна відмітити вік водія, його стать, кваліфікацію (наявність аперцепції), культуру поведінки, дотриманість вимог ПДР, фізичний та емоційний стан й інші. Керуючи ТЗ водій повинен постійно оцінювати дорожню обстановку й передбачати можливість появи перешкоди й ймовірність виникнення ДТП. Разом з тим, водій не може постійно перебувати в режимі максимального напруження й готовності до початку дій із уникнення ДТП. Один й той самий водій, з тим самим рівнем досвіду та іншими властивостями, потрапляючи в знайому або не знайому йому дорожню обстановку буде реагувати в інший спосіб. Тому нормативними документами [5, 6, 18] передбачено градування значень часу реакції водія в діапазоні від 0,3 с до 1,4 с в залежності від складності та передбачуваності ДТС.

Величина часу запізнювання спрацювання гальмівної системи t_2 не залежать від дорожніх умов та рівня завантаження ТЗ, а встановлюються категоріальною приналежністю ТЗ, технічними параметрами та особливостями гальмівного приводу, конструкцією гальмівних механізмів й базою автомобіля [5, 6, 17] та становить 0,1...0,2 с для ТЗ категорій М1-М3 з гідравлічним приводом гальм. Автомобілі оснащені пневматичним гальмівним приводом мають значно гірші показники цього часу в діапазоні 0,3...0,6 с.

Час наростання сповільнення t_3 також залежить від конструкції гальмівного приводу ТЗ, але на його величину здійснюють суттєвий вплив такі фактори як: стан дорожнього покриття, який визначається коефіцієнтом зчеплення коліс із дорогою φ , категорією та завантаженістю автомобіля [5, 6, 17]. Величина цього часу коливається в широкому діапазоні від 0,05 с до 0,8 с.

Проведений аналіз науково-методичних робіт присвячених проблематиці підвищення рівня оцінки динаміки процесу гальмування ТЗ під час ДТП дозволив встановити основні напрямки проведених наукових досліджень. Так в науковій роботі [19], опублікованій ще у 1994 році, досліджувалися особливості процесу гальмування легкових автомобілів з так званою «класичною» гальмівною системою автомобілів того часу.

Серед сучасних вітчизняних науковців, роботи яких досліджують наявні проблеми авто-технічної експертизи та активної безпеки автомобіля в процесі гальмування слід в першу чергу виділити праці А. Кашканова. Так в своєму дисертаційному дослідженні [20] він встановлює закономірності траєкторії й характеру руху автомобіля в процесі гальмування на основі оцінки коефіцієнтів зчеплення та гальмівних моментів на кожному з коліс автомобіля, а для оцінки ефективності гальмування використовує величину питомого сповільнення.

В його роботі набула подальшого розвитку й методика встановлення дійсної величини коефіцієнта зчеплення колеса автомобіля з дорогою в контексті авто-технічного аналізу ДТП. Дослідження процесу гальмування автомобіля обладнаного ABS дозволило встановити, що затверджена стандартами [21, 22] аналітична залежність для розрахунку гальмівного шляху формує похибку в розрахунках, яка становить 10,2...15,9% при гальмуванні ТЗ на сухому асфальтобетонному покритті та 19,3% - при гальмуванні на вологому. Автором доведено, що із збільшенням початкової швидкості руху ТЗ похибка має тенденцію до збільшення, що пояснюється зменшенням величини гальмівного шляху автомобіля, оснащеного ABS. Застосування розробленої методики в експертній практиці дозволяє підвищити точність розрахунку гальмівного шляху автомобіля, що рухається із швидкостями до 100 км/год, від 7,2% до 10,9% в залежності від типу й стану опорної поверхні [20].

Подальших дослідженнях А. Кашканова «використовуючи методи диференціального та інтегрального числення, розроблено математичну модель для визначення зупинного та гальмівного шляху автомобіля при екстреному гальмуванні з урахуванням впливу конструкції гальмівної системи. Використання створеної моделі 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. 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% [23]».

Дослідження спрямовані на оцінку впливу системи ABS на ефективність гальмування ТЗ знайшли результативне продовження в емпіричних математичних моделях О. Сараєва. Особливістю запропонованої моделі є більш точна відповідність реальному процесу гальмування ТЗ із врахуванням дії сил опору (повітря, руху та підйому) які навантажують автомобіль на II-IV етапах процесу гальмування (див. додаток Б). Дослідженнями автора встановлено, що довжина зупиночного шляху автомобілів категорії М1 оснащених системою ABS на 6,8...10,6% менша, ніж у автомобілів цієї ж категорії, гальмівні системи яких не мають ABS [24].

«Запропонована диференціальна математична модель для визначення зупинного шляху ТЗ, яка дозволяє уточнити розрахунок довжини зупинного шляху, наприклад, для ТЗ у спорядженому стані при початковій швидкості гальмування 90 км/год – на 4,3%, а при наявності 6% ухилу дороги – на 9% [24]. Також «удосконалений у роботі метод оцінки ефективності гальмування ТЗ дозволяє знизити похибку розрахунку параметрів ефективності гальмування ТЗ категорії М1, гальма яких обладнані АБС, за величиною усталеного сповільнення – з 14,8% до 2,4%, за довжиною зупинного шляху – з 16,6% до 3,7% [24]».

Загалом же, до гальмівних властивостей автомобіля в першу чергу відносять ефективність гальмування та стійкість руху ТЗ під час гальмування. У відповідності до діючих в Україні стандартів оціночними параметрами процесу ефективності гальмування ТЗ встановлені величини: часу спрацьовування гальм, гальмівного шляху, усталеного сповільнення при гальмуванні та питомої гальмівної сили на колесах [21, 22]. Саме тому, наступними дослідженнями доцільно встановити особливості оцінки означених величин.

2.2 Аналіз методів оцінки гальмівного та зупиночного шляхів ТЗ

Посилаючись на діючі чинні стандарти [21, 22], що затверджують методику визначення ефективності гальмування ТЗ, основними формулами для встановлення величин гальмівного та зупиночного шляхів ТЗ прийнято вважати наведені вище залежності (2.3) та (2.4). Разом з тим, низка дослідників починаючи

з середини минулого сторіччя намагається уточнити ці залежності ввівши до їх складу величини, якими було знехтовано з огляду на їх малу значимість.

Так, на думку Н. Бухаріна визначати ефективність гальмування автомобіля потрібно за величиною зупиночного шляху за виразом [25]:

$$S_3 = \frac{V_a}{3,6}(t_1 + t_2 + t_3) - 1,63 \cdot \varphi \cdot t_3 + \frac{(V_a - 17,7 \cdot \varphi \cdot t_3)^2}{254 \cdot \varphi} \quad (2.5)$$

Примітка. Експлікація величин, що входять до формули (2.5) наведена після формули (2.2).

Інші дослідники, такі як Л. Гуревич [26] дають оцінку ефективності гальмування ТЗ за величиною гальмівного шляху без врахування часу t_1 потрібного на реакцію водія, використовуючи наступний математичний вираз:

$$S_{\Gamma} = (t_2 + 0,5t_3) \cdot V_a + \frac{V_a^2}{2 \cdot j_{ycm}} - \frac{j_{ycm} \cdot t_3^2}{24}, \quad (2.6)$$

де j_{ycm} - усталене сповільнення автомобіля, яке визначається в залежності від кута α повздовжнього ухилу проїзної частини дороги за залежностями [25]:

– при гальмуванні ТЗ на дорозі з ухилом:

$$j_{ycm} = (\varphi \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha), \quad (2.7)$$

– при гальмуванні на горизонтальній ділянці дороги ($\alpha = 0$):

$$j_{ycm} = \varphi \cdot j. \quad (2.8)$$

Починаючи з 90-х років минулого сторіччя у відповідності до нормативів дотримання керованості автомобіля в процесі гальмування, що реалізується першочерговим спрацювання робочих гальмівних циліндрів передніх коліс, та запізненням наростання тиску в гальмівному контурі задніх коліс до аналітичної залежності оцінки зупиночного шляху ТЗ почали вводити поправочний коефіцієнт, який в сучасній експертній практиці має назву коефіцієнта ефективності гальмування k_e , та яким визначається ступінь неповного використання зчіпної ваги на колесах автомобіля [27]:

$$S_3 = (t_1 + t_2 + t_3) \cdot \frac{V_a}{3,6} + 0,004k_e \frac{V_a^2}{\varphi}. \quad (2.9)$$

Величина цього коефіцієнту k_e залежить від категорії ТЗ та визначається ступенем завантаження автомобіля (у співвідношенні до максимального) та коефіцієнтом зчеплення коліс із дорогою φ . Варіюється величина k_e за різними джерелами в діапазоні від 1,0 до 2,0 зростаючи пропорційно наближенню завантаженості ТЗ до максимального збільшення та із зростанням коефіцієнту φ . Більш детально особливості визначення значень коефіцієнту k_e будуть розкриті нижче по тексту.

Намагання поєднати залежності (2.3), (2.7) та (2.9) привели до появи розширеного виразу для визначення гальмівного шляху ТЗ, який можна зустріти лише в окремих (не нормативних) літературних джерелах:

$$S_r = V_a(t_2 + 0,5t_3) + \frac{k_e(V_a + g(t_2 + 0,5t_3)\sin\alpha)^2}{2g(\varphi\cos\varepsilon \pm \sin\alpha)} \quad (2.10)$$

Оцінка зупиночного шляху автомобіля система гальм якого має ABS за вище наведеними залежностями не може вважатися коректною з огляду на змінну динаміку величини сповільнення. Тому діапазон зміни величини коефіцієнта ефективності гальмування k_e для таких автомобілів залишається дискусійним. В своєму дослідженні А. Туренко запропонував формулу для визначення зупиночного шляху автомобіля з ABS, який здійснює процес гальмування зі швидкості не меншої за 50 км/год [28]:

$$S_z = (t_1 + t_2 + 0,5t_3)V_a + \frac{0,5\delta_j t_{ABS} V_a^2}{8,33\delta_j \pm g t_{ABS} \sin\alpha}, \quad (2.11)$$

де δ_j - коефіцієнт впливу обертових мас, величина якого визначається впливом багатьох факторів; при блокуванні колеса його прийнято приймати - $\delta_j = 1,0$, за умов проковзування колеса в контакт з дорогою $\delta_j = 1,02...1,04$ в залежності від завантаженості автомобіля за умови, що двигун та трансмісія роз'єднані між собою.

t_{ABS} – тривалість часу гальмування автомобіля в режимі роботи системи ABS із усталеним сповільненням в інтервалі зміни швидкості з 45 км/год до 15 км/год.

В дисертаційному дослідженні О. Сараєва наведена математична модель зупиночного шляху ТЗ, яка в повній мірі (на думку автора) враховує вплив опору повітря, опору коченню коліс автомобіля та опору його підйому, «не тільки в усталеній фазі гальмування, а й під час реакції водія та час спрацьовування гальм [24]», що забезпечує зменшення дійсного зупиночного шляху ТЗ S_z визначеного загальноприйнятою нормативною залежністю (2.4) на величину відстані S_w та підвищує точність оцінки ефективності його гальмування на 5,0...9,0%:

$$S_z = (t_1 + t_2 + t_3) V_a + \frac{V_a^2}{2 \cdot j_{ycm}} - S_w, \quad (2.12)$$

де S_w – відстань, на яку буде зменшуватися розрахункове значення зупинного шляху під дією зовнішніх сил опору руху на інтервалах часу $t_1 - t_3$:

$$S_w = j_w (t_1 + t_2) \left(\frac{t_3}{2} + \frac{1}{j_{ycm}} \left(V_a - \frac{j_w (t_1 + t_2)}{2} \right) + \frac{(t_1 + t_2)}{2} \right) + \frac{7}{24} j_{ycm} t_3^2, \quad (2.13)$$

де j_w - сповільнення автомобіля обумовлене сукупною дією сил опору: повітря, кочення коліс та підйому.

У дисертаційній роботі А. Кашканова гальмівний шлях автомобіля складається не з 4-ох, а 5-ти ділянок (етапів) гальмування. Він також як й О. Сараєв розглядає гальмування ТЗ під дією зовнішніх сил опору руху, але автомобіля оснащеного системою ABS, й вважає, що «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 [25]». Його варіант математичної моделі процесу зупинки автомобіля виглядає наступним чином:

$$S_z = (t_1 + t_2 + 0,5t_3) V_a + \frac{V_a^2 - V_s^2}{2 j_{ABS(BA)}} + \frac{V_s^2}{2 j_s} - S_{OR}, \quad (2.14)$$

де V_s - швидкість автомобіля, на якій відбувається відключення роботи систем ABS (BA); в роботі прийнято $V_s = 15 \text{ км/год}$;

$j_{ABS(BA)}$ - величина усталеного сповільнення при роботі систем ABS (BA);

j_s - величина усталеного сповільнення при вимкнених системах ABS (BA);

S_{OR} - відстань, на яку зменшується зупинний шлях ТЗ за рахунок дії сил опору руху за час $t_1 - t_3$:

$$S_{OR} = j_{OR}(t_1 + t_2) \left(\frac{t_3}{2} + \frac{V_a}{j_{ABS(BA)}} - \frac{j_{OR}(t_1 + t_2)}{2j_{ABS(BA)}} + \frac{(t_1 + t_2)}{2} \right) - \frac{j_{ABS(BA)}t_3^2}{24}, \quad (2.15)$$

де j_{OR} сповільнення ТЗ під дією сил опору руху;

У своїх висновках А. Кашканов стверджує, що використання рекомендованих ним залежностей для автомобілів оснащених системами ABS (або BA) «із врахування дії сил опору руху на ділянках S_1 , S_2 та S_3 дозволяє підвищити точність оцінювання величини S_3 на 5...10% порівняно з існуючими методами. Це може суттєво вплинути на формування висновків з дослідження обставин ДТП [25]».

В якості попередніх висновків проведеного в даному пункті аналізу аналітичних залежностей оцінки ефективності гальмування ТЗ слід зазначити, що більшість з них є намаганням «покращити» або уточнити базову залежність (2.4), адаптувавши її до конструктивних особливостей гальмівних систем автомобілів. Наведені дослідниками результати підвищення точності розрахунків на 5...10% на практиці можуть бути повністю знівельовані наприклад, прийнятими в розрахунках з рекомендованих діапазонів значеннями окремих величин (j , t_1, t_2, t_3 тощо) та коефіцієнтів (k_e), що в результаті може дати навіть більшу (15...20%) розбіжність у значеннях розрахованих кінцевих величин S_3 та суттєво вплинути на адекватність й коректність зроблених експертом висновків або ж навіть - докорінно їх змінити.

На мою думку, серед факторів, які суттєво впливають на оцінку ефективності гальмування ТЗ, таких як: коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою, часи реакції водія та спрацьовування гальмівної системи, ухил поверхні дороги, перерозподіл нормальних реакцій на колесах, ступень ковзання коліс в контакт з опорною поверхнею, найбільший вплив здійснює величина сповільнення j , яка залежить як від конструктивних особливостей гальмівної системи автомобіля, ступеня активності її активації водієм, так й від технічного стану самої гальмівної

системи. Наведені табличні величини j або аналітичні залежності для її розрахунку, визначають максимально можливі для автомобіля конкретної категорії при встановленому завантаженні та коефіцієнті зчеплення значення та не враховують те, що більшість автомобілів мають суттєві експлуатаційні відхилення (описані в п. 1.4 I-го розділі роботи), які зменшують ефективність роботи гальмівної системи.

Безумовно, найбільш точні значення величини сповільнення ТЗ можна отримати під час натурного експерименту використовуючи спеціальне діагностичне обладнання, звісно, за умови можливості його проведення з огляду на наявний технічний стан автомобіля після ДТП.

У відповідності до діючих на поточний момент міжнародних стандартів [22] та нормативів України [21] оцінка ефективності гальмування справних ТЗ всіх категорій проводиться шляхом порівняння визначеної величини гальмівного шляху при гальмуванні із швидкості $V_a = 100 \text{ км/год}$ (із приєднаними та від'єднаними двигуном й трансмісією). Наприклад, для автомобілів категорії N_1 такими умовами є:

$$\text{- «двигун + трансмісія» - } S_r \leq 0,1 \cdot V_a + 0,0067 \cdot V_a^2. \quad (2.16)$$

$$\text{- «двигун - трансмісія» - } S_r \leq 0,1 \cdot V_a + 0,006 \cdot V_a^2. \quad (2.17)$$

Формули (2.16) та (2.17) лише дозволяють провести порівняльну оцінку технічного стану гальмівної системи ТЗ та нормативних показників й визначити загальну наявність або відсутність суттєвих несправностей цієї системи автомобіля.

В експертній практиці вкрай важливим є аналітичне визначення величин та порівняння їх з експериментальними. Саме тому, актуальними є дослідження спрямовані на встановлення залежності величини сповільнення ТЗ від технічного стану елементів гальмівної системи, які й визначають її реальну ефективність роботи.

2.3 Визначення сповільнення j транспортних засобів під час гальмування

Результати експертного дослідження ефективності гальмування ТЗ - величини зупиночного і гальмівного шляху, а також швидкості руху - фактично

визначаються за допомогою максимально усталеного сповільнення j , яке досягає ТЗ при екстреному гальмуванні.

В розширеному вигляді, максимальне усталене сповільнення j_{max} при гальмуванні ТЗ гальмівними механізмами всіх коліс визначається за регламентованою формулою [5]:

$$j_{max} = \left[\frac{\varphi \cdot \cos \alpha}{K_e} + f \cdot \cos \alpha + f \cdot r_k \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha + \frac{K_n F_n (V_a \pm V_{\text{вiм}})}{13 \cdot G} \right] \cdot \frac{g}{\delta}, \quad (2.18)$$

де φ - коефіцієнт зчеплення шин з дорожнім покриттям;

K_e - коефіцієнт ефективності гальмування, який враховує дійсний рівень використання можливих зчіпних властивостей шин автомобіля із опорною поверхнею дороги;

α - кут повздовжнього ухилу проїзної частини дороги;

f - коефіцієнт опору коченню коліс, який визначається типом й станом дорожнього покриття;

r_k - радіус кочення коліс;

K_n - коефіцієнт опору повітря (коефіцієнт обтічності), що визначається формою та якістю поверхні автомобіля;

F_n - площа лобового опору або лобова площа автомобіля;

V_a - швидкість руху автомобіля, км/год;

$V_{\text{вiм}}$ - швидкість вітру, км/год (знак "+" приймається для зустрічного вітру, а знак "-" для попутного);

G - вага транспортного засобу;

$g = 9,8 \text{ м/с}^2$ - прискорення вільного падіння;

δ - коефіцієнт, що враховує інерцію оберткових мас транспортного засобу.

Вплив сили опору повітря на гальмування транспортного засобу в експертній практиці прийнято вважати несуттєвим [21] та не враховувати під час розрахунків. В цьому випадку залежність (2.18) скорочується й рух транспортного засобу з усіма загальмованими колесами при $f = 0$ та $\delta = 1,0$ забезпечується

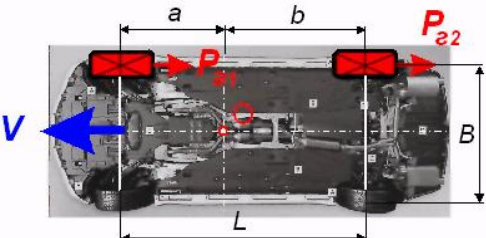
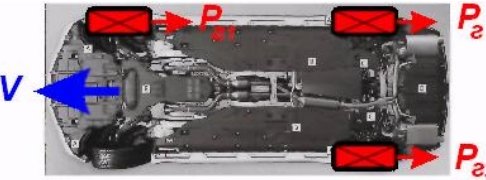
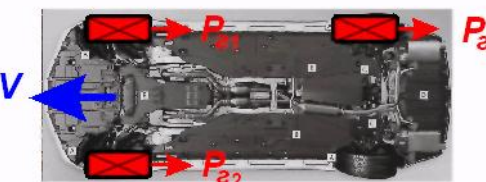
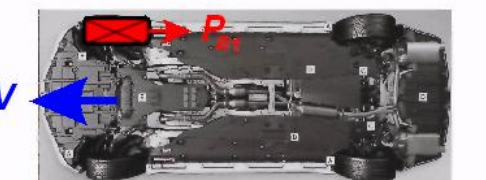
максимально можливим сповільненням j_m [5, 6]:

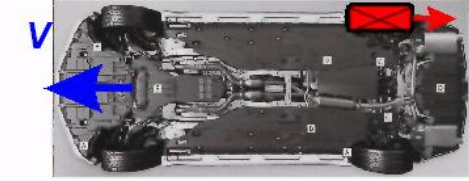
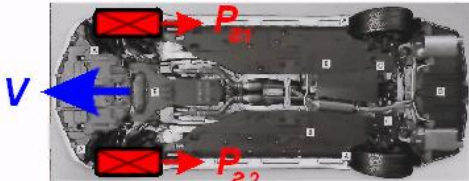
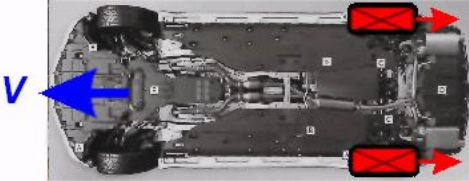
$$j_m = g \left(\frac{\varphi \cdot \cos \alpha}{K_e} \pm \sin \alpha \right) \quad (2.19)$$

Знак "+" у формулі (2.19) відповідає руху ТЗ на підйом, а знак "-" відповідно – його руху на спуск.

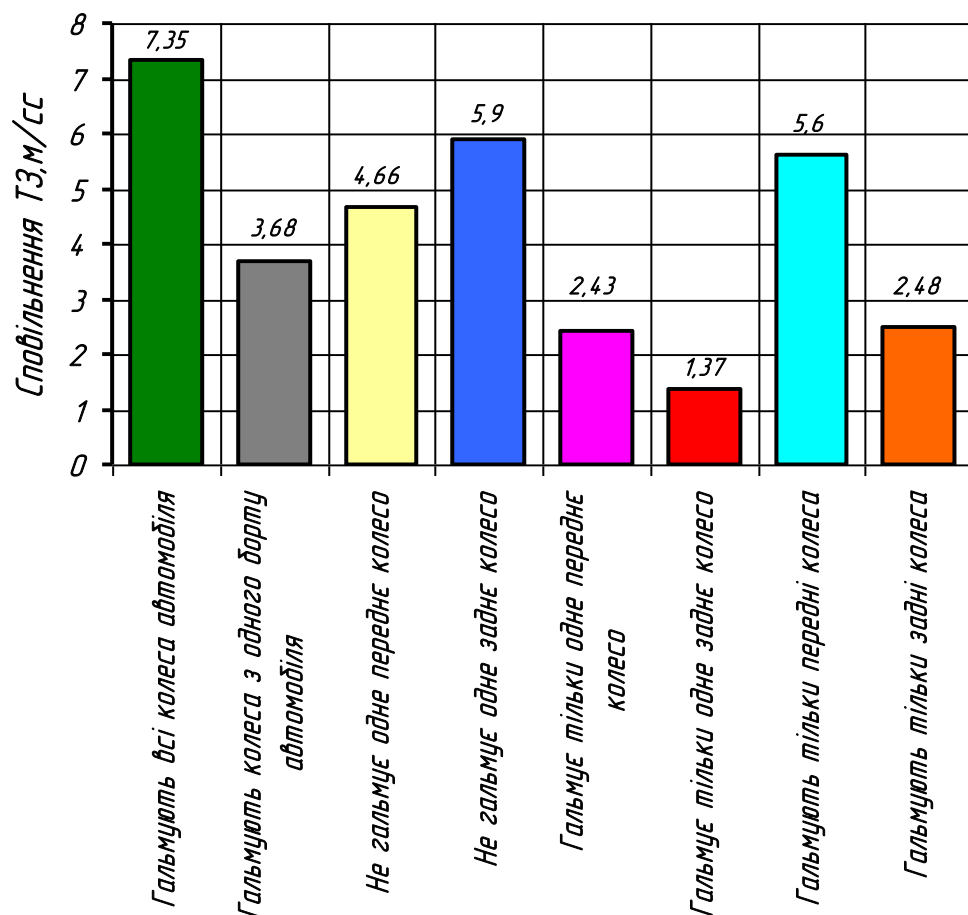
В експертній практиці при дослідженні механізму ДТП у випадках, коли у пригоді приймає участь ТЗ, що має несправну гальмівну систему, не можна використовувати максимальне усталене сповільнення, так як реальне сповільнення, яке створюється такою системою, є значно меншим за табличні нормативи. В таких випадках рекомендується сповільнення j_m визначати за регламентованими формулами (таблиця 2.1) [5].

Таблиця 2.1 – Обчислення величини сповільнення j_m автомобілів колісної формули 4×2 при гальмуванні основною гальмівною системою, яка має порушення в робочих параметрах або несправності [5]

Схема активації основної гальмівної системи	Опис процесу гальмування та формула для визначення j_m , м/с ²	Номер формули
	гальмують тільки колеса з одного борта автомобіля: $j_m = \frac{\varphi \cdot g}{2}$	(2.20)
	не гальмує одне переднє колесо: $j_m = \frac{(L + a) \cdot \varphi \cdot g}{2L + h_g \cdot \varphi}$	(2.21)
	не гальмує одне заднє колесо: $j_m = \frac{(L + b) \cdot \varphi \cdot g}{2L - h_g \cdot \varphi}$	(2.22)
	гальмує тільки одне переднє колесо: $j_m = \frac{b \cdot \varphi \cdot g}{2L - h_g \cdot \varphi}$	(2.23)

	гальмує тільки одне заднє колесо: $j_m = \frac{a \cdot \varphi \cdot g}{2L + h_g \cdot \varphi}$	(2.24)
	гальмують тільки передні колеса: $j_m = \frac{b \cdot \varphi \cdot g}{L - h_g \cdot \varphi}$	(2.25)
	гальмують тільки задні колеса: $j_m = \frac{a \cdot \varphi \cdot g}{L + h_g \cdot \varphi}$	(2.26)

З метою визначення різниці у величинах j_m розрахованих за формулами (2.20) – (2.26) таблиці 2.1 були проведені обчислення в програмі MathCad (додаток В) для опосередкованого ТЗ, результати яких (див. рис. 2.2) показують, що величина сповільнення може відрізнятись у 5 й більше разів.



Особливості роботи гальмівної системи ТЗ

Рисунок 2.2 – Величини j_m ТЗ із несправностями гальмівної системи

Слід зазначити, що на мою думку, наведені в таблиці 2.1 залежності для визначення j_m (2.20) – (2.26) є доволі наближеними, так як визначають граничні стани гальмівної системи автомобіля, коли порушення в її роботі визначається повною відмовою робочого гальмівного механізму того чи іншого колеса ТЗ. Аналіз наведених залежностей показує, що всі вони реалізують залежність сповільнення ТЗ лише від геометричних та габаритних розмірів таких як (див. таблицю 2.1): L - бази автомобіля, a та b - відстаней від точки центра мас автомобіля до передньої та задньої осей, h_g - висоти розміщення центру мас автомобіля над поверхнею дороги й не враховують величини дійсних гальмівних моментів на колесах.

Дані же зібрані СТО «Best Car Service» (див. п. 1.4 I-го розділу роботи) показують, що повні відмови гальмівних механізмів коліс є досить рідкими; навпаки, більш часто фіксуються порушення пов'язані саме із погіршенням параметрів роботи гальмівних механізмів; тобто не повною втратою гальмівної сили на колесі, - а зменшенням величини цієї сили. При цьому сумарна величина сповільнення j_m , яке реалізується автомобілем, в кожному окремому випадку буде суто індивідуальною й визначатиметься в залежності від коефіцієнта ефективності роботи гальмівної системи K_e .

Саме тому, встановлення реальних значень коефіцієнтів ефективності роботи гальмівних систем K_e автомобілів, в залежності від їх дійсного технічного стану, є актуальною науковою задачею, яка дозволить максимально точно визначати й прогнозувати значення усталеного сповільнення j_m , яке зміг реалізувати конкретний автомобіль у визначених дорожніх умовах. Це, в свою чергу, забезпечить більшу точність експертних розрахунків гальмівного й зупиночного шляхів автомобіля під час процесуальних проваджень дослідження механізму розвитку ДТП.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ КОЕФІЦІЄНТА ЕФЕКТИВНОСТІ ГАЛЬМУВАННЯ ТЗ В ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВАХ

3.1 Нормативні положення щодо визначення коефіцієнту ефективності гальмування ТЗ

У відповідності до діючого в Україні стандарту [21], такі величини як усталене сповільнення $j_{уст}$ та гальмівний шлях S_r автомобіля є нормативними; тобто гальмівна система будь-якого ТЗ, який рухається по дорогах загального користування повинна забезпечувати відповідні параметри ефективності гальмування у відповідності до дорожньої обстановки (умов руху).

В дійсності, ситуація є суттєво відмінною від нормативних вимог. Це в першу чергу пов'язано із зниженням ефективності роботи окремих елементів гальмівних систем автомобілів в експлуатаційних умовах. На сьогодні в нашій країні не діє система обов'язкового проходження періодичних технічних оглядів легкових ТЗ індивідуальних власників. Підтримання належного технічного стану всіх систем автомобіля є суб'єктивною задачею власника, який визначає потребу у проведенні операцій діагностування, сервісу та ремонту власного ТЗ з огляду на власні технічні знання, досвід, передчуття тощо (за виключенням гарантійного сервісного обслуговування автомобіля в початковий період його експлуатації, який передбачає чітке дотримання термінів й переліку проведення технічних дій кваліфікованим персоналом на спеціалізованих підприємствах).

Зниження ефективності роботи гальмівних систем може відбуватися поступово, що суттєво ускладнює оцінку реальних гальмівних характеристик автомобіля з боку власника. За його оцінкою, технічний стан гальмівної системи є таким, що в повній мірі відповідає нормативним вимогам, а насправді – знаходиться у повній невідповідності до цих вимог.

Саме тому, дуже актуальним є запровадження заходів з оцінки дійсного рівня ефективності роботи гальмівної системи в експлуатаційних умовах.

Одним із найбільш адекватних оціночних параметрів є коефіцієнт ефективності гальмування K_e , який окремими дослідниками визначається як коефіцієнт експлуатаційних умов гальмування [29] або коефіцієнт

експлуатаційного стану гальм [5]. Саме цей коефіцієнт входить до формул (2.18) та (2.19) (див. пп. 2.2.2) із визначення усталеного сповільнення j_m автомобіля при екстреному гальмуванні.

В експертній практиці є два методи визначення величини коефіцієнта ефективності гальмування K_e - табличний та аналітичний [5, 17, 21, 22].

Табличними даними при визначенні K_e експерту можна скористатися у випадку коли під час гальмування всі колеса автомобіля були заблоковані й автомобіль рухався із ковзанням коліс при перевищенні гальмівних сил на сили тертя в контактні коліс із поверхнею дороги. В таких випадках значення коефіцієнта ефективності гальмування корегується в залежності від категорії ТЗ, величини коефіцієнта зчеплення коліс із дорогою та наявного завантаження автомобіля [5, 30, 31].

Таблиця 3.1 - Коефіцієнт ефективності гальмування K_e [5, 30]

Тип ТЗ	Категорія	Без навантаження при φ				З навантаженням 50% при φ				З повним навантаженням при φ			
		0,8	0,7	0,6	0,5	0,8	0,7	0,6	0,5	0,8	0,7	0,6	0,5
Одиночні автотранспортні засоби	M ₁	1,28	1,12	1,00	1,00	1,40	1,22	1,05	1,00	1,50	1,32	1,13	1,0
	M ₂	1,42	1,24	1,07	1,00	1,56	1,37	1,17	1,00	1,74	1,52	1,30	1,09
	M ₃	1,56	1,37	1,17	1,00	1,66	1,46	1,25	1,04	1,74	1,52	1,30	1,09
Одиночні автотранспортні засоби	N ₁	1,45	1,27	1,09	1,00	1,66	1,46	1,25	1,04	1,96	1,71	1,47	1,22
	N ₂	1,37	1,20	1,03	1,00	1,63	1,43	1,22	1,02	1,96	1,71	1,47	1,22
	N ₃	1,28	1,12	1,00	1,00	1,56	1,37	1,17	1,00	1,96	1,71	1,47	1,22
Автопотяги з тягачами N ₁ - N ₃	N ₁	1,66	1,46	1,25	1,04	1,82	1,59	1,36	1,14	1,96	1,71	1,47	1,22
	N ₂	1,60	1,40	1,20	1,00	1,78	1,56	1,33	1,11	1,96	1,71	1,47	1,22
	N ₃	1,56	1,37	1,17	1,00	1,74	1,52	1,30	1,09	1,96	1,71	1,47	1,22
Примітка: при $\varphi = 0,4$ і менше значення K_e для автомобілів усіх категорій складає 1,0. При наявності слідів гальмування всіх коліс $K_e = 1,0$.													

Таблиця 3.2 – Значення K_e для випадків, коли при екстреному гальмуванні блокуються всі колеса ТЗ [31]

Значення коефіцієнта ефективності гальмування K_e	Значення коефіцієнту зчеплення коліс із дорогою φ
1,2	При $\varphi \geq 0,7$
1,1	При $\varphi = 0,5...0,6$
1,0	При $\varphi \leq 0,4$

Аналіз наведених в таблицях 3.1 та 3.2 величин коефіцієнтів ефективності гальмування показує, що їх значення суттєво відрізняються; так, мінімальна

величина для автомобілів категорії M_1 - $K_{emin} = 1,0$, а максимальна - $K_{emax} = 1,74$ тобто у понад 1,7 рази. В такому ж діапазоні відповідно будуть змінюватися величини усталеного сповільнення автомобіля під час гальмування, величини гальмівного та зупиночного шляхів, що істотно впливатиме на висновки експерта щодо можливості або не можливості з боку водія уникнути ДТП.

Експертна практики визначає, що у випадках, коли процес гальмування реалізується блокуванням не всіх коліс автомобіля, експерт повинен провести аналітичне визначення коефіцієнта K_e за формулою [5]:

$$K_e = \frac{g \cdot \varphi}{j_{уст}}, \quad (3.1)$$

де $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ - прискорення вільного падіння;

φ - коефіцієнт зчеплення коліс із дорогою;

$j_{уст}$ - усталене сповільнення автомобіля, м/с^2 .

Аналіз та співставлення наведеної залежності (3.1) для визначення K_e та залежностей (2.18) і (2.19) – для визначення $j_{уст}$ дозволяють констатувати той факт, що ці величини є взаємозалежними: так для обрахунку $j_{уст}$ потрібно у формулу підставити K_e й навпаки – для встановлення значення K_e потрібно знати $j_{уст}$.

Отже, для вирішення існуючого протиріччя слід винайти інший аналітичний вираз для визначення K_e , який би дозволив максимально точно оцінити реальний технічний стан гальмівної системи автомобіля та ефективність процесу його екстреного гальмування.

3.2 Визначення коефіцієнту ефективності гальмування із урахуванням ефективності роботи гальмівної системи автомобіля

«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) [24]».

Кожен з перелічених способів вимагає використання спеціального вимірювального обладнання й забезпечує різний рівень точності вимірів. Об'єднує всі три способи єдиний фактор – всі вони відносяться до дорожніх випробувань й вимагають проведення досліджень конкретного автомобіля безпосередньо на дослідній ділянці дороги при відтворенні потрібних дорожніх умов, що в більшості випадків дуже складно, а інколи й неможливо реалізувати.

Методика дорожніх випробувань дозволяє визначити лише загальні параметри технічного стану основної (робочої) гальмівної системи автомобіля. Відхилення контрольних величин, наприклад гальмівного шляху S_T або часу спрацювання гальмівної системи t_2 від нормативних показників, встановлює лише факт присутності несправностей гальмівної системи без чіткого встановлення причини порушення (відмови) й конкретного елемента.

На мою думку, більш ефективним та менш складним є проведення досліджень із використанням стаціонарного тягово-гальмівного діагностичного стенду (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 - Діагностичний стенд Dyno Project 4WD
СТО «Best Car Service» (м. Кропивницький)

Унікальною особливістю такої методики є не тільки оцінка дійсного стану гальмівної системи автомобіля з точки зору ефективності проведення процесу гальмування, а й дуже точне встановлення причин й місць розташування несправностей, потрібності, термінів й обсягів проведення наступних сервісних (ремонтних) втручань.

Методика діагностування гальмівної системи легкового автомобіля результатом якого є визначення поточного технічного стану та ефективності проведення процесу гальмування полягає у проведенні аналізу сукупної дії сили в гальмівному приводі під час переміщення педалі гальм, тиску робочої рідини в системі й швидкісних параметрів роботи силових барабанів діагностичного династенду.

Наступні дослідження проводилися для легкових автомобілів категорії M_1 оснащених гальмівною системою із гідравлічним приводом у відповідності до представленої на рис. 3.2 моделі.

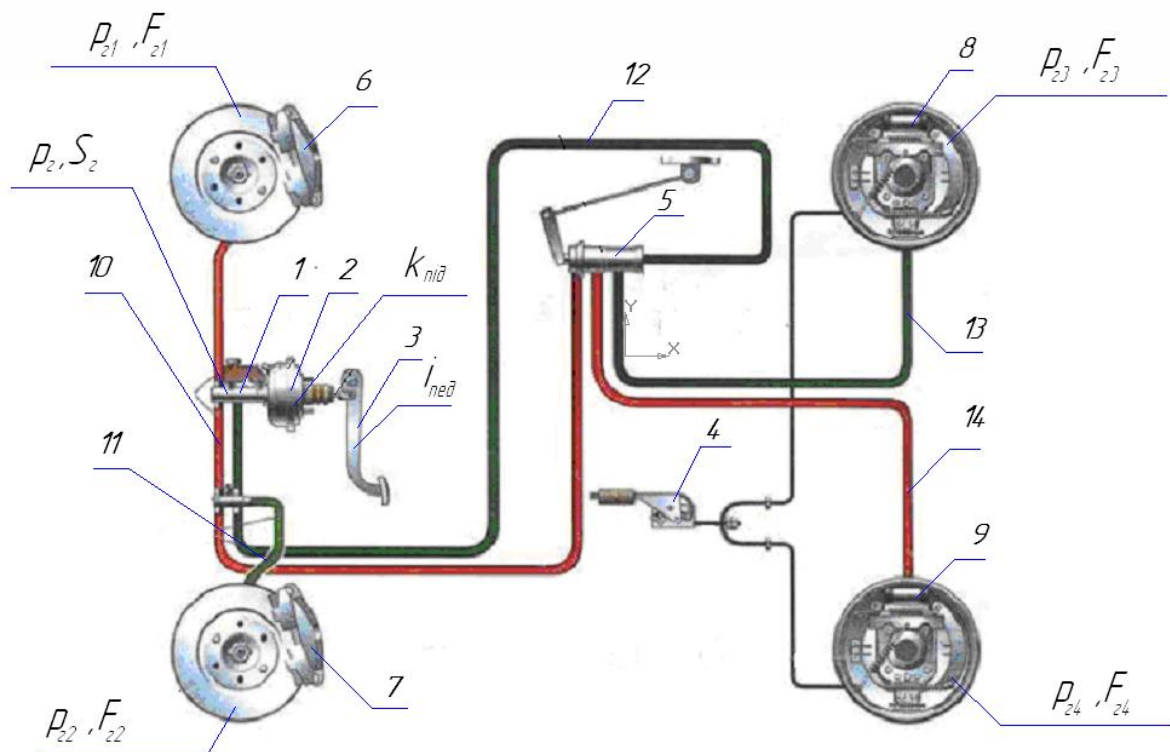


Рисунок 3.2 - Розрахункова схема гальмівної системи автомобіля колісної формули 4×2 із гідравлічним приводом гальм:

1 – головний гальмівний циліндр; 2 – вакуумний підсилювач гальмівного тиску; 3 – педаль гальм; 4 – стоянкове гальмо; 5 – регулятор гальмівних сил коліс задньої осі; 6 – робочий гальмівний механізм правого переднього колеса; 7 – робочий гальмівний механізм лівого переднього колеса; 8 –

робочий гальмівний механізм правого заднього колеса; 9 - робочий гальмівний механізм лівого заднього колеса; 10 – 14 – гальмівні трубопроводи коліс.

В таких гальмівних приводах досягнення максимального тиску у гальмівній магістралі забезпечується натисканням водієм на гальмівну педаль із силою [32]:

$$F_2 = \frac{\pi \cdot m \cdot d_\tau^2 \cdot p_2}{4 \cdot l \cdot \eta_{2np}} \quad (3.2)$$

де m та l – відстані (плечі) гальмівної педалі від точки її качання, м;

d_τ – внутрішній (робочій) діаметр головного гальмівного циліндра, м;

p_2 - тиск гальмівної рідини в гальмівних магістралях, МПа;

η_{2np} – ККД гальмівного приводу; для гідравлічного приводу діапазон зміни цієї величини складає $\eta_{2np} = 0,91...0,93$.

Так як, відношення l/m є нічим іншим, як передаточним числом гальмівного приводу i_{ned} , а множник $\frac{\pi \cdot d_\tau^2}{4}$ - площею поршня головного гальмівного циліндра (поперечного перерізу головного гальмівного циліндру) $S_{2ц}$ то залежність (3.2) при наявності в системі підсилювача (наприклад, вакуумного) трансформується у наступну:

$$F_2 = \frac{p_2 \cdot S_{2ц}}{(i_{ned} + k_{niod}) \cdot \eta_{2np}}, \quad (3.3)$$

де i_{ned} – передаточне число приводу педалі гальм (залежить від конструктивних особливостей автомобіля (верхня або нижня педаль тощо));

k_{niod} - коефіцієнт підсилення тиску, що забезпечується гальмівним підсилювачем;

$S_{2ц}$ - площа поперечного перерізу головного гальмівного циліндра, м²;

F_2 - зусилля, що створюється водієм на гальмівній педалі, Н.

З виразу (3.3) визначаємо величину тиску в головній гальмівній магістралі:

$$p_2 = \frac{(i_{nee} + k_{niod}) \cdot \eta_{2np}}{S_{2ц}} \cdot F_2. \quad (3.4)$$

Вираз (3.4), є статичною характеристикою гідравлічного гальмівного приводу автомобіля та формує характер зміни тиску робочої гальмівної рідини в магістралі на виході з головного гальмівного циліндру від зусилля прикладеного до педалі гальм.

Використовуючи залежність (3.4) можна з високим ступенем адекватності отриманих результатів провести оцінку ефективності роботи двох головних елементів гідравлічної гальмівної системи: головного гальмівного циліндру та підсилювача. Для цього, до гідравлічної системи за головним гальмівним циліндром підключається діагностичний прилад (манометр тиску) та шляхом натискання на педаль гальм активується робочий процес підвищення тиску. Якщо дана операцію виконується при непрацюючому ДВЗ автомобіля, то величина тиску залежить лише від параметрів роботи головного гальмівного циліндра (підсилювач не включається в роботу з огляду на відсутність вакууму в системі впуску ДВЗ) й характеризує його технічний стан. Порівняння отриманого значення тиску p_z із регламентованим дозволяє здійснити таку оцінку й додатково визначити ККД гальмівного приводу скориставшись наступною залежністю:

$$\eta_{znp} = \frac{p_z \cdot S_z}{F_z \cdot i_{ned}}. \quad (3.5)$$

На другому етапі статичних випробувань приводу, за рахунок дії розрідження у системі впуску ДВЗ оцінюється ефективність роботи підсилювача та визначається величина дійсного коефіцієнту підсилення за залежністю:

$$k_{nid} = \frac{p_z}{F_z} \cdot \frac{S_z}{\eta_{znp}} - i_{ned}, \quad (3.6)$$

Доцільним також є побудова порівняльного графіку залежності тиску p_z в магістралі від зусилля F_z на гальмівній педалі $p_z = f(F_z)$, який дозволяє визначитися ефективністю роботи підсилювача на всьому діапазоні ходу гальмівної педалі.

Наступним етапом досліджень є визначення залежності зміни коефіцієнта ефективності гальмування автомобіля K_e від значень гальмівних сил кожного колеса, які в свою чергу визначаються ефективністю роботи (технічним станом) робочих гальмівних механізмів (поз. 6-9 рис. 3.2).

Математична модель впливу зміни технічного стану гальмівної системи на K_e враховує величини гальмівних моментів на колесах (для дискових гальмівних механізмів) й залежність зміни величини тангенціальної сили, яка виникає під дією сил інерції обертових мас випробувального стенду.

У відповідності до рекомендацій [32] сумарний гальмівний момент автомобіля при дії гальмівних сил на кожному з колесі (для дискових гальмівних колісних механізмів) визначається як:

$$M_{Гавт} = p_z \cdot F_{зк} \cdot r_{сер} \cdot \mu \cdot z \cdot i, \quad (3.7)$$

де p_z - гальмівний тиск в робочому контурі, МПа;

$F_{зк}$ - площа поверхні тертя (площа фрикційної накладки гальмівної колодки), м²;

z – кількість поверхонь тертя на колесі;

μ – коефіцієнт тертя пари «колодка - диск» (залежить від матеріалів тертьових поверхонь);

$r_{сер}$ – середній радіус гальмівного диска на якому діє сила тертя, м;

i - кількість коліс автомобіля, що беруть участь у гальмуванні.

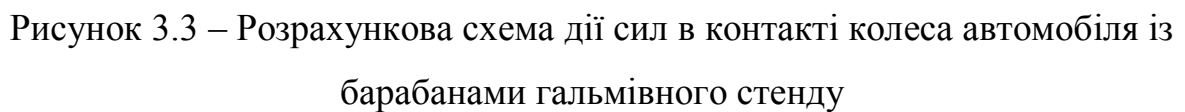
Враховуючи, що гальмування може відбуватися за участі не всіх коліс автомобіля однаково ефективно, гальмівні механізми коліс передньої і задньої осей відрізняються за конструкцією, сили тертя в парі «гальмівний диск - колодка» залежать від властивостей матеріалів й величини тиску в робочому циліндрі – на кожному колесі створюються різні гальмівні сили. Тому, доцільним є визначення гальмівного моменту кожного з коліс окремо:

$$M_{зк} = p_{зк} \cdot F_{зк} \cdot r_{серк} \cdot \mu_k \cdot z, \quad (3.8)$$

а сумарну величину гальмівного моменту автомобіля визначати як:

$$M_{Гавт} = \sum_{i=1}^4 M_{зкі} \quad (3.9)$$

Для визначення величини усталеного сповільнення $j_{уст}$ автомобіля потрібно встановити значення тангенціальної сили, яка виникає під дією сил інерції обертових мас гальмівного стенду у відповідності до схеми дії вил і моментів в системі представленої на рис. 3.3:



$$M_{ih} = r_k \cdot (m_k + 0.5m_{cm}) \cdot j_{vcm} = r_k \cdot m_{np} \cdot j_{vcm}, (3.10)$$

m_k - маса автомобіля, що припадає на колесо, кг;

m_{cm} - маса стенду, кг;

j_{vcm} - величина усталеного сповільнення автомобіля, м/с².

Для визначення залежності усталеного сповільнення автомобіля $j_{уст}$ від тиску робочого тіла в контурі, потрібно вирішити систему рівнянь (3.7) та (3.10), яка визначається умовою компенсації моменту сил інерції на стенді з біговими барабанами моментами тертя в гальмівних механізмах автомобіля - $M_{Гавт} = M_{ін}$.

В результаті в загальному вигляді маємо:

$$\begin{cases} M_{\Gamma a \varpi m} = p_z \cdot F_{\varepsilon k} \cdot r_{cep} \cdot \mu \cdot z \cdot i; \\ M_{ih} = r_k \cdot m_{np} \cdot j_{ycm}; \end{cases} \quad (3.11)$$

Після доволі простих математичних перетворень, отримаємо:

$$j_{ycm} = \frac{r_{cep}}{r_k} \cdot \frac{z \cdot i \cdot F_{\mathcal{ZK}}}{m_{nn}} \cdot \mu \cdot p_z. \quad (3.12)$$

Аналізуючи отриману залежність зазначимо, що усталене сповільнення автомобіля в першу чергу від геометричних (r_k, r_{mp}, z) розмірів гальмівних

механізмів, їх робочих параметрів (F_n та μ) й характеристик гальмівного стенда (m_{np}). В структурному варіанті залежність (3.12) набуває вигляду:

$$j_{уст} = A_{зм} \cdot B_{ст}, \quad (3.13)$$

де $A_{зм}$ - геометричний фактор гальмівної системи автомобіля:

$$A_{зм} = \frac{r_{тпнк} \cdot z_{нк} \cdot \mu_{нк} \cdot F_{нк}}{r_k} (p_{злнк} + p_{зпнк}) + \frac{r_{тпзк} \cdot z_{зк} \cdot \mu_{зк} \cdot F_{зк}}{r_k} (p_{злзк} + p_{зпзк}), \quad (3.14)$$

де $r_{тпнк}$ та $r_{тпзк}$ - середні радіуси тертя гальмівних механізмів передніх і задніх коліс автомобіля, м;

$\mu_{нк}$ та $\mu_{зк}$ - коефіцієнти тертя пар «гальмівний диск – гальмівна колодка» гальмівних механізмів передніх і задніх коліс автомобіля;

$z_{нк}$ та $z_{зк}$ - кількість пар тертя гальмівних механізмів передніх і задніх коліс автомобіля;

$p_{злнк}$, $p_{зпнк}$, $p_{злзк}$, $p_{зпзк}$ - тиски гальмівної рідини в робочих циліндрах відповідно передніх (лівому та правому) та задніх (лівому та правому) колесах.

$B_{ст}$ - характеристика гальмівного стенду:

$$B_{ст} = \frac{1}{m_{np}}, \quad (3.15)$$

Серед факторів, які є найбільш змінними в експлуатаційних умовах та суттєво впливають на величини гальмівної сили та гальмівного моменту кожного колеса слід визнати дійсні площі їх поверхонь тертя ($F_{зкі}$), коефіцієнти тертя (μ_i) та величини тисків в робочих циліндрах (p_{zi}).

З урахуванням проведених розрахунків та застосувавши вираз (3.1), можна записати аналітичний вираз для визначення коефіцієнту ефективності гальмування автомобіля K_e :

$$K_e = \frac{g \cdot m_{np}}{\left[\frac{r_{тпнк} \cdot z_{нк} \cdot \mu_{нк} \cdot F_{нк}}{r_k} (p_{злнк} + p_{зпнк}) + \frac{r_{тпзк} \cdot z_{зк} \cdot \mu_{зк} \cdot F_{зк}}{r_k} (p_{злзк} + p_{зпзк}) \right]}. \quad (3.16)$$

Отримана залежність встановлює зміну величини коефіцієнта ефективності гальмування від конструктивних параметрів та технічного стану робочих гальмівних механізмів кожного колеса та дозволяє обрахувати величини усталеного сповільнення j_m автомобіля при визначених тисках p_{zi} в гальмівних магістралях й встановити відповідність структурних та діагностичних параметрів.

Слід зауважити, що кардинальним чином на величину коефіцієнта ефективності гальмування впливає як величина максимального тиску в магістралях, так й швидкість його наростання. Зменшення інтенсивності наростання тиску суттєво збільшує ділянку часу t_3 - підвищення значень сповільнення автомобіля й навпаки, зменшує час його гальмування із усталеним сповільненням.

З метою перевірки адекватності розробленої математичної моделі (3.16), були проведені аналітичні розрахунки моделей ефективності роботи гальмівної системи автомобіля Kia Magentic із типовими несправностями (на основі визначення величин K_e та усталеного сповільнення j_m) та порівняно із аналогічними величинами розрахованими за формулами (2.20-2.26 [5]) пп. 2.2.2 другого розділу роботи. Результати розрахунків проведених із використанням математичної програми MathCad (див. додаток Г) представлені в таблиці 3.3 та на рис. 3.4.

Таблиця 3.3 - Величини сповільнень ТЗ із порушеннями в роботі гальмівних механізмів коліс автомобіля Kia Magentic 2.0

№	Несправність гальмівної системи	Величина сповільнення j_m , м/с ² розрахована за...		Відносна розбіжність, %
		базовою формулою [5]	запропонованою формулою (3.16)	
1	Гальмують всі колеса автомобіля	7,84	7,83	+0,1%
2	Гальмують колеса тільки одного борту автомобіля	3,92	3,91	+0,1%
3	Не гальмує одне переднє колесо	4,94	5,32	-7,3%
4	Не гальмує одне заднє колесо	6,35	5,33	-1,1%
5	Гальмує тільки одне переднє колесо	2,61	2,50	+4,3%
6	Гальмує тільки одне заднє колесо	1,45	1,41	+2,9%
7	Гальмують тільки передні колеса	6,09	5,01	+21,7
8	Гальмують тільки задні колеса	2,61	2,82	-7,4%

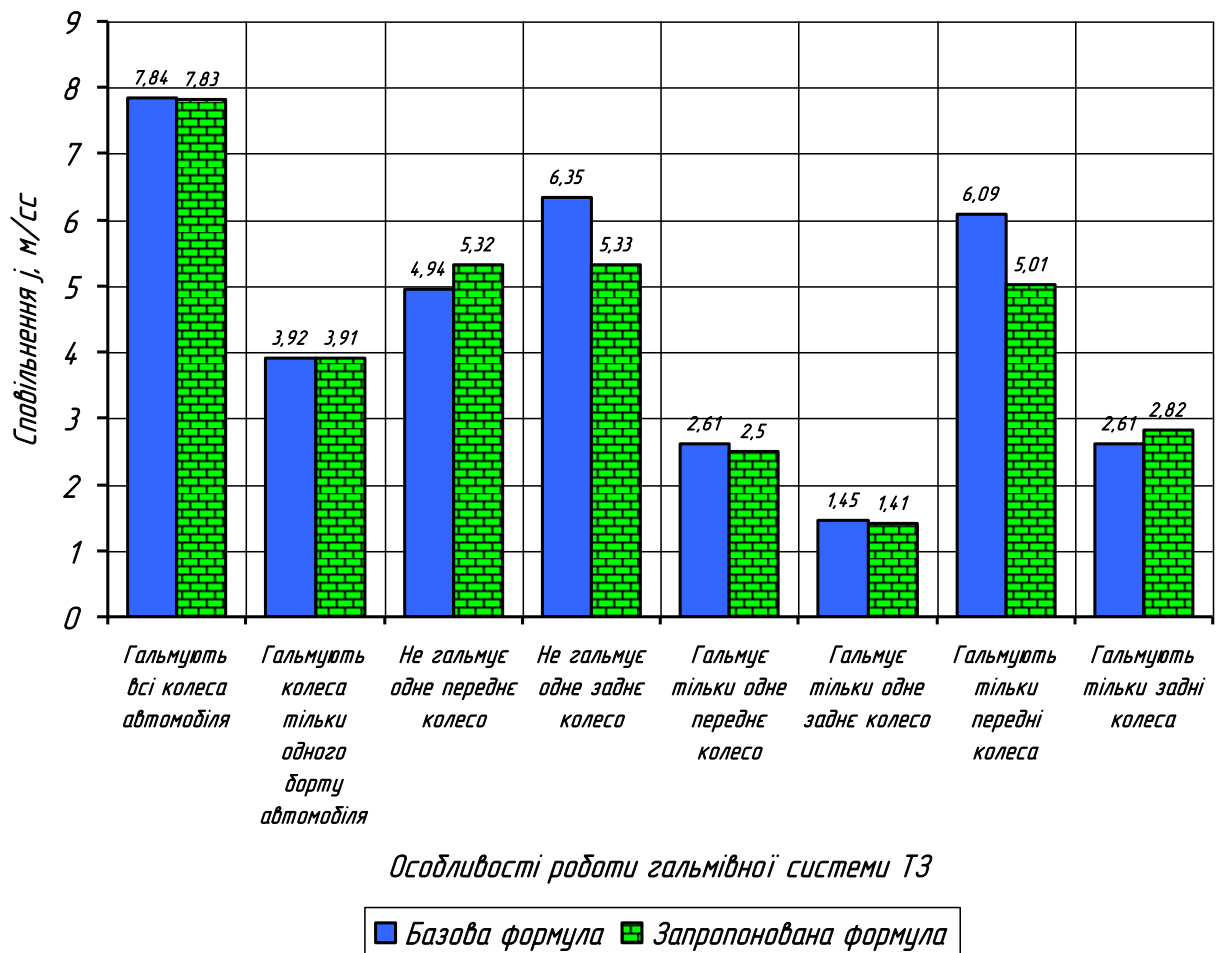


Рисунок 3.4 – Порівняльний аналіз величин сповільнень ТЗ із порушеннями в роботі гальмівних механізмів коліс

Аналіз представлених в таблиці 3.3 та на рис. 3.4 величин усталених сповільнень легкового автомобіля Kia Magentic оснащеного гідравлічною гальмівною системою із дисковими гальмівними механізмами на передній і задній осях дає підстави стверджувати, що отримана в роботі математична модель з високим ступнем адекватності відображає характер ефективності гальмування автомобіля при наявності порушень в роботі окремих механізмів гальмівної системи. Застосування в експертній практиці розробленої залежності (3.16) дасть можливість підвищити точність розрахунків величин K_e та j_m від 0,1% до 21,7% й позитивно сприятиме встановленню дійсних величин гальмівного й зупиночного шляхів автомобіля в процесі екстреного гальмування під час ДТП.

Слід також зазначити, що отримана залежність (3.16) може бути додатково змінена. Так, більшість гальмівних стендів дозволяють визначати безпосередньо величини гальмівних сил на колесах передньої і задньої осей автомобіля. Тому

визначення величин тисків в колісних гальмівних механізмах проводити не доцільно з огляду на додаткові експериментальні дослідження. Враховуючи, що гальмівний момент на колесі визначається як $M_{z(i)} = F_{z(i)} \cdot r_{mp(i)}$ величину коефіцієнта ефективності гальмування K_e можна визначати так:

$$K_e = \frac{g \cdot m_{np}}{(F_{zлпк} + F_{zппк}) \cdot r_{mpк} + (F_{zлзк} + F_{zпзк}) \cdot r_{mpзк}}, \quad (3.17)$$

Так, типова таблиця результатів перевірки гальмівної системи автомобіля на стенді, визначає крім замірів величин гальмівних сил на колесах, встановлення таких параметрів ефективності гальмування ТЗ як: час спрацювання гальмівної системи, протидію обертанню незагальмованого колеса, коефіцієнт нерівномірності гальм коліс однієї осі, навантаження на колесо осі тощо.

Використовуючи залежність (3.16) можна в динаміці оцінити вплив окремих порушень роботи гальмівної системи ТЗ на ефективність процесу його гальмування. На рис. 3.5 представлені модельні залежності зміни величин K_e та j_m при падінні тиску p_z в головному гальмівному циліндрі спричиненому втратами гідравлічної рідини через зношення робочої поверхні гільзи та гумових ущільнювачів поршня.

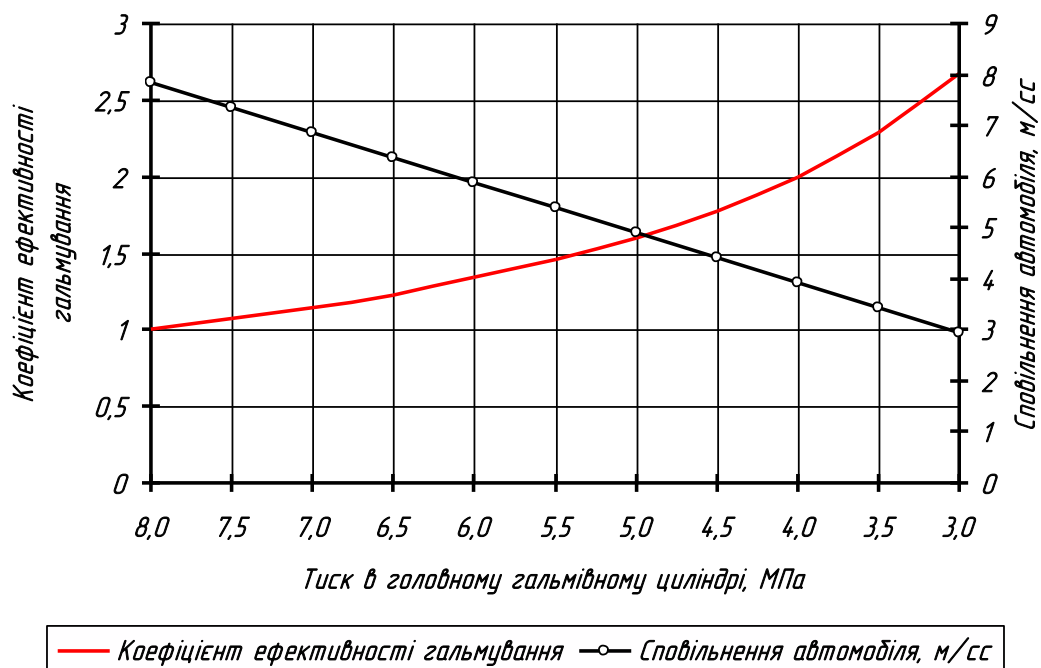


Рисунок 3.5 - Зміна величин K_e та j_m при падінні тиску p_z в головному гальмівному циліндрі

Так, при зниженні тиску p_z в головному гальмівному циліндрі з 8,0 МПа до 3,0 МПа відбувається зниження величини сповільнення автомобіля фактично у 3 рази. Наступними дослідженнями було проаналізовано особливості протікання процесу гальмування автомобіля із такими поширеними в експлуатаційних умовах несправностями гальмівної системи як:

- 1) заклинювання напрямних гальмівного супорту;
- 2) підклинювання поршня в робочому гальмівному циліндрі;
- 3) зменшення щільності прилягання гальмівних колодок до поверхонь гальмівного диску.

Перша несправність фактично забезпечує контакт лише однієї гальмівної колодки з гальмівним диском, скорочує площу тертя вдвічі; друга несправність – зменшує силу, з якою поршень робочого циліндру притискає гальмівні колодки до диску; а третя несправність – зменшує площі обох тертьових поверхонь колісного гальмівного механізму. Такі порушення практично є одноосібними, тобто виникають лише на окремому колесі, що й було враховано в процесі моделювання зміни параметрів ефективності гальмування (рис. 3.6-3.8).

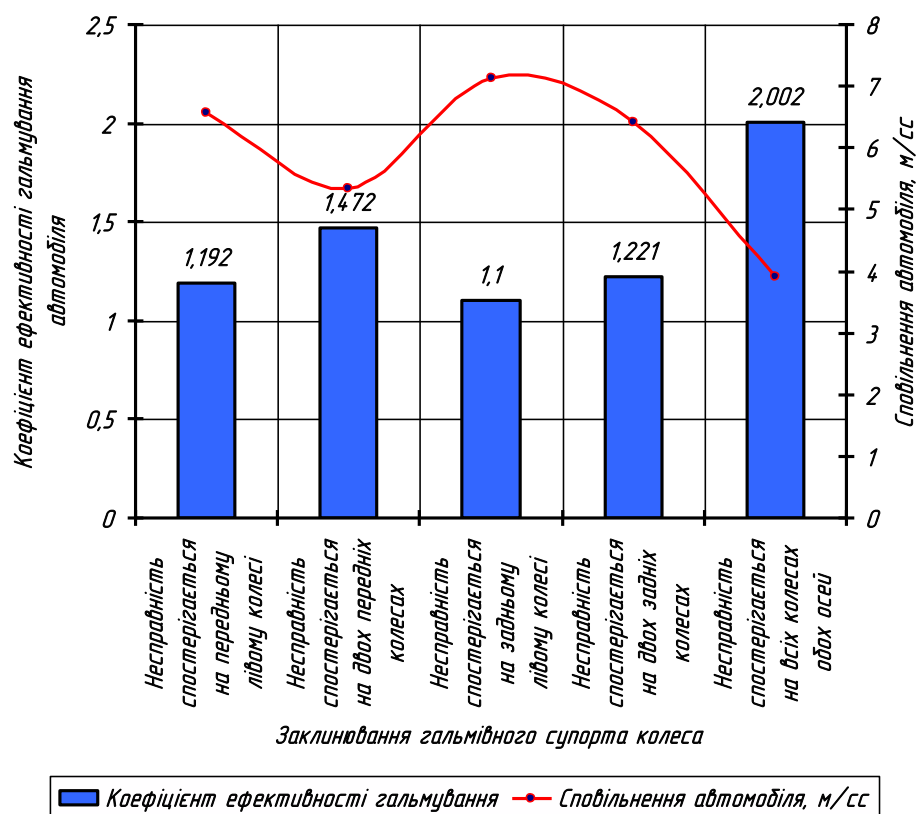
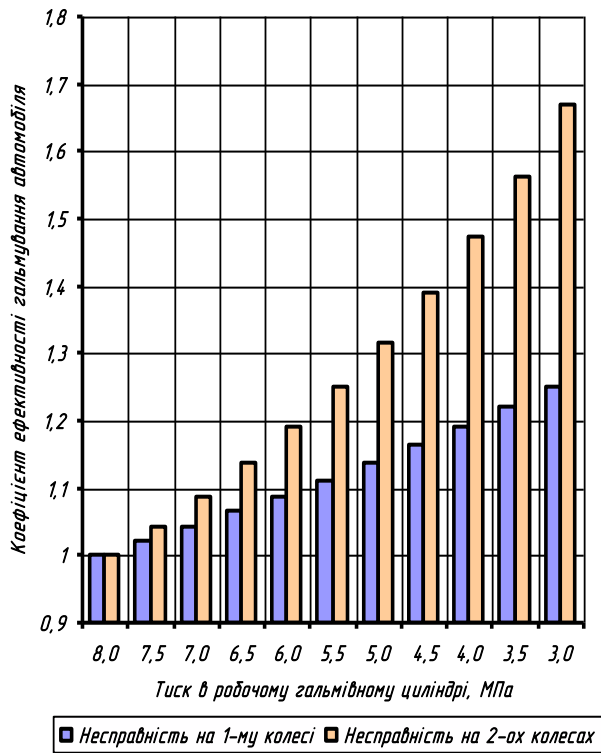
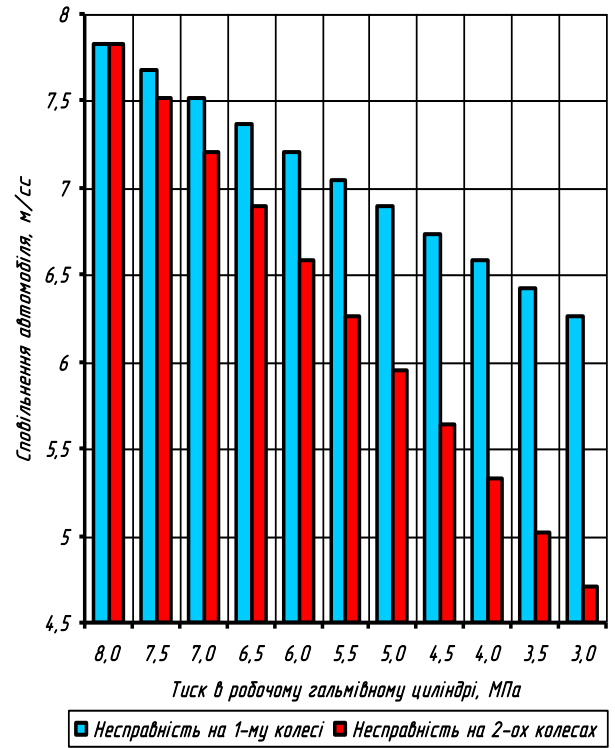


Рисунок 3.6 - Зміна величин K_e та j_m при заклинюванні напрямних гальмівних супортів коліс

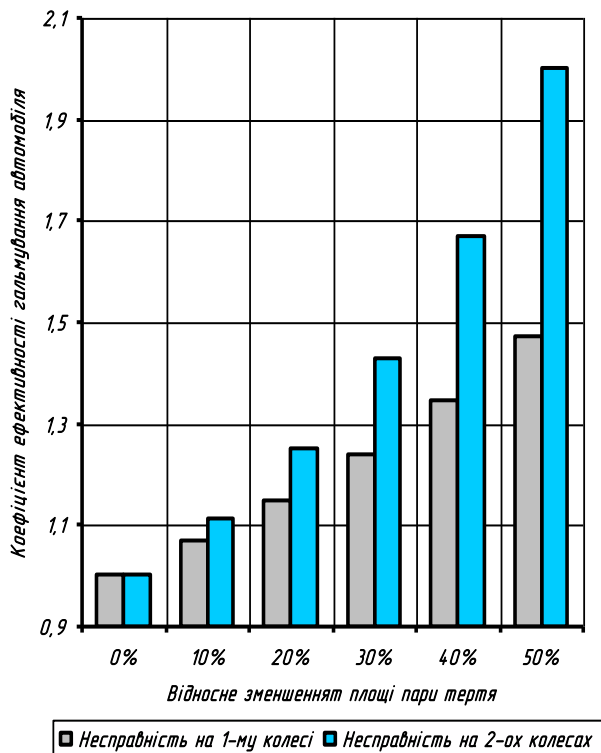


а)

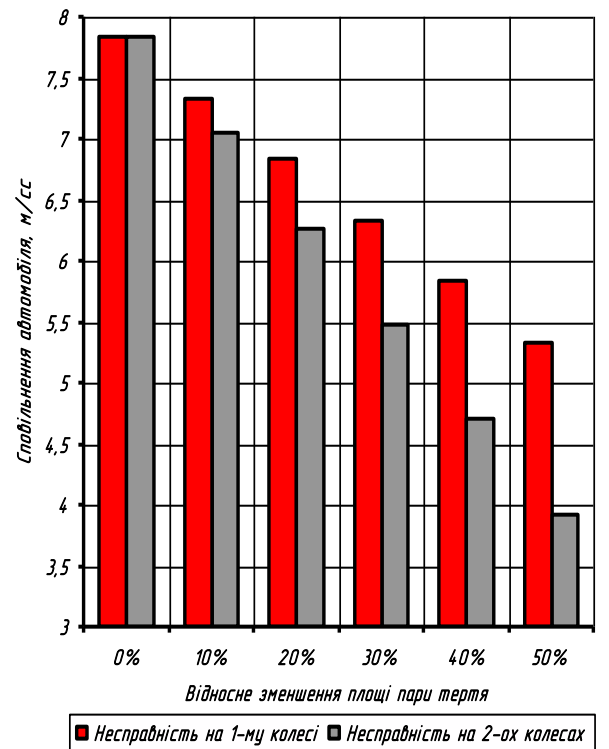


б)

Рисунок 3.7 - Зміна величин K_e (а) та j_m (б) при підклинюванні поршнів колісних гальмівних циліндрів передніх коліс



а)



б)

Рисунок 3.8 - Зміна величин K_e (а) та j_m (б) при нещільному приляганні гальмівних колодок до гальмівних дисків передніх коліс

Аналіз результатів моделювання представлених на рис. 3.7 – рис. 3.8 дає підстави стверджувати, що наявність в гальмівній системі несправностей суттєво знижує показники ефективності гальмування ТЗ та дозволяє сформулювати наступні висновки:

- при обмеженні ходу супорту лише одного робочого гальмівного механізму (на одному колесі) сповільнення автомобіля у порівнянні із нормативними показниками знижується лише на 12,2% при фактичному падінні ефективності роботи гальмівного механізму на 65% (рис. 3.7); якщо ж таке явище характерно для всіх коліс автомобіля то дійсне сповільнення автомобіля стрімко падає до показників лише $3,92 \text{ м/с}^2$, що фактично у 2 рази менше за нормативне значення;

- подібні результати спостерігаються й при обмеженні руху поршнів колісних гальмівних механізмів (див. рис. 3.8): при наявності несправностей такого типу лише на колесах передньої осі автомобіля, величина його сповільнення може зменшитися від 19,8% (за рахунок одного колеса) до 39,8% (за рахунок обох передніх коліс);

- нещільність прилягання гальмівних колодок до поверхонь гальмівних дисків суттєво знижує контакту фрикційну площу й відповідно величину гальмівного моменту на колесі; результати представлені на рис. 3.9 показують, що критичне падіння величини сповільнення автомобіля (менше $6,5 \text{ м/с}^2$) спостерігається вже при значеннях зменшення площі тертя на 30% для одного колеса та 10...20% для двох коліс передньої осі автомобіля.

Застосування в експертних розрахунках отриманої залежності (3.16) дозволяє не тільки простежити зміну показників ефективності гальмування ТЗ в залежності від динаміки «прогресування» несправності, а й оцінити реальний технічний стан гальмівної системи автомобіля та його параметри гальмування на момент оцінки.

Так, наприклад, потрібно оцінити на скільки зміняться величини зупиночних шляхів автомобіля Деу Ланос, який гальмує зі швидкості 75 км/год рухаючись без завантаження на ділянках дороги із різними типами покриттів (різними φ) та повздовжнім ухилом 3 град., рухаючись на спуск при наявності зазначених нижче несправностей в роботі його гальмівної системи:

- 1) зниження тиску головного гальмівного циліндру на 5%;
- 2) зменшення гальмівних сил на колесах: передньому лівому (-6,1%),

передньому правому (-13,5%), задньому лівому (-11,4%) та задньому правому (-8,1%) від нормативних значень;

3) візуальним оглядом стану гальмівних механізмів коліс виявлено зменшення контактної гальмівної площі на передніх колесах приблизно на 4,0% та на задніх колесах на 8,0%.

Дослідження за описаними вхідними даними наведено в додатку Е, а результати представлені на рис. 3.9 та рис. 3.10.

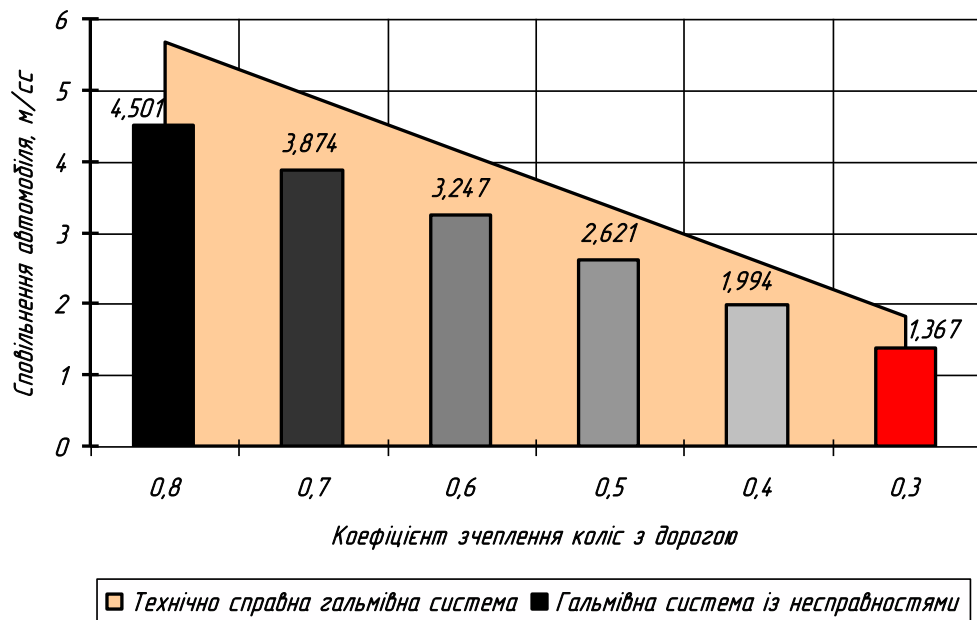
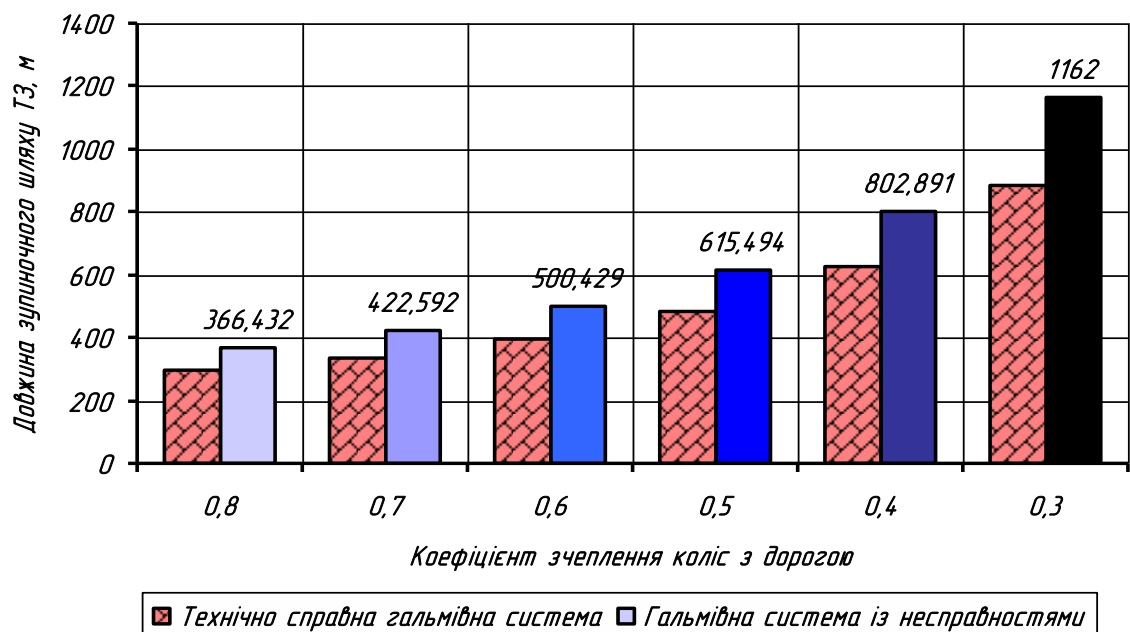
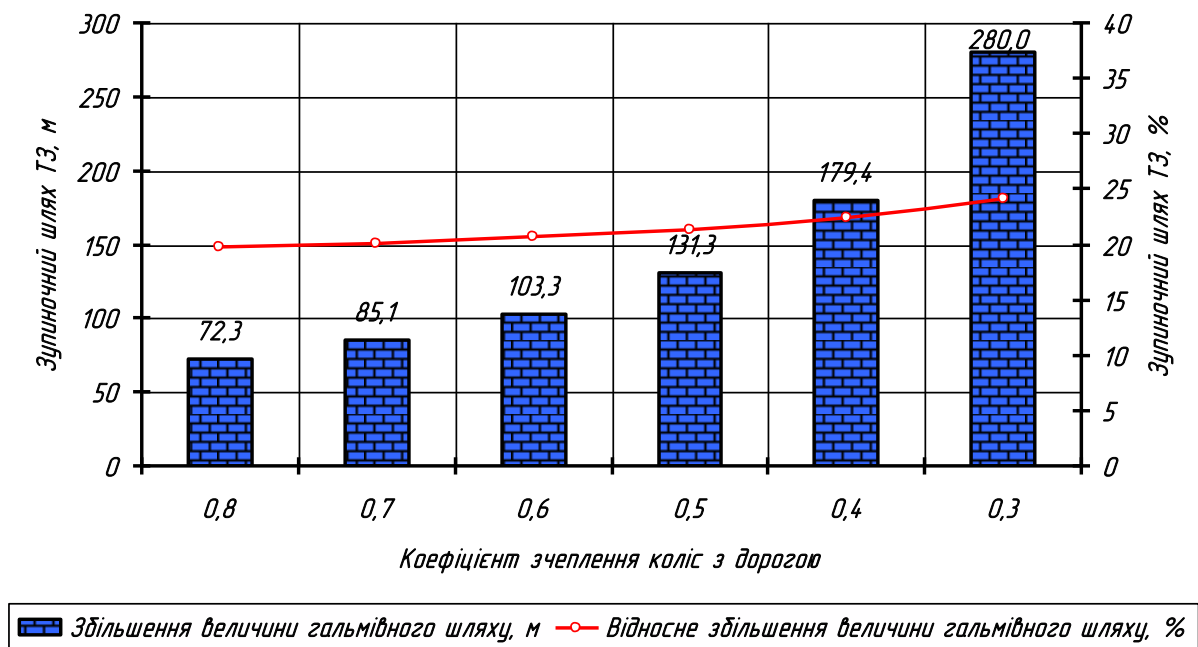


Рисунок 3.9. - Зміна величини сповільнення j_m автомобіля Деу Ланос при виявлених порушеннях в роботі гальмівної системи та різних ϕ





б)

Рисунок 3.10. - Зміна величини зупиночного шляху S_z автомобіля Деу Ланос при виявлених порушеннях в роботі гальмівної системи та різних ϕ у абсолютних (а) та відносних (б) показниках

Аналіз результатів проведеного дослідження (див. рис. 3.9-3.10) виявив, що наявність у гальмівній системі легкового автомобіля навіть не значних, з точки зору власника, відхилень та несправностей, суттєво змінює ефективність протікання процесу гальмування ТЗ й збільшує довжини зупиночного шляху. Результати показують, що із зменшенням коефіцієнту зчеплення коліс автомобіля із дорожнім покриттям вплив технічного стану гальмівної системи збільшується: так, якщо під час гальмування на сухій асфальтовій дорозі ($\phi = 0,8$) збільшення величини шляху S_z склало 72,3 м та становило +19,7%, то при $\phi = 0,3$ (мокра ґрунтова або сніжна дорога) довжина зупиночного шляху збільшується вже на 280,0 м й у відносних показниках додає +24,1%.

Підсумовуючи, слід зазначити, що запропонована залежність (3.16) дозволяє більш точно оцінити потенційний стан гальмівної системи ТЗ при наявності порушень в роботі окремих механізмів та наявності несправностей у порівнянні з існуючими в технічному регламенті експерта формулами.

РОЗДІЛ 4.

ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Нормативні вимоги та особливості проведення оцінки технічного стану гальмівної системи автомобіля

Гальмівні властивості ТЗ є найважливішими з усіх експлуатаційних властивостей, так як встановлюють рівень активної безпеки автомобіля. Саме тому, їх показники регламентуються для всіх категорій автомобілів міжнародними Правилами ЄЕК ООН (правила №13) та додатковими національними стандартами [21, 22], й повинні бути забезпечені протягом всього експлуатаційного періоду ТЗ. Дія означених стандартів розповсюджується на всі без виключення ТЗ, які стоять на обліку ТЗ України, в незалежності від форми власності (юридична або фізична особа).

Стандартами [21, 22] передбачено, що технічний стан всіх систем ТЗ, в тому числі й систем керування, до складу якої відноситься гальмівна система, повинен забезпечувати відповідність вимогам безпеки дорожнього руху. Оціночними показниками ефективності роботи гальмівної системи визначено відповідність величин усталеного сповільнення $j_{уст}$ в процесі гальмування та мінімального гальмівного шляху S_g [21] нормативним значенням. При цьому передбачені такі види випробувань гальмівної системи як дорожні й стендові випробування, кожен з яких має власні переваги та недоліки.

До недоліків дорожніх випробувань слід віднести складність відтворення потрібної дорожньої обстановки, обмеження дорожнього руху для інших учасників, необхідність розміщення та закріплення вимірювальної апаратури в автомобілі тощо. Проведення контролю технічного стану гальмівних систем ТЗ на силових стендах не завжди забезпечує достовірність отриманих результатів показників гальмівної ефективності ТЗ з-за технологічних похибок вимірювального обладнання та неможливості в повній мірі відтворити реальну силову дію на колеса автомобіля.

Так, нормативними вимогами до стоянкової гальмівної системи передбачено можливість утримання автомобілів категорії M_1 у спорядженому стані на ухилах не менше 25% (для нових ТЗ) та 23% (для тих, що були в експлуатації).

Для основних гальмівних систем автомобілів категорії M_1 методика проведення дорожніх випробувань передбачає проведення дослідів на горизонтальній ділянці дороги із твердим (асфальтним, бетонним, асфальтобетонним тощо) покриттям, яке знаходиться в сухому й чистому стані. Сам ТЗ повинен бути в спорядженому стані та оснащений регламентованими сертифікованими технічними засобами вимірів. Регламент передбачає можливість знаходження в салоні автомобіля додаткового фахівця для роботи із вимірювальним обладнанням. Оцінка ефективності гальмування ТЗ категорії M_1 з урахуванням їх призначення і повної маси проводиться в 2 етапи.

На першому етапі (0-ве випробування) проводиться оцінка робочих параметрів основної гальмівної системи автомобіля при температурі гальмівних механізмів меншій за 100°C (або через 30...40 хв. після останнього спрацьовування). При випробуваннях другого етапу (I-е випробування) ефективність робочої гальмівної системи визначається при нагрітих гальмівних механізмах до визначених стандартом [21] значень.

На обох етапах гальмування ТЗ починається при швидкостях руху в діапазоні 35...45 км/год за умови створення натискного зусилля на гальмівній педалі не менше за 490 Н. Для зарахування результатів випробувань, траєкторія руху автомобіля в процесі гальмування повинна бути прямолінійною. Дійсний стан основної (робочої) гальмівної системи ТЗ оцінюється, як вже було зазначено вище, за фактичними значеннями величин гальмівного шляху (який не повинен перевищувати нормативних значень) та усталеного сповільнення (яке навпаки, повинно бути більшим за нормативи). Приклад таблиці нормативних довжин гальмівних шляхів автомобілів категорії M_1 при гальмуванні наведено в таблиці 4.1 [22].

Представлені в таблиці 4.1 дані довжин гальмівних шляхів S_z передбачають корегування з огляду на величини усталених сповільнень автомобіля $j_{уст}$, які реалізуються його гальмівною системою в залежності від функціональних дій водія ТЗ та технічних параметрів самої гальмівної системи, що залежать від її дійсного рівня технічного стану (див. рис. 4.1).

Таблиця 4.1 – Нормативні довжини гальмівного шляху S_z ТЗ категорії M_1 в залежності від швидкостей руху V_a під час гальмування із різними сповільненнями $j_{уст}$ [22]

Сповільнення, $j_{уст}$	Початкова швидкість гальмування автомобіля V_a , км/год											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
	Гальмівний шлях до повної зупинки, м											
1,0	6,6	21	43	73	110	155	210	270	335	415	495	585
1,5	5,4	16	32	52	78	110	145	185	235	285	345	400
2,0	4,7	13	26	42	62	86	115	145	180	220	265	310
2,5	4,3	12	22	36	53	73	95	120	150	180	220	255
3,0	4,1	11	20	32	46	63	82	105	130	155	185	215
4,0	3,8	9,4	17	26	38	52	66	83	105	125	145	170
7,0	3,3	7,8	13	20	28	37	46	57	70	83	98	110

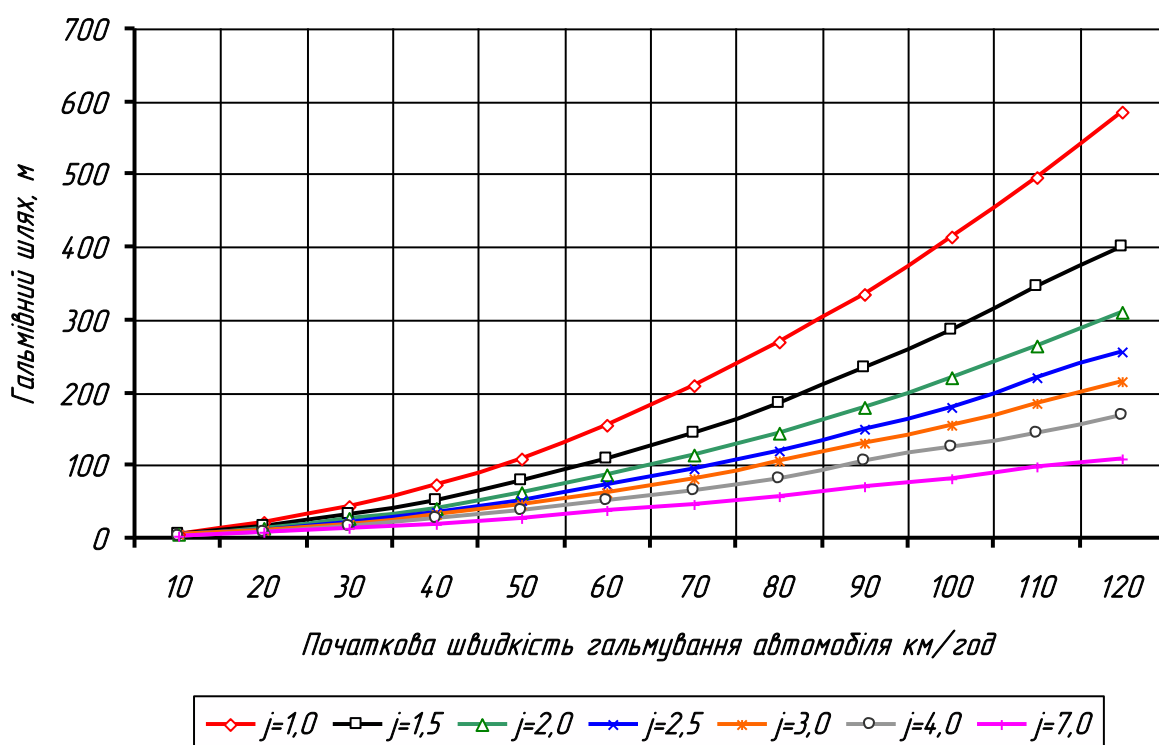


Рисунок 4.1 – Функціональні залежності величин гальмівних шляхів S_z ТЗ категорії M_1 від швидкості руху V_a при різних сповільненнях $j_{уст}$ [22]

ДСТУ 3649-2010 [21] допускає можливість проведення оцінки ефективності роботи гальмівної системи автомобіля й безпосередньо за величиною усталеного сповільнення $j_{уст}$, яка для ТЗ категорії M_1 не повинна бути меншою за $5,5 \text{ м/с}^2$; додатковому контролю підлягає величина часу t_2 спрацювання гальмівної системи, який для автомобілів із гідравлічним приводом гальм не повинен перевищувати $0,5 \text{ с}$.

Критеріями оцінки технічного стану робочої гальмівної системи ТЗ при стендових випробуваннях виступають дещо інші показники, а саме: створена загальна питома гальмівна сила, коефіцієнт нерівномірності гальмівних сил на кожній осі та час спрацьовування системи гальм [21, 22]. Граничним рівнем величин прийнято вважати: значення загальної питомої гальмівної сили не меншої за діапазон $\gamma_{\Gamma} = 0,51...0,59$, максимального значення коефіцієнта нерівномірності гальмівних сил K_{Π} на осях – не більше за 20% в діапазоні гальмівних сил 30...100% максимальних значень. Даний діагностичний спосіб відноситься до експериментально-аналітичних так як, зазначені критерії, після експериментальної фіксації значень діагностичних параметрів, обчислюються за наведеними нижче аналітичними залежностями [21, 22]:

$$\gamma_{\Gamma} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\Gamma \max(i)}}{g \cdot M_{\text{авт. пов.}}}, \quad (4.1)$$

де $\sum P_{\Gamma \max(i)}$ – максимальне значення гальмівної сили на i - му колесі ТЗ, Н;

n - кількість коліс автомобіля;

g - прискорення вільного падіння, м/с²;

$M_{\text{авт. пов.}}$ - повна маса ТЗ, кг.

$$K_{\Pi} = \frac{|P_{\Gamma \text{л}} - P_{\Gamma \text{п}}|}{P_{\Gamma \max}} \cdot 100\%, \quad (4.2)$$

де $P_{\Gamma \text{л}}$, $P_{\Gamma \text{п}}$ – значення гальмівних сил відповідно на лівому та правому колесах однієї осі ТЗ, Н;

$P_{\Gamma \max}$ – більше за абсолютною величиною значень гальмівної сили ($P_{\Gamma \text{л}}$ або $P_{\Gamma \text{п}}$).

Обов'язковою умовою проведення стендових випробувань гальмівної системи ТЗ є його максимальна завантаженість, тобто $M_{\text{авт. пов.}} = \max$, що обумовлено обмеженими технічними можливостями більшості силових (гальмівних) стендів, які здатні забезпечити лише 70...90% від реального навантаження на колесо автомобіля, що створюється під час руху в дорожніх експлуатаційних умовах.

4.2 Створення безпечних умов при діагностуванні гальмівних систем ТЗ на стендах

Виконання діагностичних робіт на гальмівному стенді виконується діагностом, який може залучати до процесу діагностування водія ТЗ у разі проходження останнім відповідного інструктажу з техніки безпеки. При цьому процедурою передбачено розміщення фахівця з діагностики як безпосередньо на місці водія ТЗ (при дистанційному керуванні стендом), так й поруч із стійкою керування стендом, в той час як на органи керування ТЗ виконуючи команди діагноста впливає сам водій.

Перед початком діагностичної процедури необхідно максимально завантажити автомобіль у відповідності до технічних вимог заводу-виробника (допускається часткове завантаження автомобіля без перевищення значень навантаження 3000 кг на одну вісь автомобіля). До інших технічних дій, які передують безпосередньо самому процесу діагностування відносяться:

- перевірка стану автомобільних шин, які не повинні мати візуальних дефектів (порізів, гульт, глибоких тріщин тощо), відкладень бруду та вологі;
- перевірка значень тиску у шинах автомобіля, який повинен бути однаковим для коліс однієї осі й мати значення не менше середнього діапазону;
- проведення підготовчих налаштувань гальмівних механізмів коліс шляхом просушування спряження «гальмівна колодка – гальмівний диск» періодичним 5...10 кратним натисканням на педаль гальм.

При проведенні безпосередньо стендових випробувань гальмівної системи автомобіля регламентований наступний покроковий порядок технічних дій [33]:

- 1) розмістити автомобіль на стенді без його фіксації;
- 2) при заїзді на барабани стенду віссю яка буде діагностуватися дотримуватися швидкісного діапазону руху ТЗ - 0,5...1,0 км/год.;
- 3) провести контрольну перевірку всіх механізмів стенду та самоперевірку вимірювальної діагностичної програми;
- 4) закріпити автомобіль з обох сторін за допомогою упорів, якими укомплектований стенд, з метою забезпечення його сталого положення під час проведення діагностичних операцій;

- 5) встановити датчик сили стенду на гальмівній педалі автомобіля;
- 6) запустити двигун автомобіля без його з'єднання із трансмісією;
- 7) здійснити контрольне вимірювання гальмівної сили на педалі шляхом її повільного натискання протягом 6...8 с для калібрування та налаштування системи;
- 8) виконати комплекс діагностичних операцій регламентований програмою стенду дотримуючись команд, які надає ця програма;
- 9) після закінчення процесу діагностування та відображенні на екрані монітору значень гальмівних сил коліс та сил, що діють в механізмі керування, порівняти результати випробування із встановленими нормами;
- 10) для діагностики гальмівних механізмів іншої осі автомобіля необхідно провести установку наступної частини автомобіля на стенд (виїзд з роликів стенду виконується тільки шляхом руху автомобіля вперед за автоматичної допомоги приводу стенду).

Інструкцією з охорони праці під час проведення діагностичних робіт на стенді передбачені наступне [34]:

- «при перебуванні діагностичного стенду в режимі очікування потрібно заблокувати головний електричний вимикач для запобігання його несанкціонованого використання [34]»;
- «до роботи на стенді допускаються особи не молодші 18 років, які не мають медичних протипоказань, пройшли вступний інструктаж, інструктаж та стажування на робочому місці, що мають першу групу з електробезпеки [34]»;
- «перед та під час проведення діагностичних операцій слід переконатися, що ніхто не стоїть поруч із роликами, а оператор-діагност знаходиться в салоні автомобіля [34]»;
- «не допускається проведення робіт із налаштування під час роботи стенду на роликах, що обертаються [34]»;
- «забороняється здійснювати запуск двигуна автомобіля за допомогою приводу гальмівного стенду [34]»;
- «не дозволяється розміщення ТЗ на роликівих гальмівних стендах — особливо не ведучою віссю, не із включеною передачею й не із включеним

запаленням (якщо це дизельний ТЗ – то навіть не з вимкненим запаленням) через ризик, що двигун автомобіля запуститься від початкового руху роликів, й не керований автомобіль вийде з-під контролю [34]»;

- «експлуатаційний режим «аварійний режим експлуатації» слід застосовувати лише при з'їзді автомобіля з роликів у разі пошкодження гальмівного стенду в процесі експлуатації [34]»;

- «необхідно вийняти ключ для аварійної експлуатації з блоку індикаторів та сховати у надійному місці, щоб запобігти несанкціонованому використанню [34]»;

- «при активації «автоматичного режиму експлуатації» ролики починають крутитися, як тільки автомобіль заїжджає на гальмівний стенд; тому пульт керування стендом потрібно розмістити всередині автомобіля, задля забезпечення можливості вимкнення стенду з місця водія у разі виникнення аварійної ситуації [34]»;

При виникненні аварійних ситуацій під час роботи на стенді слід виконувати наступні вимоги охорони праці:

- «при виникненні аварійної ситуації, що загрожує здоров'ю та життю працюючих потрібно негайно сповістити про небезпеку оточуючих людей, припинити всі роботи, доповісти безпосередньому керівнику про подію та діяти відповідно до його вказівок [34]»;

- «при поломках обладнання, що загрожує аварією, припинити його експлуатацію, а також подачу до нього електроенергії. Доповісти про вжиті заходи безпосередньому керівнику (особі, відповідальній за безпечну експлуатацію обладнання) та діяти відповідно до отриманих вказівок [34]»;

- «при виникненні нещасного випадку на виробництві, гострому захворюванні, потерпілому необхідно надати першу допомогу, при необхідності доставити до лікувального закладу охорони здоров'я, негайно повідомити про безпосереднього керівника [34]»;

- «при ураженні працівника електричним струмом, негайно звільнити потерпілого від впливу струму, застосовуючи діелектричні засоби та дотримуючись запобіжних заходів [34]»;

- «при виявленні ознак виникнення пожежі (горіння, задимлення, запаху гару, підвищення температури тощо) кожен працівник зобов'язаний: негайно

повідомити телефоном у пожежну охорону при цьому необхідно назвати адресу об'єкта, місце виникнення пожежі, а також повідомити свою прізвище; вжити по можливості заходи щодо евакуації людей, гасіння пожежі та збереження матеріальних цінностей; негайно повідомити про те, що сталося безпосередньому керівнику [34]».

4.3 Рекомендації щодо застосування результатів дослідження

Діючими нормативами нашої країни, при проведенні експертного дослідження ДТП, передбачено визначення гальмівного й зупиночного шляхів автомобіля в процесі екстреного гальмування, на основі зафіксованих в матеріалах справи довжин слідів гальмування (юзу) коліс, які залишилися на поверхні дороги. Саме на величини довжин слідів юзу спираються нормативні розрахункові формули оцінки механізму виникнення та розвитку ДТП, якими користуються експерти вже понад 50 років. Такі залежності можуть враховувати лише повну відмову гальмівного механізму колеса (колів) під час гальмування автомобіля без встановлення причинно-наслідкового зв'язку. Похибка розрахунків в оцінці ефективності гальмування ТЗ при цьому може становити від 5 до 30%, що вкрай неприпустимо.

В більшості зафіксованих випадків повна відмова гальмівних механізмів колів в експлуатації фіксується вкрай рідко; в більшості спостерігається погіршення (інколи суттєве) в роботі гальмівних механізмів обумовлене процесами зношення спряжених деталей вузлів і механізмів, отриманням пошкоджень під час ударних навантажень, неякісним проведенням ремонтних дій та ін.

На поточний момент існує невирішена проблема пов'язана із відсутністю методологічних основ для оцінки дійсної ефективності гальмування ТЗ, гальмівні системи яких мають експлуатаційні ушкодження та порушення в роботі, й не можуть реалізувати створення максимальних гальмівних моментів на колесах, при яких відбувається їх блокування й, як наслідок, залишаються сліди протектору шин на поверхні дороги. Такі механізми не втрачають свою працездатність в повній мірі, а лише мають знижені характеристики ефективності роботи. Розроблена в даній роботі математична модель визначення коефіцієнту

ефективності гальмування ТЗ категорії M_1 оснащеного гальмівною системою із гідравлічним приводом гальм, максимально враховує особливості створення гальмівного моменту на кожному колесі, приймаючи за основу параметри технічного стану елементів гальмівного механізму.

Використання запропонованої моделі визначення часу t_4 - часу гальмування ТЗ із максимальним усталеним сповільненням, більш точно відображує реальний процес гальмування ТЗ й забезпечує підвищення точності визначення оцінки довжини зупинного шляху ТЗ на 5,3%...12,0% у порівнянні з існуючими розрахунковими методами, що дозволяє більш об'єктивно встановити можливість або неможливість уникнення ДТП водієм.

Існує й інший напрямок використання результатів дослідження – визначення необхідності проведення ремонтних втручань в гальмівну систему конкретного автомобіля. На основі визначення лише деяких параметрів роботи системи, таких наприклад як величини тисків в робочих гальмівних циліндрах, наявності нещільного прилягання гальмівних колодок до дисків, обмеження руху поршнів гальмівних циліндрів, присутності витоків гальмівної рідини зі з'єднань – можна аналітичним шляхом визначити дійсний рівень ефективності гальмування автомобіля й спрогнозувати його можливості щодо уникнення ДТП.

ВИСНОВКИ

В представленій магістерській роботі, на основі розробленої методики та математичної моделі, зроблена спроба підвищення точності й справедливості оцінки ефективності реалізації процесу гальмування ТЗ із відхиленнями у робочих параметрах його гальмівної системи обумовленими наявними несправностями та пошкодженнями.

Проведений в I-му розділі роботи аналіз статистичних даних показників рівня й наслідків ДТП в Україні за останні роки виявив вкрай негативну картину: щоденно на дорогах України відбувалося в середньому 420 аварій, в яких травмувалися 77 людей, а 8 людей – гинуло. Найбільш часто причинами скоєння ДТП із загиблими та/або травмованими виступали: перевищення регламентованої швидкості руху ТЗ (у понад 31% випадків) та порушення правил маневрування (близько 19%). Статистичні дані стверджують, що у понад 76% всіх випадків, саме гальмування є основною технічною дією з боку водія для запобігання виникнення ДТП. Проведений аналіз вікових груп ТЗ показав, що в Україні загальна кількість зареєстрованих транспортних засобів категорії М₁ на кінець 2021 року становив понад 19 млн. автомобілів; при цьому середній експлуатаційний період для них склав понад 22,5 роки. Частка легкових автомобілів вікової групи понад 5 років становить фактично 85% всього автопарку даної категорії. Звісно, технічний стан механізмів і систем таких автомобілів відрізняється від нормативних показників і гіршу сторону; дослідження технічного стану найбільш відповідальних за безпеку руху – гальмівних механізмів виявив такі вкрай небезпечні дефекти як задири та риси на поверхнях гальмівних дисків у 44% ТЗ; зношення напрямних гальмівних супортів у 15%; тріщини, нерівномірний знос та відшарування фрикційних накладок від основи гальмівних колодок у 17% автомобілів тощо. Саме тому актуальним є питання доцільності застосування існуючих розрахункових методик оцінки ефективності гальмування ТЗ при дослідженні задач експертного аналізу ДТП.

Результатом дослідження розділу виступило формування основної мети - підвищення точності оцінки ефективності гальмування транспортних засобів шляхом врахування реального поточного технічного стану та характеристик їх

гальмівних систем; формування об'єкту й предмету дослідження та задач, основною з яких є створення та дослідження математичної моделі оцінки ефективності гальмування ТЗ, яка б враховувала реальний технічний стан елементів основної гальмівної системи автомобіля.

В другому розділі роботи досліджені рекомендовані методики оцінки ефективності гальмування ТЗ під час процесуального дослідження механізму ДТП, які ґрунтуються на визначенні величин гальмівного й зупиночного шляхів та усталеного сповільнення автомобіля. Проведений аналіз аналітичних залежностей вище означених величин, запропонованих різними науковцями показав, що більшість з них є варіацією діючих базових нормативних формул із певними несуттєвими уточненнями, які в більшості не впливають на кінцеві значення розрахунків. Заслуговують на увагу результати праць А. Кашканова та О. Сараєва, які розглядають гальмування ТЗ під дією зовнішніх сил опору руху й із урахування наявності в гальмівній системі автомобіля підсистеми ABS. Дослідженнями розділу встановлено, що показники ефективності гальмування ТЗ доцільно визначати за величиною коефіцієнту ефективності гальмування K_e , значення якого повинно в повній мірі відповідати реальному технічному стану гальмівної системи автомобіля.

В третьому розділі у відповідності до нормативних положення та вимог розроблено математичну модель визначення коефіцієнту ефективності гальмування ТЗ, яка враховує як конструктивні особливості гальмівної системи автомобіля, так й її робочі параметри, що визначаються технічним станом, а саме: тиск гальмівної рідини в головному гальмівному циліндрі та гальмівних магістралях, зусилля на гальмівній педалі, площу поверхонь тертя гальмівних колодок, коефіцієнт тертя пари «гальмівна колодка - диск» та інші. Встановлено, що до факторів, які є найбільш змінними в експлуатаційних умовах та суттєво впливають на величини гальмівної сили та гальмівного моменту кожного колеса слід віднести дійсні площі їх поверхонь тертя (F_{zki}), коефіцієнти тертя (μ_i) та величини сил притискання гальмівних колодок до дисків які визначаються тисками в робочих циліндрах (p_{zi}) та відсутністю механічних заїдань робочого поршня та напрямних супорта. Розрахунки величин K_e та усталеного

сповільнення j_m за отриманою залежністю та базовими формулами показали високий ступінь відповідності та дозволяють підвищити точність розрахунків величин K_e та j_m в діапазоні 0,1...21,7%, що позитивно визначиться на оцінці дійсних величин гальмівного й зупиночного шляхів автомобіля в процесі екстреного гальмування під час ДТП. Застосування в експертних розрахунках розробленої математичної моделі дозволяє не тільки простежити зміну показників ефективності гальмування ТЗ від динаміки «прогресування» несправностей, а й оцінити реальний технічний стан гальмівної системи автомобіля та його параметри гальмування на поточний момент.

Дослідженнями 4-го розділу визначені діючі нормативні вимоги та особливості проведення оцінки технічного стану гальмівної системи автомобіля в експлуатаційних умовах. Значну увагу при цьому приділено методиці виконання діагностичних робіт на гальмівному стенді при створенні безпечних умов праці виробничого персоналу. Завершуються дослідження наданими рекомендації щодо застосування результатів дослідження в експертній практиці (під час дослідження механізму ДТП) та під час діагностування автомобілів під час їх сервісного обслуговування.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кафедра експлуатації та ремонту машин/ Науково-дослідна робота: веб-сайт.
URL: http://erm.kntu.kr.ua/SCIENTIFIC_RESEARCH_WORK.html
2. Кафедра експлуатації та ремонту машин. Історія та спеціальності: веб-сайт.
URL: <http://erm.kntu.kr.ua/NEW.html>.
3. Кафедра експлуатації та ремонту машин. Матеріально-технічна база: веб-сайт. URL: <http://erm.kntu.kr.ua/baza.html>.
4. Правила дорожнього руху України. Київ : Укрспецвидав, 2020. 64 с.
5. Методические рекомендации по производству автотехнической экспертизы. Под ред. В.И.Кристи. - Справочное пособие для экспертов-автотехников. - Москва: ВНИИ судебных экспертиз, 1971. - 125 с.
6. 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.
7. Аналіз стану безпеки руху та аварійності на наземному ...
<https://www.facebook.com/Bilosh/posts/10222497872868139>
8. Аварійність в цифрах: статистика за 5 місяців 2022 року
<https://transcarpatia.net/transcarpathia/nadzvychaine/157889-avarijnist-v-cifrah-statistika-za-5-misjaciv-2022-roku.html>
9. ДТП в Україні: скільки людей травмується й гине на дорогах (2021)
<https://ru.slovoidilo.ua/2021/07/21/infografika/obshhestvo/dtp-ukraine-skolko-chelovek-travmiruetsya-i-gibnet-dorogax>
10. Основні причини ДТП в Україні: статистика (2021)
<https://sud.ua/ru/news/ukraine/208753-osnovnye-prichiny-dtp-v-ukraine-statistika>
11. Три факта об автопарке Украины в 2019 году: инфографика. Auto24
https://auto.24tv.ua/ru/tri_fakta_ob_avtoparke_ukrainy_v_2019_godu_infografika_n19433
12. Статистика. Патрульна поліція України. Веб-сайт. URL: <http://patrol.police.gov.ua/statystyka/> (дата звернення 15.10.2022).
13. Кашканов В.А. Аналіз причин виникнення відмов в передній підвісці та рульовому керуванні автомобілів : матеріали XII міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», 21–23 жовтня 2019 року / В.А. Кашканов, С.О. Люльчак. – Вінниця :

ВНТУ, 2019. – С. 92–94.

14. 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.

15. Сахно В.П., Безбородова Г.Б., Маяк М.М., Шарай С.М. Автомобілі: Тягово-швидкісні властивості та паливна економічність. – К.: В-во: "КВІЦ", 2004.

16. В.Волков, Г.Вильський Теорія руху автомобіля. – В-во «Універсальна книга», 2010. – 320 с.

17. Иларионов В. А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий : учеб. для вузов / В. А. Иларионов. – М. : Транспорт, 1989. – 256 с. : ил.

18. Суворов Ю. Б. Экспертное определение времени реакции водителя при производстве судебных инженерно-психофизиологических экспертиз / Ю. Б. Суворов, А. К. Гордеева, Н. Я. Константинова. – М. : ВНИИСЭ, 1988. – 38 с.

19. Пчелин И. К. Динамика процесса торможения автомобиля : дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.03 / Игорь Константинович Пчелин. – М., 1984. – 436 с.

20. Кашканов А. А. Розробка методу оцінки експлуатаційних гальмових властивостей автомобіля в дорожніх умовах : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20 / Андрій Альбертович Кашканов. – Вінниця, 2000. – 180 с.

21. ДСТУ 3649-10. Засоби транспортні дорожні. Експлуатаційні вимоги безпеки до технічного стану та методи контролю. – К. : Держстандарт України, 2010. – 19 с.

22. ДСТУ UN/ECE R 13-H 00:2004. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження легкових автомобілів стосовно гальмування. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 50 с.

23. Кашканов А. А. Концепція оцінювання і зменшення невизначеності в задачах автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод : дис. ... докт. техн. наук : 05.22.02 / Андрій Альбертович Кашканов. – Харків, 2020. – 403 с.

24. Сараєв О. В. Метод оцінки ефективності гальмування транспортних засобів при дослідженні дорожньо-транспортної пригоди: дис. ... докт. тех. Наук : 05.22.02 / Олексій Вікторович Сараєв. - Харків: ХНАДУ, 2016. - 418 с.

25. Бухарин Н. А. Тормозные системы автомобилей / Н. А. Бухарин. – М-Л.: Машгиз, 1950. – 292 с.

26. Гуревич Л. В. Тормозное управление автомобиля / Л. В. Гуревич, Р. А. Меламуд. – М. : Транспорт, 1978. – 152 с.
27. Гришкевич А. И. Автомобили: Теория : учеб. для вузов / А. И. Гришкевич. – Минск : Выш. шк., 1986. – 208 с. : ил.
28. Туренко А. Н. Основы создания и исследования электронно-пневматического тормозного управления транспортных средств : монографія / А. Н. Туренко, В. И. Клименко, Л. А. Рыжих и др. – Х. : ХНАДУ, 2012. – 288 с.
29. Бекасов В.А. Автотехническая экспертиза / В.А. Бекасов, Г.Я. Боград, Б.Л. Зотов, Г.Г. Индиченко. – М. : Юридическая литература, 1967. – 254 с.
30. Галаса П. В. Експертний аналіз дорожньо–транспортних пригод : посіб. 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.: ілюстр.
31. Судебная автотехническая экспертиза. Ч. II. Теоретические основы и методики экспертного исследования при производстве автотехнической экспертизы : пособие для экспертов–автотехников, следователей и судей / Отв. ред. В. А. Иларионов. – М. : ВНИИСЭ, 1980. – 392 с. : ил.
32. Г.О. Ковальчук, В.П. Сахно. Основи конструкції автомобіля. Навчальний посібник в електронному вигляді. – К.: В-во: "КВІЦ", 2011. - 805 с.
33. Практикум з експлуатації легкових автомобілів : навч. посіб. / Чабанний В.Я. та ін.; за ред. Чабанного В.Я. Кіровоград: КП "Центрально-Українське видавництво", 2012. 622 с.
34. Правила охорони праці на автомобільному транспорті. Державний нормативний акт про охорону праці. ДНАОП 0.00-1.28-97. К.: Держнаглядохоронпраці, 1997. 328 с.
35. Методичні вказівки для виконання випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів за освітньо-професійної програми «Автомобільний транспорт» другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 274 – «Автомобільний транспорт» денної та заочної форми навчання / уклад.: С.О. Магопєць, Ю.В. Кулєшков, О.В. Бєвз, М.В. Красота, Д.В. Голуб, А.С. Максимєнко; під заг. редакцією к.т.н., доц. Магопця С.О. - Кропивницький: ЦНТУ, 2022. – 46 с.