

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ  
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ

**К В А Л І Ф І К А Ц І Й Н А Р О Б О Т А**

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: **«Оцінка впливу характеристик шин на сповільнення  
транспортних засобів категорії М1»**

Виконав: студент VI курсу групи Ат-61

Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”  
(шифр і назва)

Ігор Білик

(ім'я та прізвище)

Керівник: Олег Миронюк

(ім'я та прізвище)

Дубляни 2025

УДК 629.016

Білик І. Е. Оцінка впливу характеристик шин на сповільнення транспортних засобів категорії М1 : кваліфікаційна магістерська робота. Дубляни: Львівський НУВМБ ім. С. Гжицького, 2025. 71 с.

Табл. 16; рис. 36; бібліогр. джерел 23.

Проведений аналіз безпеки дорожнього руху та причин дорожньо-транспортних пригод. Встановлено, що найбільша питома вага пригод трапляється за участю легкових автомобілів. Найдоцільнішим для проведення досліджень гальмівних властивостей є поділ транспортних засобів категорії М1 на сегменти згідно класифікації Європейської економічної комісії, в основі якого лежить градація за значенням показників маси, типу та розмірів кузова автомобіля. Дано характеристику зчіпним властивостям автомобільних шин з дорожнім покриттям та чинникам, що мають на це вплив. Зазначені вимоги до шин та коліс, які безпосередньо пов'язані із безпекою руху. Представлений огляд елементів активної безпеки сучасного легкового автомобіля.

Розроблена математична модель процесу сповільнення транспортних засобів, обладнаних сучасними системами активної безпеки, проаналізовано експлуатаційні фактори, що впливають на цей процес.

Проведено випробування транспортних засобів сегментів А, В, С, Е, М категорії М1 з визначення сповільнення під час екстреного гальмування. Здійснений порівняльний аналіз отриманих значень гальмівного шляху для зазначених категорій з даними, отриманими на підставі стандартної методики.

Розроблено комплекс заходів щодо попередження виникнення травм та аварій під час дорожніх випробувань гальмівної системи автомобіля.

## ЗМІСТ

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП .....                                                                                           | 6  |
| 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....                                                   | 8  |
| 1.1 Аналіз безпеки дорожнього руху і причин дорожньо-транспортних пригод .....                        | 8  |
| 1.1.1 Показники аварійності на дорогах .....                                                          | 8  |
| 1.1.2 Вікова структура транспортних засобів .....                                                     | 10 |
| 1.2 Класифікації транспортних засобів категорії М1 .....                                              | 10 |
| 1.2.1 Класифікація легкових ТЗ в країнах Євросоюзу.....                                               | 10 |
| 1.2.2 Класифікація легкових ТЗ у Сполучених Штатах Америки.....                                       | 12 |
| 1.2.3 Класифікація легкових ТЗ у Японії і країнах Азії .....                                          | 12 |
| 1.3 Зчіпні властивості шин з дорожнім покриттям.....                                                  | 15 |
| 1.3.1 Сповільнення легкових транспортних засобів .....                                                | 19 |
| 1.3.2 Вплив різних факторів на процес взаємодії протектора шини із дорожнім покриттям .....           | 20 |
| 1.4 Вимоги до коліс і шин транспортних засобів.....                                                   | 22 |
| 1.5 Функціональне забезпечення активної безпеки ТЗ .....                                              | 26 |
| 1.6 Висновки та завдання дослідження.....                                                             | 28 |
| 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОВІЛЬНЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ КАТЕГОРІЇ М1 .....                         | 29 |
| 2.1 Аналіз методів експертного визначення сповільнення .....                                          | 29 |
| 2.2 Математичне моделювання процесу сповільнення .....                                                | 32 |
| 2.3 Аналіз чинників, що впливають на сповільнення.....                                                | 37 |
| 2.4 Висновки до розділу.....                                                                          | 40 |
| 3 МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....                                            | 41 |
| 3.1 Мета експериментального дослідження .....                                                         | 41 |
| 3.2 Методика експериментального дослідження сповільнення ТЗ..                                         | 41 |
| 3.3 Результати експериментальних досліджень сповільнення ТЗ залежно від експлуатаційних чинників..... | 46 |
| 3.3.1 Результати експериментальних досліджень ТЗ сегменту А .....                                     | 52 |
| 3.3.2 Результати експериментальних досліджень ТЗ сегменту В .....                                     | 53 |
| 3.3.3 Результати експериментальних досліджень ТЗ сегменту С .....                                     | 53 |

|       |                                                                                                                           |    |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.3.4 | Результати експериментальних досліджень ТЗ сегменту Е .....                                                               | 54 |
| 3.3.5 | Результати експериментальних досліджень ТЗ сегменту М .....                                                               | 54 |
| 3.4   | Обробка отриманих експериментальних даних .....                                                                           | 55 |
| 3.5   | Висновки до розділу .....                                                                                                 | 60 |
| 4     | ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ<br>СИТУАЦІЯХ .....                                                                | 61 |
| 4.1   | Техніка безпеки під час проведення дорожніх випробувань гальмі-<br>вної системи .....                                     | 61 |
| 4.2   | Логіко-імітаційна модель виникнення травм чи аварій під час до-<br>рожніх випробувань гальмівної системи автомобіля ..... | 63 |
| 4.3   | Вимоги безпеки під час обслуговування гальмівної системи ...                                                              | 66 |
| 4.4   | Висновки до розділу .....                                                                                                 | 68 |
|       | ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....                                                                                                   | 69 |
|       | СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....                                                                                          | 70 |

## ВСТУП

Сучасний технологічний розвиток автомобілебудування, зокрема виготовлення автомобільних шин, та інноваційні системи активної безпеки безпосередньо впливають на керованість транспортних засобів (ТЗ). Технології, що впроваджуються для експлуатованої техніки вимагають встановлення методик оцінювання, зокрема показників сповільнення ТЗ категорії М1.

Заміна шин ТЗ категорії М1, що проводиться в осінньо-зимовий період, потребує більш досконалого вивчення з огляду чітко вираженої відмінності зимових шин від літніх стосовно властивостей протектора. Використовувані під час експертиз ДТП відомості для визначення сповільнення ТЗ категорії М1 достатньо достовірно описують сповільнення вітчизняних ТЗ ХХ століття, і не дають можливість встановити фактичні значення сповільнення для сучасних транспортних засобів. Тому не завжди є вдається встановити наявність технічної можливості запобігання ДТП водієм автомобіля.

Застосування наявного математичного апарату, що характеризує сповільнення ТЗ ХХ століття, визначає рівні значення усталеного сповільнення для ТЗ категорії М1 з різними технічними характеристиками. Визначення індивідуальних характеристик ТЗ, аналізованих в кваліфікаційній роботі згруповано по сегментам (класам), згідно до класифікації ЄЕК ООН.

Деякі ключові чинники, які впливають на значення усталеного сповільнення, відповідають вимогам розподілу транспортних засобів категорії М1 за сегментами згідно з класифікацією Європейської економічної комісії ООН.

Проведені експериментальні дослідження з визначення усталеного сповільнення, з використанням деселерометра моделі «LWS-2МС», для ТЗ категорії М1 при різних погодно-кліматичних умовах для літнього і зимового типу шин, демонструють відмінність від отриманих розрахунковим способом одержаних значень усталеного сповільнення, стосовно вибраних сегментів транспортних засобів категорії М1.

У результаті проведених експериментальних досліджень була сформована база значень усталеного сповільнення. На підставі отриманих даних було визначено значення усталеного сповільнення індивідуально для різних сегментів.

Актуалізація параметрів сповільнення та розробка розрахункової бази для різних видів шин, що застосовуються на легкових транспортних засобах категорії М1, з урахуванням типу протектора є першочерговим завданням. Це необхідно для визначення можливостей ефективного запобігання дорожньо-транспортним пригодам.

**Метою дослідження** є підвищення точності реконструкції ДТП розрахунковим методом завдяки експериментальній оцінці сповільнення ТЗ категорії М1.

**Завдання дослідження:**

1. Здійснити аналіз застосовуваних в експертній практиці розрахунково-аналітичних методів оцінки сповільнення ТЗ категорії М1;
2. Провести математичне моделювання процесу сповільнення сучасних транспортних засобів;
3. Провести експериментальні дослідження сповільнення ТЗ різних сегментів категорії М1;
4. Оцінити безпечність процесу дорожніх випробувань гальмівної системи автомобіля

**Об'єкт дослідження** - транспортні засоби різних сегментів категорії М1.

**Предмет дослідження** – закономірності процесу взаємодії протектора шини легкового автомобіля із дорожнім покриттям під час сповільнення.

## **1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ**

### **1.1 Аналіз безпеки дорожнього руху і причин дорожньо-транспортних пригод**

Одним з найважливіших завдань забезпечення БДР є завдання із захисту інтересів суспільства і держави шляхом попередження дорожньо-транспортних пригод, зниження тяжкості їх наслідків. Визначення причин ДТП дозволяє попередити їх та знизити тяжкість наслідків.

#### **1.1.1 Показники аварійності на дорогах**

За увесь 2024 рік на автошляхах України сталося 25,78 тис. ДТП (+9% порівняно із 2023 р.): загинуло 3,2 тис. учасники (+4,9%), постраждалих – 32,02 тис. (+8,5%) [22].

Найчастіше аварії трапляються на дорогах Дніпропетровської (2140 ДТП) та Львівської областей (2001 ДТП, міста Києва (1894 ДТП) та Київської області (1807 ДТП) [22].

Причиною більшості ДТП є перевищення швидкості руху (50% аварій). Також до основних причин ДТП можна віднести порушення правил маневрування (16%), проїзд перехресть та пішохідних переходів [5].

Четверта частина усіх ДТП відбулось в проміжку між 17 і 19 год. Найбільша кількість серед усіх пригод – це зіткнення транспортних засобів (41%), наїзд на пішохідів (27%), наїзд на перешкоду (12%).

В цілому, впродовж останніх десяти років в Україні сталося 248 838 аварій із тяжкими наслідками: загинуло 34 722 особи, постраждало – 310 121 людина [9].

Детальна статистика ДТП за видами транспорту за 2024 рік наведена на рисунку 1.2.



Рисунок 1.1 – Статистика ДТП в Україні за 2022–2024 роки

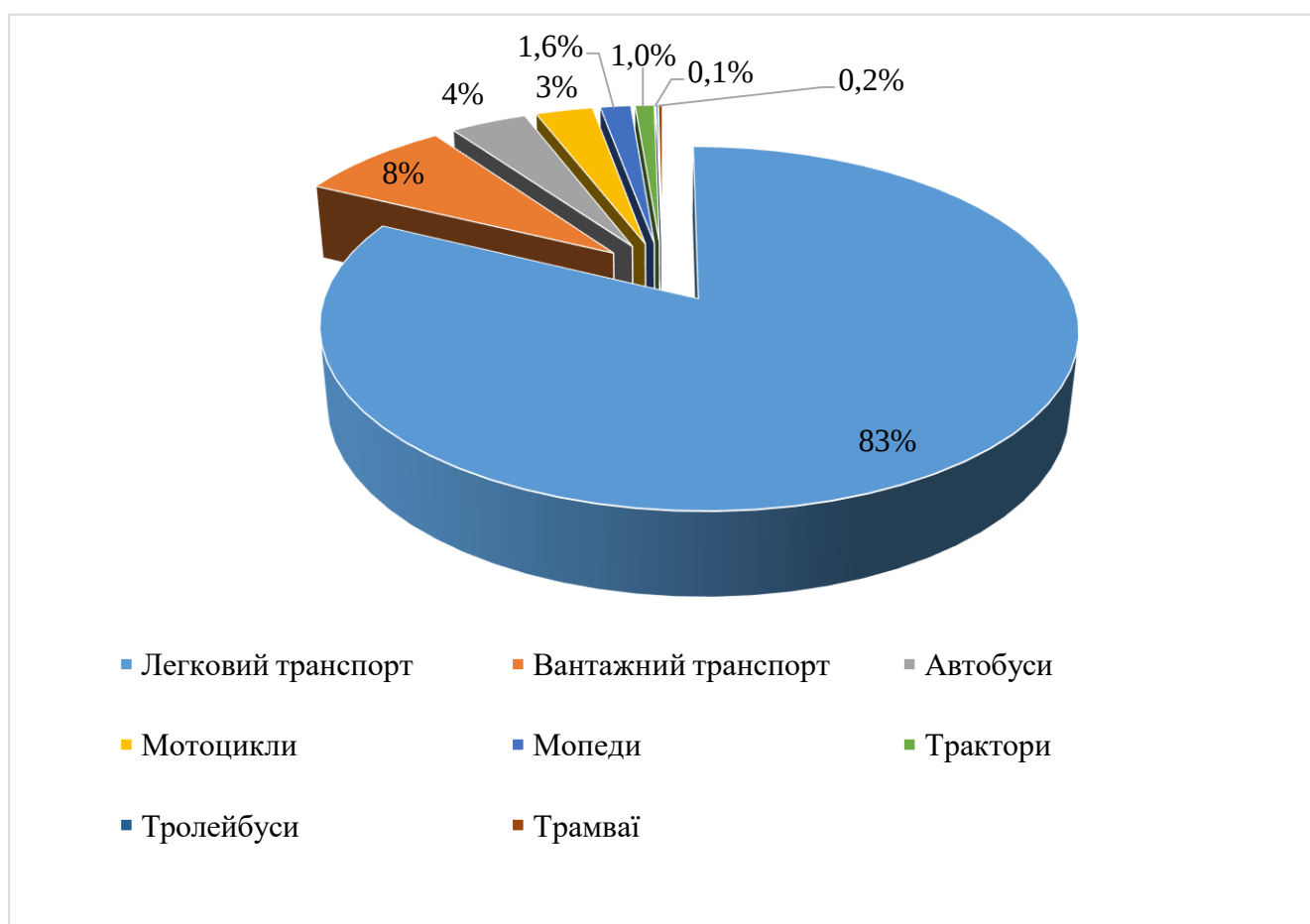


Рисунок 1.2 – ДТП за видами транспорту

### 1.1.2 Вікова структура транспортних засобів

Згідно даних [5], не варто забувати про збільшення до 11,5 млн., трохи більше ніж на 10% за останні 5 років, кількості легкових транспортних засобів, зареєстрованих в Україні та допущених до пересування по дорогам загального користування.

Вікова структура легкового транспорту визначена у відсотковому співвідношенні представлена на рисунку 1.3 за 2019 та 2023 роки та поділяється на три вікових групи: легкові ТЗ віком до 5 років, легкові віком від 5,1 років до 9 років та легкові ТЗ віком понад 10 років.

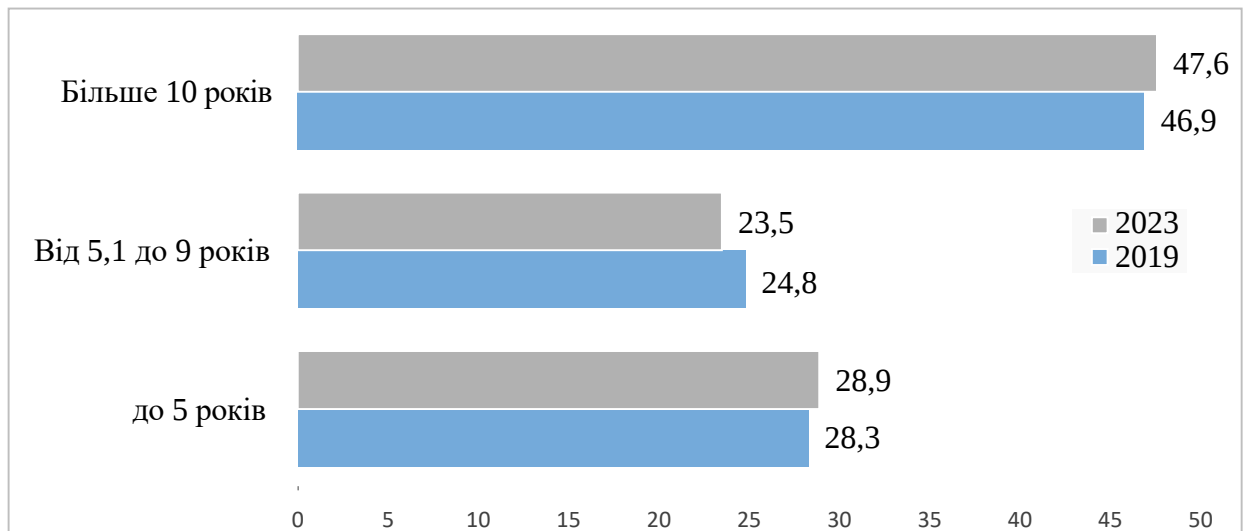


Рисунок 1.3 – Вікова структура автомобілів на кінець 2019 р. і 2023 р., у %

## 1.2 Класифікації транспортних засобів категорії М1

### 1.2.1 Класифікація легкових ТЗ в країнах Євросоюзу

Класифікація Європейської економічної комісії (таблиця 1.1) визначає цільовий ринок в більшій мірі, ніж характеристики ТЗ. Визначення характеристик, що звужують відношення до тієї чи іншої категорії не було затребуване, внаслідок чого залишилося невизначеним. Часто використовують символ "+", «-» і т.д.

Таблиця 1.2 – Класифікація Європейської економічної комісії

| <b>Клас</b> | <b>Опис</b>                                                | <b>Довжина,<br/>м.</b> | <b>Ширина,<br/>м.</b> | <b>Розмірність<br/>шин, ср. зн.</b> | <b>Маса, кг.<br/>ср. зн.</b> |
|-------------|------------------------------------------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------------------|------------------------------|
| <b>A :</b>  | особливо малий клас або<br>«мікроавтомобілі»               | <3,6                   | <1,6                  | R15 175x60                          | 900                          |
| <b>B :</b>  | малий клас або<br>«компактний клас»                        | 3,6 - 3,9              | 1,5 - 1,7             | R15 195x60                          | 1175                         |
| <b>C :</b>  | нижчий середній клас або<br>«гольф-клас»                   | 3,9 - 4,4              | 1,6 - 1,75            | R16 215x50                          | 1350                         |
| <b>D :</b>  | середній клас або<br>«сімейний клас»                       | 4,4 - 4,8              | 1,7 - 1,8             | R17 225x50                          | 1475                         |
| <b>E :</b>  | вищий середній клас або<br>«бізнес-клас»                   | >4,8                   | >1,7                  | R18 235x50                          | 1800                         |
| <b>F :</b>  | верхній клас або<br>«представницький клас»                 | >5                     | >1,7                  | R19 245x45                          | >2000                        |
| <b>J :</b>  | практичний спортивний<br>автомобіль або<br>«позашляховики» | -                      | -                     | R17 235x60                          | >1500                        |
| <b>M :</b>  | багатоцільові автомобілі<br>або «Мінівени»                 | -                      | -                     | R16 205x60                          | >1300                        |
| <b>S :</b>  | спортивні купе або<br>«спорткупе»                          | -                      | -                     | R19 245x35                          | -                            |

Комітет з проведення краш-тестів – EuroNCAP застосовує для оцінювання ТЗ, свою класифікацію:

- Superminis (відповідає класу A та B);
- Small family cars (седани-суперміні, до прикладу Renault Logan);
- Large family cars;
- Executive cars (дорогі автомобілі довжиною більше 4,8 м);
- Roadsters (двомісні відкриті автомобілі);

- Small off-roaders (маленькі позашляховики);
- Large off-roaders (великі позашляховики);
- Small MPVs (маленькі мінівени);
- Large MPVs (великі мінівени) [12; 13; 14; 15].

Поділ ТЗ за значенням показників маси, типу та розмірів кузова дозволяє отримати більш точні результати під час проведення експериментів.

### **1.2.2 Класифікація легкових ТЗ у Сполучених Штатах Америки**

Сполучені Штати Америки також користуються класифікацією Європейського економічного співтовариства, оскільки велика частина сучасних виробників бере там початок, проте з 1985 року, відповідно з визнаними класами порівнюваних автомобілів, класифікують легкові ТЗ за обсягом салону, визначеного футами:

- Міні (minicompact car, до 85 футів), наближено відповідає європейським А-В;
- Субкомпактний (sub-compact cars, subcompacts, 85-99,9 футів), наближено відповідає європейському В;
- Компактний (compact cars, compacts, 100-109,9 футів), наближено відповідає європейському С;
- Середньорозмірні автомобілі (mid-size cars, intermediates, 110-119,9 футів), наближено відповідає європейському D-E;
- Повнорозмірні автомобілі (large cars, full-size cars, standard size cars, 120 футів і більше), наближено відповідає європейському F [19].

### **1.2.3 Класифікація легкових ТЗ у Японії і країнах Азії**

Класифікація автомобілів у Японії передбачає поділ легкового транспорту на:

- Кейкари – легкий або малий клас, що дозволяє отримувати велику кількість пільг, довжиною не більше 3,4 м, шириною, що не перевищує 1,48 м, а заввишки не більше 2 м, що включають двигун об'ємом не більше 660 куб. сантиметрів;

- Малий розмір – довжиною не більше 4,7 м, шириною, що не перевищує 1,7 м., а заввишки не більше 2 м, що включають двигун об'ємом більше 2000 куб. сантиметрів;

- Нормальний розмір – довжиною понад 4,7 м, шириною, що перевищує 1,7 м, а заввишки більше 2 м, що включають двигун об'ємом не більше 2000 куб. сантиметрів.

Класифікації, що застосовується у Китайській Народній Республіці наближена до Японської, але поділ і назва класів наближена до європейської:

- Small cars, або A0-segment: довжина до 4 м (приблизно відповідає європейським А та В);

- Category A (A-segment): автомобілі з дво-об'ємними кузовами довжиною від 4 до 4,5 м, з двигуном до 1600 куб. сантиметрів;

- Category B (B-segment): автомобілі довші 4,5 м з двигунами більше 1600 куб. сантиметрів;

- Multi-Purpose Vehicles, або MPV: більше 2х рядів сидінь;

- Sport Utility vehicles, або SUV: позашляховики [19].

Проводячи порівняння між вищенаведеними класифікаціями, була складена таблиця відповідності класифікацій ТЗ різних країн (таблиця 1.2).

Представлені класифікації дозволяють розрізняти ТЗ за масою, габаритами, кількістю місць, умовним центром тяжіння, типом кузова, розміром коліс і іншими індивідуальними характеристиками. Поділ, що використовується Європейською економічною комісією найбільш точно характеризує кожен сегмент, розглянутий у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Відповідність класифікацій

| Україна                    | США                     | Великобританія             | Європа | Euro NCAP 1997-2009 |
|----------------------------|-------------------------|----------------------------|--------|---------------------|
| Мотоколяска                | Microcar                | Microcar, Bubble car       | А-клас | Supermini           |
| Міський автомобіль         | Subcompact car          | City car                   |        |                     |
| Малий клас                 |                         | Supermini                  | В-клас |                     |
| Гольф-клас, Малий середній | Compact car             | Small family car           | С-клас | Small family car    |
| Середній клас              | Mid-size car            | Large family car           | D-клас | Large family car    |
|                            | Entry-level luxury car  | Compact executive car      |        |                     |
| Повнорозмірний а/м         | Full-size car           | Executive car              | Е-клас | Executive car       |
| Бізнес-клас                | Mid-size luxury car     |                            |        |                     |
| Представницький клас       | Full-size luxury car    | Luxury car                 | F-клас | -                   |
| Спорткар                   | Sports car              | Sports car                 | S-клас | -                   |
| Гран туризмо               | Grand tourer            | Grand tourer               |        |                     |
| Суперкар                   | Supercar                | Supercar                   |        |                     |
| Кабріолет                  | Convertible             | Convertible                |        |                     |
| Родстер                    | Roadster                | Roadster                   |        | Roadster sports     |
| -                          | -                       | Leisure Діяльність vehicle | М-клас | Small MPV           |
| Мікровен                   | -                       | Mini MPV                   |        |                     |
| Компактвен                 | Compact minivan         | Compact MPV, Midi MPV      |        |                     |
| Мінівен                    | Minivan                 | Large MPV                  |        | Large MPV           |
| -                          | Mini SUV                | Mini 4×4                   | J-клас | Small Off-Road 4×4  |
| Компактний кросовер        | Compact SUV             | Compact 4×4                |        |                     |
| Позашляхове купе           | -                       | Coupe SUV                  |        | -                   |
| Середній позашляховик      | Mid-size SUV            | Large 4×4                  |        | Large Off-Road 4×4  |
| Важкий позашляховик        | Full-size SUV           |                            |        |                     |
| Пікап                      | Міні-пікап              | Пікап                      | -      | Pick-up             |
|                            | Середньорозмірний пікап |                            |        |                     |
|                            | Повнорозмірний пікап    |                            |        |                     |
|                            | Пікап-гігант            |                            |        |                     |

### 1.3 Зчіпні властивості шин з дорожнім покриттям

Одним із ключових параметрів, що визначають рівень безпеки руху автотранспортних засобів, є коефіцієнт зчеплення шин із дорожнім покриттям. Високі значення зчіпних властивостей протектора шини сприяють значному підвищенню безпеки експлуатації транспортних засобів. Оцінювання зчіпних характеристик протектора шини здійснюється за допомогою коефіцієнта зчеплення ( $\varphi$ ), величина якого визначається як відношення максимальної дотичної реакції ( $P_{max}$ ) у зоні контакту до нормального навантаження ( $G_n$ ), що діє на одне колесо. Динамічну поведінку колеса транспортного засобу можна класифікувати за такими режимами роботи: кочення без буксування, кочення із буксуванням, буксування без кочення та обертання без кочення.

Величина коефіцієнта зчеплення протектора автомобільної шини з поверхнею дорожнього покриття обумовлена сукупністю факторів, серед яких ключову роль відіграють конструктивні параметри шини, її навантажувальний індекс, індекс швидкості, характеристики дорожнього покриття, погодні умови, а також швидкісні режими руху й інші чинники. Значення коефіцієнта зчеплення залежно від різного типу покриття подано в таблиці 1.3 [3].

Таблиця 1.3 – Значення коефіцієнта зчеплення для різного типу дорожнього покриття

| Тип покриття                       | Стан        |             |
|------------------------------------|-------------|-------------|
|                                    | сухе        | мокре       |
| Асфальтобетонне або цементобетонне | 0,70 - 0,80 | 0,35 - 0,45 |
| Щебеневе                           | 0,60 - 0,70 | 0,30 - 0,40 |
| Ґрунтова дорога                    | 0,50 - 0,60 | 0,20 - 0,40 |
| Дорога, покрита вкатаним снігом    | 0,20 - 0,30 | 0,20 - 0,30 |
| Зледеніла дорога                   | 0,10-0,20   | 0,10-0,20   |

На значення коефіцієнта зчеплення впливають стан дорожнього покриття та погодно-кліматичні умови.

Фактичні коефіцієнти зчеплення дорожніх покриттів визначаються в процесі використання динамометричного причепа ПКРС-2, призначеного для оцінки техніко-експлуатаційних характеристик дорожнього полотна, як показано на рисунках 1.4 і 1.5. Вимірювання виконується на швидкості 60 км/год при нормі зволоження покриття в межах  $1 \pm 0,1$  л/м<sup>2</sup>. Під час випробувань колесо причепа повністю блокується, а зволоження дорожньої поверхні розпочинається за 0,5 секунди до початку гальмування.



Рисунок 1.4 – Дорожня лабораторія КП-514 РДТ з динамометричним причепом типу ПКРС-2 РДТ



Рисунок 1.5 – Загальний вигляд динамометричного причепа ПКРС-2 РДТ

Застосування нормативів, що стосуються зчіпних характеристик дорожніх покриттів, до шин є недоцільним, адже зчіпні властивості протектора шини з поверхнею дороги залежать від ряду факторів. Серед них – тиск повітря в шині, визначений виробником транспортного засобу, навантаження на шину, її розмірність, тип жорсткості борта та інші параметри. Усе це формує унікальні характеристики кожної окремої моделі шини [2].

Існуючий норматив щодо зчіпних характеристик шин передбачає визначення коефіцієнтів бокового й поздовжнього ковзання шин на змоченій поверхні, встановлюючи їх критичне значення не менше 0,4 за всього діапазону допустимих швидкостей руху транспортного засобу. Метою стендових випробувань шин є отримання максимального значення дотичної сили ( $P_{kmax}$ ), яке є найбільш репрезентативним для опису гальмівних властивостей шин у процесі функціонування антиблокувальної системи (ABS), а також значення дотичної сили при початку ковзання колеса ( $P_{кюз}$ ), що характеризує гальмування за умови блокування коліс. Під час таких випробувань зазвичай спостерігається, що максимальне значення дотичної сили перевищує силу при ковзанні юза приблизно на 20–25%.

Система роботи ABS побудована на принципі підтримання гальмівної сили в межах, близьких до її максимального значення. Однак, виходячи зі стандарту, неможливо чітко визначити, яка саме з цих сил підлягає нормативному регулюванню, що потребує додаткового уточнення методики оцінювання та аналізу.

Вимоги до безпеки та технічного стану транспортних засобів охоплюють положення щодо їх сповільнення, зокрема проведення випробувань, визначення параметрів сповільнення та подальший розрахунок коефіцієнта зчеплення [8]. Зчіпні характеристики протектора шини з дорожнім полотном впливають на активну безпеку автомобіля і визначаються методами, представленими на рисунку 1.6.

Істотний вплив на формування зчіпних характеристик протектора шини

з дорожнім полотном мають її конструктивні параметри, тип дорожнього полотна, маса транспортного засобу, рівень тиску у шині, а також висота рисунка протектора.

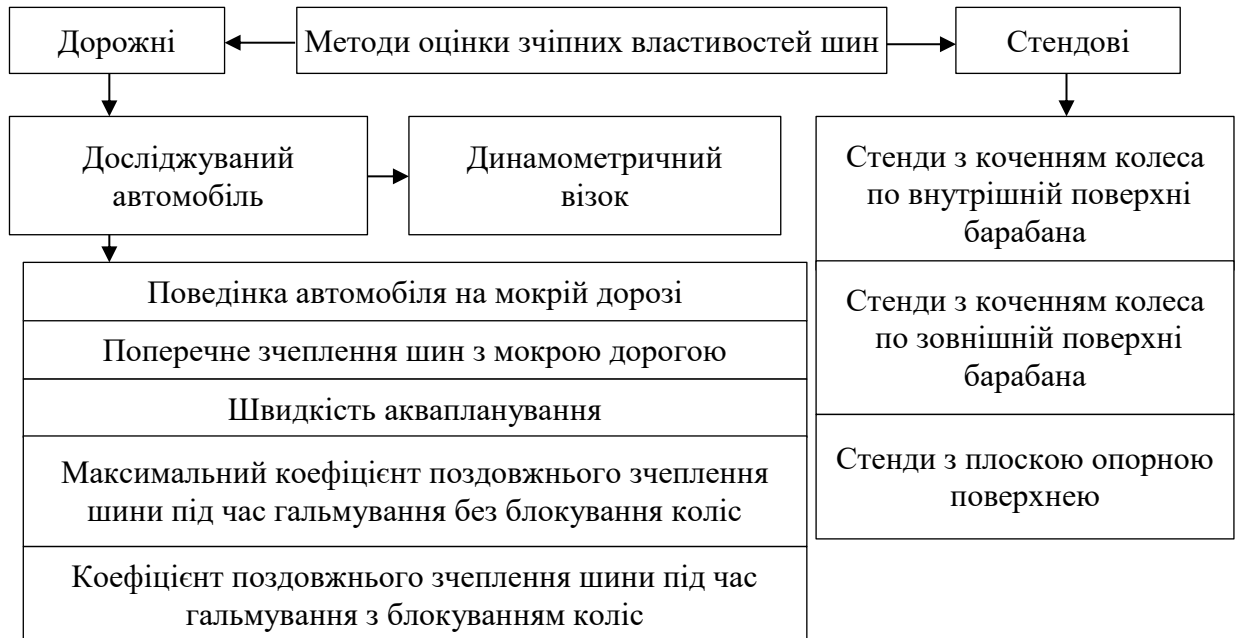


Рисунок 1.6 – Методи оцінки зчіпних властивостей шин

Оцінка зчіпних характеристик протектора шин за допомогою випробувального автомобіля – багатокомпонентний процес, що включає кілька окремих методів дослідження. До них належать: аналіз поведінки транспортного засобу на мокрій дорозі, який є суб'єктивним через вплив людського фактора; оцінка поперечного зчеплення протектора шини з мокрим дорожнім покриттям, що також характеризується суб'єктивністю; визначення швидкості початку аквапланування, що забезпечує оцінку взаємодії протектора з водною плівкою; дослідження гальмівних характеристик з активованою системою ABS та без неї, яке дозволяє оцінити взаємодію протектора з покриттям.

Разом із цим методика використання динамометричного візка дозволяє отримати точні кількісні показники зчіпних властивостей шин. Зокрема, вона спрямована на визначення максимальних та пікових значень коефіцієнтів зчеплення протектора з дорожнім покриттям, включно із параметрами, що спостерігаються під час юзу або ковзання. Такий підхід забезпечує більш

глибоке розуміння особливостей взаємодії шини із різними типами дороги, дозволяючи детальніше вивчати динамічні характеристики протектора.

Аналіз зчіпних властивостей за допомогою стендового обладнання [7] дає змогу максимально точно оцінити потенціал взаємодії протектора шини з барабаном. У процесі дослідження визначаються такі ключові характеристики, як коефіцієнт опору бічному відведенню, показники бокового та повздовжнього зчеплення шини, опір коченню колеса та стабілізуючий момент.

### 1.3.1 Сповільнення легкових транспортних засобів

Відповідно з нормативними вимогами [3, 13] в експертній практиці застосовується середнє допустиме значення сповільнення, яке рівне  $6,8 \text{ м/с}^2$ .

Встановлена залежність, що визначає сповільнення легкових транспортних засобів відображена в таблиці 1.4. [3]

Таблиця 1.4 – Залежність значень усталеного сповільнення ТЗ категорії М1 від навантаження та коефіцієнта зчеплення шин з дорогою, для ТЗ з початком випуску після 01.01.1981 м.

| Підсилю-<br>вач у га-<br>льмівно-<br>му приво-<br>ді | Усталене сповільнення для коефіцієнт зчеплення шин з дорогою і<br>ТЗ |     |     |     |     |     |                     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                                      | в спорядженому стані                                                 |     |     |     |     |     | з 50% навантаженням |     |     |     |     |     | з повною масою |     |     |     |     |     |
|                                                      | 0,7                                                                  | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,7                 | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,2 | 0,7            | 0,6 | 0,5 | 0,4 | 0,3 | 0,2 |
| Є                                                    | 6,8                                                                  | 5,9 | 4,9 | 3,9 | 2,9 | 2,0 | 6,6                 | 5,9 | 4,9 | 3,9 | 2,9 | 2,0 | 6,3            | 5,9 | 4,9 | 3,9 | 2,9 | 2,0 |

У представлених узагальнених даних, що характеризують сповільнення транспортних засобів при максимальному коефіцієнті зчеплення 0,7, відсутня градація за масою транспортних засобів, гальмівними механізмами, характеристиками шин та відсутня інформація про значенням сповільнення при коефіцієнті зчеплення понад 0,7. Також варто зазначити, що у таблиці 1.4 приймаються узагальнені значення для ТЗ, випущених після 01.01.1981 року, а фактичне значення сповільнення для сучасних транспортних засобів може відрізнятися.

### **1.3.2 Вплив різних факторів на процес взаємодії протектора шини із дорожнім покриттям**

Зчіпні властивості протектора шини з дорожнім покриттям залежать від низки чинників, серед яких можна виділити тип покриття, характеристики самого протектора, конструкційні особливості автомобіля та погодні умови. Для більш детального аналізу значущих факторів, які суттєво впливають на взаємодію протектора з дорожньою поверхнею, їх класифікацію представлено на рисунку 1.7. Згадувані «додаткові фактори» на цьому рисунку ілюструють потенційні чинники або їхні групи. Так, наприклад, ширину протектора шини можна розглянути як окремий фактор, проте ширина належить до ширшої групи характеристик розмірності шини, яка включає в себе показники висоти профілю, діаметра, жорсткості матеріалу та швидкісного показника. Варто зазначити, що при окремому аналізі факторів у межах зазначеної групи їхні значення часто взаємопов'язані, що може ускладнювати точну оцінку значущості кожного окремого чинника.

На основі проведених досліджень розроблено схему, яка демонструє вплив властивостей дорожнього покриття на коефіцієнт зчеплення (рис. 1.8).

Висота протекторного рисунка шини безпосередньо впливає на її зчеплення з дорожнім покриттям. У разі значного зносу протектора спостерігається зниження зчіпних характеристик на мокрих або пухких поверхнях. Це обумовлено зменшенням глибини ламелей, які забезпечують відведення води. Водночас, на сухих і твердих покриттях зчіпні властивості колеса можуть покращуватися завдяки збільшенню площі контакту між колесом і дорогою.

Зі збільшенням швидкості руху транспортного засобу на мокрих і вологих поверхнях коефіцієнт зчеплення має тенденцію до зниження. Однак інтенсивність цієї зміни детермінована висотою нерівностей макрошорсткостей дорожньої поверхні.

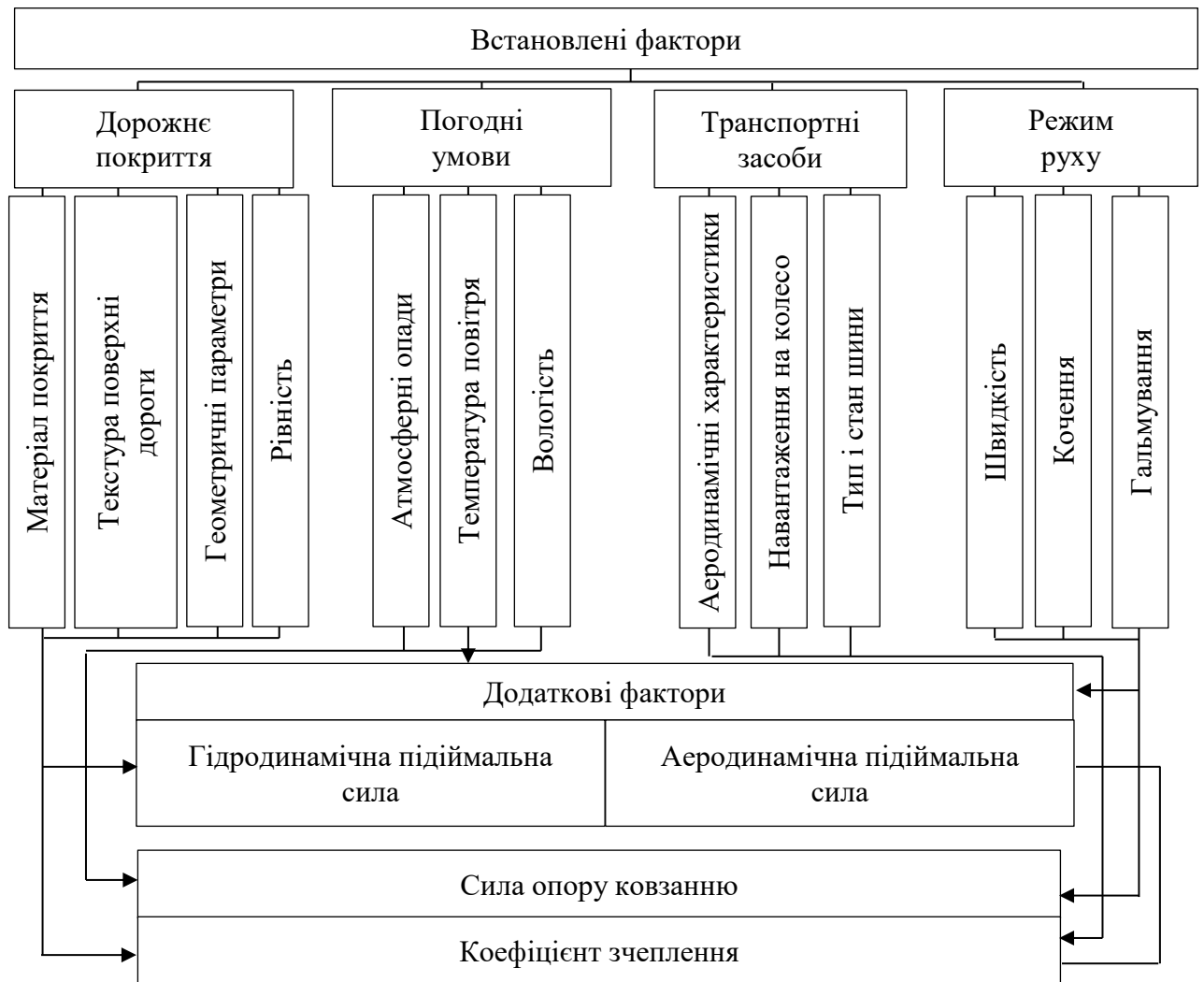


Рисунок 1.7 – Чинники, що мають вплив на зчіпні властивості протектора шини автомобіля із дорожнім покриттям

Під час руху на низькій швидкості на мокрому дрібношорсткому покритті коефіцієнт зчеплення майже відповідає значенню на сухій поверхні, оскільки протектор шини ефективно відводить воду із зони контакту між шиною та дорожнім полотном. Однак при підвищенні швидкості зчеплення істотно погіршується. У свою чергу, зчіпні характеристики протектора шини на мокрому великошорсткому покритті демонструють більшу стабільність і змінюються менш відчутно зі збільшенням швидкості руху.

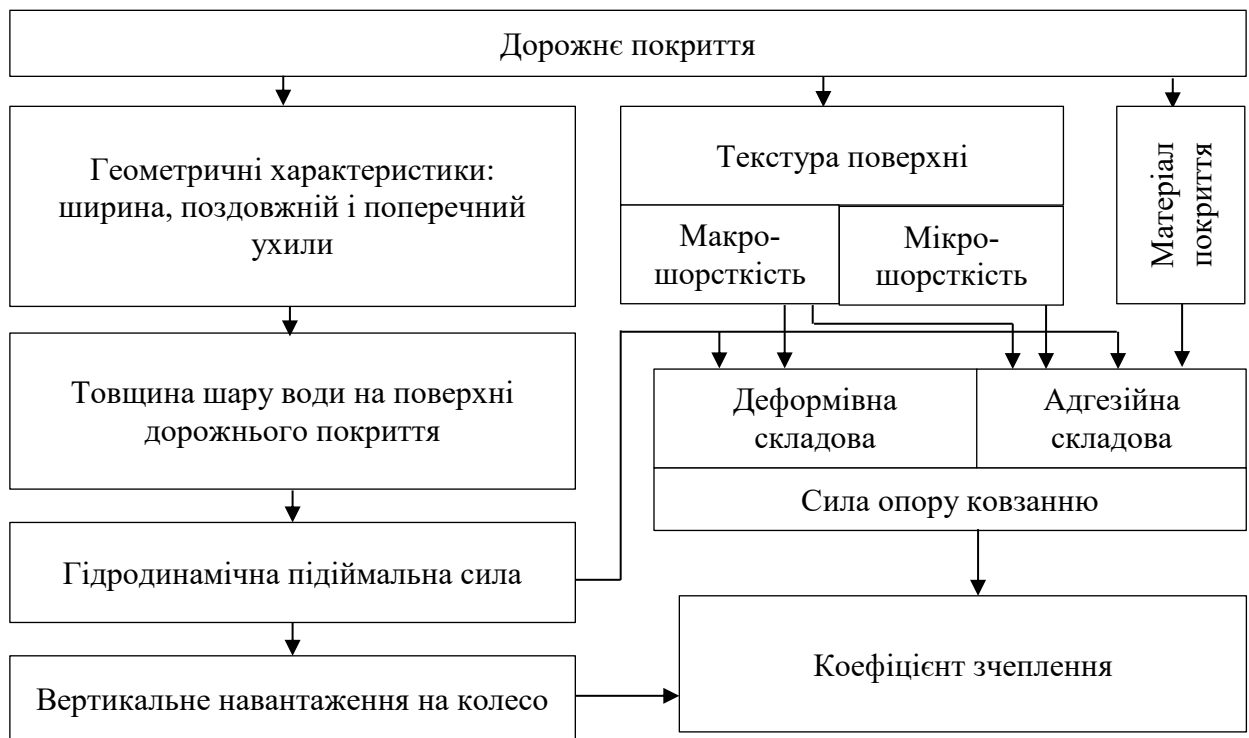


Рисунок 1.8 – Вплив характеристик покриття дороги на коефіцієнт зчеплення

Зміна тиску в шини безпосередньо впливає на площу контакту шини з дорожнім покриттям та рівень жорсткості боковини, що може мати несприятливий вплив на керованість транспортного засобу. Завод-виробник встановлює гранично допустимі значення максимального та мінімального тиску для безкамерних шин. Ці параметри зазвичай зазначені у відповідних місцях автомобіля, зокрема в області лючка бензобака або на стійці з боку водія.

#### 1.4 Вимоги до коліс і шин транспортних засобів

Для транспортних засобів категорії М1 слід враховувати такі вимоги до їх коліс і шин [15].

1. Висота малюнка протектора шини повинна перевищувати 1,6 мм (не менше рівня індикатора зносу, якщо такий наявний).

2. Присутність усіх болтів та гайок кріплення колісного диска без дефектів; диски повинні бути вільними від тріщин та видимих деформацій.
3. Відсутність дефектів шин, зокрема розривів, порізів, відшарування каркаса, протектора або боковини.
4. Дотримання правил безпеки дорожнього руху щодо встановлення однотипних шин на одну вісь транспортного засобу.
5. Відповідність розміру та допустимого навантаження шин вимогам транспортного засобу.

Висота протектора нових літніх шин зазвичай становить 7–8 мм, а їхній середній термін служби до повного зносу індикатора, як правило, обмежується 3–5 сезонами. Що стосується шипованих і нешипованих шин, то висота їхнього протектора без урахування виступу шипів однакова – вона варіюється в межах 9–11 мм. Водночас виробники пропонують шинні протектори з підвищеною прохідністю, де висота може коливатися від 10 до 20 мм залежно від моделі та призначення.

Залишкова висота рисунка протектора шини визначається впливом таких чинників: річний пробіг автомобіля; природне старіння шини та відповідність умов її зберігання; експлуатація шин із неправильним рівнем тиску; несправності системи підвіски транспортного засобу; якість балансування колеса в зборі; стиль водіння водія; тип та стан дорожнього полотна; вага транспортного засобу та інші.

Зважаючи на вищезазначені експлуатаційні фактори, спрацювання шин можна поділити на дві категорії: нормальне та передчасне. До нормального спрацювання належать шини, які відслужили свій ресурс без пошкоджень чи необхідності ремонту. У той же час передчасний знос спостерігається у шин із пошкодженнями, такими як проколи, здуття, тріщини, нерівномірне спрацювання протектора або розшарування матеріалу.

Нерівномірна залишкова висота протектора може стати помітною вже після проходження автомобілем кількох тисяч кілометрів. При цьому стиль

водіння, зокрема старт із пробуксовкою, різкі маневри або екстрене гальмування, лише погіршує ситуацію і сприяє прискореному стиранню протектора шин.

Під впливом сили гравітації протектор шини деформується, рівномірно розподіляючись по опорній поверхні, внаслідок чого утворюється ділянка контакту. Розмір цієї контактної зони безпосередньо визначається шириною протектора шини, а також кількістю і глибиною ламелів.

У випадках, коли протектор шини має меншу висоту або в ньому присутня обмежена кількість ламелів, площа контакту між протектором і опорною поверхнею значно зростає порівняно з умовами, за яких висота протектора та кількість ламелів є більшими. Однак цей ефект характерний переважно для сухих асфальтобетонних покриттів. Під час експлуатації шин на вологих або мокрих поверхнях спостерігається протилежна залежність. Належна висота протектора, наявність ламелів, їх глибина і розташування є критично важливими для ефективного відведення води з плями контакту.

На рисунках 1.9 та 1.10 представлено місце плями контакти протектора шини.

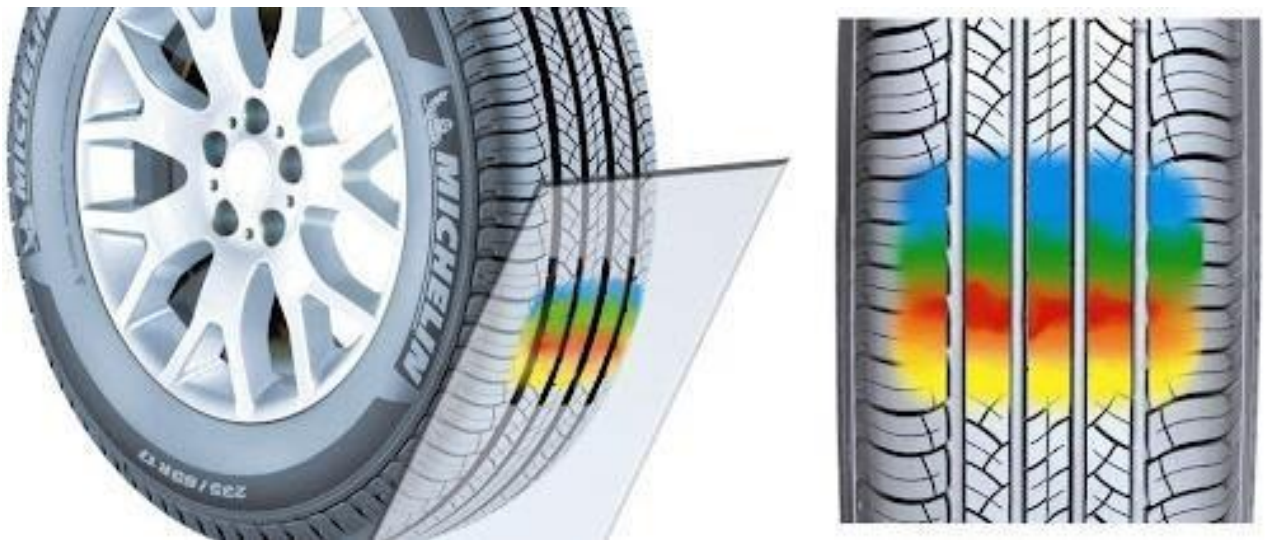


Рисунок 1.9 – Пляма контакту протектора шини з дорожнім полотном



Рисунок 1.10 – Розміщення плями контакту протектора шини з дорожнім полотном

Виробники транспортних засобів встановлюють вимоги до шин, які виходять за межі таких базових характеристик, як ширина, висота та діаметр. Зокрема, ці вимоги включають показники допустимого навантаження на шину, індекс швидкості та рекомендації щодо оптимального рівня тиску в шинах. Невідповідність обраного тиску може призвести до передчасного зношування протектора, що ілюструється на рисунку 1.11, а також до трансформації контактної плями протектора з опорною поверхнею. Встановлено, що під час експлуатації тиск у шинах змінюється під впливом коливань температури. Зокрема, в літній період тиск може збільшуватися до 0,4 Бар, тоді як у зимовий період такі зміни сягають 0,15 Бар.



Рисунок 1.11 – Спрацювання протектора шини залежно від тиску

Зміна тиску в шині суттєво впливає на форму і розмір зони контакту протектора з дорожнім покриттям, а також сприяє нерівномірному спрацю-

ванню навантажених ділянок. При зниженому тиску зовнішня частина протектора отримує більші навантаження, що призводить до її інтенсивнішого спрацювання. У разі збільшення тиску, навпаки, основне навантаження припадає на внутрішню частину протектора, що також зумовлює нерівномірний знос.

### **1.5 Функціональне забезпечення активної безпеки ТЗ**

Технологічний прогрес у сфері автомобілебудування сприяє впровадженню в транспортні засоби вдосконалених систем пасивної та активної безпеки. Одним із прикладів таких інновацій є система автоматичного розпізнавання перешкод на смузі руху, що суттєво підвищує рівень захисту та знижує ймовірність аварійних ситуацій.

Втім, індивідуальні характеристики транспортного засобу не завжди забезпечують ефективне вирішення проблем загальної експлуатаційної маси. Крім того, виробники автомобілів пропонують моделі однієї серії з різними функціональними можливостями. Розширення доступних опцій для комплектації дозволяє адаптувати базову модель під специфічні потреби, наприклад, додати спортивні чи позашляхові характеристики. Серед таких змін варто відзначити покращену гальмівну систему, вдосконалену систему амортизації кузова, збільшений розмір колісних дисків або шин. Ці додаткові модифікації не лише змінюють функціональні показники транспортного засобу порівняно з базовою версією, але й впливають на загальну масу автомобіля. Подібне розширення конфігурації забезпечує широкий вибір для споживача, водночас створюючи нові виклики в аспектах безпеки та енергоефективності.

Основний функціонал допоміжних компонентів гальмівних систем [15], що відповідають за забезпечення активної безпеки транспортних засобів категорії M1, наведено на рисунку 1.13 і включає такі елементи:

1. ABS / ESP – гідравлічний блок, інтегрований із електронним блоком

управління;

2. Давач швидкості обертання коліс;
3. Давач кута повороту кермового колеса;
4. Давач положення кузова з вбудованим акселерометром;
5. Електронний блок управління двигуном.

Розширений функціонал активної безпеки, що забезпечує максимальний рівень захисту, включає низку ключових опцій: радар-детектори, розташовані у передньому бампері та на лобовому склі автомобіля, здійснюють моніторинг смуги руху та виявлення перешкод; датчі наближення, інтегровані в передній і задній бампери; датчі бокового зближення, встановлені в передньому та задньому бамперах; датчі контролю смуги, що знаходяться в дзеркалах автомобіля; радар для оцінки якості дорожнього покриття, розміщений у передньому бампері. У салоні встановлений датчик уваги водія на приладовій панелі, здатний розпізнавати його обличчя для контролю концентрації. Крім цього, система ABS/ESP оснащена вбудованим електронним блоком управління, який знаходиться у підкапотному просторі та аналізує сигнали про відхилення в русі чи нормальні умови автомобільного потоку.

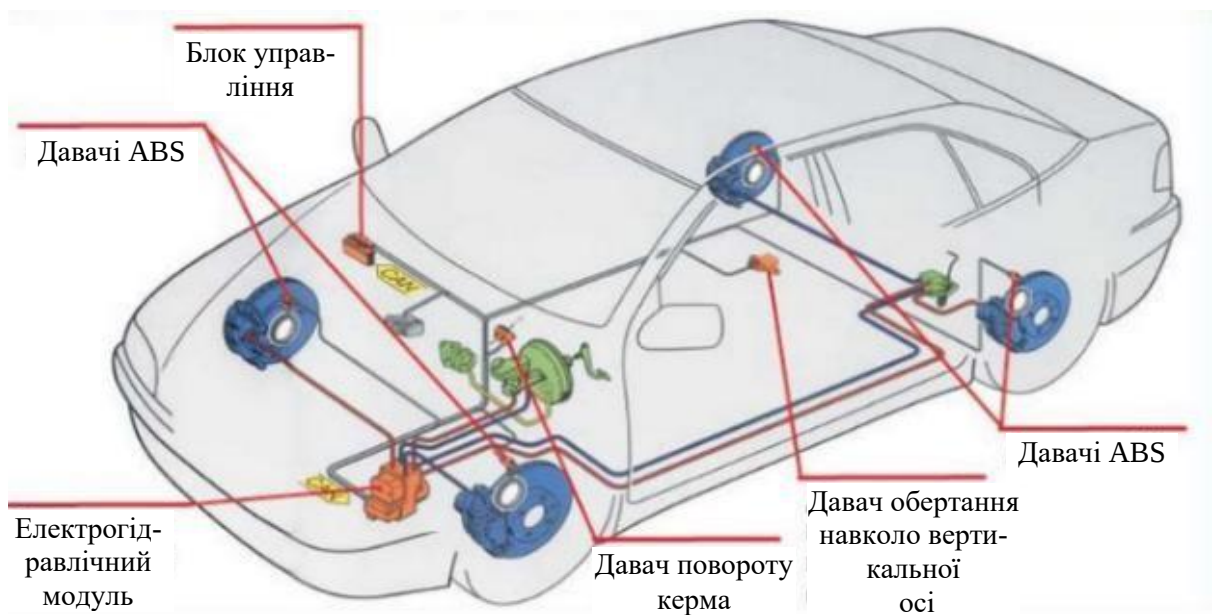


Рисунок 1.13 – Базовий функціонал допоміжних елементів гальмівних систем сучасних ТЗ

Окрім розширеного функціоналу, блок ABS/ESP пропонує чимало додаткових можливостей, які не лише спрощують керування автомобілем, а й забезпечують його стабільну роботу. До таких функцій належать: HBA, ARP, EBD, ASR, CBC, M-ABS, OHB-V, AEM, LDE, HVV, FBS, BDW і DSR.

### 1.6 Висновки та завдання дослідження

За останні 5 років відзначено зниження смертності на дорогах України. У результаті аналізу дорожньо-транспортних експертиз було встановлено, що експерту надається обсяг інформації за градацією – нижче середнього рівня.

Значення сповільнення, що застосовуються в експертній практиці легкових транспортних засобів категорії М1 потребують значних змін з огляду вдосконалення техніки і наявності індивідуальних характеристик легкових транспортних засобів.

Визначення фактичного значення сповільнення системи «автомобіль – шина - дорога» [67] для сучасних ТЗ категорії М1 позитивно позначиться під час реконструкції ДТП і дозволить експерту визначити гальмівний шлях ТЗ під час екстреного гальмування.

Метою дослідження є створення методики оцінки сповільнення для ТЗ категорії М1 на дорогах загального користування, що враховує як тип покриття, погодні умови й індивідуальні характеристики ТЗ. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити **наступні завдання**:

1. Здійснити аналіз застосовуваних в експертній практиці розрахунково-аналітичних методів оцінки сповільнення ТЗ категорії М1;
2. Провести математичне моделювання процесу сповільнення сучасних транспортних засобів;
3. Провести експериментальні дослідження сповільнення ТЗ різних сегментів категорії М1;
4. Оцінити безпечність процесу дорожніх випробувань гальмівної системи автомобіля

## 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СПОВІЛЬНЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ КАТЕГОРІЇ М1

### 2.1 Аналіз методів експертного визначення сповільнення

Дослідження процесу гальмування сучасних ТЗ зводиться до визначення усталеного сповільнення. Повний процес гальмування ТЗ представлений на рисунку 2.1, де схематично позначено по вертикальній осі значення  $V_0$  - початкову швидкість гальмування;  $j_{з.н.}$  - наростання сповільнення і  $j_{уст.}$  - усталене сповільнення; значення по горизонтальній осі визначає часовий інтервал:  $t_{р.в.}$  - реакцію водія;  $t_c$  - запізнення гальмівного приводу;  $t_n$  - наростання сповільнення;  $t_3$  - повного гальмування;  $t_p$  - розгальмовування [2, 3, 20]. На рисунку 2.2 представлена експериментальна діаграма гальмування ТЗ з вказаними позначеннями.

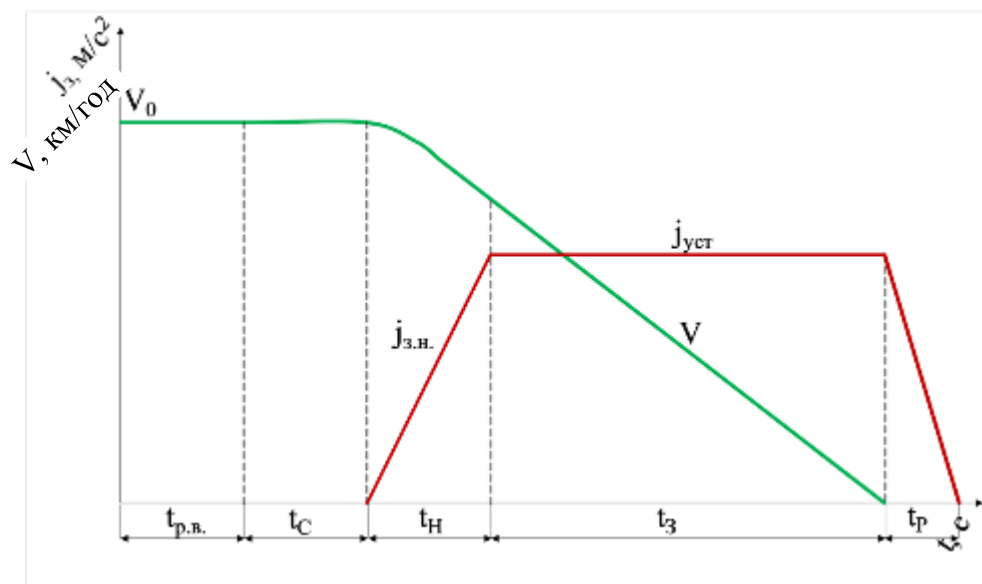


Рисунок 2.1 – Діаграма гальмування

Загальновизнаною формулою визначення сповільнення, без врахування сили опору повітря, кута нахилу дороги, коефіцієнта врахування обертових мас є вираз:

$$j_{cn} = \varphi_n g, \quad (2.1)$$

де  $g$  - прискорення вільного падіння;

$\varphi_n$  – значення зведеного коефіцієнта зчеплення шин з дорожнім покриттям, яке визначається за формулою:

$$\varphi_n = \frac{\varphi}{k_e} \cos \alpha \pm \sin \alpha, \quad (2.2)$$

де  $\varphi$  - значення коефіцієнта зчеплення протектора шин ТЗ із дорожнім покриттям в місці проведення експериментального дослідження;

$k_e$  - коефіцієнт ефективності гальмування.

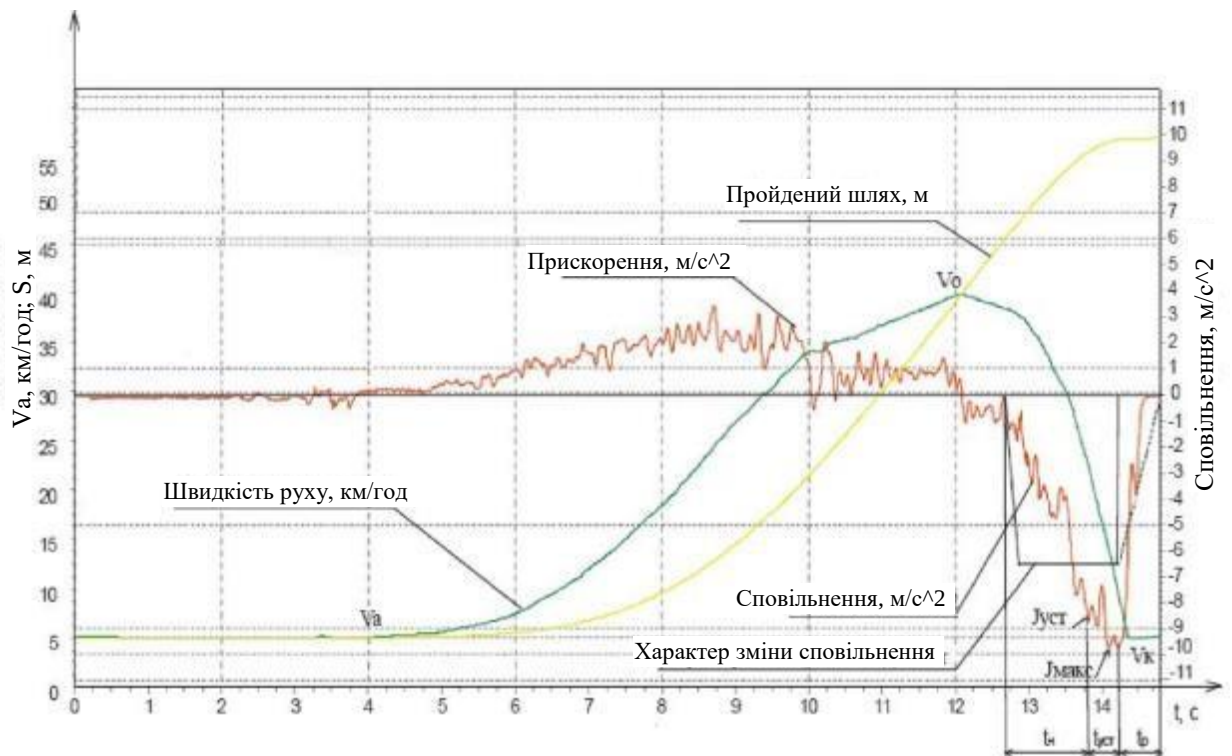


Рисунок 2.2 – Експериментальна діаграма гальмування ТЗ із зазначеним позначень

Значення коефіцієнта ефективності гальмування  $k_e$  залежить від коефіцієнта зчеплення  $\varphi$  та наявності антиблокувальної системи ABS [3, 19].

За наявності системи ABS коефіцієнт ефективності прийнято вважати рівним одиниці, оскільки екстрене гальмування завжди буде максимальним.

За відсутності системи ABS та наявності слідів гальмування, всі колеса ТЗ рухались у заблокованому стані (юзом), рекомендується приймати такі значення коефіцієнта ефективності гальмування:

$$\begin{aligned} k_e &= 1,20 \text{ для } \varphi \geq 0,7; \\ k_e &= 1,10 \text{ для } \varphi = 0,5-0,6; \end{aligned} \quad (2.3)$$

$$k_e = 1,00 \text{ для } \varphi \leq 0,4.$$

Таким чином, значення сповільнення справного ТЗ на рівній горизонтальній ділянці дорожнього покриття зводиться до виразу:

$$j_{cn} = \frac{\varphi}{k_e} g. \quad (2.4)$$

Під гальмівним шляхом ТЗ розуміють відстань, на яку переміститься ТЗ з моменту початку спрацьовування гальмівної системи до повної зупинки. У загальному випадку гальмівний шлях складається з відстані, пройденої за час  $t_c$ ,  $t_n$  і  $t_s$  і визначається за формулою:

$$S_r = \sum S = (t_c + t_n + t_s) V_a / 3,6 + V_a^2 / (25,92 j), \quad (2.5)$$

де  $V_a$  - швидкість руху ТЗ перед початком гальмування.

Переміщення ТЗ за час запізнення спрацьовування гальмівного приводу, наростання гальмівних зусиль -

$$S_c = t_c V_a / 3,6 \quad (2.6)$$

Переміщення ТЗ за час наростання сповільнення -

$$S_n = t_n (V_a / 3,6) - g t_n^2 / \delta \cong t_n V_a / 3,6, \quad (2.7)$$

де  $\delta$  - коефіцієнт врахування обертових мас.

Переміщення ТЗ за час повного гальмування

$$S_s = (V_a - 1,8 j t_n)^2 / (25,92 j). \quad (2.8)$$

Час спрацьовування гальмівного приводу, наростання гальмівних зусиль, для легкових ТЗ з гідравлічними та механічними приводами, залежить від навантаження на ТЗ, типу дорожнього покриття та індивідуальних характеристик ТЗ, таких як: діаметр поршня ГПЦ, довжини гальмівних трубок, об'єму та кількості поршнів у передніх і задніх гальмівних супортах (у випадку застосування гідравлічної гальмівної системи на обидві осі), типу гальмівної рідини та її характеристик, стану зносу тертьових поверхонь гальмівних механізмів (дисків і колодок). У справній гальмівній системі легкового ТЗ час запізнення спрацьовування гальмівного приводу, наростання гальмівних зу-

силь рівний  $t_c = 0,1$  с., а час наростання сповільнення  $t_n$  визначається з таблиці 2.1. Дані, представлені в таблиці 2.1 не враховують такі фактори як: характеристики та сезонність шин, масу ТЗ, тип та характеристики гальмівних механізмів.

Таблиця 2.1 – Час наростання сповільнення під час екстреного гальмування ТЗ для різних типів і стану дорожнього покриття

| Тип ТЗ                          | Асфальтобетонне дорожнє покриття         | $t_n$ , с        |                        |
|---------------------------------|------------------------------------------|------------------|------------------------|
|                                 |                                          | без навантаження | з повним навантаженням |
| Легкові автомобілі категорії М1 | Сухе                                     | 0,15             | 0,20                   |
|                                 | Мокре                                    | 0,1              | 0,1                    |
|                                 | Зледеніла покрита вкоченим снігом дорога | 0,05             | 0,05                   |

## 2.2 Математичне моделювання процесу сповільнення

Математичне моделювання процесу сповільнення легкових ТЗ описується в багатьох працях. Аналіз виконаних досліджень дозволяє дійти висновку, що вивчення математичних моделей процесу сповільнення досягло свого піку ще у ХХ столітті. На перший погляд, подальше опрацювання цього напрямку видається недоцільним через наявність розгалуженої та добре структурованої бази знань. Проте стрімкий розвиток технічних засобів, інноваційних матеріалів і сучасних технологій свідчить про необхідність переосмислення та вдосконалення математичного моделювання у цьому контексті.

Прийнято значення сповільнення розраховувати у кінцевий момент часу, в момент повної зупинки, і залежить від таких величин як:

- $g$  - прискорення вільного падіння;
- $m_{\text{гал}}$  – нормальне навантаження загальмованих коліс;
- $\alpha$  - кут поздовжнього нахилу дороги;
- $\varphi$  - коефіцієнт зчеплення коліс з дорогою;

- $m_a$  - фактична маса ТЗ;
- $P_v$  - сила опору повітря;
- $\delta$  - коефіцієнт врахування обертових мас;
- $P_{зач}$  - сила зачеплення шипа;
- $K_e$  - коефіцієнт ефективності гальмування.

Але дані параметри схильні до постійних змін під час сповільнення. Розподіл гальмівного шляху на окремі ділянки та проведення розрахунків показників сповільнення для кожної з них дозволяє знизити ймовірність введення некоректних даних. Наприклад, величини таких параметрів, як сила опору повітря, коефіцієнт зчеплення чи коефіцієнт ефективності гальмування, можуть суттєво варіювати залежно від швидкості ТЗ під час сповільнення – скажімо, при 40 км/год і 10 км/год ці показники можуть бути значно різними.

Окрім значення коефіцієнта зчеплення, слід також враховувати коефіцієнт ефективності гальмування. Під час експертиз значення коефіцієнта ефективності  $k_e$  визначається залежно від величини коефіцієнта зчеплення [17].

Формула розрахунку гальмівного шляху має вигляд:

$$S_{гал.шлях} = \sum_n \Delta V_n^2 / (2J_{n.cn}), \quad (2.9)$$

де  $n$  – кількість розподілених інтервалів для розрахунку;

$S_{гал.шлях}$  – гальмівний шлях транспортного засобу;

$V_n$  – середня швидкість руху транспортного засобу для певного інтервалу;

$J_{n.cn}$  – сповільнення транспортного засобу, яке визначається

$$J_{n.cn} = (g(m_{гал} \cos \alpha \varphi_n + m_a g \sin \alpha) + P_v) / (m_a \delta K_{en}), \quad (2.10)$$

де  $m_{гал}$  – нормальне навантаження на загальмовані колеса;

$\alpha$  - поздовжній ухил дороги;

$\varphi_n$  - коефіцієнт зчеплення коліс із дорогою для певного інтервалу;

$m_a$  - фактична маса транспортного засобу;

$P_v$  - сила опору повітря;

$\delta$  – коефіцієнт, що враховує обертові маси;

$K_{en}$  - коефіцієнт ефективності гальмування для певного інтервалу.

$$\delta = 1 + (0,03 + 0,05u_k^2)m_n / m_a = 1 + (z_k J_k) / (m_a r_k^2), \quad (2.11)$$

де  $Z_k$  - число обертів коліс;

$u_k$  - передатне число коробки передач, для руху накатом приймаємо  $u_k = 0$ ;

$m_n$  - повна маса транспортного засобу;

$J_k$  - момент інерції коліс;

$r_k$  - статичний радіус колеса.

$$P_e = W_e V_a^2 = (C_x \rho F_A V_n^2) / 2, \quad (2.12)$$

де  $C_x$  - коефіцієнт лобового опору;

$W_e$  - фактор обтічності ТЗ;

$\rho$  - щільність повітря;

$F_A$  - лобова площа.

$$S_{\text{зал.шлях}} = 2(V_n^2 m_a \delta K_{en}) / (g(m_{\text{зал}} \cos \alpha \varphi_n + m_a g \sin \alpha) + (C_x \rho F_A V_n^2)), \quad (2.13)$$

де  $K_{en}$  - коефіцієнт ефективності гальмування для певного інтервалу.

У формулі (2.13) коефіцієнт зчеплення коліс із дорогою змінюється в залежності від швидкості. Враховуючи нелінійний характер залежності уповільнення ТЗ від швидкості, під час обчислення часу та шляху раціональніше застосовувати наближені методи інтегрування. Визначивши кількість інтервалів зміни швидкості, можна точніше оцінити гальмівний шлях, оскільки разом зі зміною швидкості змінюється і коефіцієнт зчеплення.

Розрахункову силу гальмування можна представити як суму часткових сил, що чинять опір рухові:

$$P_{\Sigma} = P_e + P_{\partial} + P_{ш} + P_{зач} + P_i + P_{xx}, \quad (2.14)$$

де  $P_{\Sigma}$  - сумарна гальмівна сила;

$P_e$  - сила опору навколишнього середовища;

$P_{\partial}$  - сила опору дороги;

$P_{ш}$  - сила зчеплення автомобільної шини із дорожнім полотном;

$P_{зач}$  - сила зачепу шипа;

$P_i$  - зведена сила інерції ТЗ;

$P_{xx}$  – сила опору трансмісії, зведена до ведучих коліс, під час руху на холостому ході.

Вказані сили можна визначити наступним чином:

- силу інерції руху автомобіля

$$P_i = (m_a \delta j) / g, \quad (2.15)$$

- силу опору дороги

$$P_o = g(\cos \alpha \varphi_n + g \sin \alpha), \quad (2.16)$$

- силу зачепу шипа

$$P_{зач} = 0,1z\sigma_p F_{ВШ}, \quad (2.17)$$

де  $z$  – число шипів, закріплених на колесі;

- силу опору трансмісії, що можна визначити з емпіричного виразу

$$P_{xx} = 10^{-3}(2 + 0,009V_a)G_a. \quad (2.18)$$

Ці сили впливають на сповільнення ТЗ на горизонтальній поверхні. Тоді, розрахунковий вираз для визначення сповільнення буде мати вигляд:

$$J_{n.cn} = (g(m_{гал} \cos \alpha \varphi_n + m_a g \sin \alpha) + P_o + P_{зач} + P_{xx}) / (m_a \delta K_{en}), \quad (2.19)$$

Таким чином, скоригована формула (2.9) прийме наступний вигляд:

$$S_{гал.шл} = (V_n^2 m_a \delta K_{en}) / (g(m_{гал} \cos \alpha \varphi_n + m_a g \sin \alpha) + (C_x p F_A V_n^2) + 0,1z\sigma_p F_{ВШ} + 10^{-3}(2 + 0,009V_a)G_a) \quad (2.20)$$

Запровадження в модель розрахунку зимової шипованої гуми коригувального коефіцієнта, що враховує взаємодію шипів із дорожнім покриттям, дозволяє значно підвищити точність визначення гальмівного шляху.

Водночас явище аквапланування має суттєво негативний вплив на зчіпні характеристики протектора шини з поверхнею дороги. Для кількісного аналізу цього явища виникає потреба у визначенні критичної швидкості, за якої зчеплення між протектором шини та дорожнім покриттям повністю втрачається, а власне процес аквапланування вступає в дію. Критична швидкість визначається як така, за якої гідродинамічна сила дорівнює вертикаль-

ному навантаженню на колесо, відповідно до заданої аналітичної формули:

$$V_{ak} = \sqrt{(2G_n)/(\pi\rho n h b)}, \quad (2.21)$$

де  $G_n$  - нормальне навантаження на переднє колесо;

$\rho$  - щільність води;

$h$  - товщина шару води на полотні дороги;

$b$  - ширина профілю шини;

$n$  - коефіцієнт зростання товщини води перед колесом ТЗ.

Гальмівні системи сучасних експлуатованих ТЗ повинні забезпечувати ефективність і стійкість автомобіля під час сповільнення. Ефективність сповільнення визначають за гальмівним шляхом  $S_g$  або за сукупністю усталеного сповільнення  $j_{yct}$  і часу спрацьовування гальм автомобіля  $t_{cp}$ .

Визначення показників сповільнення ТЗ, обладнаних АБС, є важливим завданням дослідження. У ході таких досліджень ключовим аспектом є точне обчислення довжини гальмівного шляху для підтвердження повної зупинки автомобіля або оцінки можливості запобігання зіткненню під час екстреного гальмування. Робота АБС у поєднанні з системою курсової стійкості значно підвищує стабільність прямолінійного руху й забезпечує покращену керованість при різкому гальмуванні. Ефект скорочення гальмівного шляху за допомогою АБС пояснюється залежністю між коефіцієнтом зчеплення колеса з дорогою  $\varphi_x$  та величиною ковзання  $S$ . У ситуаціях, коли системи допомоги водію відсутні, під час екстреного гальмування ефективність відповідає коефіцієнту зчеплення при  $S = 1$ , що означає повне ковзання колеса по дорожньому покриттю. Використання систем водійської допомоги дозволяє досягти більшого середнього значення  $\varphi_x$ , завдяки роботі в режимі, який характерний для антиблокувальної системи, і таким чином забезпечує оптимальні умови гальмування.

Гальмівний шлях  $S$  є визначальним показником гальмівних властивостей автомобіля для забезпечення безпеки дорожнього руху.

$$S = (t_0 + 0,5t_n)V_0 + V_0^2/(2j_{yct}), \quad (2.22)$$

де  $t_0$  – час запізнювання спрацювання гальм автомобіля, с;

$t_n$  – час наростання уповільнення, с;

$j_{уст}$  – усталене уповільнення, м/с<sup>2</sup>;

$V_0$  – початкова швидкість, за якої починається гальмування, м/с.

Таким чином, з урахуванням збільшеної важливості сповільнення для транспортного засобу, оснащеного антиблокувальною гальмівною системою, гальмівний шлях  $S_{ABC}$  розраховується з виразу:

$$S_{ABC} = (t_0 + 0,5t_n)V_0 + V_0^2 / (2j_{уст}(1 + \Delta j)) + V_{0T}^2 / (2j_{уст}) - \Delta j / (1 + \Delta j), \quad (2.23)$$

де  $\Delta j$  – зростання сповільнення, обумовленого роботою АБС;

$V_{0T}$  – швидкість, після досягнення якої АБС автоматично відключається.

Третій доданок у виразі (2.23) виникає через доповнення до гальмівного шляху  $S_c$ , отриманого із сповільненням  $[j_{уст}(1 + \Delta j)]$  до повної зупинки, величини гальмівного шляху, обумовленого переходом до сповільнення  $j_{уст}$ , у момент автоматичного відключення АБС.

### 2.3 Аналіз чинників, що впливають на сповільнення

З метою визначення оптимальних умов для проведення експериментальних досліджень, а також забезпечення достовірності отриманих даних, необхідно спочатку врахувати ключові чинники, які суттєво впливають на процес уповільнення транспортного засобу. Основними з них є:

- характеристики дорожнього покриття, включаючи коефіцієнт зчеплення та геометричні параметри дороги (підйоми, спуски);
- погодні умови, такі як температура й рівень вологості;
- параметри самого транспортного засобу, зокрема аеродинамічні властивості, маса, тип і технічний стан шин.

Процес зниження швидкості транспортного засобу потребує ретельного аналізу сукупності чинників, які визначають ефективність взаємодії шин автомобіля із дорожньою поверхнею. В таблиці 2.2 подано відповідні чинники

та їх градації, які суттєво впливають на оцінювання динаміки сповільнення транспортних засобів категорії М1.

Таблиця 2.2 – Чинники, що впливають за сповільнення

| № з/п | Значення                                      | Позначення | Градації                                   |
|-------|-----------------------------------------------|------------|--------------------------------------------|
| 1     | Коефіцієнт зчеплення                          | $\varphi$  | 0,25-0,95                                  |
| 2     | Висота рисунка протектора шини, мм            | h          | 1,6-8                                      |
| 3     | Ширина протектора шини, мм                    | A          | 155-270                                    |
| 4     | Висота профілю шини, мм                       | H          | 35-70                                      |
| 5     | Внутрішній діаметр шини, дюйм                 | R          | 14-21                                      |
| 6     | Значення індексу навантаження шини, <b>кг</b> | i          | 65-116                                     |
| 7     | Значення індексу швидкості шини, км/год       | iV         | 100-300                                    |
| 8     | Споряджена маса ТЗ, кг                        | m          | 800-3500                                   |
| 9     | Наявність шипів та сезонність шини            | ш          | Літні<br>Зимові шиповані<br>Зимові не шип. |

Вагу пасажирів і завантаженість багажника приймаємо відповідно 75 кг і 50 кг.

На основі розрахунку гальмівного шляху а/м Iveco Daily з шинами Michelin Agilis 81 розміру 185/75 R16, на підставі залежності коефіцієнта зчеплення шин від швидкості, сформовано наступну таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Гальмівний шлях на сухому асфальтобетонному покритті з глибиною протектори 6,6-6,9 (нова гума) і  $\leq 1,6$  (зношена гума)

| Марка шини                     | Michelin Agilis 81 185/75 R16C 104R |         |        |            |         |        |
|--------------------------------|-------------------------------------|---------|--------|------------|---------|--------|
| Глибина протектора, мм.        | 6,6 - 6,9                           |         |        | $\leq 1,6$ |         |        |
| Інтервал швидкості, м/с        | 36 - 25                             | 25 - 13 | 13 - 0 | 36 - 25    | 25 - 13 | 13 - 0 |
| Коефіцієнт зчеплення           | 0,75                                | 0,95    | 0,85   | 0,90       | 0,95    | 1,00   |
| Сповільнення, м/с <sup>2</sup> | 5,41                                | 6,39    | 5,64   | 6,21       | 6,39    | 6,64   |
| Час руху, с.                   | 2,03                                | 1,88    | 2,30   | 1,77       | 1,88    | 1,96   |
| Пройдений шлях, м.             | 40,23                               | 23,13   | 9,71   | 43,3       | 28,6    | 10,2   |
| Гальмівний шлях, м.            | 73,07                               |         |        | 82,1       |         |        |

Після проведення розрахунків і порівняльного аналізу гальмівного

шляху шини Michelin Agilis 81 розміром 185/75 R16C 104R за трьома інтервалами можна зробити висновок, що на сухому асфальтобетонному полотні гальмівний шлях зі зношеною гумою скорочується приблизно на 10 метрів.

Зменшення гальмівного шляху у суху погоду призводить до критичного збільшення гальмівного шляху в дощ, рисунок 2.4.

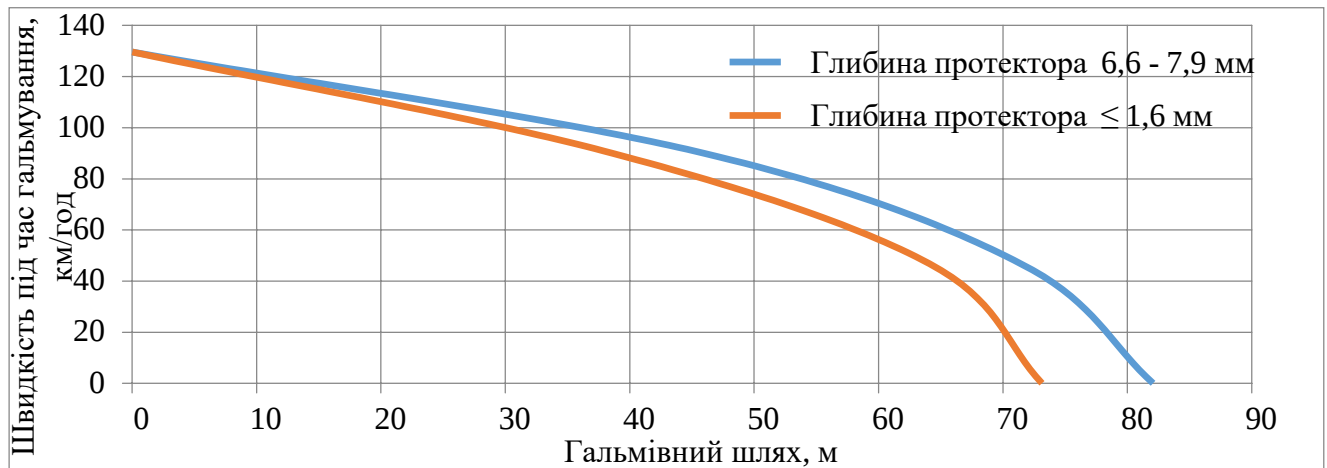


Рисунок 2.4 – Гальмівний шлях шини Michelin Agilis 81 185/75 R16C 104R на сухому асфальтобетонному покритті з глибиною рисунка протектора 6,6-7,9 (нова гума) і  $\leq 1,6$  (зношена гума) залежно від поточного значення швидкості

Розрахунки, представлені в табл. 2.4, були проведені на базі машини Iveco Daily з врахуванням характеристик для зазначеної шини. Порівняння результатів представлено на рисунку 2.5.

**Таблиця 2.4** – Розрахунок гальмівного шляху для літньої, зимової не шипованої та зимової шипованої гуми на асфальтобетонному покритті

| Тип шини                     | Літня          | Зимова<br>не шипована | Зимова<br>шипована |
|------------------------------|----------------|-----------------------|--------------------|
| Характеристики шини          | 205/55 R16     | 205/55 R16            | 205/55 R16         |
| Коефіцієнт зчеплення         | $\approx 0,80$ | $\approx 0,60$        | $\approx 0,5$      |
| Сповільнення, $\text{м/с}^2$ | 6,47           | 5,37                  | 4,76               |
| Час гальмування, с.          | 3,40           | 4,09                  | 4,62               |
| Гальмівний шлях, м.          | 37,39          | 45,03                 | 50,83              |

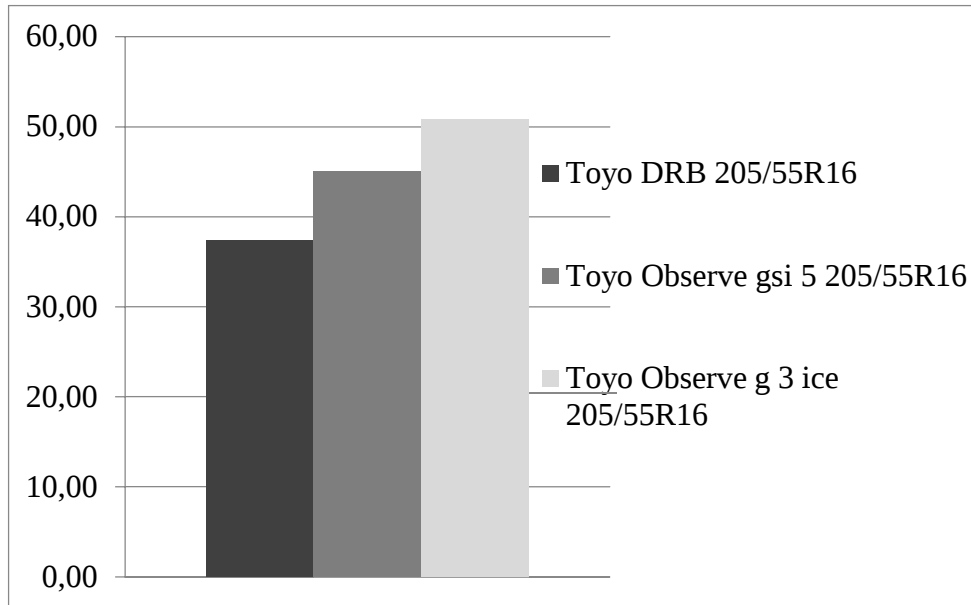


Рисунок 2.5 – Порівняльний аналіз розрахункового гальмівного шляху для сухого асфальтобетонного покриття та трьох типів шин

## 2.4 Висновки до розділу

Розрахункові значення сповільнення ТЗ категорії М1, за існуючими методиками, не відповідають експериментальним значенням, отриманим в ході досліджень. Виявлені розбіжності розрахункової моделі сповільнення ТЗ з фактичними значеннями сповільнення були проаналізовані, а також запропонований метод розрахунку, що враховує вплив факторів, які описують рух ТЗ.

Перегляд існуючої методики оцінки сповільнення транспортних засобів категорії М1 пропонується здійснювати шляхом переходу від використання усереднених значень до підходу, що враховує динамічні зміни параметрів, які впливають на процес сповільнення.

Подальші дослідження будуть зосереджені на більш точному визначенні показників сповільнення для транспортних засобів категорії М1. Особлива увага приділятиметься впливу індивідуальних характеристик шин за різних погодних умов, а також деталізації залежності гальмівного шляху від параметрів транспортного засобу (сегменту) та умов експлуатації.

### **3. МЕТОДИКА ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

#### **3.1 Мета експериментального дослідження**

Метою експериментальних досліджень було уточнити характеристики сповільнення транспортних засобів різних сегментів залежно від типу та стану дорожнього покриття, погодних і кліматичних умов, а також завантаженості автомобіля й типу встановлених шин.

#### **3.2 Методика експериментального дослідження сповільнення ТЗ**

Для визначення характеристик усталеного сповільнення було проведено серію експериментів, що включала три окремі повторності з участю 10 автомобілів різних марок категорії М1. Тестування здійснювалося з використанням шин літнього та зимового типу за різноманітних погодних умов на різних типах поверхонь: сухому, вологому, мокрому, обледенілому асфальто-бетонному покритті, а також вкатуваному сніжному покритті.

Перед початком досліджень проводився ретельний візуально-технічний огляд шин транспортних засобів. Перевірка охоплювала кілька ключових аспектів, зокрема: відсутність пошкоджень, здуття або відшарування; відповідність розмірів шин документації; справність золотників та відповідність внутрішнього тиску нормативам; відповідність швидкісних характеристик і максимальної маси технічним документаційним вимогам; сезонну адаптованість шин; залишкову глибину рисунка протектора; наявність усіх гайок і болтів кріплення колісних дисків; цілісність дисків, включаючи відсутність тріщин.

Визначення сповільнення ТЗ відбувалось згідно схеми, відображеної на рис. 3.1. Визначалось сповільнення і гальмівний шлях ТЗ. Перед проведенням дорожніх випробувань фіксувалися погодні умови і стан дорожнього покриття, характеристики ТЗ, а саме: тип і сезонність шин; розмірність коліс; марка та модель ТЗ; глибина протектора шини; марки і моделі шин, споряджена маса ТЗ.



Рисунок 3.1 – Схема проведення експериментальних досліджень

На рис. 3.2 зображено загальний вигляд процесу визначення сповільнення згідно схеми, наведеної на рис. 3.1. У цьому випадку а/м Mazda 5, досягши швидкості 40 км/год, під'їжджає до зони початку гальмування.



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд проведення експериментального дослідження

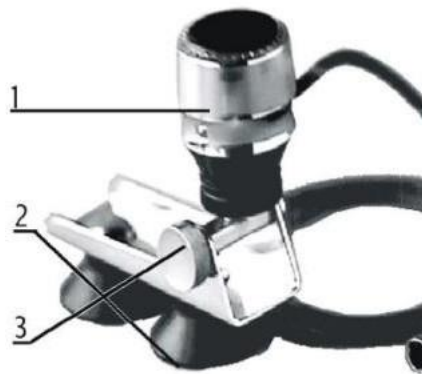
Експериментальні дослідження сповільнення ТЗ проводились в дорожніх умовах Львівського регіону за участю одного водія, використовуючи деселерометр BRAKE TESTER моделі «LWS-2MC», представлений на рис. 3.3, до складу якого входить давач, що кріпиться до лобового скла, представлений

на рисунку 3.4, і дозволяє аналізувати процес гальмування. Деселерометр має похибку вимірювань сповільнення, яка не перевищує 4% [21].

Під час проведення випробувань автомобіль встановлювався на проїжджій частині, давач сповільнення, зображений на рисунку 3.4, зафіксовувався по горизонталі по центру лобового скла усередині автомобіля, місце кріплення давача представлене на рисунку 3.5.



Рисунок 3.3 – Загальний вигляд деселерометра моделі "LWS-2MC"



1 – давач прискорення; 2 – основа давача; 3 – шарнірний механізм

Рисунок 3.4 – Давач деселерометра моделі LWS-2MC

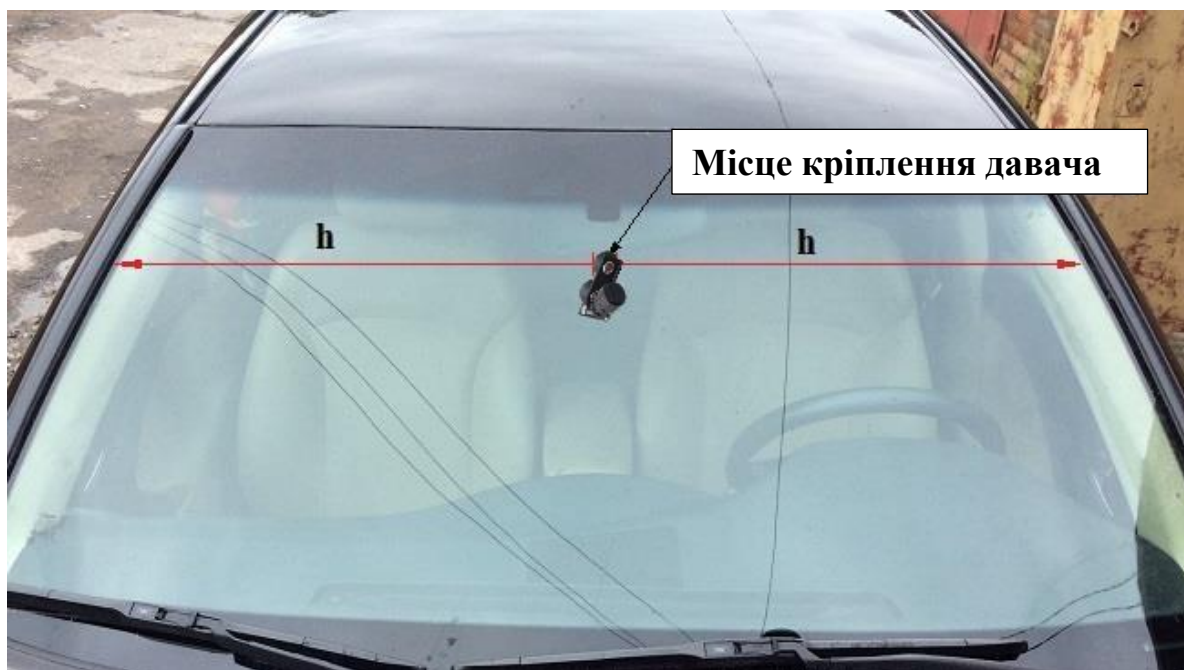


Рисунок 3.5 – Схема кріплення давача на лобовому склі автомобіля зсередини салону

Заміри висоти рисунка протектора шини проводились з використанням штангенциркуля ГТО ШЦЦ-I-150 з глибиноміром та інтервалом вимірювання від 0 до 150 мм, крок вимірювання - 0,01 мм, похиба -  $\pm 0,01$  мм, що обладнаний для зручності вимірювань рідкокристалічним дисплеєм. Штангенциркуль представлений на рисунку 3.14.



Рисунок 3.6 – Електронний штангенциркуль із глибиноміром ГТО ШЦЦ-I-150

Спочатку проводились вимірювання наступних параметрів:

- $h_{np}$  - висота рисунка протектора шини автомобіля;
- $^{\circ}C$  - температура повітря під час дослідження;

- маса автомобіля та маса водія;
- виробник і модель шини;
- об'єм двигуна і тип приводу.

Під час виконання вимірювань давач необхідно зафіксувати у горизонтальному положенні, відхилення давача під час руху не має перевищувати від  $-0,26$  до  $-0,08 \text{ м/с}^2$ , відомості про значення положення датчика прискорення відображаються на екрані деселерометра, рисунок 3.7.

Неправильне закріплення давача може спричинити невдачу експериментального дослідження. Перед кожним експериментальним циклом відхилення показників давача підлягало калібруванню, яке здійснювалося за допомогою шарнірного механізму щодо горизонтальної площини. Перш ніж розпочинати рух, на приладі фіксувалася швидкість  $40 \text{ км/год}$  (див. рисунок 3.3). Після досягнення зазначеної швидкості вмикався звуковий сигнал, який позначав необхідність виконання екстреного гальмування.



1 – цифрове зображення значення прискорення; 2 – графічне позначення прискорення

Рисунок 3.7 - Меню калібрування давача прискорення

Після вимірювання значення усталеного сповільнення його необхідно зберегти. Пристрій має 30 осередків пам'яті. Відображення збережених зна-

чень доступне у вкладці «Результати вимірювань».

Під час проведення експериментальних досліджень були задіяні 10 ТЗ категорії М1. Досліджувані транспортні засоби були розділені на сегменти відповідно до класифікації Європейської економічної комісії і представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Досліджувані ТЗ категорії М1 і їх сегменти

| Марка і модель ТЗ                                   | Сегмент |
|-----------------------------------------------------|---------|
| Fiat 500                                            | А       |
| Volkswagen Polo, Kia Rio, Nissan Juke, Daewoo Lanos | В       |
| Skoda Octavia                                       | С       |
| BMW 5                                               | Е       |
| Mazda 5, Fiat Ducato, Mercedes ML 350               | М       |

З таблиці 3.1 видно, що ТЗ різняться не лише за масою і габаритами, але і за характеристиками шин, а саме за шириною, висотою та діаметром. Відмінність сегментів, в тому числі, полягає в розмірності коліс, а, як відомо, відмінна маса ТЗ передбачає різні жорсткісні характеристики, що відображається в індексі навантаження на шину. Цей індекс вказує на максимальну вагу, яку може витримати одна шини.

### **3.3 Результати експериментальних досліджень сповільнення ТЗ залежно від експлуатаційних чинників**

Одержані під час експериментальних досліджень результати з визначення усталеного сповільнення легкових автомобілів, оснащених літніми і зимовими шинами, для різного ступеня завантаження, подані на рисунках 3.8–3.15. Завантаженість ТЗ визначалося наступним чином: 25% - ТЗ і водій; 50% - ТЗ, водій та один пасажир; 75% - ТЗ, водій та два пасажир; 100% - ТЗ, водій, три пасажир, з повним завантаженням багажника.

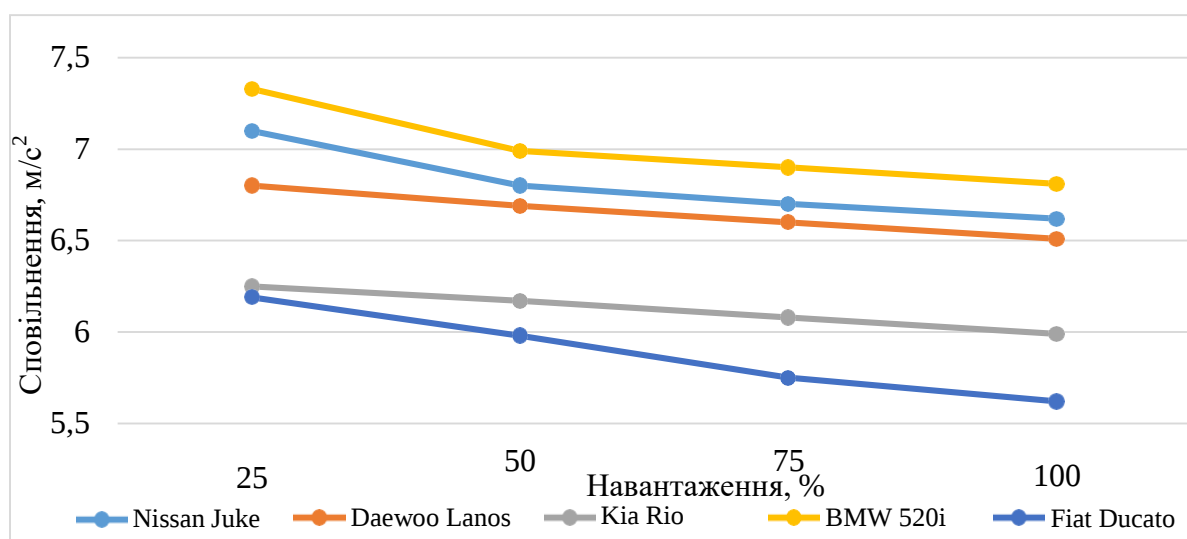


Рисунок 3.8 – Результати експериментальних досліджень усталеного сповільнення на сухому асфальтобетонному покритті для літнього типу шин, температури навколишнього повітря +5 ° С і різних навантажень на транспортні засоби

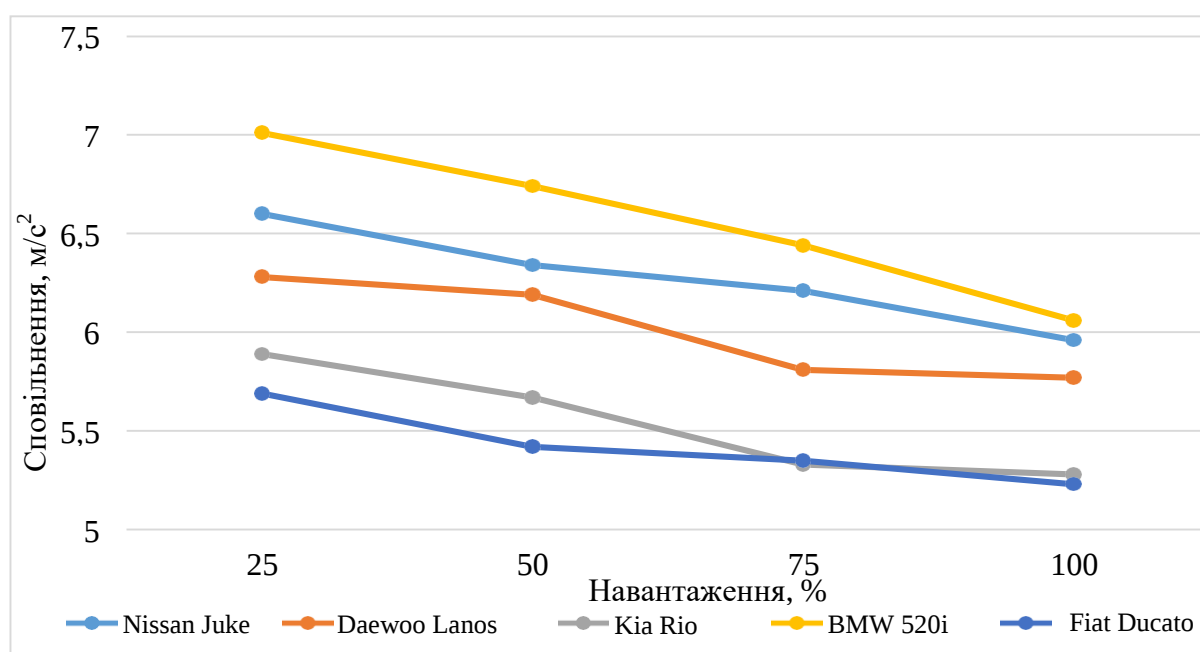


Рисунок 3.9 – Результати експериментальних досліджень усталеного сповільнення на вологому асфальтобетонному покритті для літнього типу шин, температури навколишнього повітря +5 ° С і різних навантажень на транспортні засоби

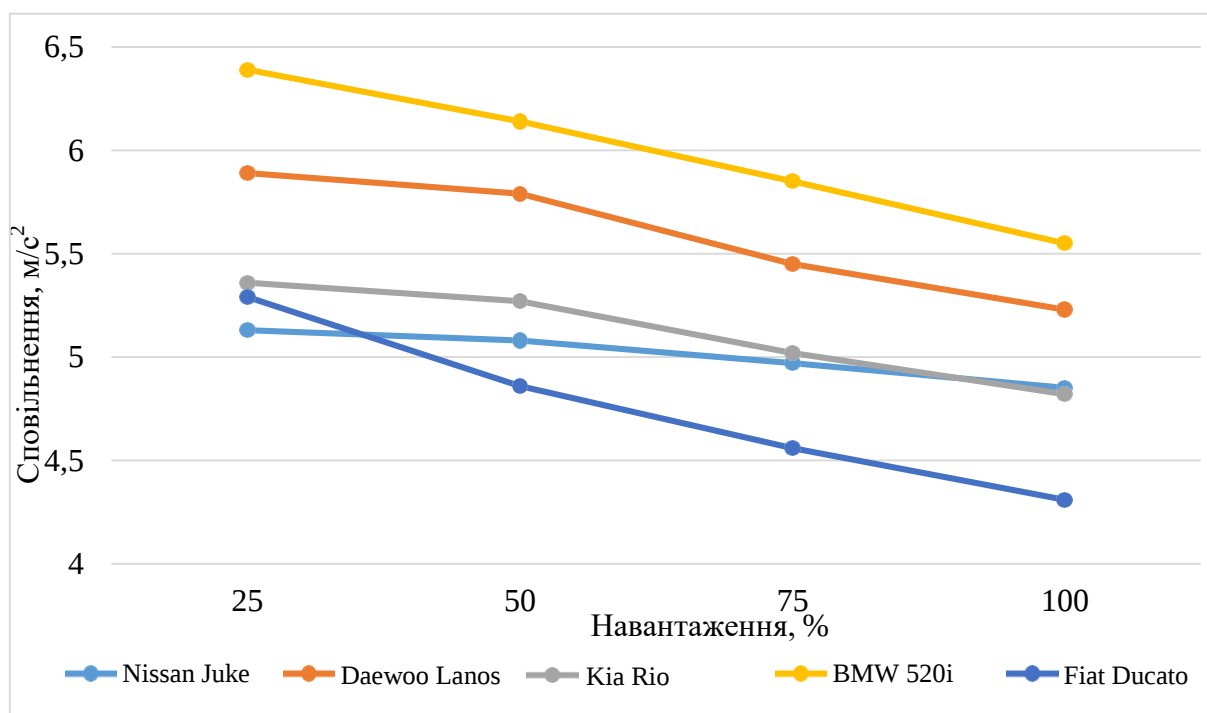


Рисунок 3.10 - Результати експериментальних досліджень усталеного сповільнення на мокрому асфальтобетонному покритті для літнього типу шин, температури навколишнього повітря +5 ° C і різних навантажень на транспортні засоби

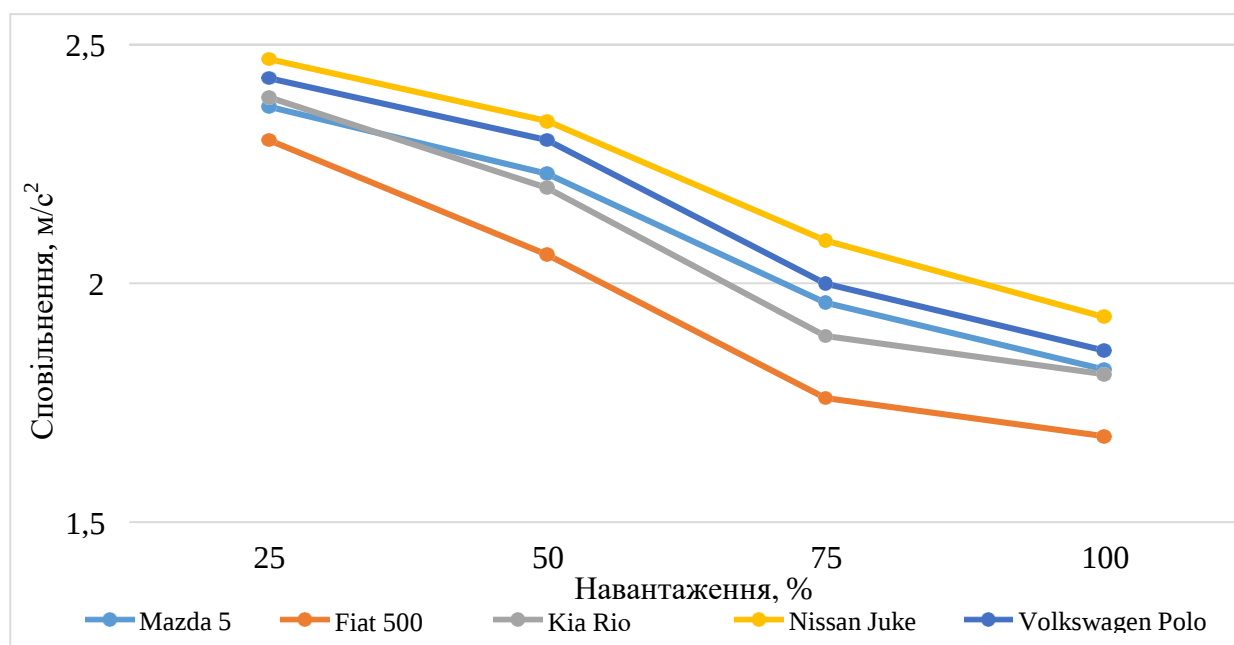


Рисунок 3.11 - Результати експериментальних досліджень усталеного сповільнення на ушкодженій сніговій поверхні для літнього типу шин, температури навколишнього повітря -8 ° C і різних навантажень на транспортні засоби

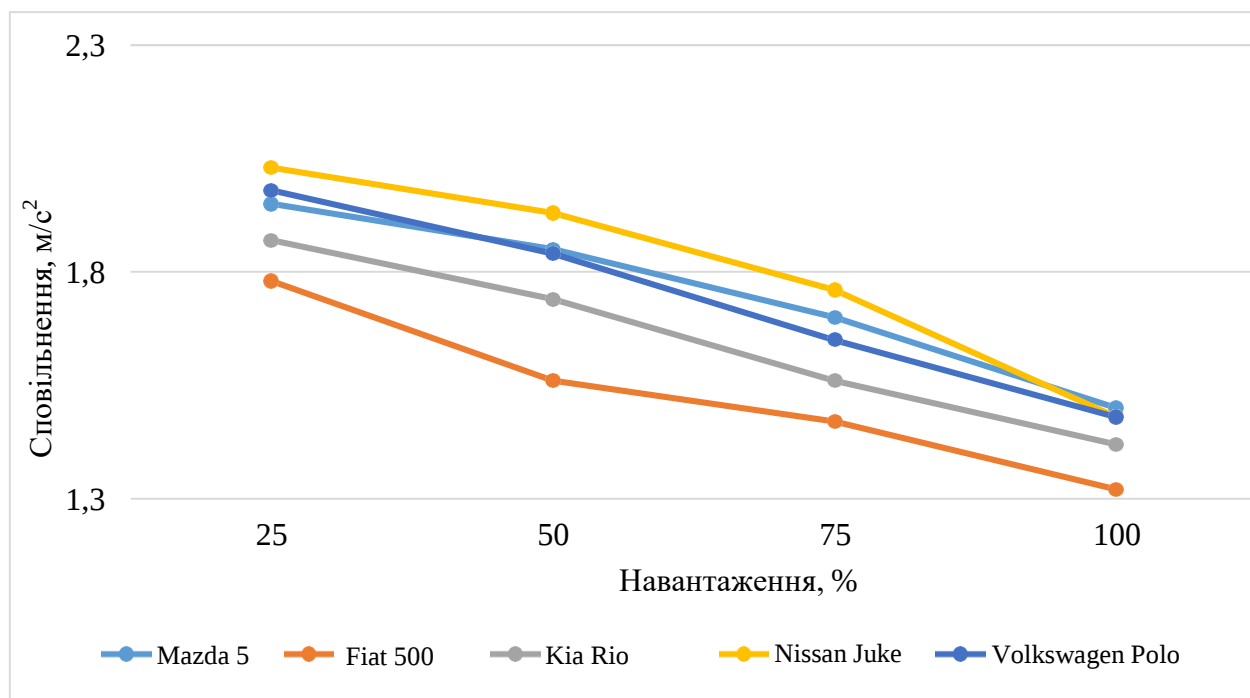


Рисунок 3.12 - Результати експериментальних досліджень усталеного сповільнення на обледенілому асфальтобетонному покритті для літнього типу шин, температури навколишнього повітря  $-8^{\circ}\text{C}$  і різних навантажень на транспортні засоби

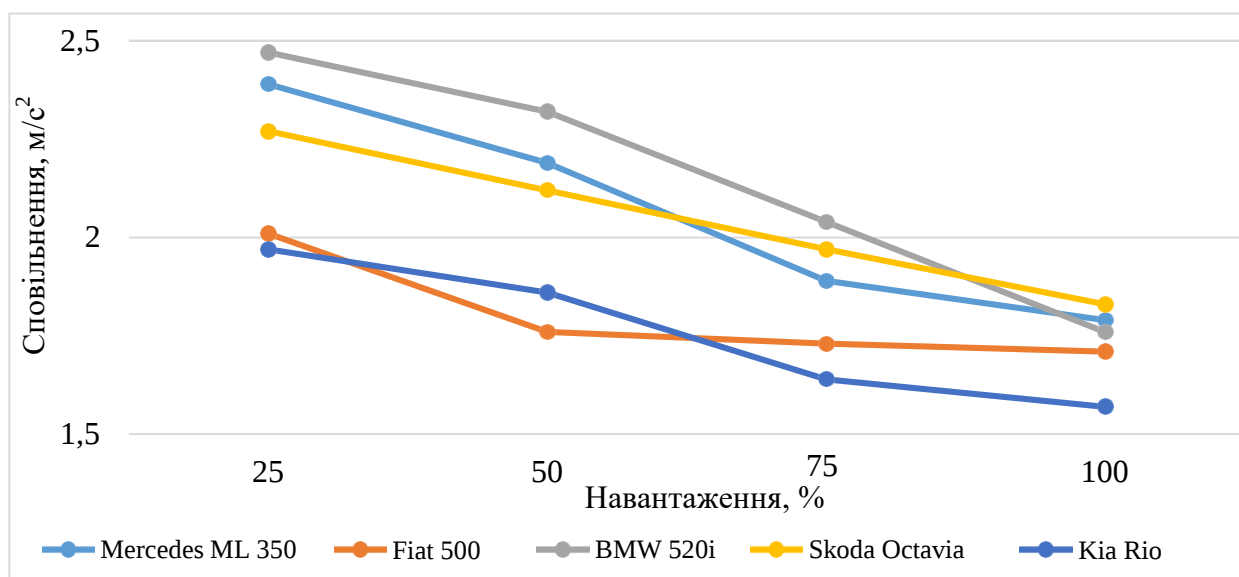


Рисунок 3.13 – Результати експериментальних досліджень усталеного сповільнення на обледенілому асфальтобетонному покритті для зимового типу шин, температури навколишнього повітря  $-12^{\circ}\text{C}$  та різного навантаження на транспортний засіб, де BMW 520i та Kia Rio обладнані шипованим протектором

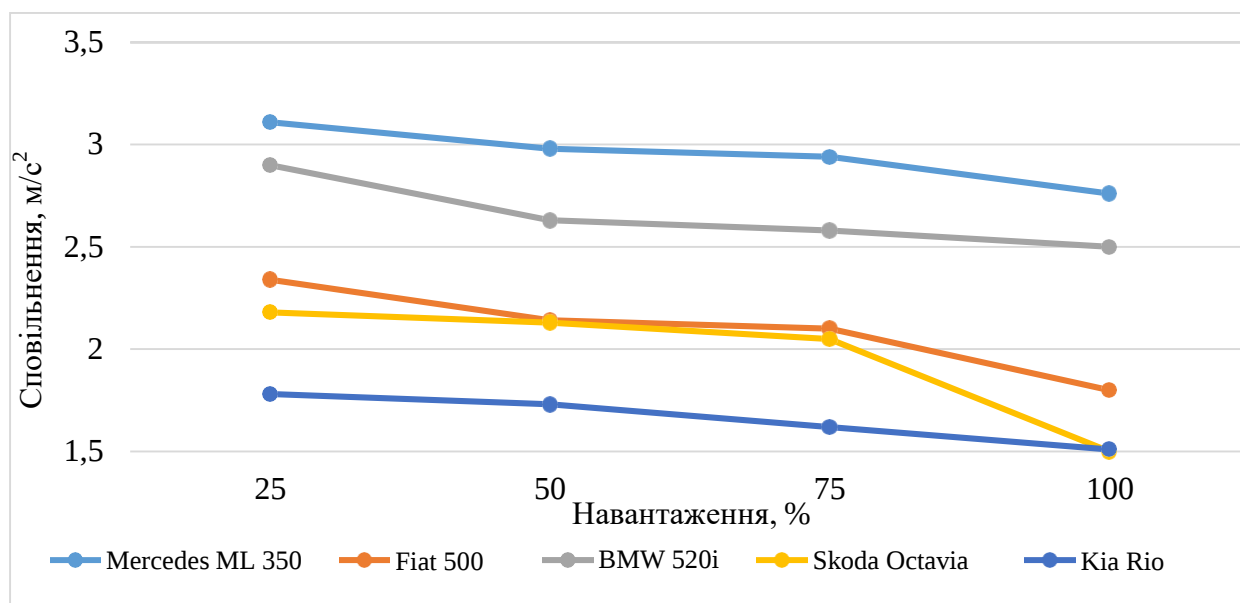


Рисунок 3.14 - Результати експериментальних досліджень сповільнення на пухкому сніговому покритті під час експлуатації зимового типу шин за температури навколишнього повітря  $-15^{\circ}\text{C}$  та різного навантаження на транспортний засіб, де BMW 520i і Mercedes ML 350 обладнані шипованими шинами

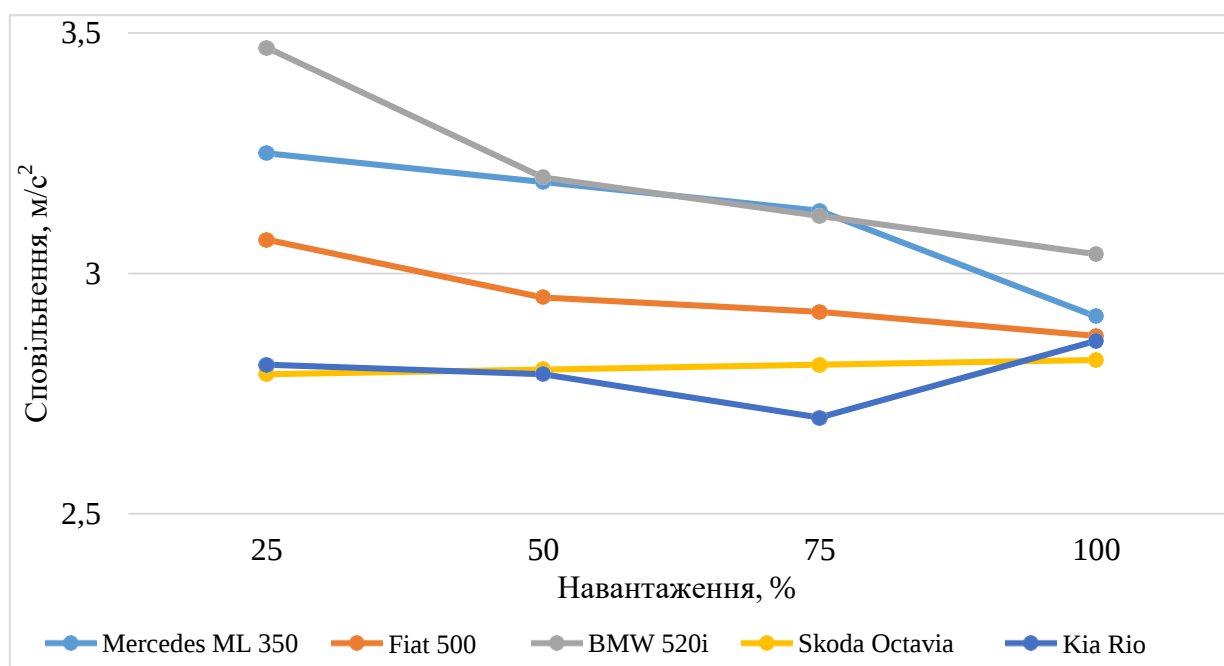


Рисунок 3.15 – Результати експериментальних досліджень установленого сповільнення на укатаному сніговому покритті під час експлуатації зимового типу шин за температури навколишнього повітря  $-15^{\circ}\text{C}$  та різного навантаження на транспортний засіб, де BMW 520i та Mercedes ML 350 обладнані шипованим протектором

Слід зауважити, що після досягнення швидкості 40 км/год, а також у процесі гальмування, для забезпечення більшої точності досліджень потрібно максимально зменшити зміну прямолінійного руху.

Результатом проведених експериментальних досліджень з визначення значимих факторів є: відзначено збіжність значень для більшого навантаження на ТЗ і рівномірну зміну значень із зміною навантаження.

Індивідуальні характеристики шин ТЗ впливають на сповільнення:

- коефіцієнт зчеплення позитивно – із збільшенням коефіцієнта зчеплення значення сповільнення збільшується;
- ширина протектора шини позитивно – із збільшенням ширини протектора шини значення сповільнення збільшується;
- висота профілю шини позитивно – із збільшенням висоти профілю шини значення сповільнення збільшується;
- внутрішній діаметр шини негативно – із збільшенням внутрішнього діаметра шини значення сповільнення зменшується;
- споряджена маса ТЗ негативно – із збільшенням спорядженої маси значення сповільнення зменшується;
- індекс навантаження шини негативно – із збільшенням індексу навантаження шини значення сповільнення зменшується;
- індекс швидкості шини позитивно – із збільшенням індексу швидкості шини значення сповільнення збільшується;
- висота рисунка протектора шини позитивно – із збільшенням висоти рисунка протектора значення сповільнення збільшується;

Слід зазначити, що наявність шипів та сезонність шини має негативний характер – під час руху на шипованих шинах по аналізованих поверхнях, значення сповільнення **зменшується**;

За результатами проведених досліджень були визначені фактори, що значимо впливають на процес сповільнення ТЗ. Дані фактори вносять істотні зміни до експериментальної моделі і можуть бути розглянуті як відмінність

маси, колісної бази, ширини колії, так і відмінність характеристик шин, встановлених на ТЗ.

Таблиця 3.2 Розглянуті фактори

| № з.п. | Назва фактора                           |
|--------|-----------------------------------------|
| 1      | Коефіцієнт зчеплення                    |
| 2      | Висота протектора шини, мм              |
| 3      | Ширина протектора шини, мм              |
| 4      | Висота профілю шини, мм                 |
| 5      | Внутрішній діаметр шини, дюйм           |
| 6      | Значення індексу навантаження шини, кг  |
| 7      | Значення індексу швидкості шини, км/год |
| 8      | Споряджена маса ТЗ, кг                  |
| 9      | Наявність шипів і сезонність шини       |

### 3.3.1 Результати експериментальних досліджень ТЗ сегменту А

Міські машини, відмінною характеристикою яких є маса ТЗ близька до однієї тонни та компактні габарити. Так, у 2022 році частка ринку автомобілів А класу становила 0,2%.

Були отримані експериментальні значення сповільнення для сегмента А, усереднені значення результатів досліджень представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Значення усталеного сповільнення сегменту А

| Сегмент | Усталене сповільнення, м/с <sup>2</sup> |                              |                            |                      |
|---------|-----------------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------------|
|         | Сухий асфальтобетон, +15 °С             | Вологий асфальтобетон, +5 °С | Сухий асфальтобетон, ±0 °С | Укатаний сніг, 15 °С |
| А       | 9,28                                    | 6,83                         | 6,86                       | 2,83                 |

Конструктивні особливості передбачають наявність гідравлічної гальмівної системи і функції антиблокувальною системи. Розмірність коліс не перевищує розмірність п'ятнадцятого діаметра шини і 195 мм ширини протек-

ктора шини. Габаритні характеристики визначаються як довжина до 3,6 м., ширина до 1,6 м.

### 3.3.2 Результати експериментальних досліджень ТЗ сегменту В

Клас машин, також звані «Субкомпакт» відмінною характеристикою яких є більша присутність на дорогах України. У 2022 році на ринку автомобілів частка сегменту В становила 38%, що займає друге місце після сегменту J. Конструктивні особливості: габарити - ширина від 3,6 до 3,9 м.; довжина від 1,5 до 1,7 м., наявність гідравлічної гальмівної системи та функції антиблокувальної системи. Розмір коліс дозволяє встановити шини 16 діаметра та ширину протектора шини в 205 мм.

Були отримані експериментальні значення сповільнення для сегмента В, усереднені значення результатів досліджень представлені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Значення усталеного сповільнення сегменту В

| Сегмент | Усталене сповільнення, м/с <sup>2</sup> |                               |                              |                        |
|---------|-----------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------|
|         | Сухий асфальто-бетон, +15 ° С           | Вологий асфальтобетон, +5 ° С | Сухий асфальто-бетон, ±0 ° С | Вкатаний сніг, -15 ° С |
| В       | 9,57                                    | 7,00                          | 7,00                         | 2,89                   |

### 3.3.3 Результати експериментальних досліджень ТЗ сегменту С

Машини «гольф класу» або сегменту С, частка ринку автомобілів сегменту С на дорогах в 2022 року становила 4%. Даний сегмент часто порівнюють з сегментом В, але явне відмінність розмірів кузова і мас не дозволяє цього зробити. Конструктивні особливості мають на увазі наявність гідравлічної гальмівної системи і функції антиблокувальної системи. Розмірність коліс дозволяє встановити шини 17 діаметра і ширину протектора шини в 225 мм. Габаритні характеристики визначаються як довжина від 3,9 м. до 4,3 м., а ширина від 1,6м. до 1,7 м.

Були отримані експериментальні значення сповільнення для сегмента С, усереднені значення результатів досліджень представлені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Значення усталеного сповільнення сегмента С

| Сегмент | Усталене сповільнення, м/с <sup>2</sup> |                               |                              |                        |
|---------|-----------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------|
|         | Сухий асфальто-бетон, +15 ° С           | Вологий асфальтобетон, +5 ° С | Сухий асфальто-бетон, ±0 ° С | Вкатаний сніг, -15 ° С |
| С       | 9,81                                    | 7,10                          | 7,10                         | 3,00                   |

### 3.3.4 Результати експериментальних досліджень ТЗ сегменту Е

Сегмент легкових автомобілів, відповідний бізнес - класу і кузовом типу "седан" або, за рідкісним винятком, "універсал". Частка ринку на дорогах у 2022 році становила 12%. Габаритні характеристики визначаються як довжина від 4,6м. до 4,9м. а ширина від 1,73 м. до 1,82 м.

Були отримані експериментальні значення сповільнення для сегмента Е, усереднені значення результатів досліджень представлені в таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 - Значення усталеного сповільнення сегмента Е

| Сегмент | Усталене сповільнення, м/с <sup>2</sup> |                               |                             |                        |
|---------|-----------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------|
|         | Сухий асфальтобетон, +15 ° С            | Вологий асфальтобетон, +5 ° С | Сухий асфальтобетон, ±0 ° С | Укатаний сніг, -15 ° С |
| Е       | 10,32                                   | 7,22                          | 7,34                        | 3,20                   |

### 3.3.5 Результати експериментальних досліджень ТЗ сегменту М

Клас М або автомобілі кузова типу «мінівен», призначені для перевезення більшої кількості людей і вантажу. Частка ринку в 2022 року становила 2,7%. Набули свого поширення за місткий салон, до 7 людина, і можливість великий завантаження як за габаритами, так і за масою. Автомобілі даного сегменту можуть експлуатуватися навіть в великих логістичних компаніях.

Були отримані експериментальні значення сповільнення для сегмента

М, усереднені значення результатів досліджень представлені в таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 - Значення усталеного сповільнення сегменту М

| Сегмент | Усталене сповільнення, м/с <sup>2</sup> |                               |                             |                        |
|---------|-----------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------|
|         | Сухий асфальтобетон, +15 ° С            | Вологий асфальтобетон, +5 ° С | Сухий асфальтобетон, ±0 ° С | Укатаний сніг, -15 ° С |
| М       | 10,31                                   | 7,28                          | 7,36                        | 3,14                   |

### 3.4 Обробка отриманих експериментальних даних

Під час використання програмного забезпечення деселерометра моделі "LWS-2MC" є можливість дати більш докладну характеристику процесу гальмування ТЗ. У результаті кожного експериментального дослідження деселерометр записував і відображав графік сповільнення. Частина графіків усталеного сповільнення представлена **на рисунках** для погодних умов відповідно.

Порівнюючи графіки усталеного сповільнення для ТЗ сегменту С, гальмівна діаграма представлена на рисунку 3.16 та для сегмента Е, гальмівна діаграма представлена на рисунку 3.17, видно, як антиблокувальна система втручається в процес сповільнення, не доводячи до блокування коліс. Червона лінія сповільнення, на рисунку 3.16, максимально зменшується, досягаючи повного наростання гальмівних зусиль, максимальної взаємодії протектора шини з дорожнім покриттям і визначаючи максимальне значення сповільнення для даного дорожнього покриття, для даного ТЗ, близьке до блокування коліс та в момент часу 6,3 сек., після спрацювання антиблокувальною системою, починає зростати до моменту часу 6,6 сек., далі алгоритм повторюється, що і призводить до повної зупинки. Сповільнення на даній ділянці характеризується середнім значенням, оскільки оцінюється не в певний момент часу, а впродовж всього гальмування ТЗ.

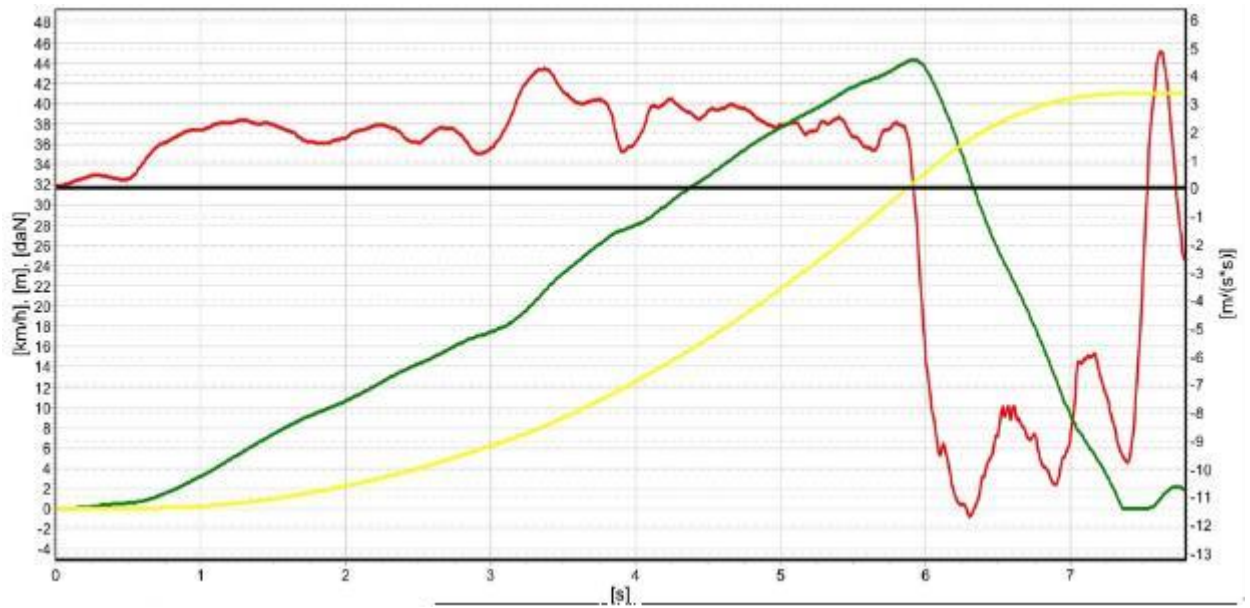


Рисунок 3.16 - Гальмівна діаграма на прикладі а/м сегменту С (сухий асфальтобетон за позитивних температур)

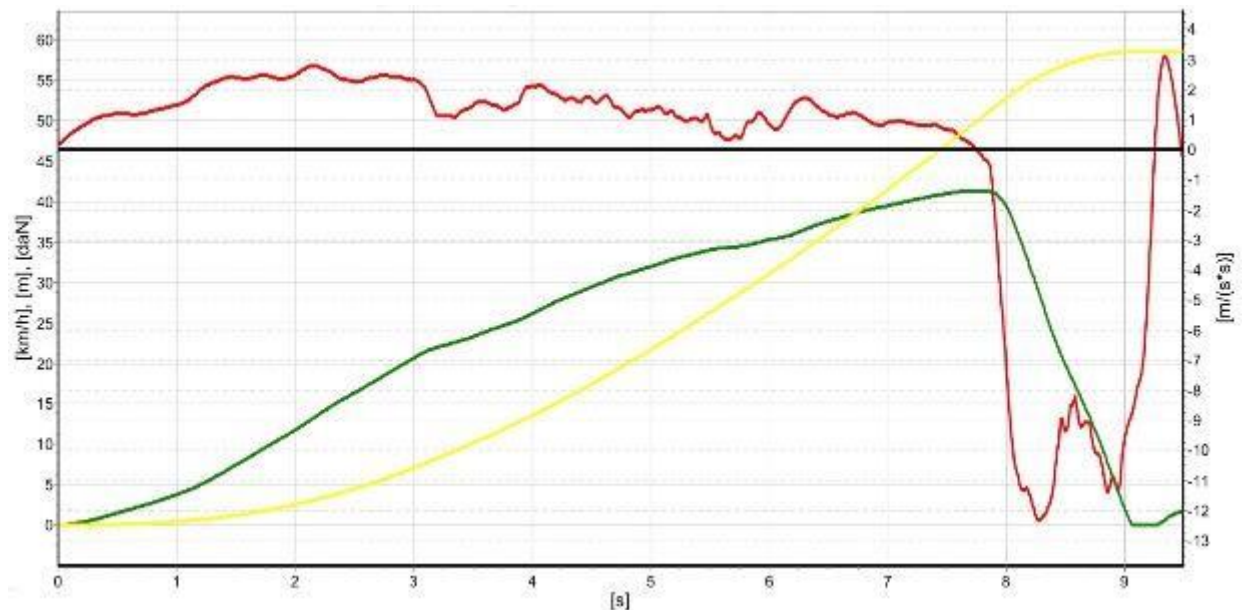


Рисунок 3.17 - Гальмівна діаграма на прикладі а/м сегменту Е (сухий асфальтобетон за позитивних температур)

На гальмівній діаграмі, представлений на рисунку 3.17, видно, як в час 8,25 сек. сповільнення досягає максимального значення і, як у ТЗ сегменту С, спрацьовує антиблокувальна система, але через відмінність розмірних характеристик протекторів шин та габаритів ТЗ, взаємодія з опорною поверхнею відбувається більше ефективно, і антиблокувальна система, робота якої характеризується піками лінії сповільнення (червона лінія), спрацьовує лише один

раз.

Дещо інший характер зміни сповільнення спостерігається у випадку гальмування на вкоченому снігу за низьких температур (рисунки 3.18 і 3.19).

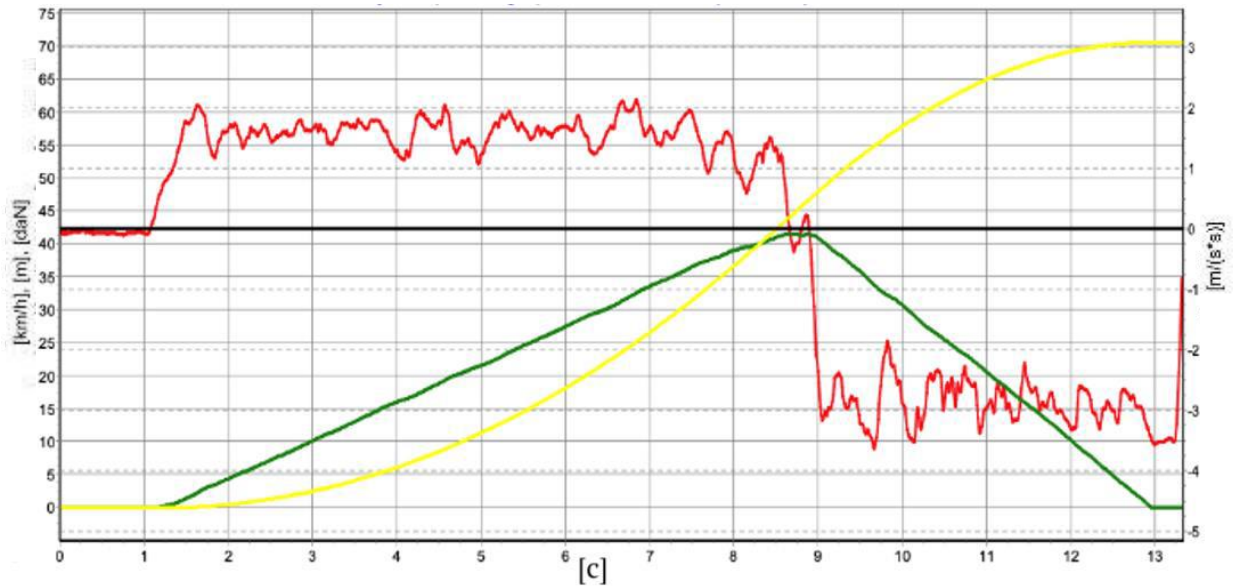


Рисунок 3.18 - Гальмівна діаграма на прикладі а/м сегменту В (вкочений сніг за негативних температур)

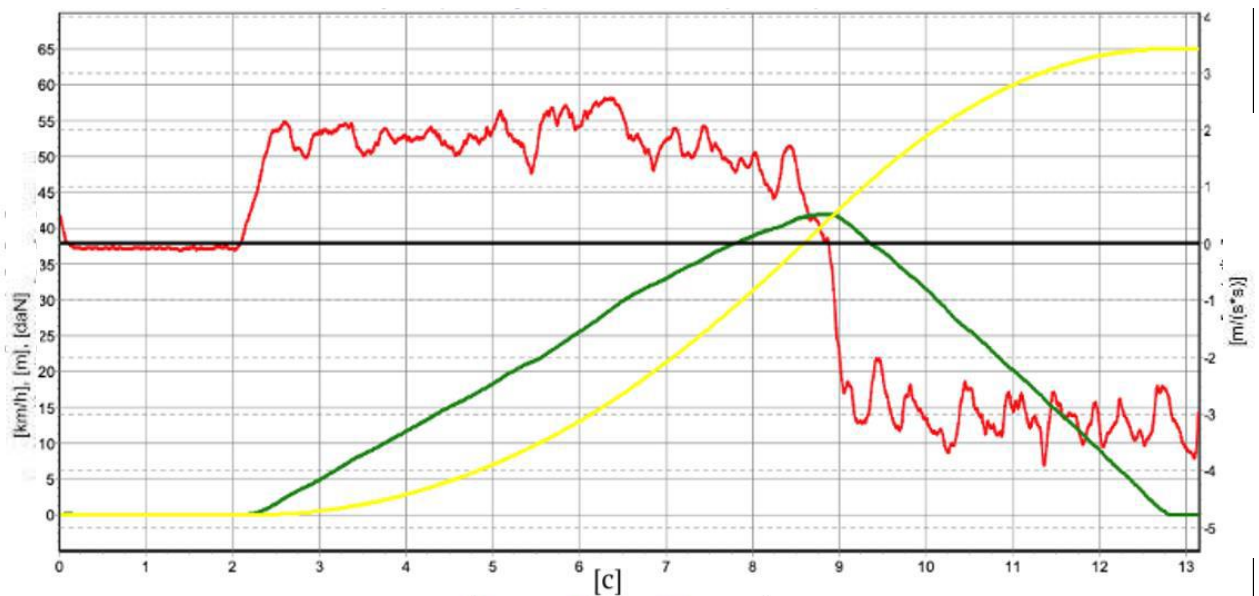


Рисунок 3.19 - Гальмівна діаграма на прикладі а/м сегменту М (вкочений сніг за негативних температур)

За формулою (3.1), що використовується на практиці експертиз ДТП, знаючи початкову швидкість гальмування проведемо розрахунок гальмівного

шляху за усередненими значенням сповільнення.

$$V_A = 1,8 \cdot t_n \cdot j_{уст} = \sqrt{25,92 \cdot j_{уст} \cdot S_z}, \quad (3.1)$$

$$S_z = (V_A - 1,8 \cdot t_n \cdot j_{уст})^2 / 25,92 \cdot j_{уст}. \quad (3.2)$$

Здійснюючи розрахунок гальмівного шляху за формулою (3.2), отримаємо вираз для всіх сегментів ТЗ:

$$S_z = (40 - 1,8 \cdot t_n \cdot j_{уст})^2 / 25,92 \cdot j_{уст}. \quad (3.3)$$

Значення сповільнення для кожного сегмента ТЗ є індивідуальною характеристикою. Якщо прийняти усереднене значення для кожного сегмента ТЗ, то отримаємо рівняння виду:

– для розрахунку гальмівного шляху на сухому асфальтобетонному покритті для автомобілів сегменту А за температури навколишнього повітря  $+15^\circ \text{C}$ :

$$S_z = (40 - 1,8 \cdot 0,15 \cdot 9,28)^2 / 25,92 \cdot 9,28 = 5,84 \text{ м.}$$

– для розрахунку гальмівного шляху на вологому асфальтобетонному покритті для автомобілів сегменту А за температури навколишнього повітря  $\pm 0^\circ \text{C}$ :

$$S_z = (40 - 1,8 \cdot 0,10 \cdot 6,83)^2 / 25,92 \cdot 6,83 = 8,49 \text{ м.}$$

– для розрахунку гальмівного шляху на вкатуваному сніжному покритті для автомобілів сегменту А за температури навколишнього повітря  $-15^\circ \text{C}$ :

$$S_z = (40 - 1,8 \cdot 0,05 \cdot 2,83)^2 / 25,92 \cdot 2,83 = 21,5 \text{ м.}$$

Аналогічно розраховуємо гальмівний шлях для інших сегментів автомобілів, використовуючи експериментально отримане значення усталеного сповільнення, та спів ставляємо із експериментально отриманим значенням гальмівного шляху. Також проводимо розрахунок на основі стандартної методики на підставі табличного значення  $j_{уст}$ , результати заносимо в табл. 3.8

Таблиця 3.8 – Результатів визначення гальмівного шляху автомобілів різних сегментів на підставі експериментів і стандартної методики розрахунку

| Покриття                         | Гальмівний шлях, м                                   |              |      |              |       |              |      |              |      |              |       |
|----------------------------------|------------------------------------------------------|--------------|------|--------------|-------|--------------|------|--------------|------|--------------|-------|
|                                  | Розрахований<br>згідно до<br>стандартної<br>методики | Сегмент<br>А |      | Сегмент<br>В |       | Сегмент<br>С |      | Сегмент<br>Е |      | Сегмент<br>М |       |
|                                  |                                                      | експ.        | роз. | експ.        | роз.  | експ.        | роз. | експ.        | роз. | експ.        | роз.  |
| Сухий асфаль-<br>тобетон, +15 °С | 8,26                                                 | 5,89         | 5,84 | 5,69         | 5,64  | 5,53         | 5,48 | 5,22         | 5,17 | 5,22         | 5,18  |
| Вологий асфа-<br>льтобетон, 0 °С | 12,04                                                | 8,51         | 8,49 | 8,33         | 8,27  | 8,22         | 8,14 | 7,92         | 8    | 7,9          | 7,93  |
| Вкатаний сніг,<br>-15 °С         | 21                                                   | 21,12        | 21,5 | 20,66        | 21,08 | 19,89        | 20,3 | 18,61        | 19   | 19,01        | 19,38 |

Співставлення результатів визначення гальмівного шляху показано на рисунку 3.20.

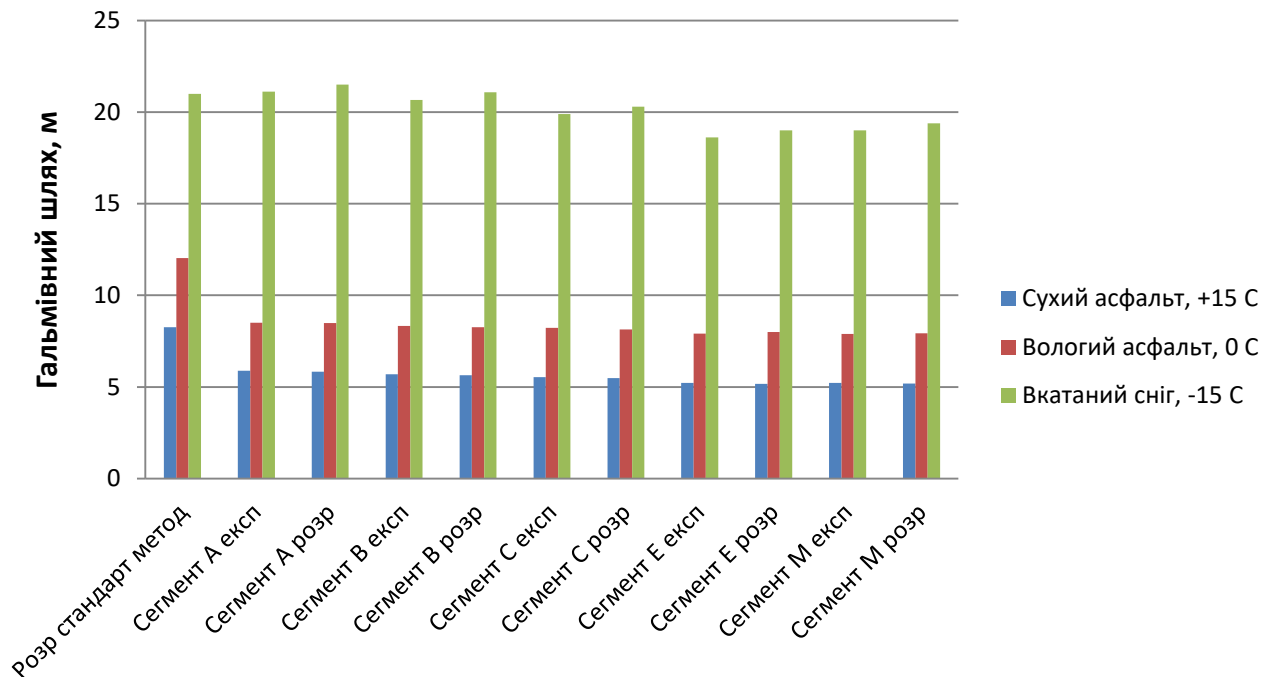


Рисунок 3.20 – Співставлення результатів визначення гальмівного шляху на підставі експериментів і стандартної методики розрахунку

Результати розрахунків показують про розбіжність значень гальмівного шляху, отриманого на підставі розрахунку за стандартною методикою і експериментальними даними в межах: для асфальтобетонного покриття 31–33%; для вологого асфальтобетону 29–32%; для вкатаного сніжного покриття - 0,6–0,8%. Максимальна похибка значень, отриманих в ході експериментів (галь-

мівний шлях визначений безпосередньо експериментально і на підставі експериментально отриманого значення усталеного сповільнення) склала менше 4%, що обґрунтовує адекватність отриманих результатів.

### 3.5 Висновки до розділу

Під час експериментальних досліджень сповільнення транспортних засобів категорії М1 було відзначено збіжність результатів сповільнення різних ТЗ із збільшеним навантаженням, а також визначено фактор, що характеризує безліч індивідуальних характеристик ТЗ таких як: розмірність коліс і шин, маси ТЗ, ширини колії і колісної бази, а градації даного фактора дозволяє розділити транспортні засоби по групах - сегментам.

У ході проведених випробувань із різним типом протектора ТЗ категорії М1 на сухому асфальтобетонному полотні при температурі повітря  $+15^{\circ}\text{C}$ ; на вологому асфальтобетонному полотні при температурі повітря  $+5^{\circ}\text{C}$ ; на укатаному сніговому полотні,  $>3$  сантиметрів, при температурі повітря  $-15^{\circ}\text{C}$  з використанням деселерометра моделі "LWS-2MC" були встановлені значення сповільнень під час екстреного гальмування.

Представлені графіки сповільнення аналізованих ТЗ в яких відображена як робота антиблокувальної системи, так і залежність сповільнення від пройденого шляху.

Результати, отримані при розрахунках ДТЗ при допомоги запропонованої методики оцінки, є відмінними від результатів, отриманих за стандартною методикою. У всіх випадках водії мали технічну можливість запобігти наїзду на пішохода і діяти з моменту виникнення небезпеки для руху відповідно до вимог Правил дорожнього руху України та вжити можливих заходів до зниження швидкості аж до зупинки транспортного засобу.

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **4.1 Техніка безпеки під час проведення дорожніх випробувань гальмівної системи**

Дотримання вимог техніки безпеки під час проведення дорожніх випробувань гальмівної системи автомобіля є абсолютно критичним для запобігання дорожньо-транспортним пригодам, травмуванню персоналу та пошкодженню транспортного засобу, оскільки випробування передбачають рух на високих швидкостях та інтенсивне гальмування.

По-перше, вимоги до місця проведення випробувань є першочерговими: випробування слід проводити на спеціально відведених закритих полігонах, випробувальних трасах або на малозавантажених ділянках доріг загального користування з обов'язковим забезпеченням належного огороження, попередження інших учасників руху та, у разі потреби, супроводу спеціальним автомобілем, обладнаним проблісковими маячками та знаками. Випробувальна ділянка повинна мати достатню довжину прямої ділянки для набору необхідної швидкості та забезпечення гарантованого запасу гальмівного шляху, її покриття має бути однорідним, сухим або відповідати умовам, передбаченим методикою випробувань (наприклад, спеціально змочене покриття). Категорично заборонено проводити випробування поблизу пішохідних переходів, шкіл, житлових масивів або в умовах поганої видимості [16].

По-друге, вимоги до підготовки автомобіля та обладнання передбачають ретельний попередній огляд: автомобіль повинен бути технічно справним, за винятком вузла, що випробовується, мати справне рульове керування та підвіску, а шини мають відповідати вимогам експлуатації та мати необхідний тиск; у салоні автомобіля, крім водія-випробувача, можуть знаходитися виключно необхідні фахівці (наприклад, інженер-вимірювач), при цьому всі

особи повинні бути пристебнуті справними ременями безпеки. Все вимірювальне обладнання (наприклад, акселерометри, системи GPS-вимірювання) повинно бути надійно закріплене і не заважати керуванню автомобілем та огляду дороги.

По-третє, вимоги до персоналу включають: допуск до випробувань лише кваліфікованих водіїв-випробувачів з відповідною категорією та досвідом проведення таких робіт, які пройшли медичний огляд та інструктаж з техніки безпеки; водій повинен чітко знати методику випробувань та послідовність дій у разі виникнення аварійної ситуації; наявність засобу зв'язку (рації або мобільного телефону) для оперативної координації з відповідальним за проведення випробувань.

По-четверте, вимоги до процесу випробувань включають: поступове нарощування швидкості та інтенсивності гальмування, починаючи з менш критичних режимів; фіксація всіх параметрів відповідно до протоколу випробувань; після кожного інтенсивного гальмування необхідно дати гальмівній системі час на охолодження, щоб уникнути перегріву, втрати ефективності (федінгу) та виходу з ладу; суворе дотримання інтервалів та дистанцій при групових випробуваннях; у разі виникнення будь-якої несправності, відхилення в роботі гальм (наприклад, занос, сильне биття, відмова) або непередбаченої ситуації, водій повинен негайно припинити випробування та повідомити керівника.

Нарешті, особливу увагу слід приділяти випробуванням на стійкість при гальмуванні та системам ABS/ESP, які можуть викликати неконтрольовані заноси, тому необхідна додаткова обережність та великий простір для маневру. Загальний принцип – безпека завжди має пріоритет над досягненням результатів випробувань.

## 4.2 Логіко-імітаційна модель виникнення травм чи аварій під час дорожніх випробувань гальмівної системи автомобіля

Логіко-імітаційна модель виникнення травм чи аварій під час дорожніх випробувань гальмівної системи автомобіля представляє собою послідовність умов та подій, які можуть призвести до небажаного результату. Модель будується на основі аналізу критичних відмов і порушень процедур, які є типовими для такого типу випробувань [6].

Модель використовує логічні оператори (І, АБО, НІ) для визначення сценаріїв, що ведуть до аварії (А) або травми (Т), де:

- А – Аварія (зіткнення, з'їзд з траси, перекидання).
- Т – Травма (ушкодження випробувачів або іншого персоналу).
- Нтб – Порушення техніки безпеки (наприклад, непристібнутий ремінь, незакріплене обладнання).
- Вкр – Критична відмова гальмівної системи (наприклад, повна відмова, заклинювання, фединг).
- Ндр – Несправність інших систем (наприклад, рульове керування, підвіска, шини).
- Пдо – Помилка водія-випробувача (наприклад, неправильна оцінка швидкості, запізнїла реакція, різкий маневр).
- Нтр – Невідповідність траси/полїгону вимогам (наприклад, слизьке покриття, наявність сторонніх об'єктів, недостатня зона гальмування).
- Нна – Наїзд на перешкоду або зіткнення з іншим транспортним засобом.
- Кдн – Втрата контролю над автомобілем (наприклад, неконтрольований занос при гальмуванні).
- Івиб – Інтенсивність випробувань перевищує межі безпеки.

Критичну відмову гальмівної системи Вкр можна описати виразом

$$Вкр = Впв \text{ АБО } Взак \text{ АБО } Вфед) \text{ І } (НІ \text{ Дрез}),$$

де Впв - повна відмова гальм (обрив магістралі, відмова підсилювача).

Взак - заклинювання коліс при гальмуванні (при відмові ABS).

Вфед - критичний фединг (втрата ефективності через перегрів).

Дрез - спрацювання резервної (стоянкової) гальмівної системи або екстрена реакція водія, яка запобігла аварії.

Втрату контролю над автомобілем можна описати виразом

$$Кдн = (Вкр \text{ АБО } Пдо \text{ АБО } Ндр) \text{ І } (Івиб \text{ АБО } Нтр).$$

Втрата контролю часто виникає при взаємодії відмови (наприклад, нерівномірне гальмування) або помилки водія з високою інтенсивністю випробувань або неякісною трасою.

Виникнення аварії (А) може бути змодельоване за допомогою наступного логічного виразу:

$$А = (Кдн \text{ АБО } Вкр \text{ АБО } Ндр \text{ АБО } Пдо) \text{ І } Нна.$$

Тобто аварія виникає, якщо відбулась втрата контролю над автомобілем, або критична відмова гальм, або несправність іншої системи, або помилка водія закінчується наїздом на перешкоду чи зіткненням.

Виникнення травми (Т) є наслідком аварії, але може бути посилене або спричинене порушенням техніки безпеки:

$$Т = (А \text{ І } Ні \text{ Бпас}) \text{ АБО } (Нтб),$$

де Бпас - спрацювання пасивних засобів безпеки (справні ремені безпеки, подушки).

Сценарій 1: Травма внаслідок аварії. Травма виникає, якщо сталася аварія і пасивні засоби безпеки не спрацювали або були порушені (наприклад, випробування без ременя безпеки).

Сценарій 2: Травма внаслідок порушення ТБ. Травма виникає незалежно від аварії через пряме порушення ТБ (наприклад, травма від незакріпленого обладнання, що відлетіло під час гальмування, або травма під час роботи під піднятим автомобілем).

Приймемо умовні значення для базового сценарію (виходячи з досвіду

випробувань на полігоні):

$R_{кр}$  (критична відмова гальм) = 0,005 (1 випадок на 200 випробувань).

$R_{др}$  (несправність інших систем) = 0,001 (1 випадок на 1000 випробувань).

$R_{до}$  (помилка водія) = 0,05 (1 випадок на 20 випробувань).

$R_{тр}$  (невідповідність траси) = 0,02 (2 випробування зі 100 на неідеальному покритті).

$R_{тб}$  (порушення ТБ, що призводить до травми) = 0,001 (наприклад, незакріплений предмет).

$R_{пас}$  (успіх пасивної безпеки у разі аварії) = 0,98.

Розрахунок ймовірності втрати контролю ( $K_{дн}$ )

Припустимо, що втрата контролю виникає, коли є критична подія ( $V_{кр}$  АБО  $H_{др}$  АБО  $P_{до}$ ) ТА є додатковий фактор ( $R_{тр}$ ). Це спрощення, оскільки всі ці фактори можуть призводити до  $K_{дн}$  окремо.

$$P(K_{дн}) \approx P(V_{кр}) + P(H_{др}) + P(P_{до}) = 0,005 + 0,001 + 0,05 = 0,056.$$

Тут ми використовуємо спрощення для малих ймовірностей:  $P(A \text{ АБО } B) \approx P(A) + P(B)$ .

Розрахунок ймовірності аварії ( $A$ )

Використовуємо спрощену формулу. Аварія – це виникнення критичної події (втрата контролю, відмова гальм, несправність чи помилка водія), яка призводить до наїзду на перешкоду. Припустимо, що ймовірність завершення критичної події аварією (наїздом  $H_{на}$ ) становить  $R_{на} = 0,8$  для  $K_{дн}$  та  $R_{на} = 0,5$  для інших подій на полігоні.

$$P(A) \approx P(K_{дн}) \times R_{на(для\ K_{дн})} + R_{др} \times R_{на} + \dots$$

$$P(A) \approx 0,056 \times 0,8 + 0,005 \times 0,5 + 0,001 \times 0,5 = 0,0478.$$

Ймовірність аварії в одному випробуванні становить приблизно 4.78%.

Розрахунок ймовірності травми ( $T$ ).

Травма виникає: 1) унаслідок аварії  $I$  при відмові пасивної безпеки ( $1 - R_{пас}$ ). 2) незалежно від аварії через порушення ТБ ( $R_{тб}$ ).

$$P(T) = (P(A) \times (1 - P_{\text{пас}})) + P_{\text{тб}}.$$

$$P(T) = 0,0478 \times (1 - 0,98) + 0,001 = 0,001956.$$

Розрахунок демонструє, що основний ризик аварії (4.78%) у цьому сценарії зумовлений переважно помилкою водія ( $P_{\text{до}} = 0,05$ ) та подальшою втраченою контролю. Ймовірність травми залишається відносно низькою (0,20%) завдяки високій ефективності пасивної безпеки ( $P_{\text{пас}}=0,98$ ).

#### 4.3 Вимоги безпеки під час обслуговування гальмівної системи

Під час роботи слід користуватися тільки справним інструментом, передбаченим технологічною картою [16].

При роботі зі слюсарним інструментом забороняється користуватися трубою для подовження важеля при затиску деталі в лещатах.

При роботі з електроінструментом заборонено:

- користуватися приладом у вибухо-пожежонебезпечному середовищі: при наявності газів, легкозаймистих і горючих рідин.
- допускати сторонніх осіб до місця проведення робіт.
- проводити роботи стані будь-якого виду сп'яніння, а також під впливом препаратів, які притуплюють увагу і швидкість реакції.
- використовувати електроінструмент з несправним вимикачем.
- використовувати інструмент і комплектуючі, які не рекомендовані виробником даного електроінструменту.
- включати електроінструмент під час перенесення (переміщення).
- використовувати мережевий шнур для перенесення електроінструменту і вилучення вилки з розетки.
- залишати електроінструмент без нагляду.
- вилки напругою 12 і 42 В не повинні підходити до розеток 127 і 220 В. Штепсельні розетки напругою 12 і 42 В повинні відрізнятися від розеток мережі 127 і 220.

При роботі з пневмоінструментом персонал зобов'язаний:

- підключити гнучкі трубопроводи пневмоінструменту до трубопроводів стисненого повітря тільки через вентилі, встановлені на розподільних ко-робках або відводах від магістралі;
- подавати повітря тільки після установки інструменту в робоче положення;
- стежити, щоб не було витoku повітря в місцях приєднання гнучкого трубопроводу;
- при роботі з важким пневмоінструментами підвішувати його на спеціальні підвіски;
- вжити заходів для попередження попадання гнучкого трубопроводу під ріжучу частину інструментів;
- при припиненні подачі повітря або тимчасовій перерві в роботі перекрити вентиль повітряної магістралі і вийняти вставний інструмент, а на свердлильних машинах перевести пускову муфту в неробочий стан;
- при тривалих перервах пневмоінструмент укласти в спеціально призначене місце;
- при появі вібрації, викликаній роботою пневмоінструменту, застосовувати гумові підставки;
- в разі зриву гнучкого трубопроводу негайно вимкнути подачу стисненого повітря.

При роботі з пневмоінструментом забороняється:

- приєднувати повітряний шланг до пневмоінструменту при відкритому крані повітряної магістралі;
- гальмувати обертовий шпindel натиском на нього яким-небудь предметом або руками;
- використовувати масу тіла для створення додаткового тиску на інструмент;
- працювати у необгороджених або незакритих постах,

- працювати з переносних драбин та незакріплених підставок;
- самостійно усувати несправності пневматичного інструмент (необхідно здавати його в ремонт);
- переносити його, тримаючи за шланг;
- залишати без нагляду, піддавати його ударам;
- застосовувати підкладки при наявності люфту у втулці;
- тримати за вставною інструмент;
- тримати руки поблизу обертового інструменту;
- припиняти подачу стисненого повітря перекручуванням і перегинанням шланга.

- користуватися погнутими оправками, шпинделями і шпильками, а також забитими шайбами;

Забороняється при ремонті гальмівної системи автомобіля:

- допускати підтікання палива або масла з агрегатів автомобіля. Проливе паливо або масло необхідно відразу ж прибрати за допомогою піску або тирси.

- миття знятих агрегатів і деталей автомобіля слід проводити в строго встановленому місці.

- забруднену паливно-мастильними матеріалами спеціальний одяг слід своєчасно здавати в хімчистку (прання).

- працювати в одязі, облитим паливом;
- підходити до відкритого вогню, курити і запалювати сірники, якщо руки і одяг облитий паливом.

#### **4.4 Висновки до розділу**

Суворе дотримання вимог техніки безпеки та проведене логіко-імітаційне моделювання сприятимуть зменшення ризиків аварій і травм під час дорожніх випробувань гальмівної системи автомобіля.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Певна проблематика, в результаті аналізу ДТП, а саме мінімально-достатньої кількості інформації, що передається експерту для підготовки експертного висновки, дозволила на підставі проведених досліджень усталеного сповільнення 10 легкових транспортних засобів категорії М1, при різних погодно-кліматичних умовах, з врахуванням експлуатації літніх і зимових шин, розробити методику оцінки сповільнення ТЗ категорії М1, що враховує ряд індивідуальних характеристик, властивих конкретному сегменту ТЗ.

На підставі проведених експериментальних досліджень сповільнення визначено фактор - «Сегмент ТЗ», що належним чином характеризує розмірність шин, що змінюється відповідно до класифікації, застосовуваної Європейської економічною комісією. Отримані в ході експериментальних досліджень графіки сповільнення для різних погодно-кліматичних умов і ступеня завантаження автомобіля.

Підтверджено відмінність значень усталеного сповільнення ТЗ категорії М1 різних характеристик, відповідно з встановленим різним типорозміром шин та різною масою ТЗ, що суперечить існуючим та застосовуваним методам розрахунку.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барабанов В. І. Автомобільні гальмівні системи : навч. посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2010. 256 с.
2. Бурєнніков Ю.А., Кашканов А.А., Ребедайко В.М. Рухомий склад автомобільного транспорту : робочі процеси та елементи розрахунку. Навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2009. 267 с.
3. Волков В.П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля: навчальний посібник. Харків: ХНАДУ, 2004. 320 с.
4. Гліненко Л. К., Сухонос О. Г. Основи моделювання технічних систем: навчальний посібник. Львів: Вид-во «Бескид Біт», 2003. 176 с.
5. Городецький І.М., Тимочко В.О., Мазур І.Б. Аналіз динаміки причин дорожньо-транспортних пригод і прогнозування небезпечних подій. Вісник Львівського національного аграрного університету: Агроінженерні дослідження. Львів, 2021. № 25. С.182-188.
6. Городецький І., Тимочко В., Мазур І. та ін. Аналіз стану виробничого травматизму, як передумова управління процесами формування небезпечних подій. Вісник Львівського НУП. Серія Агроінж. дослідження, Львів, 2024. № 28. С.127–137.
7. ДСТУ 3649:2010. Автомобілі. Методи випробувань гальмівних систем. Київ : Держспоживстандарт України, 2010. 35 с.
8. Качмар Р., Луців А. Дослідження впливу експлуатаційних чинників на ефективність гальмівної системи автомобіля. Сучасні тенденції розвитку освіти й науки : проблеми та перспективи. Зб. Наук. Праць. Вип. 4. Том 2. Київ, 2019. С. 265-269.
9. Кашканов А.А. Грісюк О.Г. Безпека руху автомобільного транспорту: навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2005. 177 с.
10. Кашканов А.А. Оцінка експлуатаційних гальмових властивостей автомобілів в умовах неточності вихідних даних. Монографія. Вінниця: ВНТУ, 2010. 146 с.

11. Кислий В.М. Організація наукових досліджень: навчальний посібник. Суми: Університетська книга, 2011. 224 с.
12. Клименко В.І., Клименко В.І., Давиденко І.А., Сараєв О.В. Дослідження впливу антиблокувальної системи на ефективність гальмування легкового автомобіля. *Автомобільний транспорт*. 2011. Вип. 29. С. 245-249.
13. Кравчук П. М., Нілов Р. Ю., Бабін Ю. В. Нормування гальмівних властивостей КТЗ в Україні. *Автошляховик України*. 2014. №2. С.8-10.
14. Кульбашна Н. І. Безпека руху та гальмівні системи. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. 118 с.
15. Підгородецький Я.І., Сичевський М.І., Домінік А.М. Автомобільні транспортні засоби. Львів: Видавництво ЛДУ БЖД, 2013. 316 с.
16. Пістун І. П., Березовецький А. П., Городецький І. М. Охорона праці на автомобільному транспорті: навч. посібн. Львів: Тріада плюс, 2009. 320 с.
17. Ребедайло В.М., Кашканов В.А. Експертиза дорожньо-транспортних пригод. Вінниця: ВНТУ, 2012. 157 с.
18. Сараєв О., Сараєва І., Данець С., Козлов О. Експериментальна оцінка гальмівної ефективності транспортного засобу з урахуванням впливу застосованих колісних шин. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, 2023. 23. С. 36–42.
19. Сирота В.І., Сахно В.П. Автомобілі. Основи конструкції, теорія: навчальний посібник. Київ: Арістей, 2007. 288 с.
20. Туренко А.М., Сараєв О.В. Оцінка ефективності гальмування транспортного засобу в структурі дослідження дорожньо-транспортної пригоди. Харків: ХНАДУ, 2015. 364 с.
21. Прилад LWS-2MC. URL: <https://unimetal.com.ua/product/pribor-unimetal-lws-2-mc/> (Дата звернення 03.09.2025 р.)
22. Статистика ДТП в Україні. URL: <https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/> (Дата звернення 03.09.2025 р.)
23. Kosaki S., Ejiri A., Oya M. Development of driver braking control model based on ride comfort index. *Artificial Life and Robotics*. 2021. 26(3). 347-353.