

**МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА**

**МР.АТ-81.00.00.000 ПЗ**

**Група АТм-24-2**

**Лаврів Максим  
2025**

Івано-Франківський національний технічний університет  
нафти і газу Міністерства освіти і науки України  
Інститут інженерної механіки та робототехніки  
Кафедра автомобільного транспорту

Лаврів Максим Михайлович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 658.818.3  
(індекс)

## МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

**Тема: Дослідження взаємозв'язку між геометрією шин і динамічною стабільністю та комфортом під час руху автомобіля**  
(назва роботи)

Автомобільний транспорт  
(назва освітньої програми)

274-Автомобільний транспорт  
(шифр і назва спеціальності)

М.М. Лаврів  
(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Гнип Марія Михайлівна, д.ф., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

**Допущено до захисту**

Завідувач кафедри

Криштопа С.І.  
(підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Рецензент

\_\_\_\_\_  
(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Інститут інженерної механіки та робототехніки

Кафедра автомобільного транспорту

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Спеціальність: 274“Автомобільний транспорт”

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри АТ

Проф. \_\_\_\_\_ С.І. Криштопа

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2025 р.

## ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

Студенту \_\_\_\_\_ Лавріву Максиму Михайловичу  
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи: Дослідження взаємозв'язку між геометрією шин і динамічною стабільністю та комфортом під час руху автомобіля

керівник роботи \_\_\_\_\_ Гніп М.М., д.ф., доцент  
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ \_\_\_ ” листопада 2025 року № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом роботи \_\_\_\_\_ 18.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

Вступ. 4.1 Огляд наукової літератури та експериментальних досліджень 4.1.1 Загальна інформація про шини, характеристики та маркування 4.1.2 Загальна інформація про ободи та концепцію колеса 4.1.3 Зчеплення шини з дорогою 4.1.4 Вибір ширини шини за різними параметрами 4.1.5 Основні сили, що діють на шину 4.1.6 Маркування шин 4.2 Комп'ютерне моделювання руху автомобіля за допомогою програми adams car 4.2.1 Маневр гальмування на прямій 4.2.2 Маневр під час гальмування в повороті 4.3 Експериментальні дослідження автомобільної динаміки 4.3.1 Експериментальне дослідження поздовжнього прискорення при прямолінійному гальмуванні від 100 до 0 км/год 4.3.2 Експериментальне дослідження вимірювання шуму шин під час руху по різних поверхнях 4.3.3 Вимірювання вертикальних коливань під час руху по різних поверхнях - експериментальне дослідження 4.4 Вимоги техніки безпеки під час шиномонтажних робіт 4.5 Висновки. 4.6 Перелік посилань на джерела. 4.7 Додатки .

5. Перелік графічного матеріалу

5.1 презентаційні плакати в PowerPoint.

Консультанти по магістерській роботі із зазначенням розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Нормоконтроль	доц. Прунько І.Б.		

7. Дата видачі завдання 03.11.2025 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ. 4.1 Огляд наукової літератури та експериментальних досліджень 4.1.1 Загальна інформація про шини, характеристики та маркування 4.1.2 Загальна інформація про ободи та концепцію колеса 4.1.3 Зчеплення шини з дорогою	17.11.2025 р.	
2	4.1.4 Вибір ширини шини за різними параметрами 4.1.5 Основні сили, що діють на шину 4.1.6 Маркування шин	21.11.2025 р.	
3	4.2 Комп'ютерне моделювання руху автомобіля за допомогою програми adams car 4.2.1 Маневр гальмування на прямій 4.2.2 Маневр під час гальмування в повороті	22.11.2025 р.	
4	4.3 Експериментальні дослідження автомобільної динаміки 4.3.1 Експериментальне дослідження поздовжнього прискорення при прямолінійному гальмуванні від 100 до 0 км/год 4.3.2 Експериментальне дослідження вимірювання шуму шин під час руху по різних поверхнях	29.11.2025 р.	
5	4.3.3 Вимірювання вертикальних коливань під час руху по різних поверхнях - експериментальне дослідження	12.12.2025 р.	
6	4.4 Вимоги техніки безпеки під час шиномонтажних робіт 4.5 Висновки. 4.6 Перелік посилань на джерела. 4.7 Додатки	18.12.2025 р.	
7	Готовність роботи до попереднього захисту.	18.12.2025 р.	

Студент \_\_\_\_\_  
(Особистий підпис)

Лаврів М. М.  
(Розшифровка підпису)

Керівник \_\_\_\_\_  
(Особистий підпис)

Гнип М.М.  
(Розшифровка підпису)

## АНОТАЦІЯ

У випускній магістерській роботі розглядається вплив шин з різною геометрією на характеристики безпеки та комфорту автомобіля.

Розглянуто структуру шини, які сили діють на шину, які явища відбуваються в шині під впливом сил, які дослідження та експерименти проводилися при виборі різних параметрів геометрії шин, чому виробники пропонують диски з різними параметрами геометрії та адаптовані до них шини, за якими факторами покупець може вибрати шини та що регламентується для продавців.

Комп'ютерне моделювання проводилося за допомогою програми MSC Adams Car, підбираючи шини з різною геометрією, що описуються однією математичною моделлю, виконуючи гальмування на прямій, повороти, гальмування під час повороту, подвійну зміну смуги руху та маневри повороту при постійному радіусі повороту.

Були проведені експериментальні дослідження, під час яких вимірювалися прискорення автомобіля під час гальмування від 100 до 0 км/год за допомогою приладу XL Meter після встановлення шин з різною геометрією. Дослідження шуму та вертикальних коливань автомобіля проводилися при русі шин з різною геометрією по чотирьох різних дорожніх покриттях. Наприкінці роботи було сформульовано висновки, що відповідають гіпотезі та робочим завданням. Робота складається з 7 частин: вступ, огляд наукової літератури та експериментальних досліджень, комп'ютерне моделювання, експериментальні дослідження, висновки, бібліографія, список ілюстрацій та таблиць. Обсяг роботи становить 58 стор. тексту без додатків, 53 ілюстрації, 10 таблиць, 21 бібліографічне та 11 інтерактивних джерел.

*Ключові слова: геометрія шини, площа контакту шини, ширина шини, висота шини, зчеплення між шиною та дорогою, гальмування шини.*

## **ABSTRACT**

The final master's thesis examines the influence of tires with different geometries on the safety and comfort characteristics of a car.

The structure of the tire is considered, what forces act on the tire, what phenomena occur in the tire under the influence of forces, what research and experiments were conducted when choosing different tire geometry parameters, why manufacturers offer wheels with different geometry parameters and tires adapted to them, what factors the buyer can use to choose tires and what is regulated for sellers.

Computer modeling was carried out using the MSC Adams Car program, selecting tires with different geometries described by one mathematical model, performing braking on a straight line, turns, braking during a turn, double lane changes and turning maneuvers at a constant turning radius.

Experimental studies were conducted, during which the acceleration of the car during braking from 100 to 0 km/h was measured using the XL Meter device after installing tires with different geometries. Studies of noise and vertical vibrations of a car were carried out when tires with different geometries were driven on four different road surfaces. At the end of the work, conclusions were formulated that correspond to the hypothesis and work tasks. The work consists of 7 parts: introduction, review of scientific literature and experimental studies, computer modeling, experimental studies, conclusions, bibliography, list of illustrations and tables. The volume of the work is 58 pages. text without appendices, 53 illustrations, 10 tables, 21 bibliographic and 11 interactive sources.

Keywords: tire geometry, tire contact area, tire width, tire height, tire-road adhesion, tire braking.

ЗМІСТ	С.
ВСТУП.....	5
1 ОГЛЯД НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	9
1.1 Загальна інформація про шини, характеристики та маркування .....	9
1.2 Загальна інформація про ободи та концепцію колеса .....	11
1.3 Зчеплення шини з дорогою .....	12
1.4 Вибір ширини шини за різними параметрами .....	21
1.5 Основні сили, що діють на шину .....	16
1.6 Маркування шин.....	21
2 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ АВТОМОБІЛЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМИ ADAMS CAR .....	26
2.1 Маневр гальмування на прямій .....	27
2.2 Маневр під час гальмування в повороті .....	31
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДИНАМІКИ .....	35
3.1 Експериментальне дослідження поздовжнього прискорення при прямолінійному гальмуванні від 100 до 0 км/год .....	37
3.2 Експериментальне дослідження вимірювання шуму шин під час руху по різних поверхнях .....	43
3.3 Вимірювання вертикальних коливань під час руху по різних поверхнях - експериментальне дослідження .....	45
4 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ШИНОМОНТАЖНИХ РОБІТ .....	48
ВИСНОВКИ.....	51
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....	53
ДОДАТКИ .....	54

					<b>MP.ATm-81.00.00.000 ПЗ</b>			
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Лаврів М.М.			Дослідження взаємозв'язку між геометрією шин і динамічною стабільністю та комфортом під час руху автомобіля	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Гнип М.М.					<b>6</b>	
Реценз.						ІФНТУНГ, АТМ-24-2		
Н. контр.		Прунько І.Б.						
Затверд.		Криштопа С.І.						

## ВСТУП

**Актуальність.** Шина має найбільший вплив на зчеплення автомобіля з дорожнім покриттям, оскільки це єдиний елемент, який має контакт між дорожнім покриттям та автомобілем. Для покращення зчеплення шини виготовляються з різних сумішей матеріалів, з різними малюнками протектора, різною м'якістю або різними типами шин. Було проведено багато досліджень щодо складу шини, роботи систем безпеки автомобіля тощо, але бракує практичних досліджень, які б відповіли на питання, який вплив має регулювання геометрії шин.

**Мета роботи** - Визначити чи забезпечують ширші шини автомобілю більшу стійкість у поворотах та кращі гальмівні властивості порівняно з вузькими шинами, і яка різниця відчувається в комфорті водія та пасажирів.

### **Завдання дослідження:**

- Проаналізувати вплив параметрів геометрії шин на теоретичні характеристики, які вони генерують.
- Проаналізувати тенденції виробників автомобілів щодо встановлення коліс різних розмірів для однієї моделі та вплив цих тенденцій на стійкість та комфорт руху.
- Провести дослідження теоретичних математичних моделей шин та комп'ютерного моделювання руху автомобіля під час запланованих маневрів.
- Провести експериментальні дослідження ефективності гальмування автомобіля з шинами різних розмірів.
- Сформулювати висновки роботи та оцінити рівень комфорту водіння, що визначається шинами різних розмірів.

**Об'єкт дослідження** - Процес руху автомобіля та його динамічна поведінка під час взаємодії з дорогою.

**Предмет дослідження** – Вплив геометричних параметрів шин на показники динамічної стабільності автомобіля та комфорт руху.

					MP.AT-81.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Практичне значення

Практичне значення дослідження полягає в можливості використання отриманих результатів для:

- оптимізації геометричних параметрів шин з метою підвищення динамічної стабільності автомобіля та рівня комфорту під час руху;
- підвищення безпеки дорожнього руху за рахунок покращення керованості, зменшення ризику заносу та втрати зчеплення з дорогою;
- удосконалення процесів проектування та вибору шин для різних типів транспортних засобів і умов експлуатації;
- зниження рівня вібрацій і шуму, що позитивно впливає на комфорт водія та пасажирів;

**Наукова новизна** встановлено кількісні залежності між геометричними параметрами шин та показниками динамічної стабільності й комфорту руху автомобіля.

**Методи дослідження.** У роботі використано методи аналізу науково-технічної інформації, моделювання, теоретичні та експериментальні дослідження.

**Особистий внесок автора.** Проведено аналіз наукових публікацій та сучасних підходів щодо впливу геометрії шин на динамічну стабільність і комфорт руху автомобіля, сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, виконано експериментальні дослідження впливу геометрії шин на показники стабільності та плавності ходу, сформульовано висновки та практичні рекомендації щодо вибору й оптимізації геометричних параметрів шин.

					MP.AT-81.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 ОГЛЯД НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 1.1 Загальна інформація про шини, характеристики та маркування

Основна функція пневматичної шини полягає в передачі сил між дорогою та транспортним засобом. Шини потрібні для створення необхідних сил, що контролюють автомобіль, тому вони є одним з найважливіших компонентів транспортного засобу. На рисунку 1.1 показано компоненти шини.



Рисунок 1.1 - Компоненти шин

Шини повинні мати маркування на боковині. Це інформація, яка відображає основні характеристики шини (Рисунок 1.2а). Найважливішою інформацією, що надається на боковині шини, є розміри шини (у цьому випадку 195/65R15). Середня маса шини для легкових автомобілів становить 10–12 кг. На рисунку 2b показано поперечний переріз шини, встановленої на обід, з основними параметрами. Висота шини  $h_T$  це число, яке додається до діаметра обода для отримання діаметра колеса. Ширина шини  $w_T$  це найширша частина колеса, коли на колесо немає навантаження [1].

					MP.AT-81.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

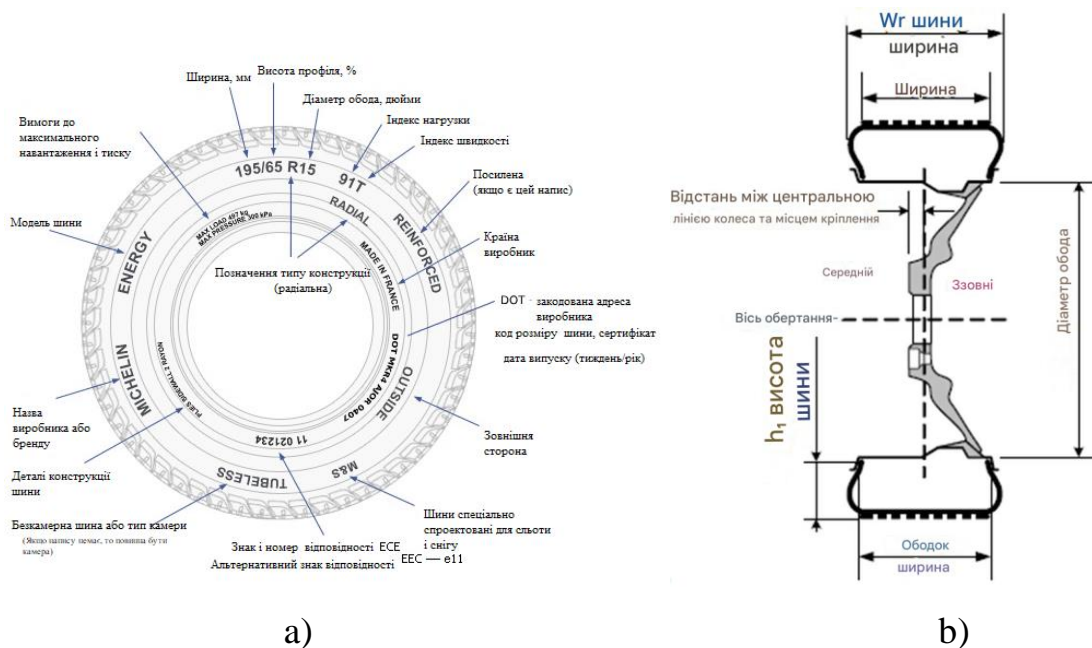


Рисунок 1.2 - а) Інформація на боковині шини, що показує характеристики шини (diski.in.ua/ua/articles); б) Поперечний переріз обода з основними розмірами [1],

Ширина шини вимірюється в міліметрах, а позначення висоти шини – це відношення ширини до висоти. На рисунку 2 висота шини позначена співвідношенням 0,65, тому висота шини становить [1]:

$$h_T = w_T \cdot 0,55 = 195 \cdot 0,55 = 107,25 \text{ мм};$$

Розміри шини залежать від обода, на який встановлена шина. Для шин зі співвідношенням сторін 50 і вище ширина обода в середньому становить 70% від ширини шини, округляючи до найближчих 0,5 дюйма. Як приклад, для шин P255/50R16 вибрано обод 7×16.

У виробництві шин та дисків переважає метод проектування «Plus 1» (+1), коли передбачається, що при збільшенні діаметра диска на 1 дюйм ширину шини необхідно збільшити на 20 мм, а висота шини відповідно зменшиться (рис. 1.3). Використання шини з нижчим профілем забезпечує кращий розгін, гальмування, швидше обертання коліс та більшу поперечну стійкість, але ТЗ стає «жорсткішим», а витрата палива зростає. Однак дуже важливо не забувати про розвал-сходження шин та дисків, оскільки це може

знизити стійкість, оскільки частина шини може втратити вантажопідйомність та зчеплення з дорожнім покриттям при поворотах [3].



a)

b)



c)

Рисунок 1.3 - Різні розміри шин при збереженні однакового зовнішнього діаметра: а) концепція «Плюс 1», застосована до шин різних розмірів [1]; б) пропозиція різних розмірів коліс для конкретного автомобіля ([auto.ria.com/uk/newauto...](http://auto.ria.com/uk/newauto...)); в) приклади різних розмірів коліс (<https://1ca.com.ua/velyki-dysky-ta-shyny...>)

Шина – це інженерний виріб, який удосконалювався з часом, виготовлений з гуми та низки синтетичних матеріалів, сплавлених разом. Текстильні шви та сталеві корди – це компоненти, які підтримують форму шини та запобігають розшаруванню її частин під час використання.

## 1.2. Загальна інформація про ободи та концепцію колеса.

Коли шину встановлено на обід і накачано, цей вузол називається колесом. Обід – це циліндрична металева деталь, на яку кріпиться шина. Більшість легкових автомобілів мають сталеві ободи, які виготовляються

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

MP.AT-81.00.00.000 ПЗ

Арк.

11

шляхом зварювання диска та каркаса, але ободи з алюмінієвих та магнієвих сплавів стають дедалі популярнішими [1].

Після встановлення шини на обід, дуже важливими стають ширина обідка та відстань між центральною лінією колеса та місцем кріплення (далі – зсув). Зсув вказує на зазор між центральною лінією колеса та місцем кріплення. Зсув змінює ширину колії для всієї ТР, але не змінює властивостей шини. Ширина обідка впливає на форму шини (збільшуючи товщину обідка на 12,7 мм, шина розширюється в середньому на 5 мм). Отже, комбінуючи розміри обідків та шин, можна регулювати комфорт та керованість. Тому ETRTO (Європейська технічна організація з шин та обідків) має стандартизовані допуски при виборі складів шин та ободів. Ці допуски дуже великі порівняно з допусками, прийнятими в моторному відсіку, але ETRTO зазначила, що дотримання допусків забезпечує безпеку, стабільність тиску в шинах та якість монтажу [2].

### 1.3 Зчеплення шини з дорогою

Пляма контакту шини – це площа контакту між шиною та дорожнім покриттям. Розмір плями контакту залежить від геометрії та конструкції шини, тиску повітря та навантаження на колесо (Рисунок 1.4а) [4]. Це поєднання протектора, ламелей та інших компонентів шини, які забезпечують зчеплення з дорожнім покриттям. Ця пляма деформується та намагається забезпечити безпечну та комфортну їзду залежно від дорожнього покриття, стилю водіння та вищезгаданих властивостей шини.

Зчеплення шини з дорогою можна покращити, збільшивши пляму контакту [5]. Збільшена пляма контакту має більшу площу поверхні, що значно збільшує силу зчеплення. Теоретично, збільшення розміру шини повинно збільшити як пляму контакту, так і силу зчеплення. Насправді, зміна розмірів шини, при цьому зберігаючи постійний тиск повітря та масу автомобіля, не змінить пляму контакту. Перехід від високопрофільної вузької

					MP.AT-81.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

шини до низькопрофільної широкої шини просто змінює форму плями контакту (рис. 1.4б), а розмір плями контакту залишається постійним (Mattson [6]).

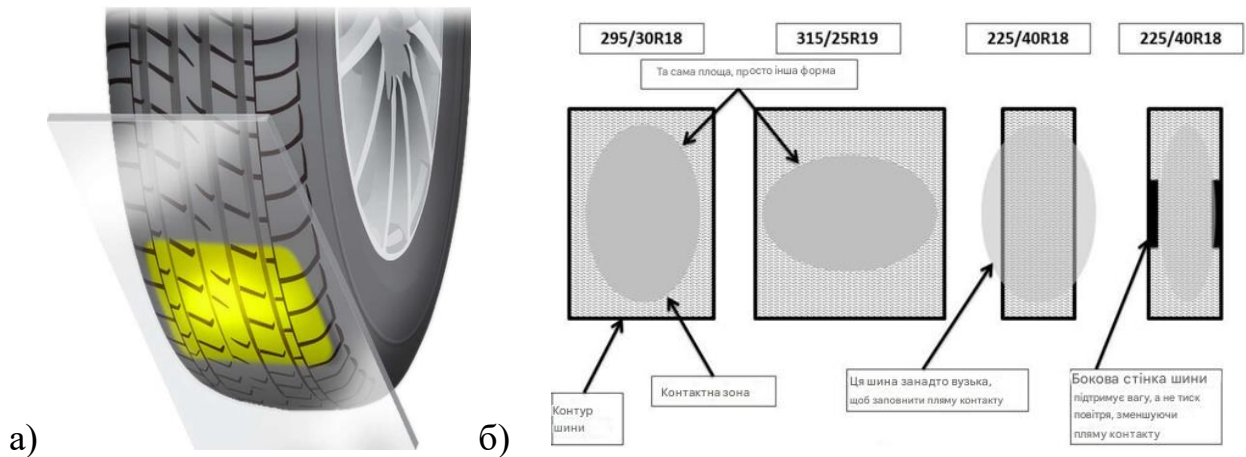


Рисунок 1.4. а) Площа контакту шини з дорожнім покриттям (17to40.co.uk/the-tire...); б) залежність площі контакту шини від геометрії шини (6speedonline.com/forums/996-turbo...);

Але чому ширші шини, здається, мають краще зчеплення? На це питання може відповісти Деріл Гарнер. Краще зчеплення пов'язане не з плямою контакту, а з використанням іншого складу шин. Ширші шини вимагають менш жорсткої конструкції через деформацію боковини шини. Крім того, м'якші шини мають кращий коефіцієнт зчеплення. Якби вузькі високопрофільні шини виготовлялися з м'якого складу, вони не були б достатньо міцними та зношувалися б набагато швидше, тому вузькі шини виготовляються з твердішого складу. Оскільки вони твердіші, їхній коефіцієнт зчеплення нижчий, а сила зчеплення нижча. Загалом, пляма контакту вузьких або широких шин однакова, відрізняється лише склад гуми, а завдяки нижчому профілю поздовжній крен автомобіля з широкими шинами значно менший, що покращує властивості проходження поворотів [7].

Широка шина має меншу довжину плями контакту, ніж вузька. Вважається, що для однакової довжини плями контакту та однакового тиску в шинах пляма контакту має бути однаковою на обох шинах. Таким чином, ширша пляма контакту викликає більшу бічну силу, ніж вузька пляма контакту, при однаковому навантаженні та пробуксовці. Тому можна стверджувати, що характеристики шини та сила зчеплення з дорогою зменшуються зі збільшенням швидкості однаково як для вузьких, так і для широких шин [1].

Передні шини з меншою жорсткістю демонструють більшу керованість, меншу стійкість та більший знос. Задні шини з меншою жорсткістю зменшують зчеплення задньої осі, але пляма контакту стає більш керованою та стабільною.

І. Дж. М. Бесселінк та ін. у своїй вдосконаленій моделі шин Magic Formula/Swift, яка розділяла різницю тиску між заданими шинами, виявили, що розміри плями контакту необхідні для розрахунку обхвату та відриву шини від дороги в моделі. Їх можна розрахувати за формулами, де  $a$  – довжина контакту,  $b$  – ширина контакту [8].

$$a = R_0 \left( q_{ra2} \frac{F_z}{c_z R_0} + q_{ra1} \sqrt{\frac{F_z}{c_z R_0}} \right) \approx R_0 \left( q_{ra} \frac{\rho}{R_0} + q_{ra} \sqrt{\frac{\rho}{R_0}} \right), \quad 1.1$$

$$b = \omega \left( q_{rb2} \frac{F_z}{c_z R_0} + q_{rb1} \left( \frac{F_z}{c_z R_0} \right)^{\frac{1}{3}} \right) \approx \omega \left( q_{rb2} \frac{\rho}{R_0} + q_{rb} \left( \sqrt{\frac{\rho}{R_0}} \right)^{\frac{1}{3}} \right), \quad 1.2$$

де:  $\omega$  – номінальна ширина шини (м);  $\rho$  – збій тиску в шинах;  $R_0$  – вільний радіус шини (м);  $F_z$  – вертикальна сила, що діє на шину (Н);  $c_z$  – вертикальна жорсткість шини (Н/м);  $q_{ra2}$ ;  $q_{ra1}$ ;  $q_{rb2}$ ;  $q_{rb}$  – швидкість точки та конкретного краю шини у поздовжньому та поперечному напрямках відповідно (м/с).

					MP.AT-81.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 1.4. Вибір ширини шини за різними параметрами

Оскільки діаметр шини опосередковано розраховується з ширини та висоти шини, це ускладнює виробництво концептуальних шин, оскільки різної ширини шин можна досягти, регулюючи зміщення обода. А виробники концептуальних шин зазвичай пропонують ободи трьох різних діаметрів, під які підлаштовується ширина шини. Однак, згідно з тенденцією останніх десятиліть, видно, що виробники, щоб залучити нових клієнтів та утримати існуючих, вносять удосконалення в шини, такі як збільшення ширини шини, збільшення діаметра обода та збільшення арок для розміщення більших коліс [2]. Щоб уникнути перекалібрування спідометра або розширення арок, обід автомобіля можна збільшити, зменшивши висоту шини та таким чином зберігаючи подібний загальний діаметр колеса [9].

Статистично, найчастіше вибране навантаження на шини становить 65% від максимального навантаження. Важливо не забувати, що додаткова маса збільшує тиск у шинах і втрачає комфорт. Тому для вже виготовлених та вживаних шин тиск повітря можна зменшити, використовуючи ширші шини, більший діаметр коліс або менші диски.

Використання посиленних шин не може оптимізувати комфорт водіння та умови водіння, оскільки посилені шини використовуються в екстремальних видах спорту та не вимагають вищого тиску в шинах, хоча транспортні засоби набагато важчі.

Привабливі автомобілі часто мають великі диски, на які встановлюються шини мінімальної висоти. Для комфортної їзди висота шин повинна бути не менше 130 мм, а для спортивних автомобілів мінімальна висота – 95 мм. За додатковою згодою водія можна встановити шини висотою 85 мм.

Зовнішній діаметр шини безпосередньо пов'язаний з комфортом автомобіля. Чим більше діаметр колеса, тим комфортніше тим, хто сидить в машині, але також збільшується опір коченню, шум шин і продуктивність, тому діаметр колеса повинен бути суміщений з потужністю двигуна. У

					MP.AT-81.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

таблиці 2 наведено інформацію про те, як узгодити ширину шин із потужністю, що виробляється двигуном для передньопривідного автомобіля, а в таблиці 1.1 — повнопривідного автомобіля.

Таблиця 1.1 - Відповідність потужності передньопривідного двигуна ширині шини

Потужність ТЗ, кВт	40	50	65	80	100	130	155
Ширина шини, мм	145	155	165	175	185	195	205

Таблиця 1.2 - Відповідність потужності повнопривідного двигуна ширині шини

Потужність ТЗ, кВт	130	150	165	185	200	220	240	260
Ширина шини, мм	185	195	205	215	225	235	245	255

Відповідно до навантажень, що встановлюються виробником, більші або ширші шини демонструють більшу стійкість на поворотах. Цей ефект пояснюється внеском жорсткості рами в стійкість кутів. Як правило, більші шини мають вищу вантажопідйомність. У порівнянні з меншою шиною, більша шина матиме нижчий відсоток навантаження, ніж максимальна. У шинах однакового розміру, але різної ширини, ширша шина матиме жорсткіший каркас, що призводить до більшої жорсткості на поворотах [10].

### 1.5 Основні сили, що діють на шину

Основні показники колеса та сили і моменти, що діють на нього (рис. 1.6):

- Площина колеса – площина обертання колеса, в центрі якої знаходиться вісь обертання колеса.
- Центр колеса – точка перетину площини колеса та осі обертання.
- Центр контакту шини – точка перетину проекції площини колеса та осі обертання на площину дороги.

- Статичний радіус – відстань між центром контакту шини та віссю обертання.
- Поздовжня сила  $F_x$  - це сила, яка діє у напрямку руху ТЗ (x).
- Поперечна сила  $F_y$  – це сила, яка діє на шину в поперечному (y) напрямку.
- Сила вертикального навантаження (нормальна)  $F_z$  - це сила, яка діє на шину у вертикальному напрямку за рахунок маси шини і ТЗ і вертикальних динамічних навантажень.
- Момент скидання  $M_x$  - це момент сили, який намагається відновити положення шини по відношенню до дороги, тобто чинить опір перекиданню колеса.
- Момент опору коченню  $M_y$  - це момент сили, яка чинить опір коченню колеса.
- Момент випрямлення  $M_z$  – це момент сили, який намагається повернути шину в поздовжньому напрямку, тобто навколо вертикальної осі (z).
- Кут поперечного (діагонального кочення)  $\alpha$  - це кут між поздовжньою площиною колеса і напрямком вектора його руху.
- Кут нахилу  $\gamma$  - це кут нахилу коліс між площиною колеса і віссю z [10].

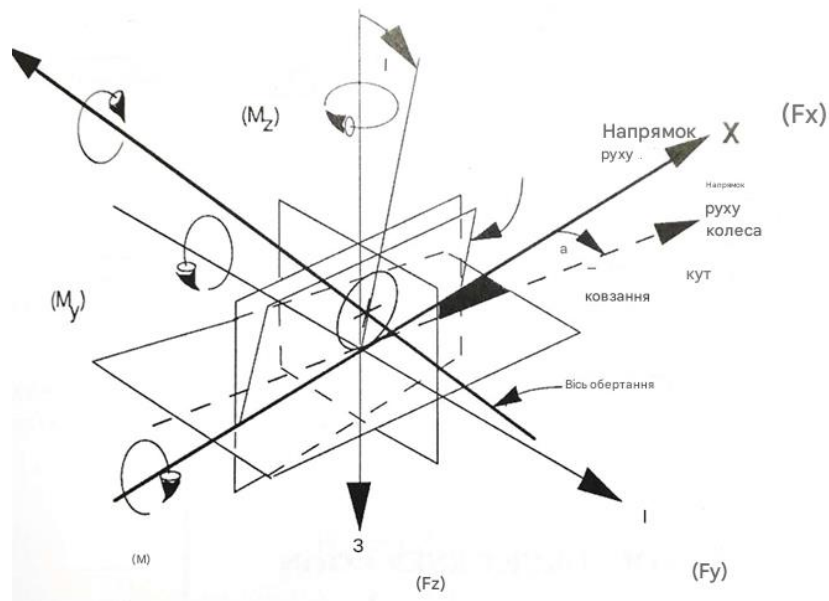


Рисунок 1.6 - Сили та моменти, що діють на колесо [10].

Вертикальну силу, що діє на шину  $F_z$ , можна розрахувати як лінійну функцію деформації шини  $\Delta z$  та коефіцієнта жорсткості шини  $k_z$ . Чим більша сила, що діє на шину, тим більше вона деформується, а вісь обертання зменшується [1]:

$$F_z = k_z \Delta z;$$

Поздовжні та поперечні сили, що діють на шину, обмежені силами ковзання, коли шина навантажена у вертикальному напрямку. На рис. 1.7 показано силу, що діє на шину та викликає такі деформації.

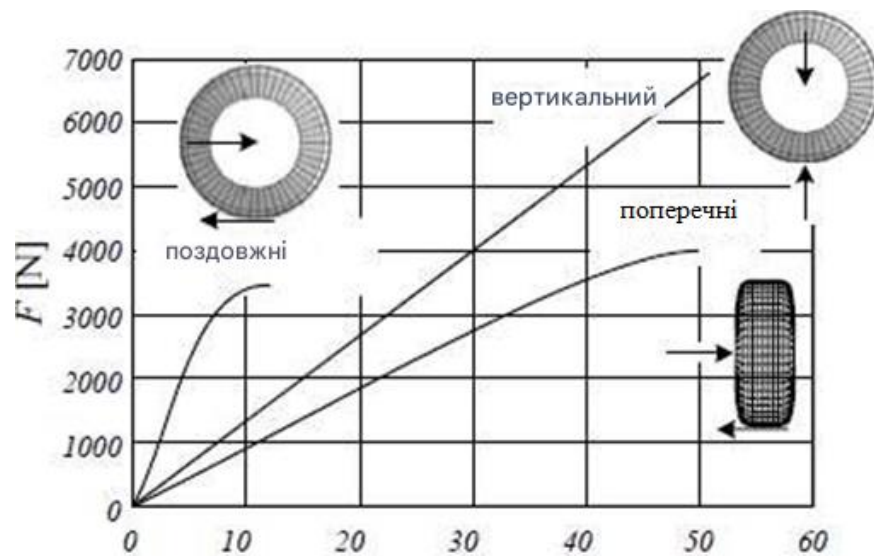


Рисунок 1.7 - Деформації шин у різних напрямках [1]

Поздовжні сили розраховуються відповідно за формулою 1.2:

$$F_x = k_x \Delta x; \quad (1.5)$$

$$F_y = k_y \Delta y;$$

Зі збільшенням поздовжніх та поперечних сил їхня площа поверхні зміщується в напрямку дії сили, доки шина не почне ковзати. Також, порівнюючи з рис. 7, ми бачимо наступну залежність, де шина є найжорсткішою в поздовжньому напрямку та найм'якшою в поперечному:

$$k_x > k_z > k_y;$$

Коли шина піддається впливу бічних сил, вона деформується (рисунок 8), тому важлива обертальна жорсткість шини  $C_a$ , яка розраховується як:



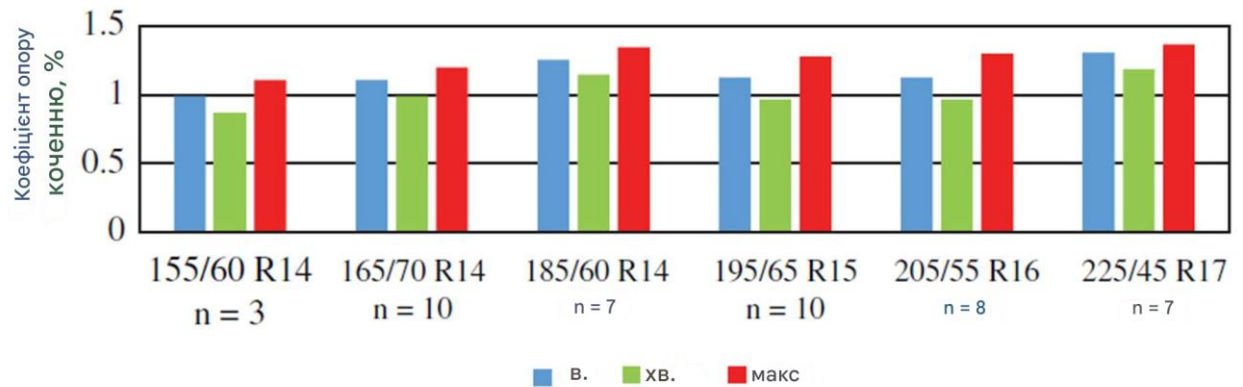


Рисунок 1.9 - Відсоткова залежність коефіцієнта опору коченню від розмірів літніх шин

Б. С. Моханта та ін. (2021) у своїй статті визначили такі основні фактори:

- Напрямок руху шини.

- Тертя кочення та опір коченню – це сили, що перешкоджають коченню шини. Кочення шини найбільше залежить від тиску в шинах. Чим нижчий тиск, тим більшу силу використовує шина під час кочення. Тертя кочення також збільшується зі швидкістю (рис. 1.10).

- Коефіцієнт зчеплення шини – чим краще покриття і чим краще воно взаємодіє з шиною, тим вищий коефіцієнт зчеплення.

- Температура шини – за вищих температур гума, з якої виготовлена шина, змінює свої властивості, а ефект когезії зростає (шина зношується швидше).

- Тиск у шинах та навантаження – за нижчого тиску або нижчого навантаження шина м'якша, а її еластичні властивості покращуються, але знос збільшується, і транспортний засіб стає менш стійким.

- Швидкість транспортного засобу – зі збільшенням швидкості транспортного засобу збільшується кількість обертів шини. Це збільшує тиск, температуру та деформації шини.

- Конструкція шини – властивості шини залежать від ширини, висоти та розташування корду шини.

- Кут ковзання шини – це значення визначає, як поводитиметься шина під дією гальмівних сил і як змінюватиметься опір коченню.

- Знос шин.
- Дорожнє покриття та стиль водіння.
- Вплив сезонності або пір року.
- Маса транспортного засобу.
- Жорсткість шин.

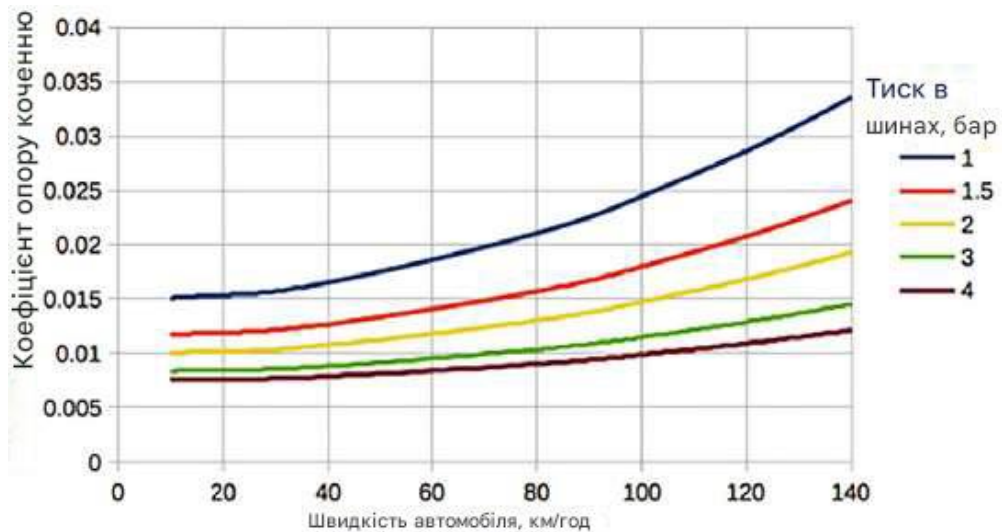


Рисунок 1.11 - Залежність опору коченню шини від тиску в шинах і швидкості руху

## 1.6 Маркування шин

Щоб полегшити споживачам вибір шин з дуже широкого спектру виробників та моделей, Європейський Союз видав регламент, який зобов'язує виробників шин маркувати шини відповідно до обов'язкового маркування. З 1 травня 2021 року набув чинності останній регламент (ЄС) 2020/740 (Рисунок 1.12), згідно з яким виробник повинен вказувати у стандартизованому маркуванні: 1) опір коченню, 2) гальмування на мокрій дорозі, 3) шум шин (es.euro.a.eu). 1) Опір коченню безпосередньо впливає на витрату палива. Він позначається літерами від А до Е.

2) Гальмування на мокрій дорозі є важливим критерієм безпеки. Літера А вказує на найкоротший гальмівний шлях шини, а Е - найдовший. Межі між літерами класифікації становлять 3–6 м. Згідно з останнім регламентом, на етикетці повинні бути вказані 2 додаткові параметри для зимових шин: 4) Сніжинка - позначка, яка означає, що шини були випробувані відповідно до критеріїв випробування зимових шин. 5) Крижана гора - позначка, яка означає, що шини розроблені для надзвичайно суворих та екстремальних умов. Найчастіше шини з цією позначкою погано гальмують на мокрій дорозі, але чудово пристосовані для гальмування на льоду.

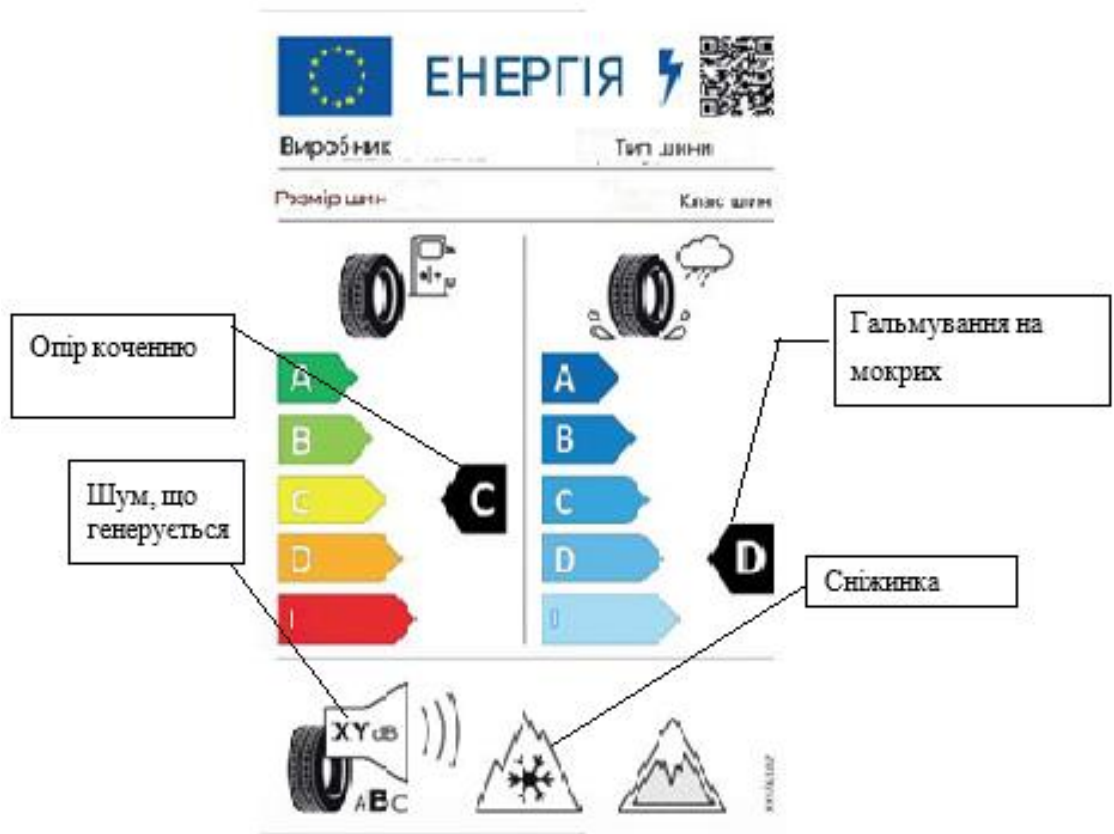


Рисунок 1.12 - Маркування шин відповідно до останнього Регламенту (ЄС) 2020/740

Найважливішим показником у дослідженні є клас зчеплення шини з мокрою поверхнею. Цей клас визначається показником G (ЄС) № 1222/2009), який розраховується за формулою 1.15, а клас вибирається відповідно до

										Арк.
										22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

отриманого показника. Класи зчеплення з мокрою поверхнею представлені в таблиці 1.2.

$$G = G(T) - 0,03;$$

де:  $G$  – індекс зчеплення з мокрою поверхнею,  $G(T)$  – індекс зчеплення з мокрою поверхнею шини, представленої на затвердження, вимірний протягом одного циклу випробувань.

Таблиця 1.2 - Таблиця 8. Таблиця показників, за якими визначається клас зчеплення шини з мокрим дорожнім покриттям (Регламент (ЄС) № 1222/2009)

	Шини класу C1	Шини класу C2	Шини класу C3
Клас зчеплення з мокрою дорогою	G	G	G
A	$1,55 \leq G$	$1,40 \leq G$	$1,25 \leq G$
B	$1,40 \leq G \leq 1,54$	$1,25 \leq G \leq 1,39$	$1,10 \leq G \leq 1,24$
C	$1,25 \leq G \leq 1,39$	$1,10 \leq G \leq 1,24$	$0,95 \leq G \leq 1,09$
D	$1,10 \leq G \leq 1,24$	$0,95 \leq G \leq 1,09$	$0,80 \leq G \leq 0,94$
E	$G \leq 1,09$	$G \leq 0,94$	$G \leq 0,79$

Для розрахунку індексу зчеплення з мокрою поверхнею ( $G$ ) шини, поданої на затвердження, гальмівні характеристики зчеплення з мокрою поверхнею шини, поданої на затвердження, порівнюються з гальмівними характеристиками зчеплення з мокрою поверхнею еталонної шини, встановленої на транспортний засіб, що рухається прямо по мокрій асфальтовій поверхні. Ці результати вимірюються одним із таких методів:  Метод випробування транспортного засобу, який включає випробування комплекту шин, встановлених на легковий автомобіль з приладами.  Метод випробування з використанням причепа, що буксирується транспортним засобом, або транспортного засобу для випробування шин, оснащеного випробувальними шинами. ((ЄС) № 1222/2009) Згідно з каталогом інтернет-

магазину, було обрано 4 різних виробників шин, і було порівняно маркування шин. Згідно з рис. 1.13 видно, що зі збільшенням ширини шини лише найширші шини Michelin мають гірші гальмівні характеристики на мокрій поверхні, тоді як гальмівні характеристики шин інших виробників не змінилися, хоча ефективність гальмування повинна зменшуватися зі збільшенням ширини шини.

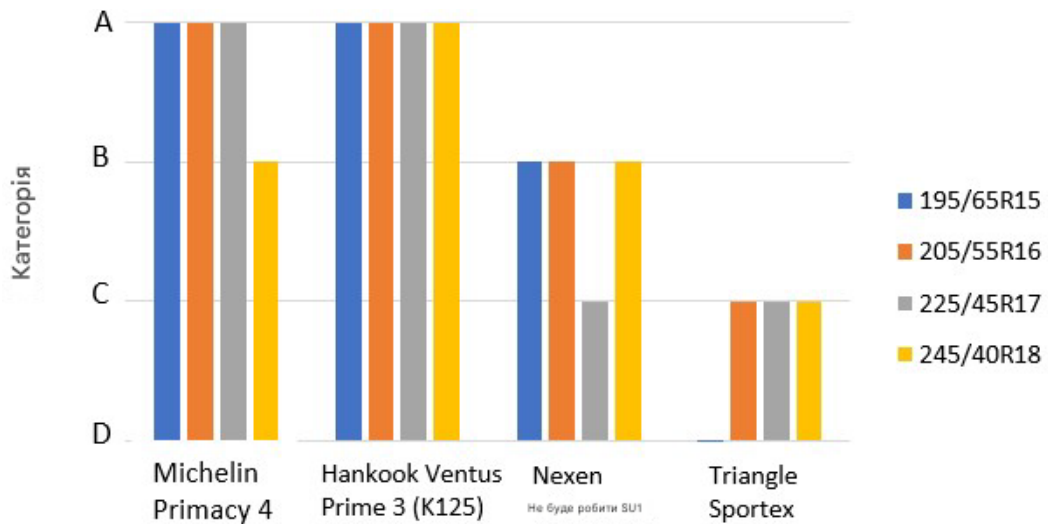


Рис. 1.13 - Показники гальмування на мокрій дорозі залежно від розмірів ШИН

Також згідно з рис. 1.15 видно, що зі збільшенням ширини шини зростає і шум, який вона створює.

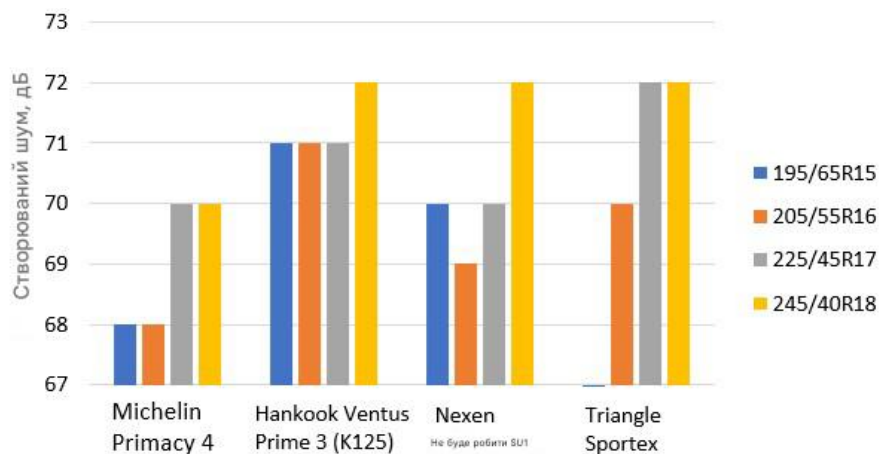


Рис. 1.15 - Шум, що створюють шини, залежно від розмірів

Згідно з поданими графіками видно, що виробники недостатньо детально інформують споживачів при маркуванні шин щодо їхніх властивостей гальмування на мокрій дорозі, хоча Європейський Союз це регламентує та контролює. Для детального аналізу таких даних недостатньо. Натомість інформація, яку надають виробники про шум, що створюють шини, є коректною та не вводить споживачів в оману.

					MP.AT-81.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

## 2 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ АВТОМОБІЛЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМИ ADAMS CAR

Для теоретичного аналізу руху автомобіля було використано комп'ютерну програму MSC Adams Car. (<https://www.mscsoftware.com/product/adams-car>). У цій програмі було змодельовано симуляції для передньопривідного легкового автомобіля типу седан (рис. 2.1). Також було обрано 4 типи літніх шин: 175/70 R13, 195/65 R15, 205/55 R16, 235/40 R18.

Модель шини «магічної формули» – це модель шини, винайдена професором Хансом Б. Пацейкою, поздовжні сили якої описуються математичним виразом для поздовжнього ковзання (Основи динаміки транспортних засобів, 2015):

$$F_y = D \cdot \sin [C \cdot \arctan\{B \cdot k - E \cdot (B \cdot k - \arctan(B \cdot k))\}]$$

де:  $B$  – коефіцієнт жорсткості;  $C$  – коефіцієнт форми функції;  $D$  – максимальне значення функції;  $E$  – коефіцієнт кривої;  $k$  – кут поздовжнього ковзання;  $F_y$  – поздовжня сила,  $H$ .

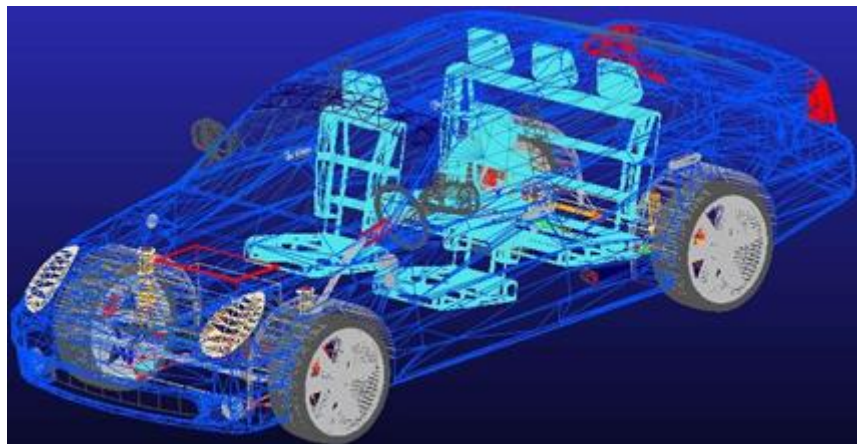


Рисунок 2.1 - Модель автомобіля, що використовується в комп'ютерному моделюванні (MSC Adams Car)

## 2.1. Маневр гальмування на прямій

Маневр гальмування на прямій розроблений для виявлення найважливішої вимоги до шин – здатності зупинити ТР за потреби. Експериментальне випробування також повторюється відповідно до цього моделювання.

Початкові дані моделювання:

- Час моделювання – 5 с.
- Тип маневру – відкритий тип відповідно до наданих команд керування (розімкнутий цикл).
- Кількість кроків моделювання – 1000.
- Дорожнє покриття – сухе та гладке.
- Початкова швидкість автомобіля – 100 км/год.
- Початкова передача коробки передач – 4.
- Початок гальмування – 1 с.
- Положення керма під час гальмування – фіксоване прямолінійне.
- Час наростання гальмівної сили – 0,5 с.
- Рівень інтенсивності гальмування – 85–95%.

Моделювання проводиться з чотирма розмірами шин (Рисунок 21), і вибрані рівні інтенсивності гальмування, які не призводять до повного блокування коліс (пробуксовки) (Рисунок 22):

- Шини 195/65 R15 при 85% інтенсивності гальмування.
- Шини 235/40 R18 з інтенсивністю гальмування 85%.
- Шини 235/40 R18 з інтенсивністю гальмування 90%.
- Шини 235/40 R18 з інтенсивністю гальмування 95%.

					MP.AT-81.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

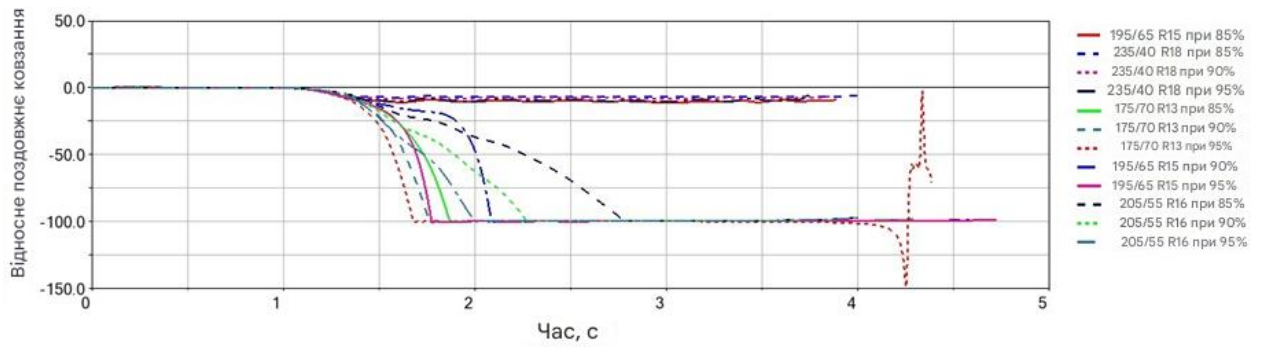


Рисунок 2.2 - Відносне поздовжнє ковзання шини, що припадає на переднє ліве колесо під час гальмування

Згідно з графіком на рис. 2.3, можна побачити, що під час комп'ютерного моделювання оптимальний коефіцієнт пробуксовки та гальмування демонструють шини 195/65 R15 при інтенсивності гальмування 85% та шини 235/40 R18 при інтенсивності гальмування 95%. З цього графіка видно, що зі зменшенням інтенсивності гальмування коефіцієнт зчеплення з дорогою 235/40 R18 погіршується і в усіх варіантах він нижчий, ніж у вужчих шин 195/65 R15.

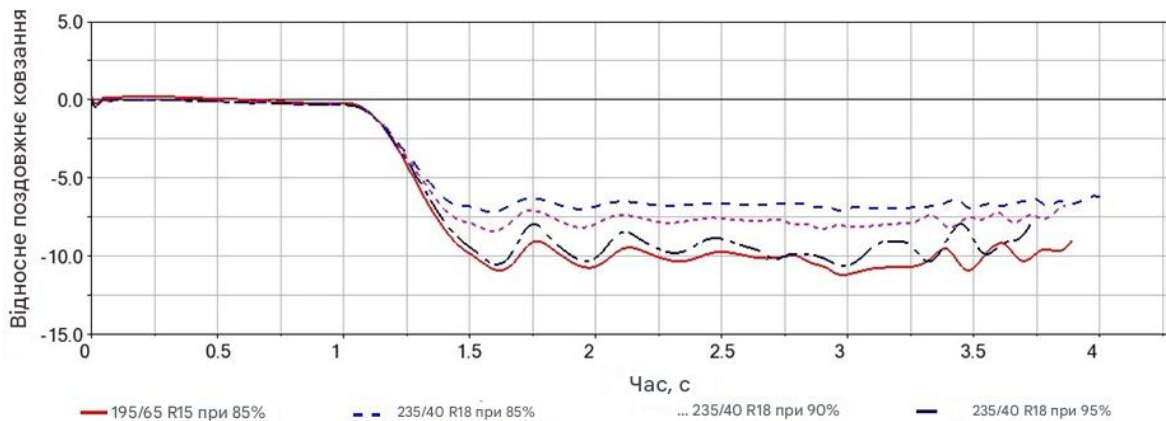


Рисунок 2.3 - Відносне ковзання шини, що припадає на переднє ліве колесо під час гальмування за умови, що колеса не заблоковані

Згідно з графіком поздовжньої сили зчеплення, що припадає на передні колеса під час гальмування (рис. 2.4), видно, що найменшу поздовжню

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

гальмівну силу розвивають шини шириною 235 мм за інтенсивності гальмування 85 % — до 6600 Н, а найбільшу поздовжню гальмівну силу розвивають шини шириною 235 мм за інтенсивності гальмування 95 % — до 7400 Н.

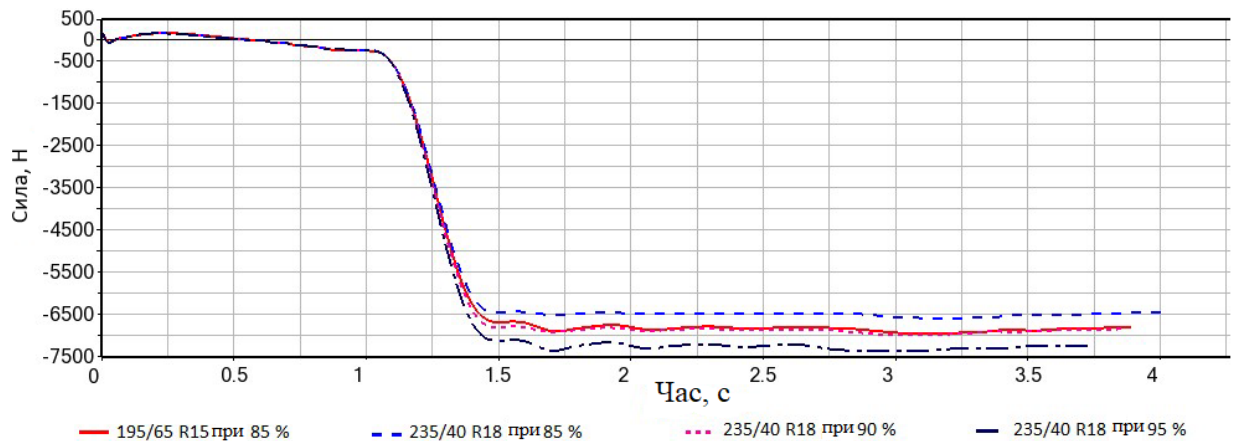


Рисунок 2.4 - Поздовжня сила зчеплення, що припадає на передні колеса під час гальмування

Під час перевірки відносного ковзання лівої задньої шини було встановлено, що в усіх варіантах задня шина моделі автомобіля на початку гальмування різко починає ковзати, а згодом ковзання зменшується та стабілізується через 0,1 с від початку гальмування. Найбільшого ковзання зазнає шина шириною 235 мм за інтенсивності гальмування 95 % (до -13,5 %), а найменшого — шина шириною 235 мм за інтенсивності гальмування 85 % (до -7,4 %) (рис. 2.5).

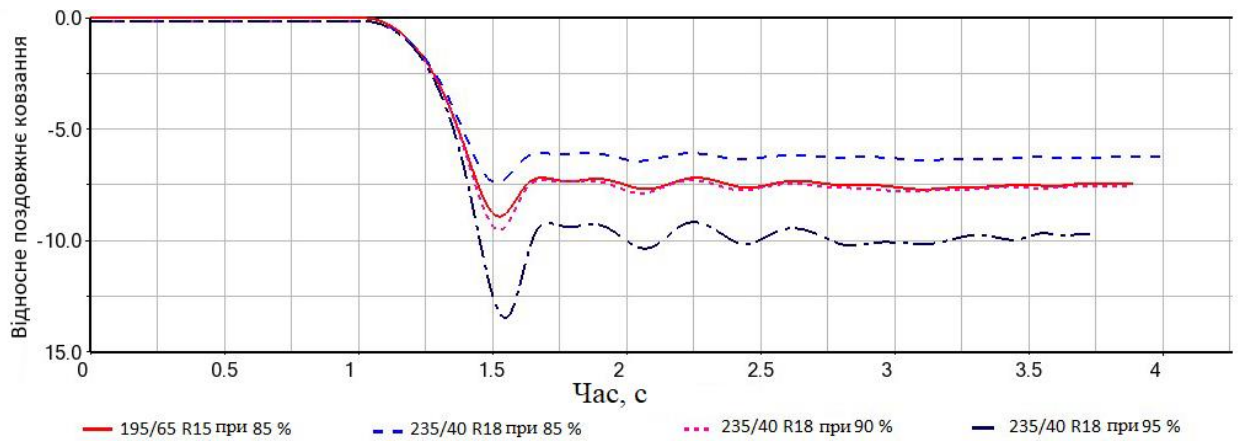


Рисунок 2.5 - Ковзання шини, що припадає на заднє ліве колесо під час гальмування

Після виконання комп'ютерних симуляцій гальмування було виміряно зменшення швидкості автомобіля під час гальмування. Оскільки дорожнє покриття є сухим і рівним, найкращі показники гальмування демонструють найширші шини за найбільшої інтенсивності гальмування 95 % (рис. 2.6).

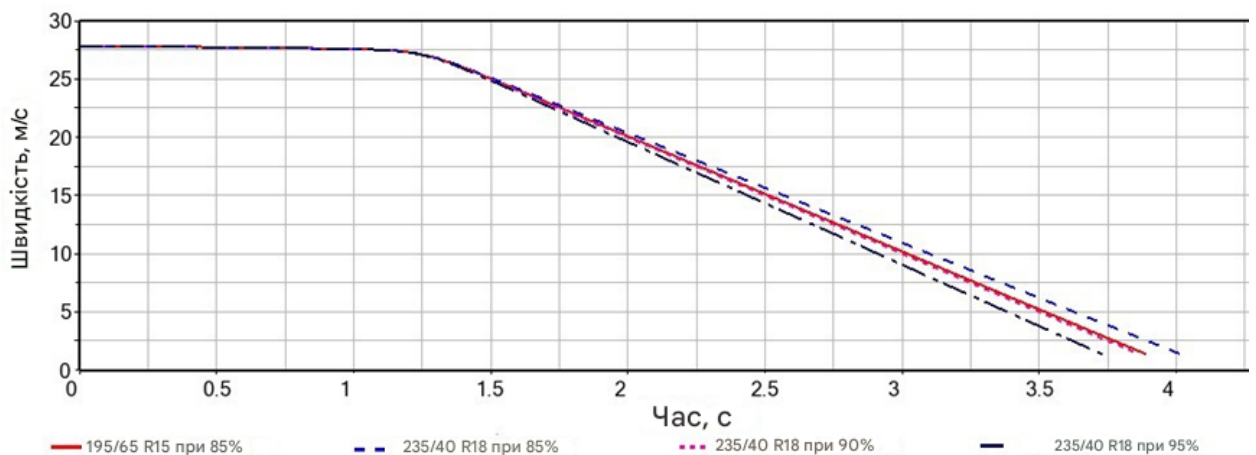


Рисунок 2.6 - Швидкість гальмування шини під час гальмування

Згідно з графіком гальмівного прискорення (рис. 2.7) видно, що найбільше гальмівне прискорення розвиває шина шириною 235 мм за інтенсивності гальмування 95 % (до  $10,6 \text{ м/с}^2$ ), а найменше — шина шириною 235 мм за інтенсивності гальмування 85 % (до  $9,5 \text{ м/с}^2$ ).

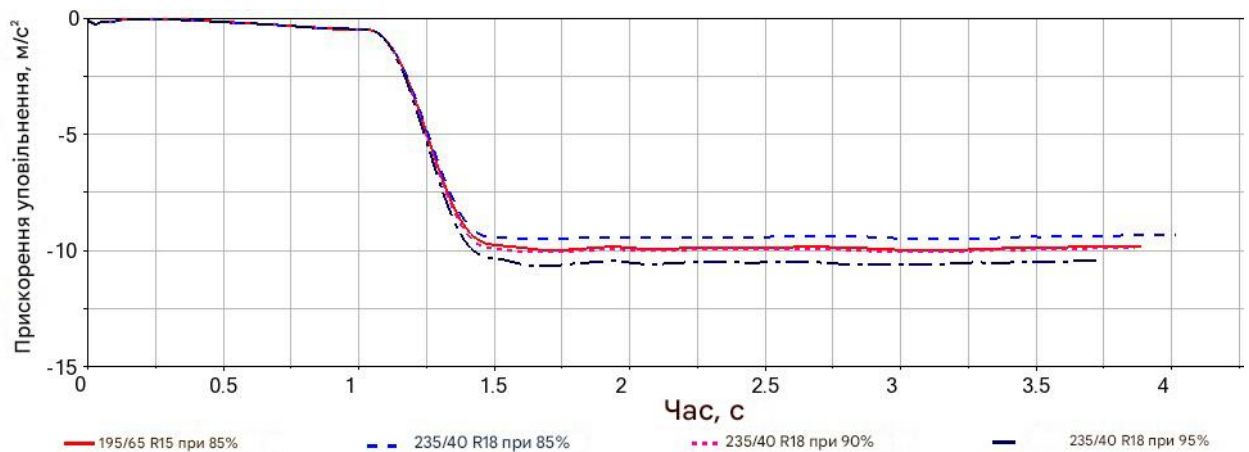


Рисунок 2.7 - Прискорення уповільнення автомобіля

Згідно з симуляцією прямого гальмування видно, що найкращі гальмівні характеристики демонструють широкі шини 235/40 R18 за інтенсивності гальмування 95 % (модель автомобіля зупиняється на 0,15–0,3 с швидше, а пройдений шлях на 1,9–4 м коротший порівняно з результатами інших симуляцій), оскільки в цій симуляції домінує зчеплення, засноване на адгезії. Однак у наявних симуляціях при однакових інтенсивностях гальмування вузька шина 195/65 R15 гальмує краще, ніж широка 235/40 R18 (модель зупиняється на 0,125 с швидше та проходить на 1,723 м коротший шлях).

## 2.2 Маневр під час гальмування в повороті

Маневр під час гальмування в повороті — це маневр, під час якого автомобіль рухається уявною траєкторією з постійним кутом, і моделі дається команда гальмувати заданим прискоренням гальмування TP. Цей маневр показує, які поперечні сили відчують шини та як жорсткість шин може витримувати нерівномірно розподілену вагу TP на чотирьох колесах.

Початкові дані для симуляції:

Час симуляції — 5 с.

Тип маневру — відкритого типу за заданими командами керування (Open loop).

Кількість кроків симуляції — 1000.

Поверхня дороги — суха і рівна.

Початкова швидкість автомобіля — 100 км/год.

Початкова передача трансмісії — 5.

Бокове прискорення — 0,4 G.

Кут повороту — 50°.

Поздовжнє прискорення гальмування — 0,5 G.

Під час симуляції гальмування в повороті було помічено, що великої різниці у боковому прискоренні не спостерігається, проте найбільше бокове прискорення на початку маневру відчуває автомобіль із шинами шириною 205 мм (рис. 2.8).

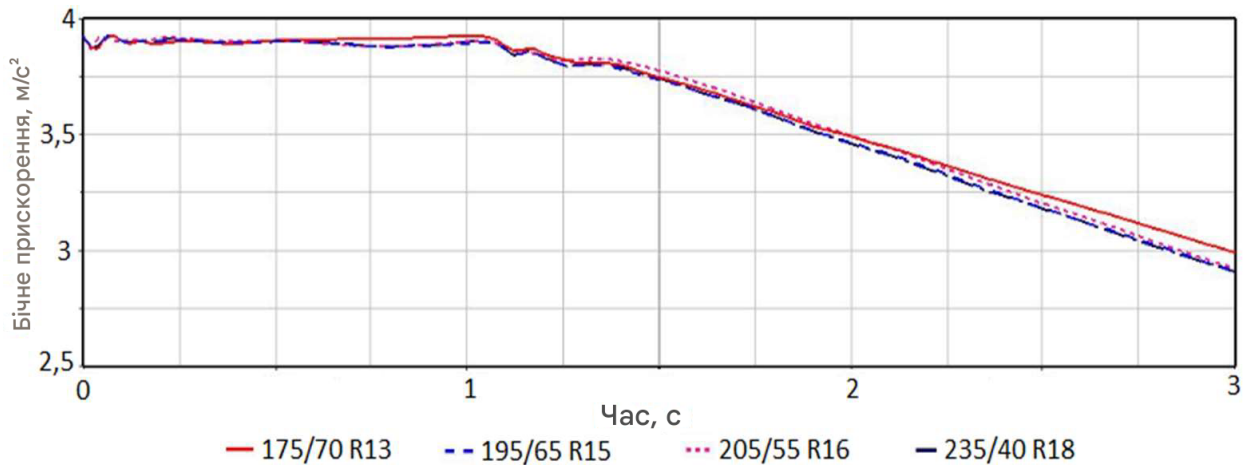


Рисунок 2.8 - Бокове прискорення під час гальмування в повороті

Під час цієї симуляції було помічено, що автомобіль повертає дуже нерівномірно, але найшвидше повертає з шинами шириною 205 мм (рис. 2.8).

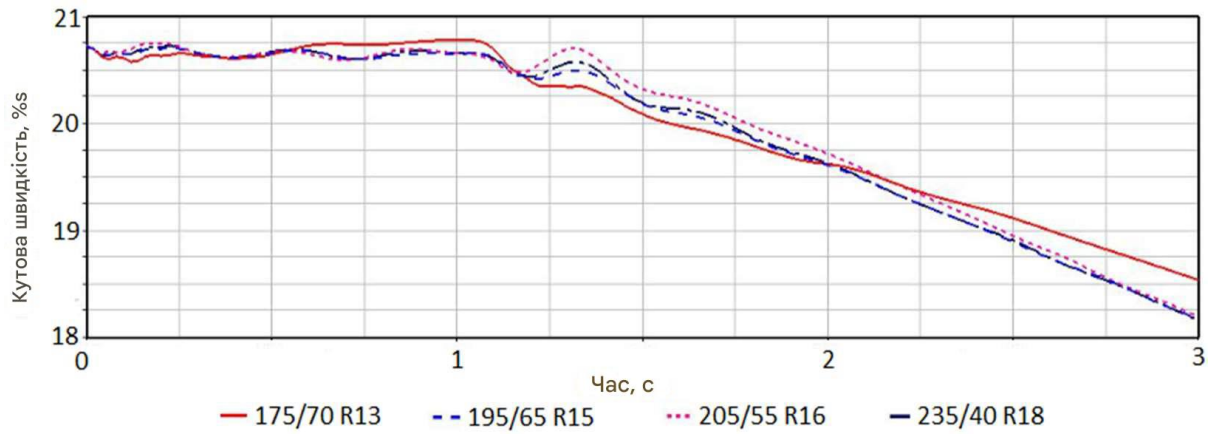


Рисунок 2.9 - Кутова швидкість під час гальмування в повороті

Було помічено, що під час гальмування в повороті найбільший кут ковзання (поперечне ковзання) зазнає найширша шина, а найменший — найвужча (рис. 2.10).

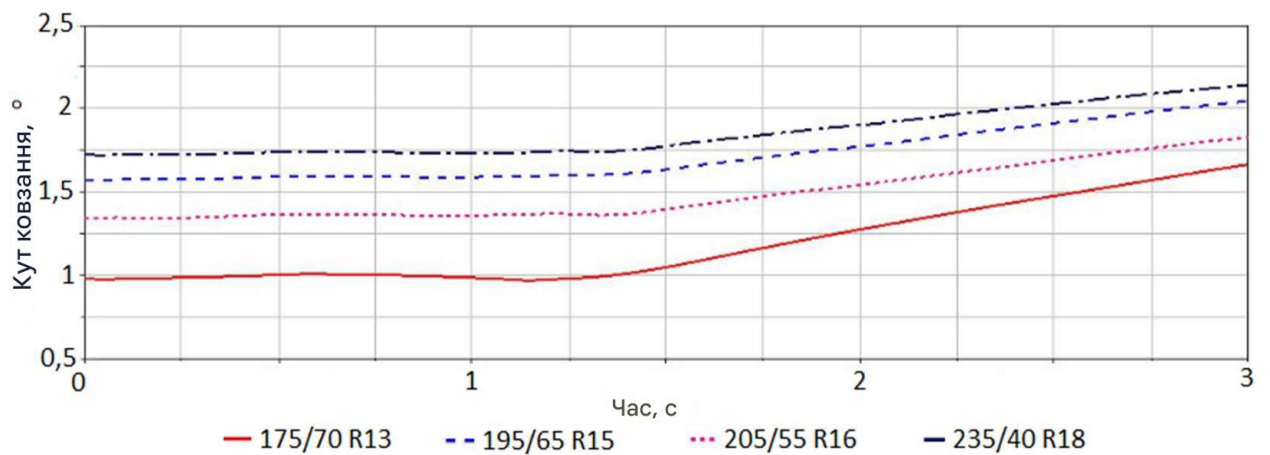


Рисунок 2.10 - Кут ковзання шин під час гальмування в повороті

Нарешті було помічено, що на найширшу передню ліву шину впливають найменші поперечні сили зчеплення, оскільки за даних умов поперечне ковзання шини не досягає величин, при яких шини генерують більші поперечні сили зчеплення (рис. 2.11).

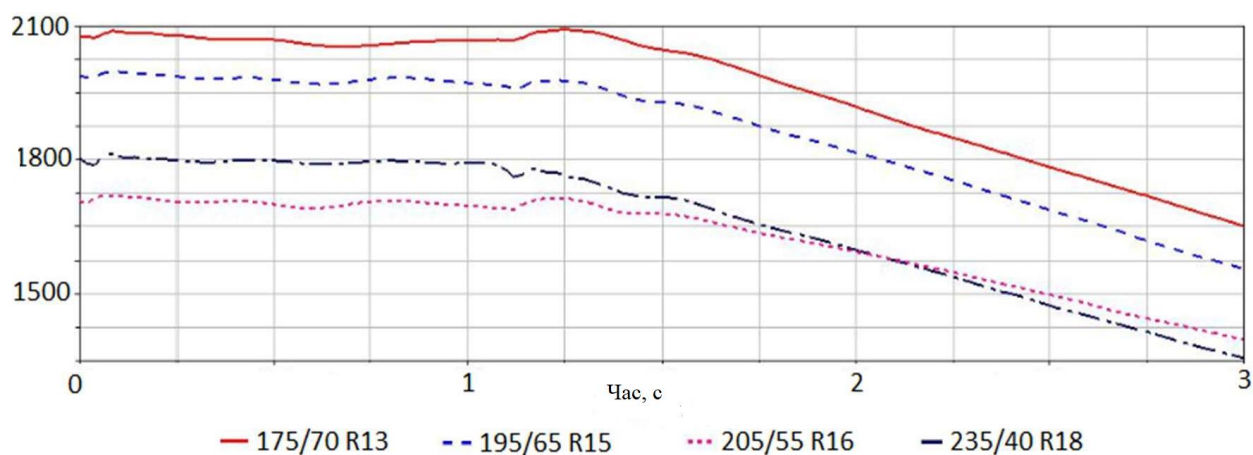


Рисунок 2.11 - Поперечна сила зчеплення, що припадає на передню ліву шину під час гальмування в повороті

Згідно з симуляцією гальмування в повороті, за даних умов найкраще гальмування в повороті демонструють найвужчі шини 175 мм, оскільки вони розвивають найбільші поперечні сили зчеплення, при цьому автомобіль повертає під найменшим кутом. Тому можна зробити висновок, що за визначених умов ширші шини не мали змоги розвинути більші поперечні сили зчеплення через малі сили поперечного ковзання.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

### 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДИНАМІКИ

Експериментальні дослідження були проведені на автомобілі MINI ONE 2001 року випуску (рисунок 3.1), для якого були обрані оригінальні диски діаметром 15 та 17 дюймів, зазначені виробником, з шинами GOODRIDE SW608 (рисунок 43) (таблиця 9).



Рисунок 3.1 - Автомобіль MINI ONE 2001 року випуску (кузов R50) та місце встановлення пристрою XL Meter в автомобілі (фотографії автора)

Таблиця 3.1 - Параметри автомобіля та коліс, що використовувалися для експериментального дослідження

Тестовий автомобіль	2001 MINI ONE (кузов R50)
Маса автомобіля з водієм	1115 кг (заявлено виробником)
Тип гальмівної системи: передня	Дискова гальмівна система з повітряним охолодженням
Тип гальмівної системи: задня	Дискова гальмівна система
Антиблокувальна система гальм (ABS)	BMW 34.51-6765282
Система контролю стійкості (ASC)	BMW 6765284
Ведучі колеса	Передній привід
Колісна база	2467 мм

Продовження таблиці 3.1

Розташування двигуна	Передня частина автомобіля	
Положення двигуна	Поперечне розташування	
Коробка передач	5-ступінчаста механічна коробка передач	
Діаметр колеса	15 дюймів	17 дюймів
Тип колеса	Легкосплавні	Легкосплавні
Модель колеса	MINI R82	MINI R110
Вага колеса	6,9 кг	10,3 кг
Модель шини	Goodride SW608	Goodride SW608
Розміри шини	185/65R15	205/45R17
Тип шини	Зимові	Зимові
Тип малюнка протектора	Напрямні	Напрямні
Індекси навантаження та швидкості	86V (530 кг та 240 км/год)	88H (560 кг та 210 км/год)
Опір коченню	D	E
Гальмування на мокрій дорозі	C	C
Шум шин	71 дБ	72 дБ



Рисунок 3.2 - Рекомендовані виробником а) 15-дюймові (R82) та б) 17-дюймові (R110) диски ([minicooper.fandom.com](http://minicooper.fandom.com)) с) малюнок шин GOODRIDE SW608 ([shiny-diski.com.ua](http://shiny-diski.com.ua))

### 3.1. Експериментальне дослідження поздовжнього прискорення при прямолінійному гальмуванні від 100 до 0 км/год (ДСТУ ISO 14512:2014)

Для експериментальної оцінки впливу різних розмірів шин було обрано проведення прямолінійних гальмівних випробувань автомобіля. Загалом, цей тип випробувань можна проводити без складного вимірювального або контрольного обладнання автомобіля. Випробування проводилося на сухому асфальті.

Спочатку було встановлено пристрій XL Meter (рис. 3.1) для вимірювання поздовжніх та поперечних прискорень під час фаз гальмування або розгону. Перед випробуванням пристрій було відкалібровано у двох напрямках вимірювання (поздовжньому та поперечному) та надійно закріплено на лобовому склі автомобіля, щоб не заважати водієві огляду.

Після встановлення пристрою було обрано функцію розрахунку прискорення гальмування та проведено тест. Після увімкнення пристрою було виконано розгін до 100 км/год, натиснуто кнопку запуску розрахунків вимірювального пристрою XL Meter та різко зупинено автомобіль натисканням на педаль гальма (без перемикання на 4-ту передачу). Під час гальмування водій міцно тримав кермо, щоб не повертати та не змінювати траєкторію руху.

Для випробувань було обрано пряму ділянку дороги з дуже низьким рівнем руху поблизу Івано-Франківська. Гальмування здійснювалося лише після того, як було встановлено, що на всій ділянці немає водіїв транспортних засобів, велосипедистів чи інших учасників дорожнього руху.

Дорожнє покриття – сухий шорсткий асфальт з локальним оновленням поверхні (Рисунок 3.2).

					MP.AT-81.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.2 - Фотографія дорожнього покриття з експериментального дослідження гальмування (фото автора)

Температура повітря – 2–3 °С.

Вологість повітря – 0–1%.

Похибка вимірювального приладу XL – 0,0021 м/с<sup>2</sup>.

Для оцінки результатів було обрано методологію порівняння. Результати дослідження представлені нижче (Таблиця 3.1):

Таблиця 3.1 - Початкові результати тестування, що відображаються на екрані пристрою

	Номер експер.	$S_0$ , м	$V_0$ , км/год	$T_{тг}$ , с	$MFDD$ , м/с <sup>2</sup>	
205/45 R17 шини	1	96,39	106,8	5,52	6,64	<b>6,80</b>
	2	95,2	111,1	5,55	7,06	
	3	84,54	105,15	5,15	6,59	
	4	89,91	109,57	5,26	6,9	
185/65 R15 шини	1	69,16	101,46	4,79	6,43	<b>6,69</b>
	2	76,13	103,28	5,11	6,48	
	3	76,82	103,79	4,87	6,8	
	4	63,08	97,5	4,54	7,06	

де:  $S_0$  – відстань, пройдена під час гальмування (м);

$V_0$  – початкова швидкість транспортного засобу під час гальмування (км/год);

$T_{тг}$  – час від початку гальмування до його завершення (с);

MFDD (angl. Mea Fully Developed Deceleration) – середнє повне уповільнення) - це показник, що характеризує максимальне уповільнення, яке може забезпечити система гальмування транспортного засобу. Це стандартизована одиниця для оцінки ефективності динаміки уповільнення транспортного засобу, що відповідає максимальному прискоренню у сталому стані при уповільненні та розраховується відповідно до статті 13 Регламенту СЕК ООН.

$$MFDD = \frac{v_2^2 - v_1^2}{25,92 \cdot (S_1 - S_2)}, \text{ м/с}^2$$

де:  $v_0$  – початкова швидкість ТЗ (км/год);

$v_2$  – швидкість, що відповідає 0,8 початкової швидкості (км/год);

$v_1$  – швидкість, що відповідає 0,1 початкової швидкості (км/год);

$S_1$  – пройдена відстань між  $v_0$  та  $v_2$  (м);

$S_2$  – пройдена відстань між  $v_0$  та  $v_1$  (м).

Згідно з початковими результатами, що відображаються на екрані пристрою, ми бачимо, що довжина гальмівного шляху та швидкість автомобіля перед гальмуванням коливаються (до 33 м та 14 км/год відповідно). Також спостерігається тенденція, що чим вища швидкість автомобіля перед гальмуванням, тим довший гальмівний шлях та час гальмування. Ці похибки формуються через людський фактор.

Найвищі максимальні усталені прискорення гальмування (MFDD) отримані під час 2-го випробування з шинами 205/45R17 (на швидкості 111,1 км/год) та під час 4-го випробування з шинами 185/65R15 (на швидкості 97,5 км/год). Різниця у початкових швидкостях між цими випробуваннями є найбільшою згідно з випробуваннями з різними шинами. Гальмівний шлях та час гальмування також різні (95,2 м та 63,08, та 5,55 с та 4,54 с відповідно). Оскільки швидкість руху була найнижчою під час експерименту з шинами

					MP.AT-81.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

185/65R15, гальмівний шлях та час гальмування є найнижчими, але поздовжнє прискорення гальмування є рівним порівняно з шинами 205/45R17. Також, порівнюючи середні значення MFDD, можна побачити, що ширші шини демонструють краще максимальне прискорення гальмування в сталому режимі, отже, робиться висновок, що в цьому випадку ширші шини демонструють кращі гальмівні характеристики.

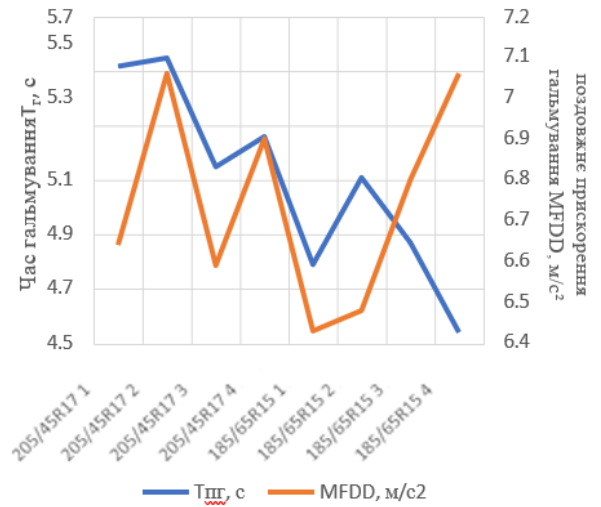
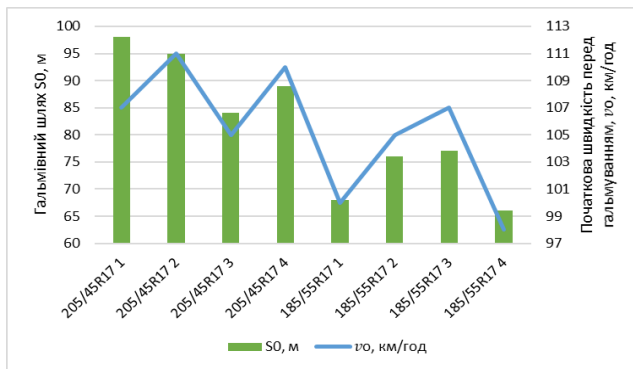


Рисунок 3.3- а) Екран XL Meter відображає довжину гальмівного шляху та швидкість автомобіля перед гальмуванням; б) Екран XL Meter відображає час гальмування та поздовжнє прискорення гальмування.

Після аналізу отриманих результатів, які зберігаються в пам'яті пристрою, для аналізу було обрано 3 графіки.

1. Найменша різниця  $S_0$  отримана між тестами 185/65 R15 3-й та 205/45 R17 3-й (рис. 3.3).
2. Друга найменша різниця  $V_0$  отримана між тестами 185/65 R15 2-й та 205/45 R17 3-й (рис. 3.4).
3. Друга найменша різниця  $T_{пг}$  отримана між тестами 185/65 R15 2-й та 205/45 R17 4-й (рис. 3.5).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

У випадку 1-го графіка (рис. 3.4) різниця в гальмівному шляху між широкими та вузькими шинами є найменшою, тому, порівнюючи графіки за часом, ми їх порівнюємо. Згідно з графіком, ми бачимо, що немає чіткої різниці між шинами з різною геометрією під час гальмування на сухому асфальті, і відповідно до умов під час експерименту, вузьчі шини 185/65 R15 демонструють дещо краще гальмування.

У випадку 2-го графіка (рис. 3.5) різниця в початкових швидкостях руху між широкими та вузькими шинами є другою найменшою, тому, порівнюючи графіки за часом, ми їх порівнюємо. Згідно з графіком, ми бачимо, що немає чіткої різниці між шинами з різною геометрією під час гальмування на сухому асфальті, і відповідно до умов під час експерименту, вузьчі шини 185/65 R15 демонструють дещо краще гальмування в 1-й половині тесту, а шини 205/45 R17 демонструють дещо краще гальмування в 2-й половині тесту.

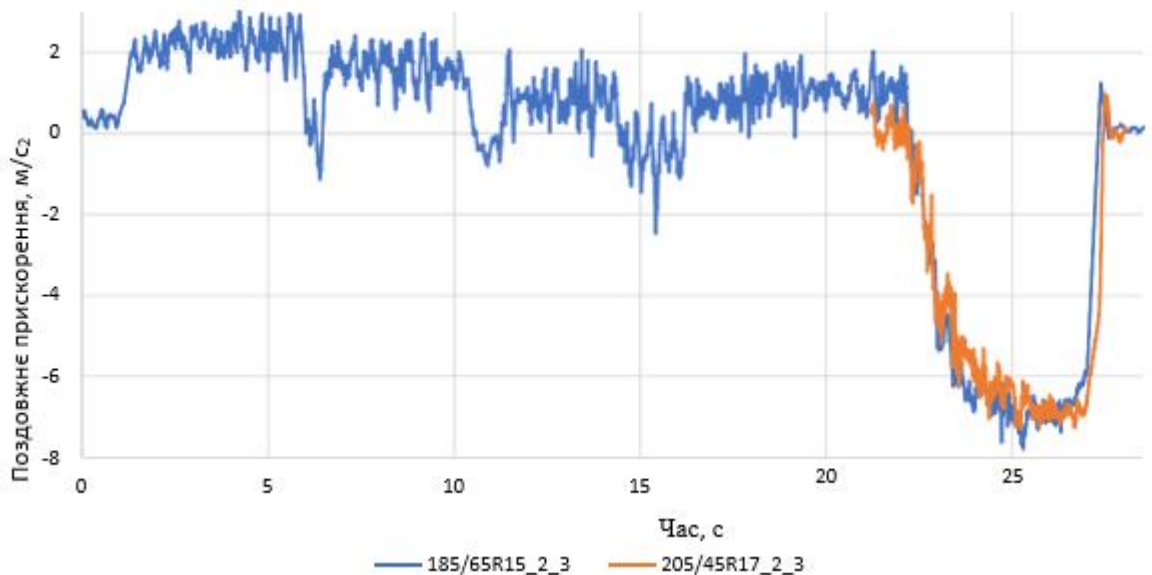


Рисунок 3.4 - Графік залежності поздовжнього прискорення від часу під час експериментальних досліджень гальмування, коли різниця між гальмівними шляхами найменша

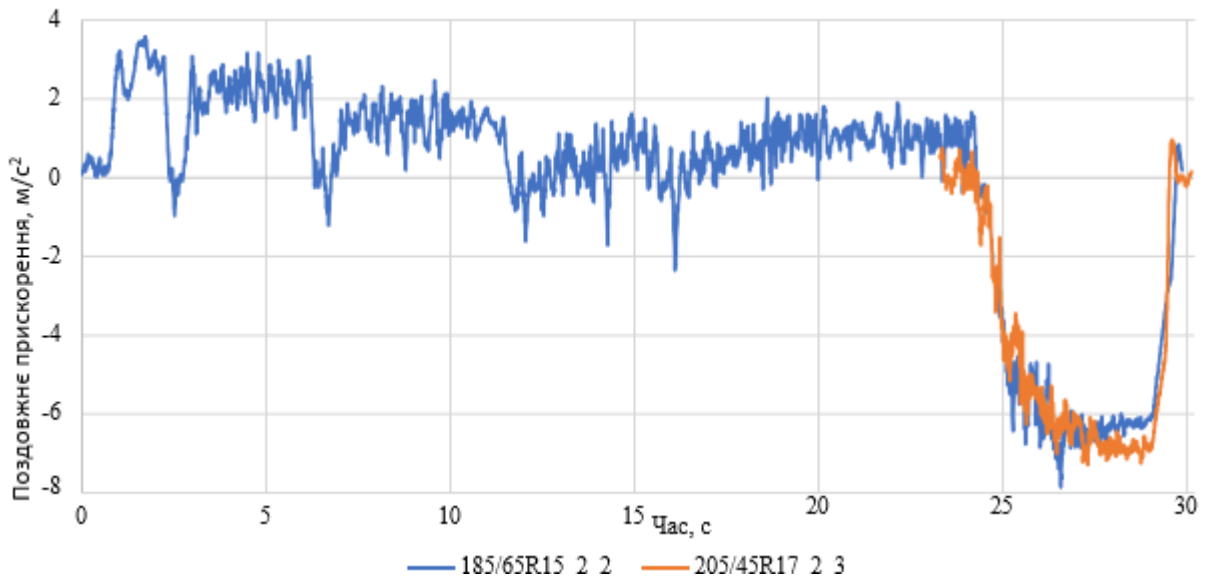


Рисунок 3.5 - Графік залежності поздовжнього прискорення від часу під час експериментальних досліджень гальмування, де різниця між початковою швидкістю є другою за величиною

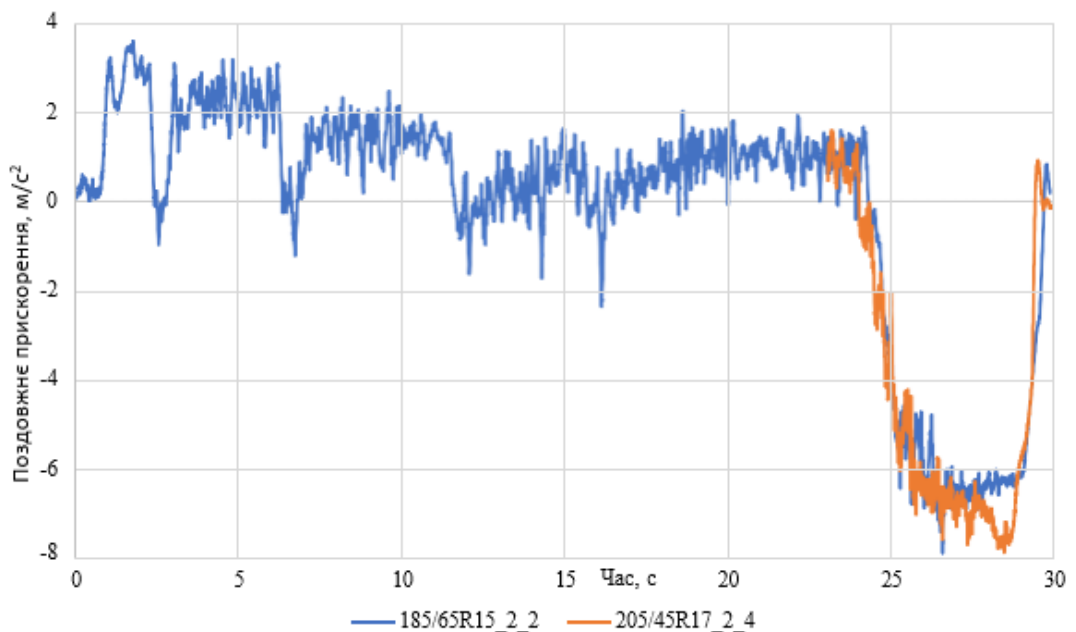


Рисунок 3.6 - Графік залежності поздовжнього прискорення від часу під час експериментальних досліджень гальмування, коли різниця між часом гальмування є другою найменшою

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

У випадку 3-го графіка (рис. 3.6) різниця між часом гальмування широких та вузьких шин є другою найменшою, тому, порівнявши графіки за часом, порівнюємо їх. Згідно з графіком видно, що немає чіткої різниці між часом гальмування шин з різною геометрією на сухому покритті та, за умов експерименту, ширші шини 205/45 R17 демонструють дещо краще гальмування.

Після аналізу всіх 3 графіків можна стверджувати, що під час проведення експерименту на непримітному дорожньому покритті середньої якості (асфальт з локальними оновленнями поверхні) на українських дорогах немає різниці між шинами з різною геометрією під час гальмування на сухому покритті. Під час експерименту не було виявлено суттєвої різниці при гальмуванні з 17-дюймовими або 15-дюймовими колесами за існуючих умов.

### **3.2. Експериментальне дослідження вимірювання шуму шин під час руху по різних поверхнях**

Для експериментального порівняння шуму, спричиненого різними розмірами шин, було обрано 4 різні поверхні (сухий асфальт, дрібне покриття (бруківка), грубе покриття (цегла) та гравійна дорога), і випробування повторювали на швидкостях 30 та 50 км/год. Під час випробувань радіо було вимкнено, а система вентиляції повітря була встановлена на мінімальний режим (I) з функцією обдування вікон.

Шум, спричинений шинами, вимірювався за допомогою мобільного додатку Sound Meter на телефоні, який вимірює рівень шуму в режимі реального часу та вибирає мінімальне, максимальне та середнє значення відповідно до періоду вимірювання (рис. 3.7). Під час вимірювання телефон розміщувався на м'якому тканинному пасажирському сидінні.

					MP.AT-81.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.7 - Робоче вікно мобільного додатку Sound Meter та розташування телефону під час вимірювання (фотографії автора)

Вимірювання шуму шин проводилися на чотирьох різних дорожніх покриттях. Фотографії цих доріг представлені на рисунку 3.8.



Рисунок 3.8 - Фотографії дорожніх покриттів, що використовуються для випробування шуму шин (фотографії автора)

Вимірювання шуму шин повторювали 4 рази на кожній поверхні за різних швидкостей 30 та 50 км/год, зберігаючи при цьому ту саму швидкість двигуна та передачу. Отримані дані представлені на рисунку 3.9.

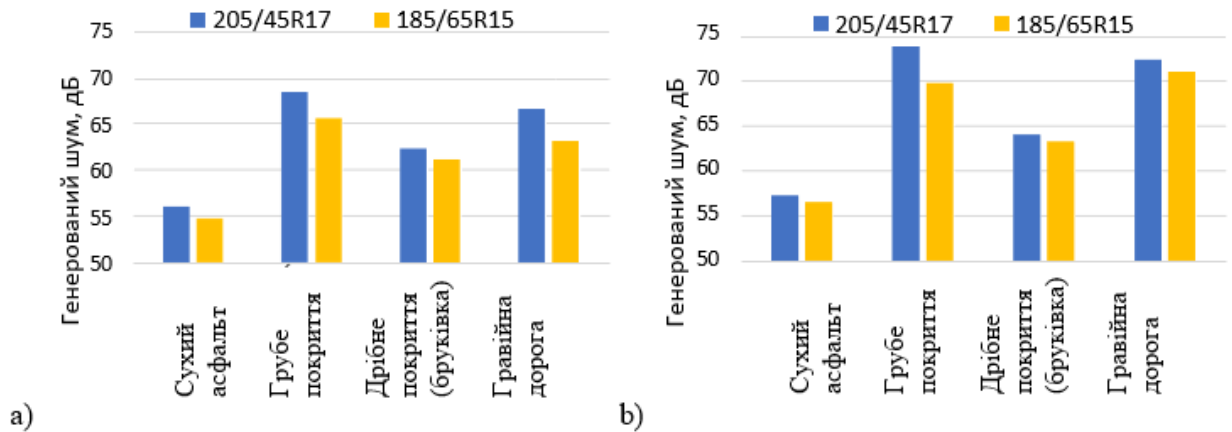


Рисунок 3.9 - Шум шин у дБ для різних дорожніх покриттів:

а) на швидкості 30 км/год, б) на швидкості 50 км/год

Згідно з отриманими результатами, ми бачимо, що під час руху як зі швидкістю 30, так і 50 км/год, ширші шини 205/45R17 створюють більше шуму. Також обидва розміри шин створюють більше шуму на вищих швидкостях.

Порівнюючи ці результати із заявленими виробником значеннями (71 дБ для 15-дюймових шин та 72 дБ для 17-дюймових шин), видно, що при швидкості 30 км/год ці значення не досягаються, а досягаються лише під час руху по грубому покриттю та гравійним дорогам зі швидкістю 50 км/год. Це пояснюється тим, що шум шин у маркуванні шин визначається, коли автомобіль рухається зі швидкістю 80 км/год по сухому асфальту.

### 3.3. Вимірювання вертикальних коливань під час руху по різних поверхнях - експериментальне дослідження

Для експериментального дослідження вертикальних коливань шин різних розмірів було обрано 4 різні поверхні (сухий асфальт, дрібне покриття (бруківка), грубе покриття (цегла) та гравійна дорога), а випробування повторювали на швидкостях 30 та 50 км/год. Під час випробувань радіо було

вимкнено, а система вентиляції повітря була встановлена в мінімальне положення (I) з функцією обдування вікон.

Вертикальні коливання вимірювалися за допомогою мобільного додатку Vibrometer на телефоні, який вимірює вертикальні коливання (зміщення) телефону в режимі реального часу на частоті захоплення 30 Гц та вибирає максимальні та середні значення відповідно до періоду вимірювання (рис. 3.10 а). Під час вимірювання телефон був закріплений на жорсткому тримачі для телефону на передній консолі (рис. 3.10 б).

Вимірювання вертикальних коливань проводилися на чотирьох різних поверхнях.



Рисунок 3.10 а) Робоче вікно мобільного застосунку Vibrometer;  
б) Місце кріплення телефону в автомобілі (фотографії автора)

Вимірювання вертикальної вібрації повторювали 4 рази на кожній поверхні за різних швидкостей 30 та 50 км/год, зберігаючи при цьому ту саму швидкість двигуна та передачу. Середні значення вібрацій залежно від

дорожнього покриття та швидкості представлені на рисунку 53.

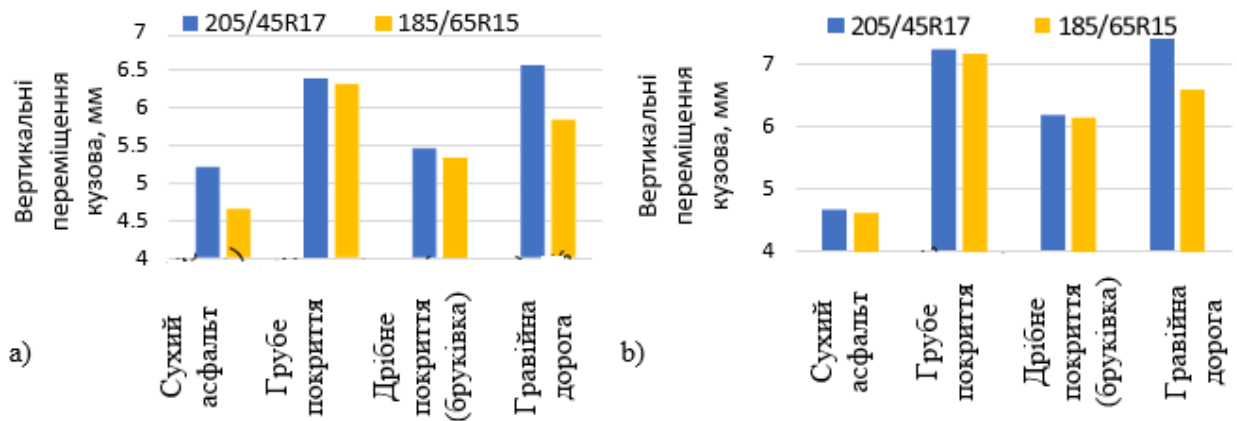


Рисунок 3.11 - Вертикальні переміщення кузова для різних дорожніх покриттів: а) на швидкості 30 км/год, б) на швидкості 50 км/год

Згідно з отриманими результатами, ми бачимо, що під час руху зі швидкістю 30 та 50 км/год спостерігаються більші вертикальні коливання (зміщення) при русі з шинами 205/45R17. При швидкості 30 км/год різниця в коливаннях становить 0,55 мм при русі по асфальту, 0,075 мм при русі по грубому покриттю та 0,725 при русі по гравію, тоді як при швидкості 50 км/год різниці в коливаннях при русі по асфальту немає, різниця становить 0,05 мм при русі по грубому покриттю, 0,025 мм при русі по дрібному покриттю та 0,8 мм при русі по гравію. Тому, після цього дослідження, можна стверджувати, що водії, які шукають більш комфортного водіння, повинні вибирати вужчі шини з вищим профілем, які забезпечують кращу амортизацію при русі по нерівних дорожніх покриттях.

## **4 ВИМОГИ ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ШИНОМОНТАЖНИХ РОБІТ**

Перед зняттям колеса необхідно перевірити положення замкового кільця, ослабити затягнення гайок, автомобіль вивісити за допомогою спеціального підйомника чи іншого підйомного механізму.

Перед вивішуванням частини автомобіля за допомогою підйомних механізмів (домкрати, пересувні підйомники, талі тощо), необхідно спочатку встановити транспортний засіб на рівній поверхні, зупинити двигун, включити знижену передачу, загальмувати його стоянковим гальмом, підставити під колеса, які не підіймаються, упорні колодки (башмаки), а у автобуса додатково перевірити стан опорної поверхні кузова.

При вивішуванні частини транспортного засобу плунжер домкрата або надставка до нього повинні бути встановлені в спеціально передбачені для цього місця відповідно до інструкції з експлуатації транспортного засобу.

Під вивішені для огляду, профілактичних робіт чи ремонту за допомогою домкрата частини транспортного засобу, під неї повинні бути встановлені підставки (козелки). Підставки (козелки) повинні встановлюватися в місцях, зазначених у технологічній документації або у документації з експлуатації транспортного засобу.

Домкрат потрібно встановлювати на рівну неслизьку поверхню. У разі неміцного ґрунту під основу домкрата необхідно підкласти міцну дерев'яну підставку площею не менше 0,1 м<sup>2</sup> або дошку.

Перед демонтажем шини (з диску колеса) повітря з камери повинно бути повністю випущене. Демонтаж шини, яка щільно прилягає до ободу, необхідно виконувати на спеціальному стенді або за допомогою знімального пристосування. Монтаж і демонтаж шин необхідно проводити монтажним інструментом.

Перед монтажем шини необхідно перевірити справність і чистоту ободу, диска колеса, бортового і замкового кілець, а також шини.

					MP.AT-81.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Замкове кільце при монтажі шини на диск колеса повинно надійно входити у виїмку ободу усією внутрішньою поверхнею.

Ободи і їх елементи не допускаються до монтажу при виявленні на них деформацій, тріщин, гострих кромek і задирок, іржі в місцях контакту з шиною, виробці кріпильних отворів більше допустимих розмірів.

Накачування та підкачування знятих з транспортних засобів шин в гаражних умовах необхідно проводити в запобіжних клітках (пристроях) або з використанням інших запобіжних пристроїв, що перешкоджають вильоту кільця та травмуванню працівників при розриві шини.

При накачуванні шин в дорожніх умовах необхідно використовувати переносні запобіжні пристрої, запобіжну вилку, відповідної довжини та міцності, або покласти колесо замковим кільцем униз.

При виконанні шиномонтажних робіт забороняється:

- при демонтажі шини вибивати диск кувалдою (молотком);
- знімати одне із здвоєних коліс з автомобіля без застосування домкрата, шляхом наїзду другого здвоєного колеса на виступаючий предмет (камінь, бордюр тощо);
- при накачуванні шини повітрям підправляти її положення на диску шляхом постукування;
- монтувати шини на диски коліс, що не відповідають розміру шин, а також, якщо вони мають задирки чи пошкодження, які перешкоджають монтажу;
- під час накачування шини або коли шина знаходиться під тиском, поправляти положення бортового та замкового кільця, бити по замковому кільцю молотком, кувалдою або іншими предметами;
- накачувати шини більше норми, встановленої заводом-виробником;
- перекочувати вручну колеса, диски та шини масою більше 20 кг;
- застосовувати при монтажі шини замкові та бортові кільця, що не відповідають даній моделі.

					MP.AT-81.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

Запобіжні клітки (пристрої) повинні розташовуватися в безпосередній близькості від компресора. При цьому довжина шланга для накачування шин не повинна перевищувати відстань від місця його приєднання до компресора до середини запобіжної клітки (пристрою).

Накачування шин слід виконувати в два етапи. Спочатку шину слід накачати до тиску 0,05 МПа та перевірити положення замкового кільця. Далі необхідно переконатися, що кромка кільця знаходиться під бортом шини, та докачати шину до встановленого заводом-виробником тиску. У разі виявлення неправильного положення замкового кільця необхідно випустити повітря з шини, поправити положення кільця, а потім повторити вище вказані операції. При повторному неправильному положенні замкового кільця його необхідно замінити.

Підкачку шин без демонтажу слід проводити у тому разі, коли тиск повітря в них знизився більш ніж на 40% від норми і є впевненість, що правильність монтажу не порушена.

На пристрої для накачування шин (компресор) повинен бути встановлений дозатор тиску повітря або манометр, що дозволяє регулювати величину тиску для різних шин.

Редуктор на стенді для демонтажу та монтажу шин повинен бути закритий кожухом.

Роботи з вулканізації шин і камер повинні виконуватись в окремому приміщенні.

Працівнику, який обслуговує вулканізаційний апарат забороняється покидати робоче місце під час роботи апарата або допускати до роботи на ньому сторонніх осіб.

					MP.AT-81.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

1. Згідно з проаналізованими джерелами наукової літератури, можна стверджувати, що автомобіль із ширшими шинами краще гальмує на сухому та відносно якісному та стані дорожнього покриття, оскільки домінує сила зчеплення між шинами та дорожнім покриттям, але під час руху по поганому, мокрому, обледенілому або засніженому покриттю вужчі шини гальмують краще, оскільки домінує сила гістерезису.

2. Згідно з проаналізованими джерелами наукової літератури, шини з вищим профілем забезпечують краще поглинання ударів у вертикальному напрямку, але при поворотах вони схильні більше деформуватися в поперечному напрямку, що знижує точність керування автомобілем порівняно з шинами з нижчим профілем.

3. Згідно з регламентованим маркуванням шин виробниками, індекс гальмування на мокрому покритті ширших шин погіршується, а шум, що спричиняється шинами, збільшується, але ці дані носять загальний характер і призначені для пересічних споживачів, тому цих даних занадто мало для об'єктивної оцінки характеристик шин.

4. За даними експертів Auto Bild, шини одного виробника, які на 20–40 мм ширші, гальмують на 4,5–10% краще на сухій дорозі під час гальмування (зі 100 до 0 км/год), але гальмують на 2–3,5% гірше на мокрій дорозі під час гальмування (зі 80 до 0 км/год).

6. Згідно з експериментальним маневром гальмування автомобіля, виконаним з шинами різної геометрії, було виявлено, що автомобіль зупиняється швидше з вужчими шинами 185/65R15 (близько 11%), а коефіцієнт MFDD мінімально (близько 1,5%) вищий, ніж з ширшими шинами 205/45 R17. Це спростовує гіпотезу про те, що ширші шини краще гальмують на сухому покритті, оскільки покриття на українських дорогах поступається дуже якісному (гладкість та чистота) дорожньому покриттю, а домінує зчеплення з дорожньою поверхнею, засноване як на явищах адгезії, так і на

					MP.AT-81.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гістерезисі.

7. Згідно з експериментальними дослідженнями шуму шин, було виявлено, що під час руху зі швидкістю 50 км/год ширші шини 205/45R17 створюють на 1,31% більше шуму під час руху по сухому асфальту, на 5,42% по нерівному покриттю, на 1,17% по нерівному покриттю, на 1,73% по гравію, а під час руху зі швидкістю 30 км/год – на 2,23% по сухому асфальту, на 4,03% по нерівному покриттю, на 2,01% по дрібному покриттю, на 5,26% по гравію, порівняно з шиною 185/65 R15 того ж виробника та геометрії моделі.

8. Згідно з проведеними експериментальними дослідженнями коливань кузова, було виявлено, що під час руху з вужчими шинами 185/65R15 зі швидкістю 50 км/год кузов розгойдувався на 0,53% менше при русі по сухому асфальту, на 0,69% по грубому покриттю, на 0,40% по дрібному покриттю, на 10,81% по гравію, а під час руху зі швидкістю 30 км/год – на 10,6% по сухому асфальту, на 1,18% по грубому покриттю, на 12,4% по дрібному покриттю та на 11,1% по гравію.

9. Підсумовуючи викладені у висновках тези, можна стверджувати, що за ідеальних умов дуже гарної якості дорожнього покриття (домінантне зчеплення) ширші шини з нижчим профілем краще гальмують на сухому дорожньому покритті, але за вологого, мокрого або поганої якості дорожнього покриття (домінантний гістерезис) вужчі шини з вищим профілем демонструють кращі гальмівні властивості. Також, проаналізувавши статті наукової літератури, огляди, комп'ютерне моделювання та експериментальні випробування, можна стверджувати, що вужчі шини з вищим профілем є комфортнішими, ніж ширші шини з низьким профілем. Споживачів слід поінформувати, що більші шини не забезпечують помітно кращої керованості та динамічних властивостей за нормальних умов руху на дорогах загального користування, і це скоріше елемент кращого зовнішнього вигляду.

					MP.AT-81.00.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА

1. Jazar R.N. (2009). Vehicle dynamics. Melbourne: Springer. 1015 p.
2. Leister G. (2018). Passenger car tires and wheels. Wiesbaden: Springer. 273 p.
3. Toma S. (2016). Bigger Wheels and Tires – Where Performance Begins And Ends. Autoevolution. <https://www.autoevolution.com/news/bigger-wheels-and-tires-where-performance-begins-and-ends-113542.html>
4. Meywerk M. (2015). Vehicle dynamics. Chennai: Wiley. 235 p.
5. Daws J.W., Larson R.E., Brown J.C. (2005). The Impact of Plus-Sized Wheel/Tire Fitment on Vehicle Stability. Tire Science and Technology
6. Mattson C. (2013). The Physics of Tire Width. Physics 211 [http://ffdenphys.uaf.edu/211\\_fall2013.web.dir/connor\\_mattson/physics.html/](http://ffdenphys.uaf.edu/211_fall2013.web.dir/connor_mattson/physics.html/)
7. Secunda M. As an engineer, I know that friction does not depend upon surface area. As a car nut, I know that wider tires have better traction. How do you explain this contradiction?. Physlink. <https://www.physlink.com/Education/askexperts/ae200.cfm>
8. Besselink I. J. M., Schmeitz A. J. C., Pacejka H. B. (2010). An improved Magic Formula/Swift tyre model that can handle inflation pressure changes Vehicle Systems Dynamics.
9. Quiroga T. (2010). Effects of Upsized Wheels and Tires Tested. Car and Driver. <https://www.caranddriver.com/features/a15130598/upsized-wheels-tires/https://17to40.co.uk/the-tire-contact-patch/>
10. Gillerspie T.D. (1992). Fundamentals of vehicle dynamics. Society of Automotive Engineers. 495 p.

					MP.AT-53.00.00.000 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# **Комплект ілюстративного матеріалу до захисту магістерської роботи**

студента групи АТм-24-2

*Лавріва Максима Михайловича*

**ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ МІЖ ГЕОМЕТРІЄЮ ШИН І  
ДИНАМІЧНОЮ СТАБІЛЬНІСТЮ ТА КОМФОРТОМ ПІД ЧАС  
РУХУ АВТОМОБІЛЯ**

Науковий керівник: доц. Гнип М.М.

Івано-Франківськ  
2025р.

# МЕТА і ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

**Актуальність.** Шина має найбільший вплив на зчеплення автомобіля з дорожнім покриттям, оскільки це єдиний елемент, який має контакт між дорожнім покриттям та автомобілем. Для покращення зчеплення шини виготовляються з різних сумішей матеріалів, з різними малюнками протектора, різною м'якістю або різними типами шин. Було проведено багато досліджень щодо складу шини, роботи систем безпеки автомобіля тощо, але бракує практичних досліджень, які б відповіли на питання, який вплив має регулювання геометрії шин.

**Мета роботи** - Визначити чи забезпечують ширші шини автомобілю більшу стійкість у поворотах та кращі гальмівні властивості порівняно з вузькими шинами, і яка різниця відчувається в комфорті водія та пасажирів.

## **Завдання дослідження:**

- Проаналізувати вплив параметрів геометрії шин на теоретичні характеристики, які вони генерують.
- Проаналізувати тенденції виробників автомобілів щодо встановлення коліс різних розмірів для однієї моделі та вплив цих тенденцій на стійкість та комфорт руху.
- Провести дослідження теоретичних математичних моделей шин та комп'ютерного моделювання руху автомобіля під час запланованих маневрів.
- Провести експериментальні дослідження ефективності гальмування автомобіля з шинами різних розмірів.
- Сформулювати висновки роботи та оцінити рівень комфорту водіння, що визначається шинами різних розмірів.

# МЕТА і ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

**Об'єкт дослідження** - Процес руху автомобіля та його динамічна поведінка під час взаємодії з дорогою.

**Предмет дослідження** – Вплив геометричних параметрів шин на показники динамічної стабільності автомобіля та комфорт руху.

## **Практичне значення**

Практичне значення дослідження полягає в можливості використання отриманих результатів для:

- оптимізації геометричних параметрів шин з метою підвищення динамічної стабільності автомобіля та рівня комфорту під час руху;
- підвищення безпеки дорожнього руху за рахунок покращення керованості, зменшення ризику заносу та втрати зчеплення з дорогою;

**Наукова новизна** встановлено кількісні залежності між геометричними параметрами шин та показниками динамічної стабільності й комфорту руху автомобіля.

**Методи дослідження.** У роботі використано методи аналізу науково-технічної інформації, моделювання, теоретичні та експериментальні дослідження.

**Особистий внесок автора.** Проведено аналіз наукових публікацій та сучасних підходів щодо впливу геометрії шин на динамічну стабільність і комфорт руху автомобіля, сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, виконано експериментальні дослідження впливу геометрії шин на показники стабільності та плавності ходу, сформульовано висновки та практичні рекомендації щодо вибору й оптимізації геометричних параметрів шин.

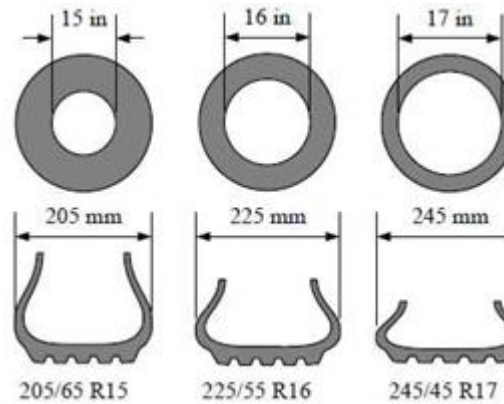


Рисунок 1 - Компоненти шини

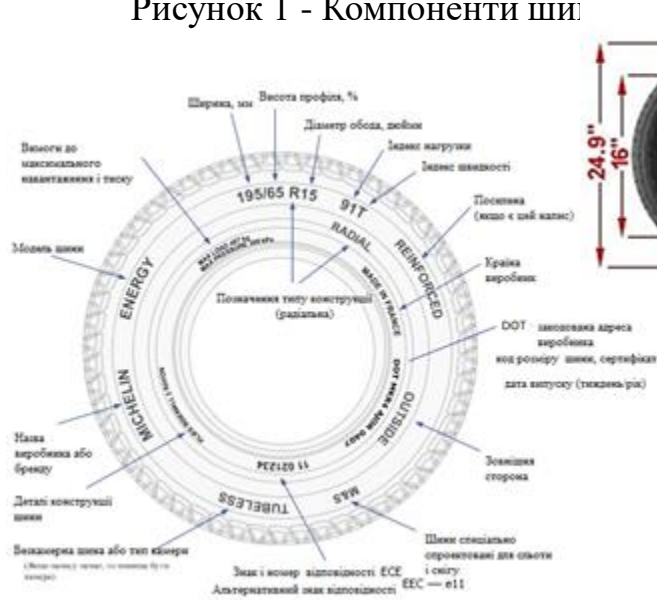
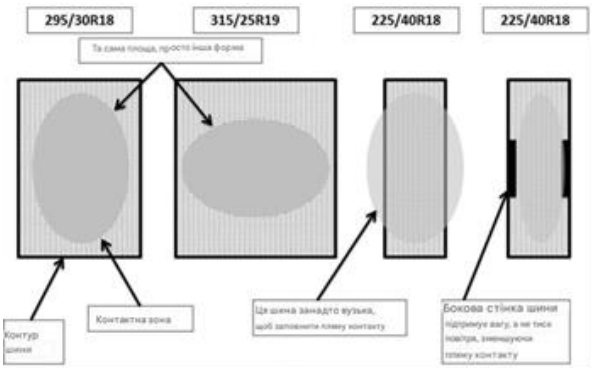


Рисунок 3 - Різні розміри шин при збереженні однакового зовнішнього діаметра: а) концепція «Плюс 1», застосована до шин різних розмірів [1]; б) пропозиція різних розмірів коліс для конкретного автомобіля с) приклади різних розмірів коліс

Рисунок 2 - Інформація на боковині шини, що показує характеристики шини (diski.in.ua/ua/articles);



а)



б)

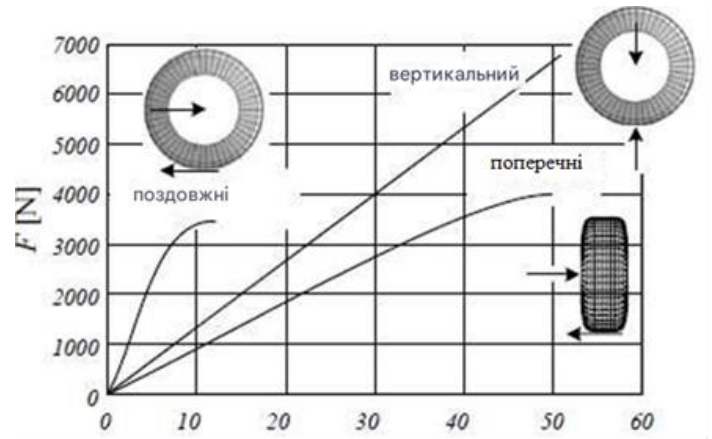


Рисунок 5 - Деформації шин у різних напрямках

Рисунок 4 - а) Площа контакту шини з дорожнім покриттям;  
б) залежність площі контакту шини від геометрії шини

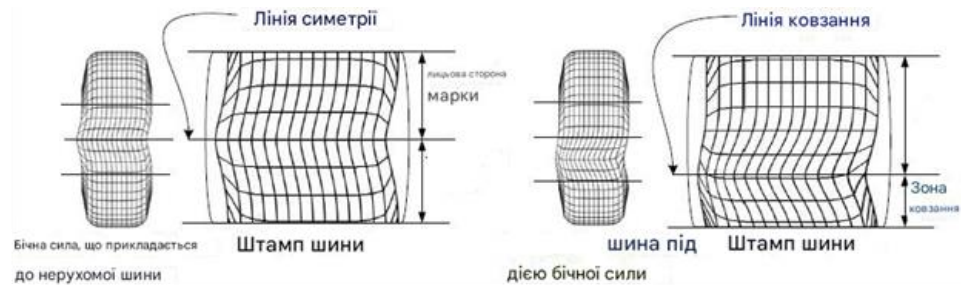


Рисунок 6 - Відбиток шини, коли на шину діє бічна сила під час стоянки та руху

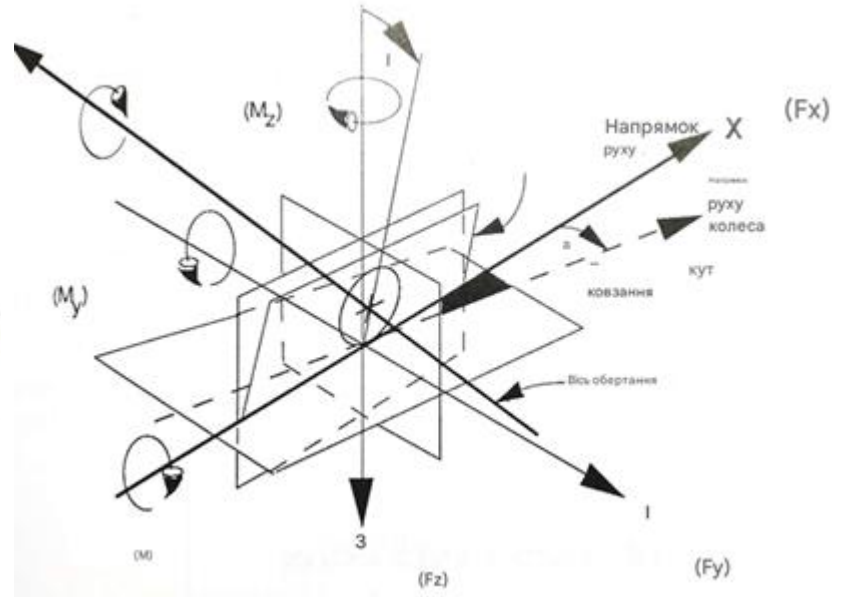


Рисунок 7 - Сили та моменти, що діють на колесо

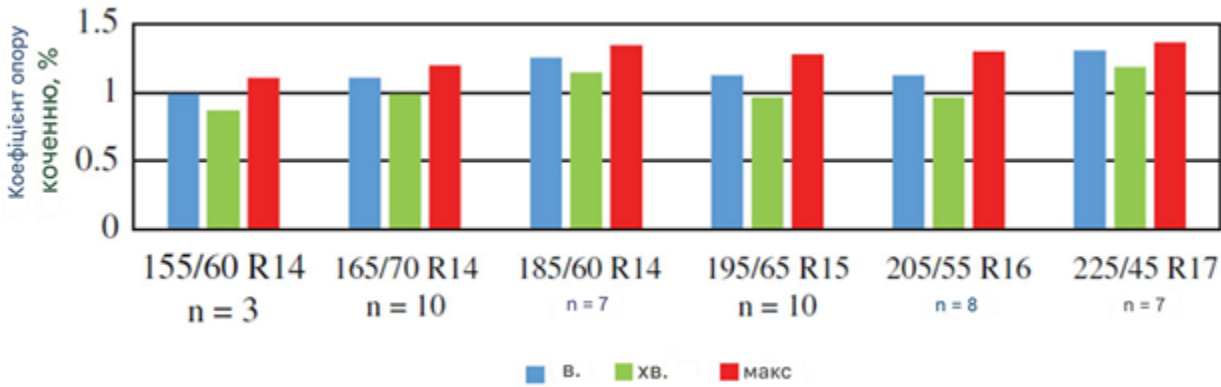


Рисунок 8 - Відсоткова залежність коефіцієнта опору коченню від розмірів літніх шин

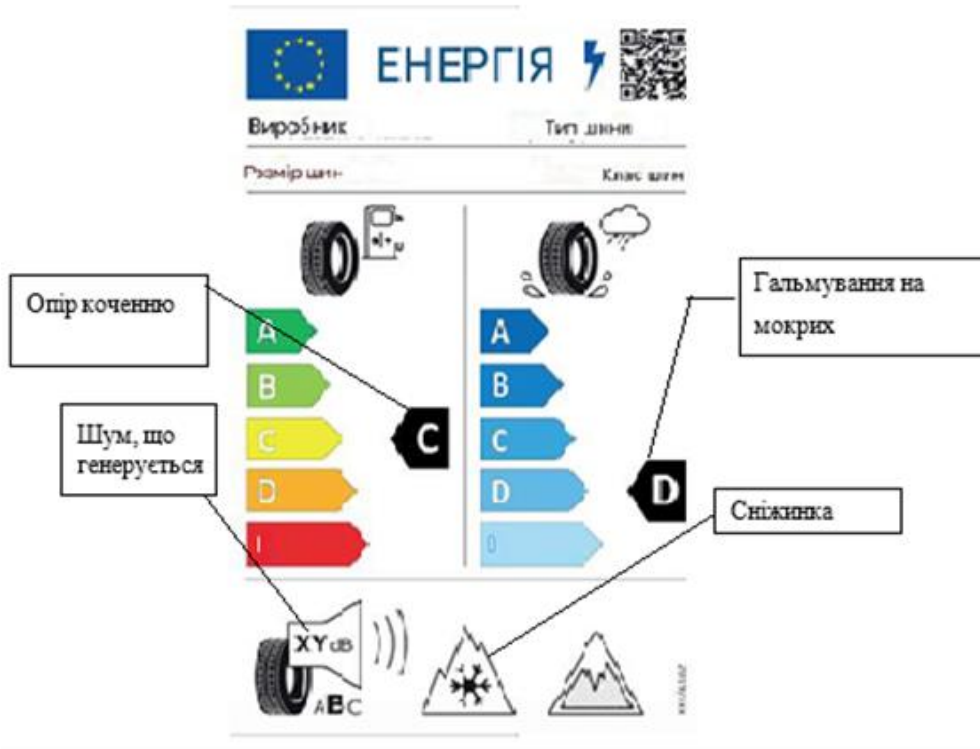


Рисунок 10 - Маркування шин відповідно до останнього Регламенту (ЄС) 2020/740

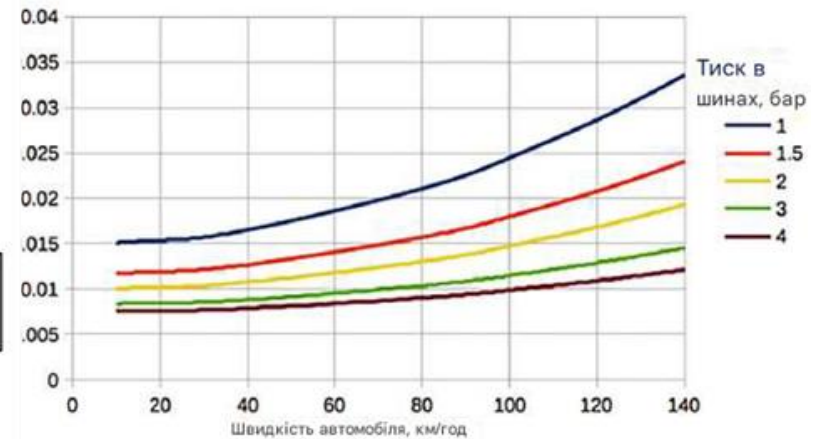


Рисунок 9 - Залежність опору коченню шини від тиску в шинах і швидкості руху

Рисунок 7 - Запас ходу електромобіля Nissan LEAF у різних режимах роботи [3]

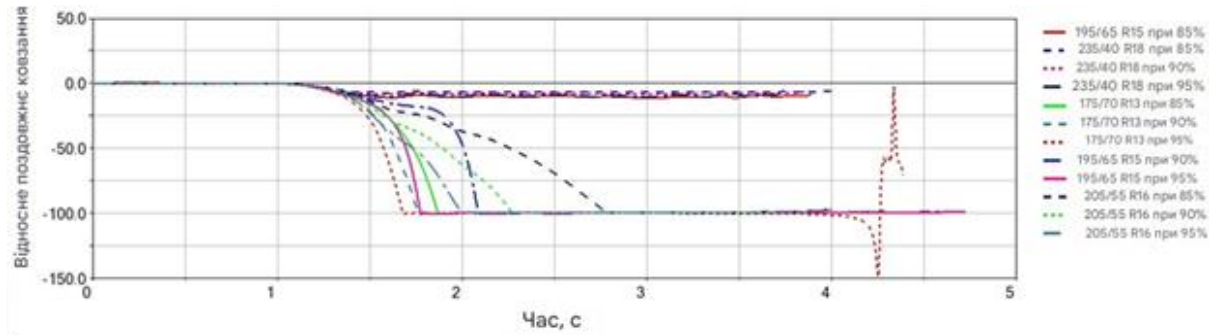


Рисунок 11 - Відносне поздовжнє ковзання шини, що припадає на переднє ліве колесо під час гальмування

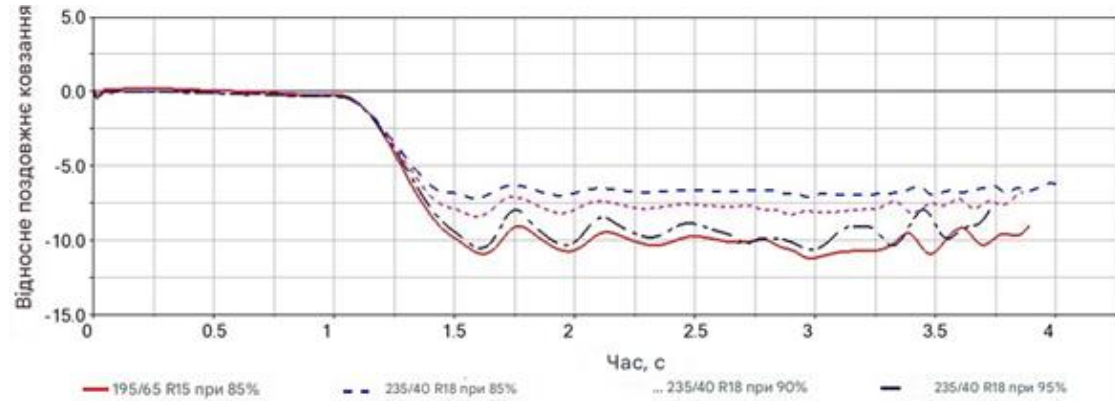


Рисунок 12 – Відносне ковзання шини, що припадає на переднє ліве колесо під час гальмування за умови, що колеса не заблоковані

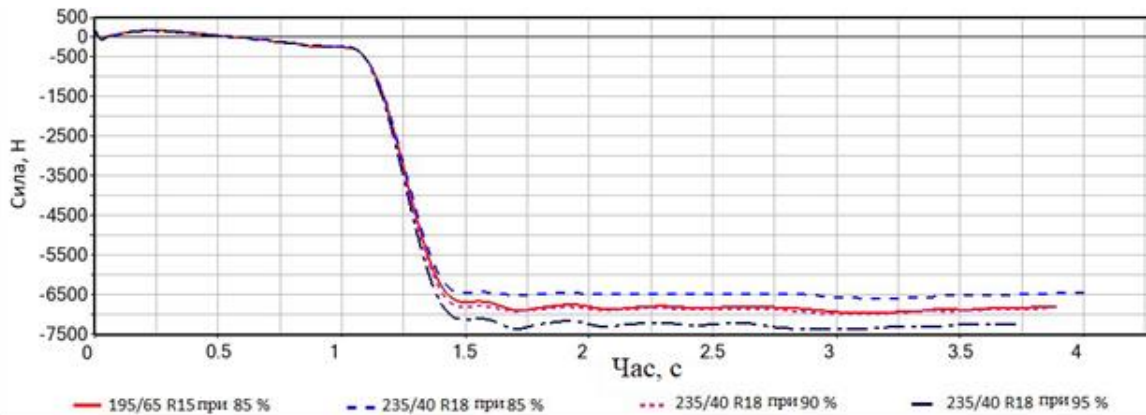


Рисунок 13 - Поздовжня сила зчеплення, що припадає на передні колеса під час гальмування

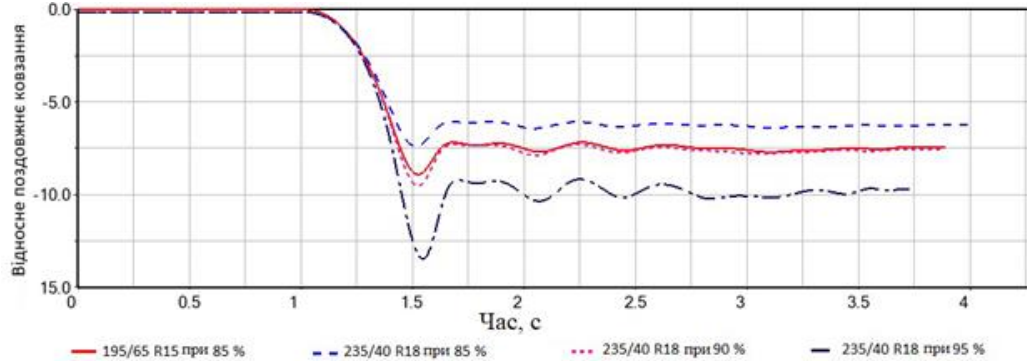


Рисунок 14 - Ковзання шини, що припадає на заднє ліве колесо під час гальмування

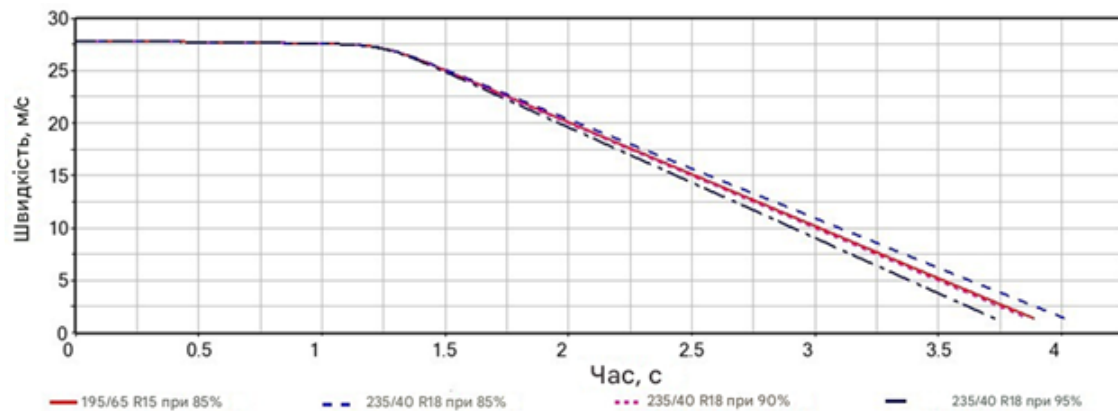


Рисунок 15 – Швидкість гальмування шини під час гальмування

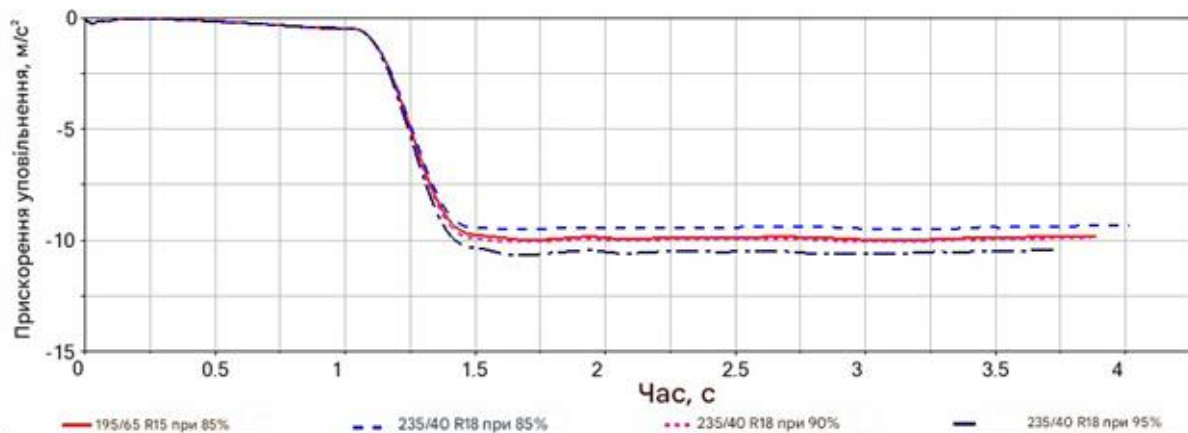


Рисунок 16 - Прискорення уповільнення автомобіля

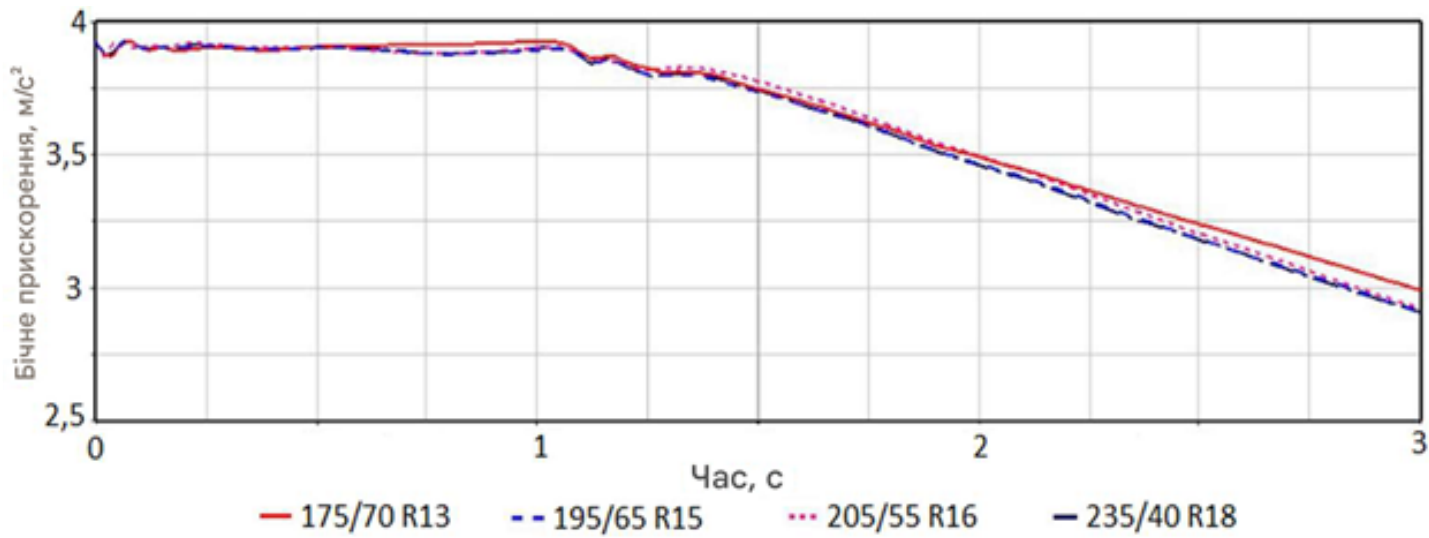


Рисунок 17 - Бокове прискорення під час гальмування в повороті

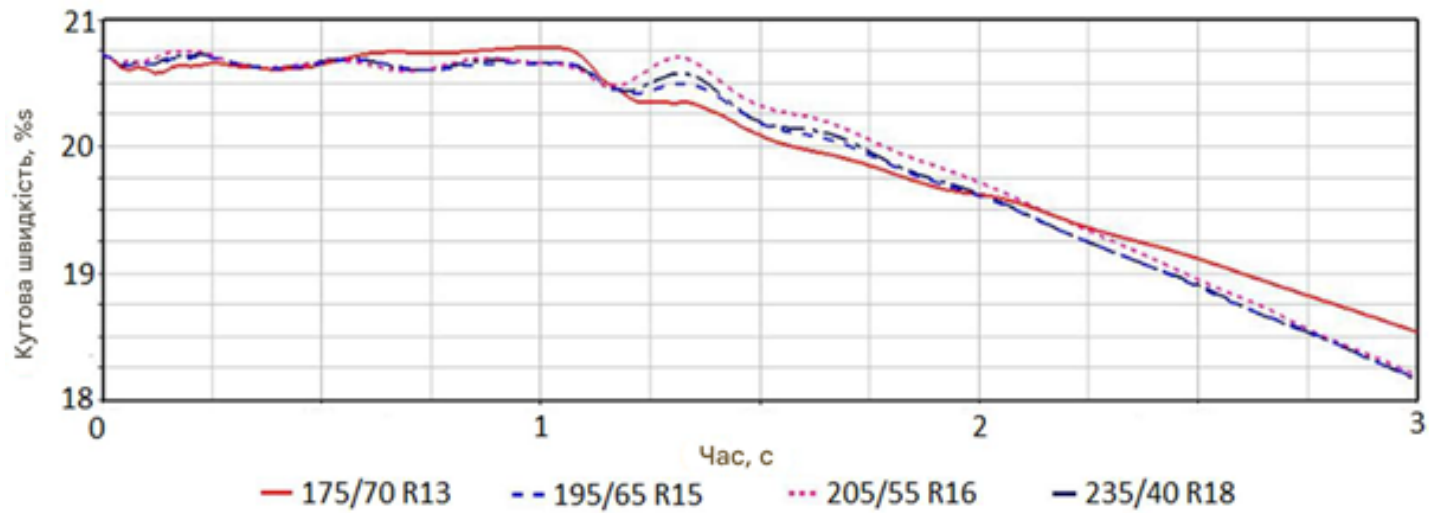


Рисунок 18 - Кутова швидкість під час гальмування в повороті

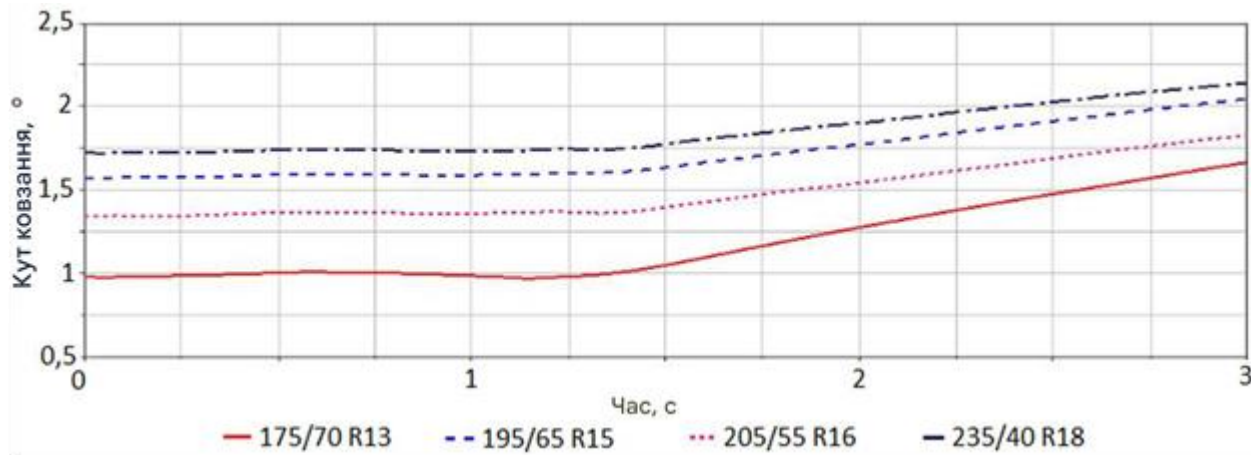


Рисунок 19 - Кут ковзання шин під час гальмування в повороті

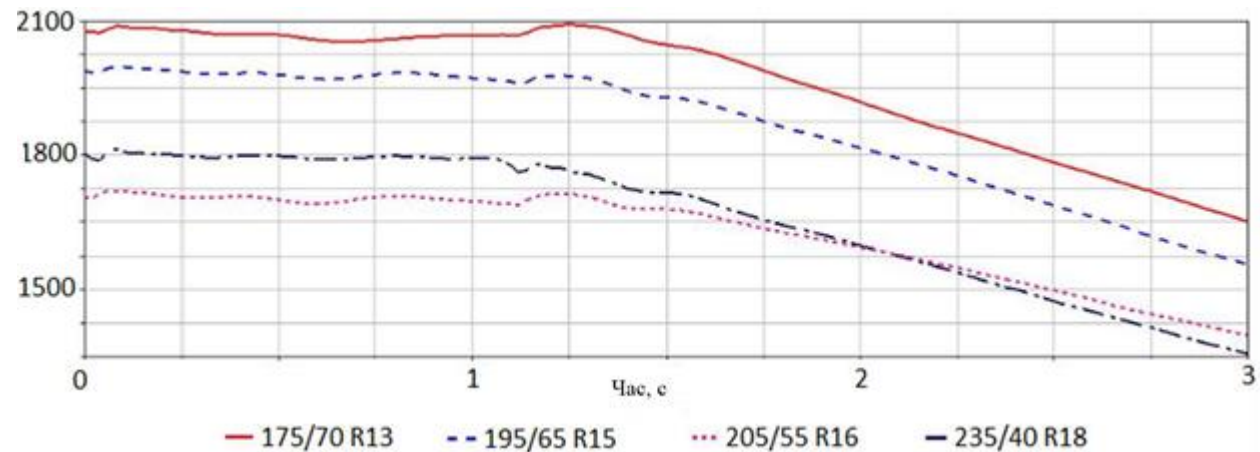


Рисунок 20 - Поперечна сила зчеплення, що припадає на передню ліву шину під час гальмування в повороті



Рисунок 21 - Автомобіль MINI ONE 2001 року випуску (кузов R50) та місце встановлення пристрою XL Meter в автомобілі



Рисунок 22 - Рекомендовані виробником а) 15-дюймові (R82) та б) 17-дюймові (R110) диски с) малюнок шин GOODRIDE SW608

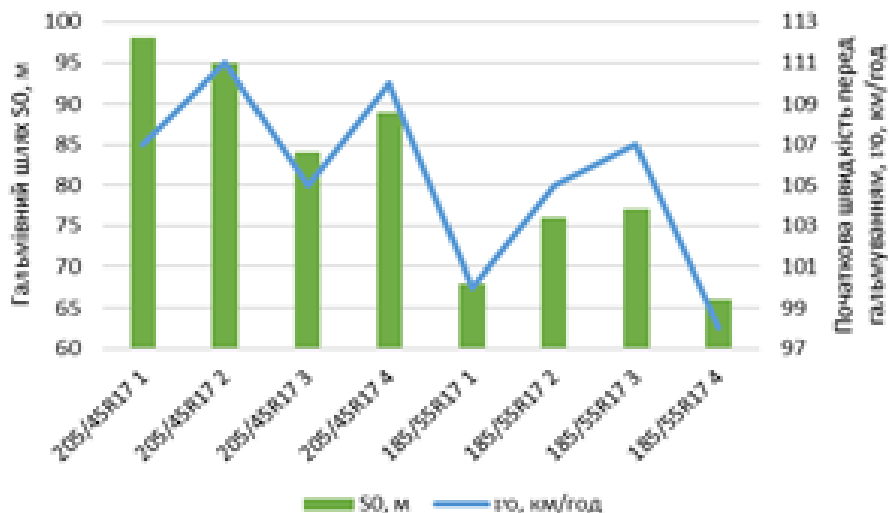


Рисунок 23 - Екран XL Meter відображає довжину гальмівного шляху та швидкість автомобіля перед гальмуванням

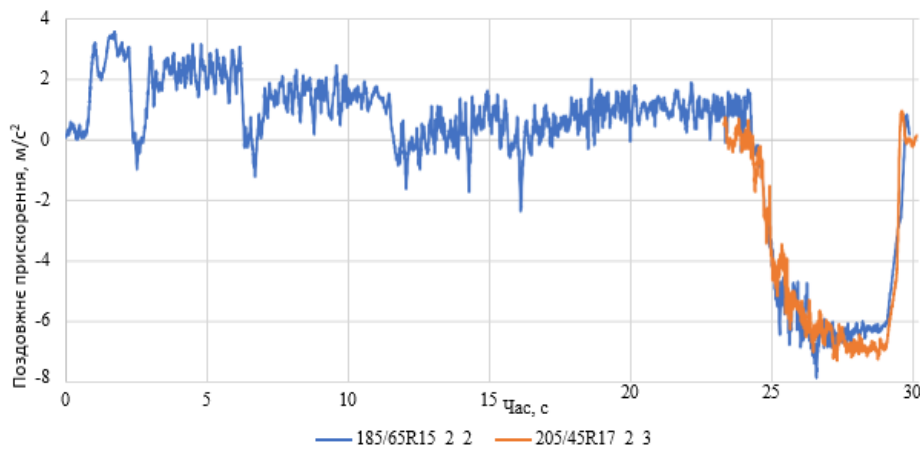


Рисунок 24 – Графік залежності поздовжнього прискорення від часу під час експериментальних досліджень гальмування, де різниця між початковою швидкістю є другою за величиною)

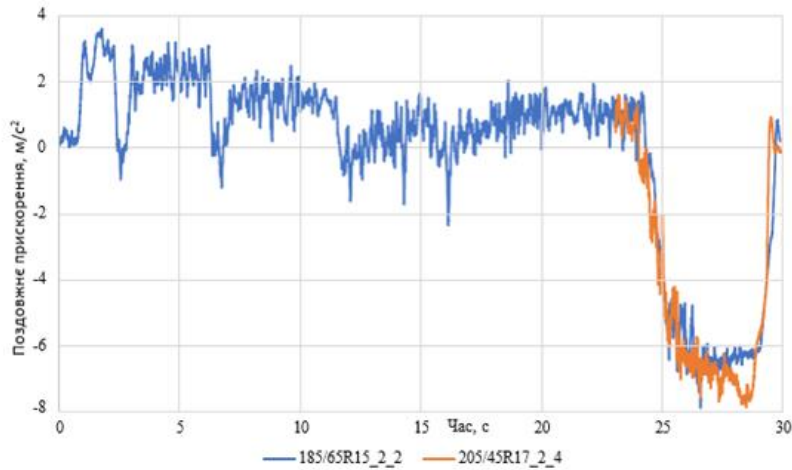


Рисунок 26 - Графік залежності поздовжнього прискорення від часу під час експериментальних досліджень гальмування, коли різниця між часом гальмування є другою найменшою

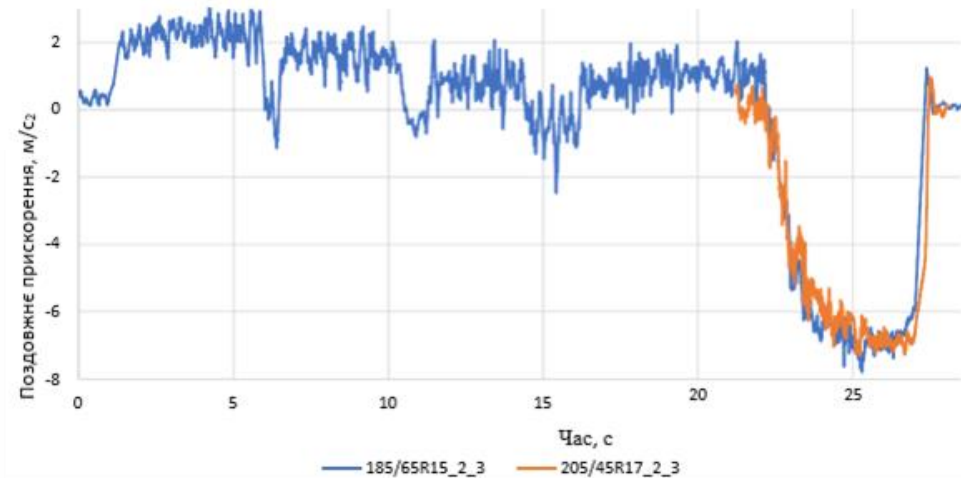


Рисунок 25 - Графік залежності поздовжнього прискорення від часу під час експериментальних досліджень гальмування, коли різниця між гальмівними шляхами найменша

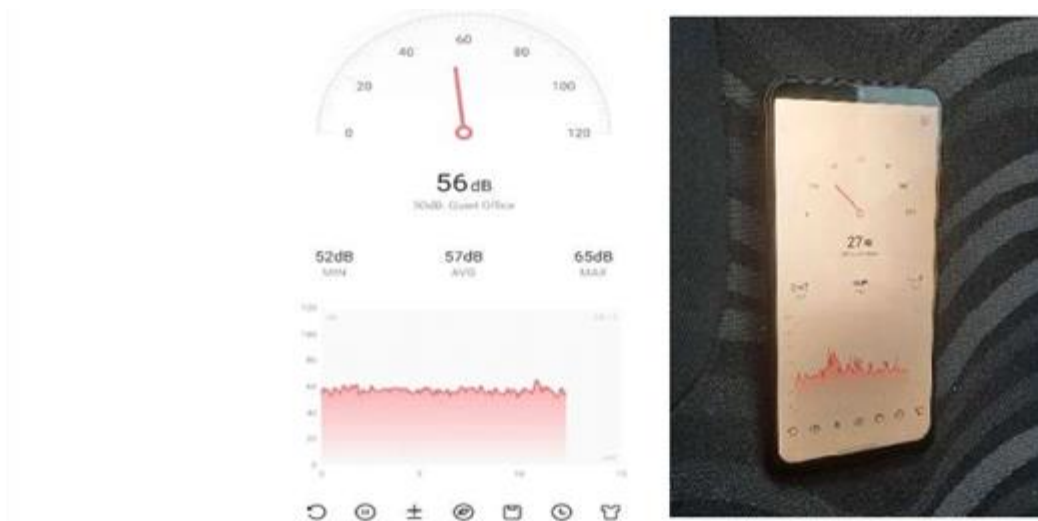


Рисунок 28 - Робоче вікно мобільного додатку Sound Meter та розташування телефону під час вимірювання

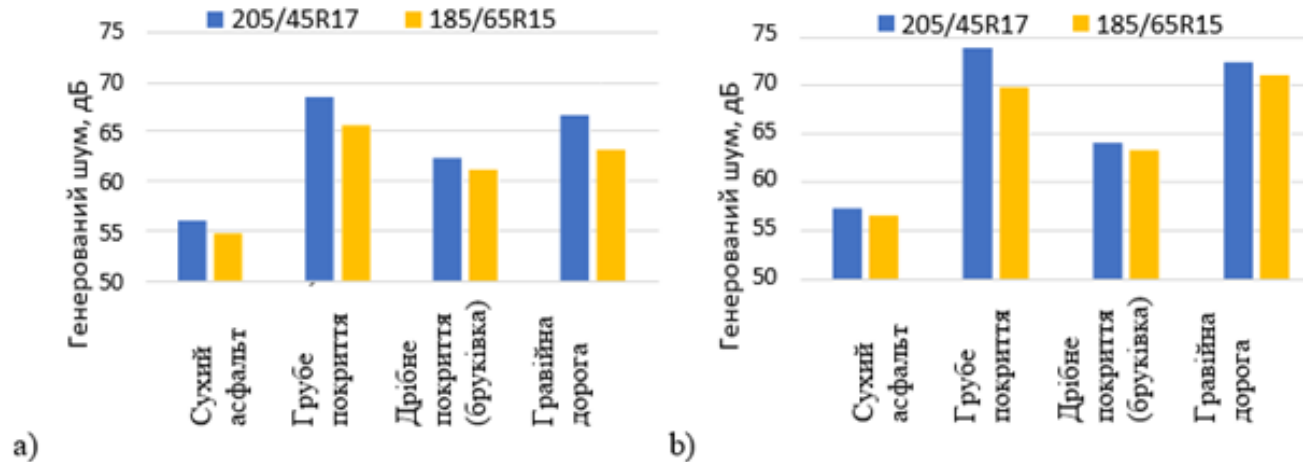


Рисунок 29 - Шум шин у дБ для різних дорожніх покриттів:  
а) на швидкості 30 км/год, б) на швидкості 50 км/год

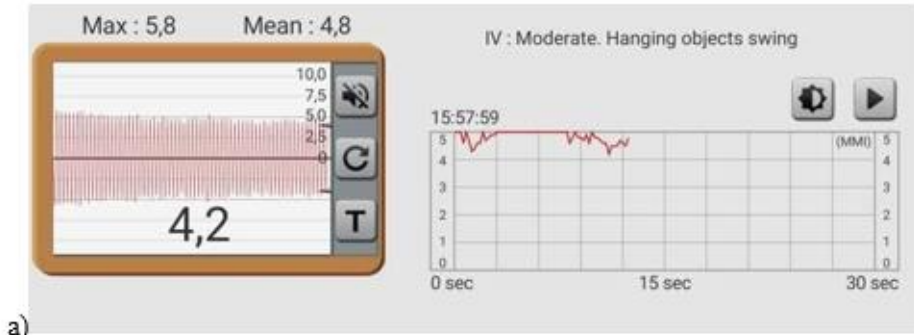


Рисунок 30 - а) Робоче вікно мобільного застосунку Vibrometer;  
б) Місце кріплення телефону в автомобілі

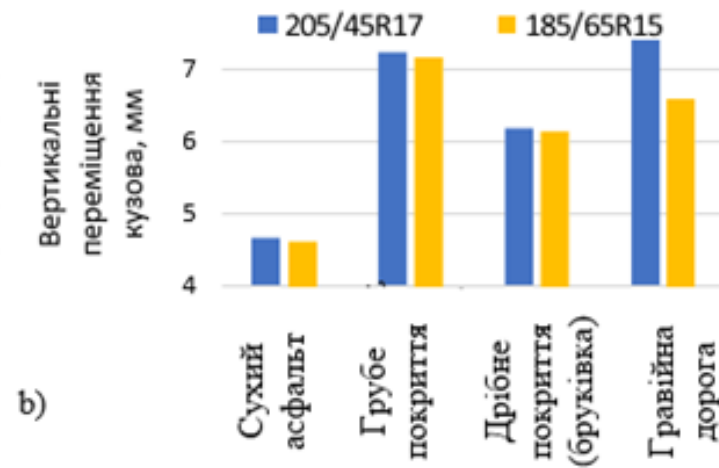
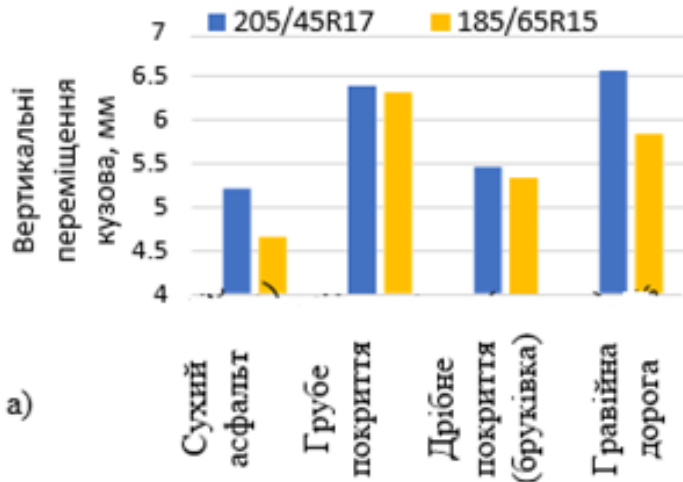


Рисунок 31 - Вертикальні переміщення кузова для різних дорожніх покриттів: а) на швидкості 30 км/год, б) на швидкості 50 км/год

## ВИСНОВКИ

Згідно з проаналізованими джерелами наукової літератури, можна стверджувати, що автомобіль із ширшими шинами краще гальмує на сухому та відносно якісному та стані дорожнього покриття, оскільки домінує сила зчеплення між шинами та дорожнім покриттям, але під час руху по поганому, мокрому, обледенілому або засніженому покриттю вузчі шини гальмують краще, оскільки домінує сила гістерезису.

2. Згідно з проаналізованими джерелами наукової літератури, шини з вищим профілем забезпечують краще поглинання ударів у вертикальному напрямку, але при поворотах вони схильні більше деформуватися в поперечному напрямку, що знижує точність керування автомобілем порівняно з шинами з нижчим профілем.

3. Згідно з регламентованим маркуванням шин виробниками, індекс гальмування на мокрому покритті ширших шин погіршується, а шум, що спричиняється шинами, збільшується, але ці дані носять загальний характер і призначені для пересічних споживачів, тому цих даних занадто мало для об'єктивної оцінки характеристик шин.

4. За даними експертів Auto Bild, шини одного виробника, які на 20–40 мм ширші, гальмують на 4,5–10% краще на сухій дорозі під час гальмування (зі 100 до 0 км/год), але гальмують на 2–3,5% гірше на мокрій дорозі під час гальмування (зі 80 до 0 км/год).

Згідно з експериментальним маневром гальмування автомобіля, виконаним з шинами різної геометрії, було виявлено, що автомобіль зупиняється швидше з вузькими шинами 185/65R15 (близько 11%), а коефіцієнт MFDD мінімально (близько 1,5%) вищий, ніж з ширшими шинами 205/45 R17. Це спростовує гіпотезу про те, що ширші шини краще гальмують на сухому покритті, оскільки покриття на українських дорогах поступається дуже якісному (гладкість та чистота) дорожньому покриттю, а домінує зчеплення з дорожньою поверхнею, засноване як на явищах адгезії, так і на гістерезисі.

7. Згідно з експериментальними дослідженнями шуму шин, було виявлено, що під час руху зі швидкістю 50 км/год ширші шини 205/45R17 створюють на 1,31% більше шуму під час руху по сухому асфальту, на 5,42% по нерівному покриттю, на 1,17% по нерівному покриттю, на 1,73% по гравію, а під час руху зі швидкістю 30 км/год – на 2,23% по сухому асфальту, на 4,03% по нерівному покриттю, на 2,01% по дрібному покриттю, на 5,26% по гравію, порівняно з шиною 185/65 R15 того ж виробника та геометрії моделі.

8. Згідно з проведеними експериментальними дослідженнями коливань кузова, було виявлено, що під час руху з вузькими шинами 185/65R15 зі швидкістю 50 км/год кузов розгойдувався на 0,53% менше при русі по сухому асфальту, на 0,69% по грубому покриттю, на 0,40% по дрібному покриттю, на 10,81% по гравію, а під час руху зі швидкістю 30 км/год – на 10,6% по сухому асфальту, на 1,18% по грубому покриттю, на 12,4% по дрібному покриттю та на 11,1% по гравію.