

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

МР.АТ-80.00.00.000 ПЗ

Група АТм-24-2

Олександр КОВАЛІВ

2025

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

Ковалів Олександр Васильович
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 621.039.75
622.684(477.81)
(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Тема: Дослідження експлуатаційних показників ефективності
роботи автомобільних шин та їх вплив на коефіцієнт зчеплення з
дорожнім покриттям
(назва роботи)

Автомобільний транспорт
(назва освітньої програми)

274-Автомобільний транспорт
(шифр і назва спеціальності)

О.В. Ковалів

(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник Мельник Василь Миколайович, к.т.н., 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 _____ Ковалів Олександр Васильович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи: Дослідження експлуатаційних показників ефективності роботи автомобільних шин та їх вплив на коефіцієнт зчеплення з дорожнім покриттям.

керівник роботи _____ Мельник В.М., к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ____ ” грудня 2025 року № _____

2. Строк подання студентом роботи _____ 19.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи _____

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

4.1 ВСТУП. 4.2 ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ. 4.2.1 Огляд досліджень впливу експлуатаційних властивостей автомобільних шин на керованість. 4.2.2 Аналіз досліджень показників зчеплення автомобільних шин з дорожнім покриттям. 4.3 МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН. 4.4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ОСНОВНИХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН. 4.4.1 Вплив температури та частоти на функціонування шин. 4.4.2 Аквапланування та гідродинамічні властивості шин. 4.5 ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ШИНОРЕМОНТНИХ РОБІТ. 4.5.1 Загальні вимоги техніки безпеки під час виконання шиномонтажних робіт. 4.5.2 Вимоги безпеки перед початком роботи. 4.5.3 Вимоги безпеки під час виконання роботи. 4.5.4 Вимоги безпеки після закінчення роботи. 4.5.5 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях. 4.6 ВИСНОВКИ. 4.7 СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ. 4.8 ДОДАТОК А – ІЛЮСТРАТИВНІ МАТЕРІАЛИ.

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 28.11.2025 р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів дипломного роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	4.1 ВСТУП. 4.2 ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ. 4.2.1 Огляд досліджень впливу експлуатаційних властивостей автомобільних шин на керованість.	01.12.2025 р.	
2	4.2.2 Аналіз досліджень показників зчеплення автомобільних шин з дорожнім покриттям.	05.12.2025 р.	
3	4.3 МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН.	08.12.2025 р.	
4	4.4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ОСНОВНИХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН. 4.4.1 Вплив температури та частоти на функціонування шин. 4.4.2 Аквапланування та гідродинамічні властивості шин.	11.12.2025 р.	
5	4.5 ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ШИНОРЕМОНТНИХ РОБІТ. 4.5.1 Загальні вимоги техніки безпеки під час виконання шиномонтажних робіт. 4.5.2 Вимоги безпеки перед початком роботи. 4.5.3 Вимоги безпеки під час виконання роботи. 4.5.4 Вимоги безпеки після закінчення роботи. 4.5.5 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.	15.12.2025 р.	
6	4.6 ВИСНОВКИ. 4.7 СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ. 4.8 ДОДАТОК А – ІЛЮСТРАТИВНІ МАТЕРІАЛИ.	19.12.2025 р.	
7	Готовність роботи до попереднього захисту.	19.12.2025 р.	

Студент Олександр КОВАЛІВ
(Особистий підпис) (Розшифровка підпису)

Керівник Василь МЕЛЬНИК
(Особистий підпис) (Розшифровка підпису)

АНОТАЦІЯ

У магістерській роботі досліджено експлуатаційних показників ефективності роботи автомобільних шин та їх вплив на коефіцієнт зчеплення з дорожнім покриттям.

На експлуатаційні показники ефективності роботи автомобільних шин впливають численні параметри, включаючи конструктивні фактори транспортного засобу, швидкість, характеристики підвіски, коливання від дороги, рульове керування та властивості шин.

З результатів досліджень еластичних властивостей зимової шини оптимальними температурними режимами роботи для неї буде діапазон з -25°C по -5°C .

Для всесезонної шини температурний режим роботи за показником еластичності буде знаходитися в діапазоні з -5°C по $+20^{\circ}\text{C}$.

Літні шини мають добрі еластичні властивості за температурного діапазону $+5^{\circ}\text{C}$ по $+25^{\circ}\text{C}$.

Нами встановлено, що еластичність, гістерезис та втрата енергії гуми змінюються залежно від температури та частоти напружень.

В результаті дослідження швидкості аквапланування шин від ступеня їх накачування нами встановлено, що із зростанням тиску вшинах від 1 до 5 бар швидкість аквапланування зростає від 45 до 90 км/год.

Ключові слова: експлуатаційні показники, автомобільні шини, виробництво, експлуатація, коефіцієнт зчеплення, автомобіль.

ABSTRACT

The master's thesis investigated the performance indicators of automobile tires and their influence on the coefficient of adhesion to the road surface.

The performance indicators of automobile tires are influenced by numerous parameters, including vehicle design factors, speed, suspension characteristics, road vibrations, steering, and tire properties.

From the results of studies of the elastic properties of a winter tire, the optimal temperature regimes for it will be the range from -25°C to -5°C .

For an all-season tire, the temperature regime for the elasticity index will be in the range from -5°C to $+20^{\circ}\text{C}$.

Summer tires have good elastic properties in the temperature range from $+5^{\circ}\text{C}$ to $+25^{\circ}\text{C}$.

We have established that the elasticity, hysteresis, and energy loss of rubber vary depending on the temperature and frequency of stresses.

As a result of studying the speed of aquaplaning of tires depending on their inflation level, we found that with increasing tire pressure from 1 to 5 bar, the speed of aquaplaning increases from 45 to 90 km/h.

Keywords: performance indicators, car tires, production, operation, adhesion coefficient, car.

ABSTRAKT

Die Masterarbeit untersuchte die Leistungskennwerte von Autoreifen und deren Einfluss auf den Haftreibungskoeffizienten.

Die Leistungskennwerte von Autoreifen werden von zahlreichen Parametern beeinflusst, darunter Fahrzeugkonstruktionsfaktoren, Geschwindigkeit, Fahrwerkscharakteristik, Fahrbahnschwingungen, Lenkung und Reifeneigenschaften.

Aus den Ergebnissen von Untersuchungen der elastischen Eigenschaften eines Winterreifens ergibt sich ein optimaler Temperaturbereich von -25 °C bis -5 °C.

Für einen Ganzjahresreifen liegt der optimale Temperaturbereich für den Elastizitätsindex zwischen -5 °C und +20 °C.

Sommerreifen weisen im Temperaturbereich von +5 °C bis +25 °C gute elastische Eigenschaften auf.

Wir haben festgestellt, dass Elastizität, Hysterese und Energieverlust von Gummi in Abhängigkeit von Temperatur und Frequenz der Belastung variieren.

Die Untersuchung der Aquaplaning-Geschwindigkeit von Reifen in Abhängigkeit vom Reifendruck ergab, dass sich die Aquaplaning-Geschwindigkeit mit steigendem Reifendruck von 1 auf 5 bar von 45 auf 90 km/h erhöht.

Schlüsselwörter: Leistungskennzahlen, Autoreifen, Produktion, Betrieb, Haftreibungskoeffizient, Auto

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП.....	7
1 ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	9
1.1 Огляд досліджень впливу експлуатаційних властивостей автомобільних шин на керованість	9
1.2 Аналіз досліджень показників зчеплення автомобільних шин з дорожнім покриттям.....	12
2 МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН.....	19
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ОСНОВНИХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН.....	25
3.1 Вплив температури та частоти на функціонування шин.....	25
3.2 Аквапланування та гідродинамічні властивості шин.....	32
4 ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ШИНОРЕМОНТНИХ РОБІТ.....	43
4.1 Загальні вимоги техніки безпеки під час виконання шиномонтажних робіт.....	43
4.2 Вимоги безпеки перед початком роботи.....	45
4.3 Вимоги безпеки під час виконання роботи.....	37
4.4 Вимоги безпеки після закінчення роботи.....	49
4.5 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях.....	49
ВИСНОВКИ.....	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54
ДОДАТОК А – ІЛЮСТРАТИВНІ МАТЕРІАЛИ.....	62

					МР.АТ-80.00.00.000 ПЗ						
Зм.	Арк..	№ докум.	Підпис	Дата	Дослідження експлуатаційних показників ефективності роботи автомобільних шин та їх вплив на коефіцієнт зчеплення з дорожнім покриттям	Літ.		Арк.		Акрушів	
Розроб.		Ковалів О.В.							6		76
Перевір.		Мельник В.М.				ІФНТУНГ, АТм-24-2					
Реценз.											
Н. контр.		Прунько І.Б.									
Затверд.		Криштопа С.І.									

ВСТУП

Актуальність. Характеристики шин, такі як малюнок протектора, глибина протектора, тиск у шинах та матеріал суттєво впливають на коефіцієнт зчеплення, який відображає тертя між шиною та дорогою.

Глибший протектор і належне накачування збільшують площу контакту, покращуючи зчеплення, тоді як такі фактори, як зношений протектор або високий тиск у шинах, зменшують його.

Інші фактори, такі як швидкість руху автомобіля та стан дорожнього покриття (наприклад, волога, суха або ожеледиця), також відіграють вирішальну роль у визначенні доступного зчеплення.

Отже, питання дослідження експлуатаційних показників роботи автомобільних шин та їх вплив на коефіцієнт зчеплення з дорожнім покриття є актуальним та малодослідженим.

Мета роботи полягає в теоретичних та експериментальних дослідженнях експлуатаційних показників роботи автомобільних шин та їх вплив на коефіцієнт зчеплення з дорожнім покриття.

Завдання дослідження:

1. Виконати аналіз літературних джерел у сфері виробництва та експлуатації автомобільних шин.
2. Дослідити вплив частоти та температури експлуатації автомобільних шин на коефіцієнт зчеплення з дорожнім покриття.
3. Дослідити граничні межі аквапланування шин в залежності від геометричних та природніх факторів.
4. Здійснити аналіз правил техніки безпеки при ТО і ремонті шин.

Об'єкт дослідження – автомобільні шини, процес виробництва, експлуатації.

Предмет дослідження – вплив умов експлуатації та геометричних параметрів шин на коефіцієнт зчеплення з дорожнім покриттям.

					МР.АТ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному:

- 1.Проведенооглядлітературних джерел у сфері виготовлення та використання автомобільних покришок.
2. Досліджено вплив частоти та температури застосування автомобільних шин на коефіцієнт зчеплення з дорожнім полотном.
- 3.Визначено граничні показники аквапланування шин залежно від геометричних та природних чинників.
4. Здійснено аналіз правил техніки безпеки при технічному обслуговуванні і ремонті шин.

Наукова новизна. Теоретично та експериментально досліджено впливу експлуатаційних та природних чинників на коефіцієнт зчеплення автомобільних шин з дорожнім покриттям.

Методи дослідження. У роботі використано методи аналізу наукової та технічної інформації, теоретичні та експериментальні дослідження впливу експлуатаційних та природних чинників на коефіцієнт зчеплення автомобільних шин з дорожнім покриттям.

Особистий внесок автора. Автором означені основні завдання роботи, вибрано та опановано методи їх вирішення, дібрано та опрацьовано літературні джерела, здійснено аналіз і теоретичне підтвердження зібраного матеріалу, в тому числі досліджено вплив експлуатаційних та природних чинників на коефіцієнт зчеплення автомобільних шин з дорожнім покриттям, проаналізовано правила техніки безпеки та охорони довкілля під час виконання шиноремонтних операцій, узагальнено та сформульовано висновки.

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ОГЛЯД ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Огляд досліджень впливу експлуатаційних властивостей автомобільних шин на керованість.

Комфортність їзди та характеристики керованості транспортних засобів тісно пов'язані з характеристиками та експлуатаційними властивостями автомобільних шин.

На бічні рухи та крени також можуть впливати інші численні параметри, включаючи конструктивні фактори транспортного засобу, швидкість, характеристики підвіски, коливання від дороги, рульове керування та властивості шин [1, 2].

Добре налаштована система підвіски та відповідні конструктивні параметри транспортного засобу покращують взаємодію між шиною та дорожнім покриттям [3-6].

Коефіцієнт зчеплення являє собою відповідну силу тертя, необхідну між протектором шини та дорожнім покриттям для підтримки керованості та стійкості транспортного засобу як під час нормального, так і екстремального керування. На коефіцієнт зчеплення шини впливає кілька факторів, включаючи конкретні параметри шини (матеріал, тип шини, глибина протектора шини та внутрішній тиск), параметри транспортного засобу (такі як швидкість та кут розвалу), вертикальне навантаження та пропускну здатність дорожнього покриття [7].

З точки зору параметрів транспортного засобу, поперечний переріз та розмір шини суттєво впливають на коефіцієнт зчеплення шини. Аналогічно, на коефіцієнт зчеплення шини значно впливають параметри шини; збільшення розміру шини та зменшення співвідношення сторін призводять до збільшення коефіцієнта зчеплення шини [8]. На відміну від поведінки поперечного перерізу шини, збільшення тиску в шині призводить до зменшення коефіцієнта зчеплення, зменшуючи площу контакту шини з дорогою, тоді як зменшення

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тиску в шині збільшує її коефіцієнт зчеплення, збільшуючи розмір плями контакту [9].

Крім того, на коефіцієнт зчеплення значно впливає малюнок протектора, який збільшує адгезійну здатність шини, видаляючи вологу між протектором і фактичною площею контакту з дорогою [10].

Швидкість транспортного засобу також має помітний вплив на коефіцієнт зчеплення, який поступово зменшується зі збільшенням швидкості руху [11]. Дорожнє покриття має домінуючий вплив на коефіцієнт зчеплення шин, оскільки фіксується зниження адгезійної здатності за мокрих і сніжних умов [12,13].

У цьому дослідженні наведено вплив характеристик шин з шинами різного розміру, включаючи коефіцієнти повороту, жорсткість розвалу та пікове бокове тертя. Відповідно, опір перекиданню та бокова стійкість досліджувалися за нормальних та екстремальних умов маневрування [14]. Використовуючи кілька маневрів, це дослідження вивчало вплив інерційних властивостей транспортного засобу, включаючи момент інерції, підресорену масу та положення центру ваги, на поперечну стійкість та стійкість до крену [15,16]. Коефіцієнт стійкості до крену оцінювався за допомогою вертикальних та поздовжніх варіацій центру ваги [17], а дослідження було розширено, щоб включити вплив різниці в колісній базі та ширині колії коліс [18].

Чен та ін. [19] досліджували схильність автопоїздів до поперечної стійкості та перекидання. Результати моделювання показали, що транспортні засоби з потрійними причепами мають вищу схильність до перекидання порівняно з транспортними засобами з подвійними причепами.

Стійкість та пороги перекидання важких вантажівок були проаналізовані з точки зору конструктивних впливів та експлуатаційних факторів, включаючи розподіл навантаження, відстань між причепами, величину корисного навантаження та висоту центру ваги [20,21].

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вплив жорсткості пружин підвіски, амортизаторів та стабілізаторів поперечної стійкості досліджувався в [15,16], а вплив кінематики підвіски та домкратних сил на схильність до перекидання обговорювався в [22,23].

Поглиблені дослідження були проведені на гідравлічно взаємопов'язаних системах підвіски для покращення як поперечної, так і креноподібної стійкості шляхом налаштування підвіски [24-28]. Вплив конфігурації системи підвіски на динаміку перекидання комбінації тягача та напівпричепа досліджувався в посиленнях [29,30].

Ван та ін. [31] вивчали поведінку креноподібної стійкості транспортного засобу за різних дорожніх збуджень, а також впливу рульового колеса.

У [32] було розглянуто кореляцію між перекиданням транспортного засобу та поперечною стійкістю, а також вплив дорожніх коливань, для оцінки впливу на перекидання транспортного засобу.

Було досліджено вплив рульового колеса з різною амплітудою та частотою при перекиданні [33]. Результат підтвердив, що частота рульового колеса в діапазоні 0,3-0,8 Гц є причиною перекидання.

Джоші та ін. [34] вивчали вплив частоти вхідного сигналу рульового керування на динаміку керування в перехідних режимах з використанням різних автомобілів сектору спортивного утилітарного транспортного засобу з однаковою спорядженою масою. Результати показали, що швидкість рискання та реакції поперечного прискорення суттєво корелюють з низькою частотою вхідного сигналу рульового керування нижче 2 Гц. Критичний коефіцієнт перекидання було визначено залежно від частоти рульового керування з різними амплітудами керування та швидкостями автомобіля [15]. Результат показав, що перекидання відбувається в діапазоні частот 0,52-0,6 Гц.

Ці дослідження показують вплив змін коефіцієнта поперечної вантажопідйомності шин на поперечну стійкість автомобіля та схильність до перекидання, враховуючи відмінності в параметрах конструкції автомобіля та експлуатаційних факторах. Для оцінки траєкторії руху транспортного засобу

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та стійкості до перекидання досліджувані параметри включають основні властивості транспортного засобу, такі як поздовжнє та вертикальне положення центру ваги, ширина колії, колісна база, швидкість транспортного засобу та корисне навантаження. Крім того, враховується вплив нерівностей дороги на динаміку перекидання, коли шини транспортного засобу піддаються різкому маневру. Крім того, у дослідженні здійснюється спроба співставити важливі властивості транспортного засобу та характеристики шин, щоб надати корисні рекомендації щодо вибору шин, пов'язаних із поперечною стійкістю транспортного засобу та стійкістю до перекидання.

1.2 Аналіз досліджень показників зчеплення автомобільних шин з дорожнім покриттям.

Взаємодія автомобільних шин з дорожнім покриттям, і зокрема їхня здатність передавати тангенціальні сили, є фактором, що визначає безпеку дорожнього руху. Умови взаємодії між шиною та дорожнім покриттям під час передачі поздовжніх сил (гальмування та прискорення) графічно представлені на графіку коефіцієнта поздовжнього зчеплення як функції ковзання $\mu_x(S)$ (Рис. 1.1). Коефіцієнт поздовжнього зчеплення μ визначається як відношення поздовжньої сили між дорожнім покриттям та шиною X до вертикальної реакції Z .

$$\mu_x = \frac{X}{Z}. \quad (1.1)$$

Проковзування визначається по-різному для приводу та гальмування.

Проковзування веденого колеса:

$$S = \frac{r_d \cdot \omega_k - v_k}{r_d \cdot \omega_k} \cdot 100\%, \quad (1.2)$$

Де v_k – швидкість центру колеса, що дорівнює швидкості транспортного засобу;

ω_k – кутова швидкість колеса;

r_d – динамічний радіус колеса.

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пробуксовування загальмованого колеса:

$$S = \frac{g_k - r_d \cdot \omega_k}{g_k} \cdot 100\%, \quad (1.3)$$

На графіку є дві характерні точки:

μ_{xm} – максимальне значення коефіцієнта адгезії, яке називають піковим коефіцієнтом адгезії, а значення ковзання, за якого воно виникає, позначається S_m .

μ_{x0} – коефіцієнт адгезії при 100% ковзанні, який називається коефіцієнтом адгезії блокування.

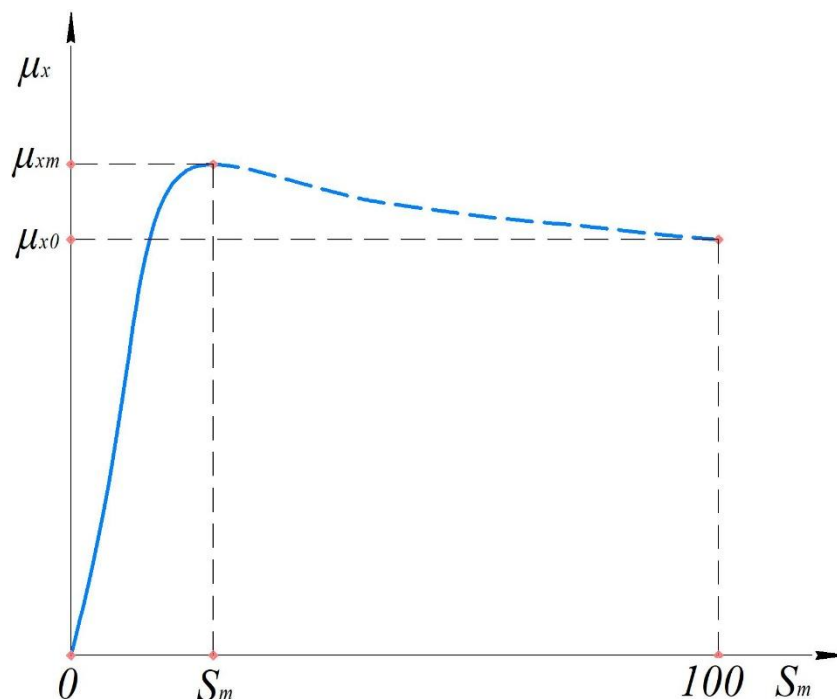


Рисунок 1.1 – Залежність коефіцієнта поздовжнього зчеплення μ_x від ковзання S

З точки зору безпеки автомобіля, важливо мати можливість постійно контролювати зчеплення його коліс з дорожнім покриттям. Сучасні автомобілі оснащені низкою систем, завданням яких є підтримка дій водія та виправлення його помилок, які працюють шляхом корекції поздовжньої сили (керування чи гальмування). Робота цих систем (ABS, EBD, ASR, ESP...) могла б бути

ефективнішою, якби була можливість надавати їм інформацію про поточне значення коефіцієнта зчеплення або значення поздовжнього ковзання.

Під час руху з постійною швидкістю, обмеженою правилами дорожнього руху, рушійна сила, що врівноважує силу опору коченню некерованих коліс та силу опору повітря, є відносно невеликою, а це означає, що при високому зчепленні пробуксовування коліс мале. Більше пробуксовування може очікуватися під час динамічного прискорення, коли рушійна сила вища, а також під час руху по слизькій дорозі з низьким зчепленням. З практичної точки зору, виявлення підвищеного пробуксовування ведучих коліс може бути сигналом, що вказує на те, що транспортний засіб в'їхав на ділянку дороги зі зниженим зчепленням (шар води, ожеледиця), і може бути використано для попередження водія про потенційну небезпеку.

Значення характеристик зчеплення різне для кожної пари тертя: шина-дорога та може бути різним для веденого та загальмованого колеса. Вид графіка для конкретної пари визначається експериментально, а метод проведення вимірювань також залежить від мети, для якої проводиться дослідження. Так, у дорожньому будівництві значення коефіцієнта зчеплення блокування, тобто коефіцієнта зчеплення із заблокованим колесом, визначеного на поверхні, покритій шаром води, є важливим для оцінки антиковзних властивостей дорожніх покриттів [35]. У свою чергу, в автомобільній техніці значення пікового коефіцієнта зчеплення, також виміряного на мокрих поверхнях, використовується для оцінки шини [36]. Як у дорожньому будівництві, так і в автомобільній техніці для визначення зчеплення коліс з дорожнім покриттям найчастіше використовуються спеціальні вимірювальні системи [37] у вигляді причепів (наприклад, SRT-4 Skid Resistance Tester-4 [38]) або спеціально пристосованих транспортних засобів [39]. Прикладом використання причепа для випробування зчеплення шини з дорогою є стаття [40]. У цьому випадку також перевіряли коефіцієнт

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

бокового зчеплення шини з дорожнім покриттям залежно від заданого кута бокового ковзання колеса, а також різні вертикальні навантаження на колесо.

У статті [41] представлено метод визначення коефіцієнта зчеплення шини з дорогою на основі прямих вимірювань сил, що діють на контакт між шиною та дорожнім покриттям, за допомогою спеціальних вимірювальних коліс. Крім того, представлено модифіковане рівняння Пацейки, яке враховує такі впливи контакту, як склад дороги та її стан, тип шини, швидкість транспортного засобу та ковзання шини з дорожнім покриттям.

У роботі [42] представлено метод оцінки коефіцієнта зчеплення шини з дорожнім покриттям та його застосування для керування підвіскою автомобіля. У дослідженнях використовується тривісний датчик прискорення, розташований всередині пневматичного колеса. Крім того, автори роботи [42] пояснюють роль щіткової моделі, що описує залежність між силою шини та ковзанням, включаючи два параметри – жорсткість шини та коефіцієнт тертя шини з дорожнім покриттям.

У статті [43] представлено метод оцінки поздовжніх тангенціальних сил на контакті між шиною та дорожнім покриттям, чутливих до змін типу дорожнього покриття шин.

З метою оптимізації роботи системи ABS в різних умовах зчеплення, у статті [44] представлено дослідження зчеплення шини з дорожнім покриттям за допомогою спеціальних алгоритмів для контролю поздовжнього ковзання шини. Тут було використано дослідницький автомобіль з електромеханічними гальмівними супортами, керованими за допомогою технології гальмування по проводах. На завершення, автори статті [44], на основі своїх експериментальних результатів, стверджують, що електромеханічні гальмівні приводи та рішення з гальмуванням по проводах забезпечують високу продуктивність та надійність антиблокувальної гальмівної системи.

У роботі [45] представлено метод керування нечітким розподілом крутного моменту між окремими колесами, що приводяться в рух

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електродвигунами. Керування двигуном залежить від умов зчеплення між шиною та дорожнім покриттям. Автори роботи [45] роблять висновок, що представлений ними алгоритм дозволив покращити стійкість руху та економію палива колісного транспортного засобу за складних умов руху.

У статті [46] представлено дослідження, спрямоване на покращення роботи системи ABS з використанням програмування CarSim шляхом максимізації поздовжнього коефіцієнта зчеплення шини з дорожнім покриттям.

У статті [47] представлено метод оцінки коефіцієнта зчеплення шини з дорожнім покриттям, використовуючи просту модель велосипеда та один із методів аналізу зображень.

У статті [48] представлено вдосконалену модель ABS. Зокрема, тут представлено систему керування, яка враховує різні умови навантаження на колеса, що виникають внаслідок маневру транспортного засобу. Оцінка роботи ABS за різних умов експлуатації наведена в статті [49].

У більшості досліджень, що обговорювалися тут, використовувалося сучасне вимірювальне обладнання для визначення сил, що діють на колеса, та їхнього пробуксовування, що часто вимагало втручання в конструкцію транспортного засобу. Метод, подібний до того, що обговорюється в цьому дослідженні, можна знайти в докторській дисертації [50], де дані про поздовжнє прискорення транспортного засобу використовувалися для визначення коефіцієнта зчеплення шини з дорогою.

У статті [51] представлено вплив змін властивостей гальмівної системи тягача з напівпричепом на процес гальмування, включаючи ризик виникнення явищ деформації.

У статті [52] обговорюється проблема поздовжньої та поперечної динаміки руху транспортного засобу, включаючи кореляційно-оптичний датчик швидкості транспортного засобу. Автори цієї роботи виконали оцінку кутів бокового ковзання з урахуванням змін тертя шин об дорогу.

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У статті [53] показано модель, яка описує вплив температури на коефіцієнт тертя шини з дорогою, включаючи швидкість обертання колеса та розмір площі контакту між колесом та поверхнею дороги.

У роботі [54] обговорюються різні пристрої, призначені для вимірювання опору ковзанню. Автори також згадують про опір ковзанню дорожнього покриття як у поздовжньому, так і в поперечному напрямку.

Автори статті [55] обговорюють взаємодію тертя між шинами та дорогою залежно від нерівностей дороги та стану мокрого дорожнього покриття. Для цього автори реалізували тривимірну модель нерівної дороги та, для моделювання властивостей мокрого дорожнього покриття, застосували псевдогідродинамічний ефект між шиною та дорожнім покриттям.

У статті [56] обговорюється застосування методу скінченних елементів у моделюванні динаміки прогину шин та його вплив на коефіцієнт зчеплення шини з дорогою.

У роботі [57] представлено спосіб отримання пікового коефіцієнта зчеплення шини з дорогою за допомогою моделі динаміки транспортного засобу.

Автори роботи [58] показують, що модель шини, представлена в їхній статті, дозволила визначити миттєві адгезійні властивості між шиною та дорогою та оцінити розсіювану потужність.

У статті [59] автори представляють огляд методів оцінки тертя на дорозі, включаючи підходи на основі ковзання, а також методи на основі низькочастотних та високочастотних вібрацій.

У статті [60] показано стратегію керування пробуксовкою коліс під час розгону у випадку повнопривідного автомобіля з варіантом передачі постійного крутного моменту на передні та задні колеса.

У роботі [61] показано підхід до моделювання автомобільних коліс з використанням методу скінченних елементів, включаючи матеріальну модель

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Муні-Рівліна, застосовану для опису гіперпружних властивостей гумових елементів шини.

У статті [62] показано застосування сигналів системи OBD2 автомобілів з використанням інтерфейсу ELM 327 для прогнозування кривих характеристик автомобіля та реакцій на прискорення. У статті [62] також показано корисність штучних нейронних мереж (ШНМ), а також застосовану модель вертикальних коливань підвіски чверть автомобіля та підхід до перехідних умов силового агрегату. Такий підхід не виключає застосування окремих зовнішніх датчиків, але він дешевший, оскільки датчики вже присутні на борту автомобіля.

У роботі [63] представлена методологія визначення коефіцієнта тертя шини об дорогу в реальному часі, заснована на оцінці коефіцієнта тертя та виявленні різких змін його значення. У роботі [63] показано, що можна оцінити коефіцієнт тертя на основі вимірювань поздовжнього руху транспортного засобу з відповідною поздовжньою динамікою транспортного засобу, а також зроблено акцент на поясненні кількох різних моделей шини, які часто застосовуються в багатьох роботах.

У роботі [64] обговорюється проблема вимірювання сили зчеплення між шиною та дорожнім покриттям за допомогою моделі CAD (автоматизованого проектування) та з використанням програмного забезпечення MSC ADAMS.

Прискорений рух автомобіля досліджується не лише через явище зчеплення між шиною та дорожнім покриттям. Він також має вирішальне значення через викиди вихлопних газів, як показано в роботі [65], де автори розрізняють різні стилі прискорення транспортних засобів.

Ще однією статтею, в якій застосовується вдосконалена модель транспортного засобу, є робота [66]. Автори застосували модель, яка була підготовлена з урахуванням коливань та стійкості руху транспортного засобу, включаючи дванадцять ступенів свободи.

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН

На рис. 2.1 показано систему сил, що діють на транспортний засіб під час розгону [67].

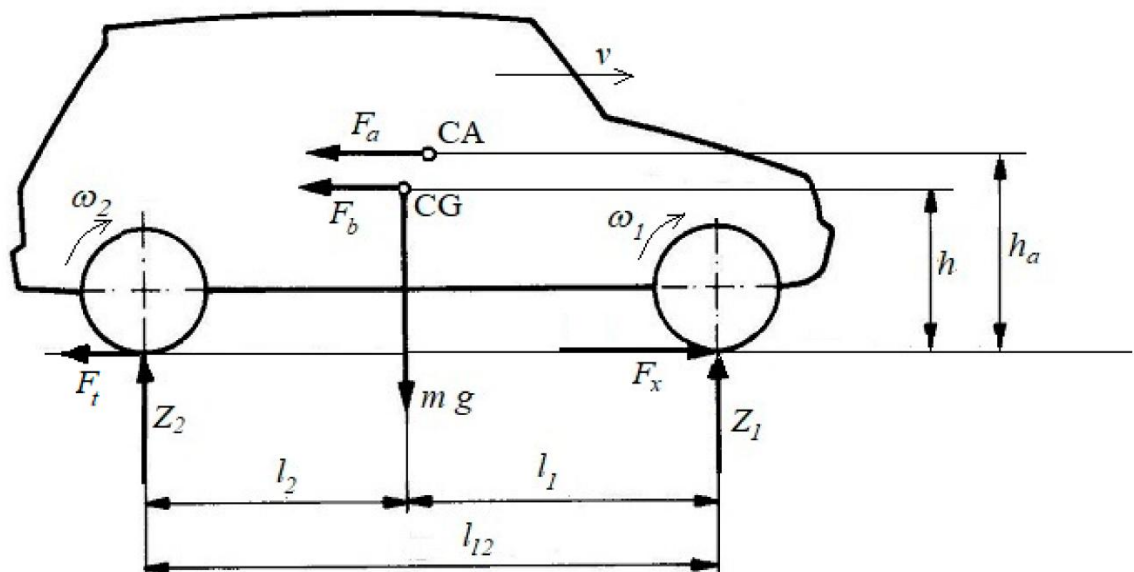


Рисунок 2.1 – Схема сил, що діють на транспортний засіб
під час розгону

Де v – швидкість транспортного засобу;

a – прискорення транспортного засобу;

CG – центр мас;

CA – центр атмосферного тиску;

F_x – поздовжня сила зчеплення передніх коліс;

Z_1, Z_2 – нормальні реакції, що діють на колеса переднього та заднього мостів;

F_b – сила інерційного опору;

F_a – сила опору повітря;

F_{t2} – сила опору коченню задніх коліс;

ω_1, ω_2 – кутові швидкості переднього та заднього коліс (усереднені для лівого та правого коліс);

n_1, n_2 – швидкості обертання переднього та заднього коліс (усереднені для лівого та правого коліс);

r_{t1}, r_{t2} – радіус кочення переднього та заднього коліс;

r_{d1}, r_{d2} – динамічний радіус переднього та заднього коліс;

f_t – коефіцієнт опору коченню;

S_1, S_2 — пробуксовування переднього та заднього колеса.

Баланс сил, що діють на передньопривідний автомобіль, що розганяється (рис. 2.1), показує, що сила зчеплення передніх коліс F_x , повинна збалансовувати сили опору руху: силу опору коченню задніх коліс F_{t2} , силу інерційного опору F_b та силу опору повітря F_a . Це дає рівняння (2.1) руху транспортного засобу:

$$F_x = F_{t2} + F_b + F_a. \quad (2.1)$$

Формула не враховує силу опору коченню передніх коліс, оскільки сила зчеплення цих коліс не використовується для її подолання. Сила опору коченню задніх коліс залежить від нормальної сили Z_2 та коефіцієнта опору коченню f_t , який, у свою чергу, залежить від типу поверхні та збільшується зі збільшенням швидкості транспортного засобу. Тут зазвичай передбачається квадратична залежність:

$$F_{t2} = Z_2 \cdot f_t. \quad (2.2)$$

$$f_t = 0,01 \cdot (1 + k_t \cdot v^2). \quad (2.3)$$

Сила інерційного опору:

$$F_b = m \cdot a. \quad (2.4)$$

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сила опору повітря:

$$F_a = 0,047 \cdot A \cdot c_x \cdot v^2, \quad (2.5)$$

де v – швидкість автомобіля, виражена в км/год.

Поздовжні сили (сила інерційного опору та сила опору повітря), що діють на кузов транспортного засобу, викликають зміни вертикальних навантажень на осі. Отже, нормальна реакція, що діє на колеса передньої осі, така:

$$Z_1 = \frac{m \cdot g \cdot l_2 - F_b \cdot h - F_a \cdot h_a}{l_{12}}. \quad (2.6)$$

Нормальна сила реакції, що діє на колеса задньої осі:

$$Z_2 = \frac{m \cdot g \cdot l_1 + F_b \cdot h + F_a \cdot h_a}{l_{12}}. \quad (2.7)$$

Отже, збільшення навантаження на передні колеса:

$$\Delta Z_1 = \frac{-F_b \cdot h - F_a \cdot h_a}{l_{12}}. \quad (2.8)$$

Збільшення навантаження на задні колеса:

$$\Delta Z_2 = \frac{F_b \cdot h + F_a \cdot h_a}{l_{12}}. \quad (2.9)$$

Динамічний радіус колеса (відстань осі колеса від поверхні дороги) збільшується зі збільшенням швидкості транспортного засобу (з урахуванням коефіцієнта пропорційності k_v) та зменшується внаслідок навантаження на

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

колесо. Нормальне навантаження передніх коліс зменшується при розгоні (негативне збільшення нормального навантаження).

$$r_{d1}=r_{stat}+k_v \cdot v -\Delta Z_1/k_r . \quad (2.10)$$

А у випадку передніх коліс спостерігається позитивне збільшення нормального навантаження:

$$r_{d2}=r_{stat}+k_v \cdot v -\Delta Z_2/k_r . \quad (2.11)$$

Наведені вище формули (2.10) та (2.11) показують одну з можливостей оцінки динамічного радіуса колеса. Тому значення коефіцієнтів, таких як k_v , r_{stat} , у цій роботі не представлені.

У передньопривідному автомобілі пробуксовування передніх коліс відбувається під час розгону. Однак можна припустити, що задні колеса котяться без пробуксовування, а їхня кутова швидкість $\omega^2 \cdot r_d^2$ дорівнює швидкості автомобіля v . Пробуксовування переднього колеса можна визначити з наступного співвідношення:

$$S_1 = \frac{\omega_1 \cdot r_{d1} - v}{\omega_1 \cdot r_{d1}} . \quad (2.12)$$

Замінивши швидкість v на кутову швидкість заднього колеса $\omega^2 \cdot r_d^2$, отримаємо:

$$S_1 = \frac{\omega_1 \cdot r_{d1} - \omega_2 \cdot r_{d2}}{\omega_1 \cdot r_{d1}} . \quad (2.13)$$

Кутові швидкості передніх і задніх коліс можна розрахувати за вимірними швидкостями обертання $n_{1,2}$:

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\omega_{1,2} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{1,2}}{60}. \quad (2.14)$$

де індекси 1, 2 – стосуються відповідно передні та задні колеса.

У випадку, якщо це прямолінійний рух, для розрахунків можна використати середнє арифметичне кутової швидкості лівого та правого колеса.

Отже, n_1 та n_2 – це швидкості обертання відповідно передньої та задньої осі, розраховані як середнє арифметичне швидкості обертання лівого та правого колеса.

Як уже було прокоментовано, згідно з рівняннями (2.10) та (2.11), альтернативні формули для оцінки динамічного радіуса представлені як співвідношення між динамічним радіусом передніх та задніх коліс. Значення динамічного радіуса можна визначити за допомогою формул (2.15) та (2.16):

$$r_{d1} = r_{d2} + (\Delta Z_2 - \Delta Z_1) / k_r. \quad (2.15)$$

Припускаючи, що немає пробуксовування задніх коліс, динамічний радіус задніх коліс можна розрахувати наступним чином:

$$r_{d2} = \frac{g}{\omega_2}. \quad (2.16)$$

Використовуючи формулу (2.12) та співвідношення з формул (2.14), (2.15), можна визначити пробуксовування передніх коліс S_1 на основі виміряних швидкостей обертання передніх коліс n_1 та задніх коліс n_2 та швидкості автомобіля v .

Сила зчеплення передніх коліс X_1 визначається на основі формули (2.1) як рівна рушійній силі F_x , що розвивається цими колесами, а значення нормальної реакції, що діє на ці колеса Z_1 , визначається на основі формули (2.6), щоб дозволити визначити коефіцієнт зчеплення цих коліс згідно з формулою (2.1).

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\mu_x = \frac{F_x}{Z_1}, \quad (2.17)$$

де F_x – сила тяги, що розвивається передніми колесами;

Z_1 – нормальна реакція, що діє на передні колеса.

					МР.АТ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ОСНОВНИХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН

3.1 Вплив температури та частоти на функціонування шин.

Шини та поршневі кільця – це два компоненти, які найбільше зазнають зношування. Надзвичайно важливо розуміти, що відбувається між шиною та дорогою під час гальмування, розгону, маневрування тощо.

Шини – це еластomers, які демонструють властивість, що називається в'язкопружністю. Еластomers – це довголанцюгові молекули, а їхня в'язка поведінка призводить до втрати в них гістерезису.

У металах деформація під час прикладання навантаження відбувається через деформацію кристалічної решітки.

В еластомерах деформація відбувається без зміни зв'язків.

Частота в шинах означає, наскільки швидко або з якою швидкістю в них стискаються та розширюються їх довголанцюгові молекули.

Існує обернено пропорційна залежність між підвищенням температури гуми та зниженням частоти напруження, якому вона піддається.

Все зводиться до балансу між молекулярною швидкістю, яка зростає з температурою, та швидкістю деформації. Якщо швидкість деформації більша за швидкість, з якою молекула здатна рухатися у своєму середовищі, матеріал виглядає жорстким. Якщо швидкість деформації менша, матеріал виглядає гнучким.

Існує закон для визначення частотно-температурної еквівалентності (який справедливий для заданого діапазону). Він називається рівнянням ВЛФ (Вільям-Ландел-Феррі):

$$\ln a_T = \frac{-C_1 \cdot (T - T_g)}{C_2 + (T - T_g)}, \quad (3.1)$$

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

α_T – параметр, що залежить від температури (пов'язаний із в'язкістю або часовою шкалою);

T – температура, при якій визначається в'язкість;

T_g – температура склування, що є точкою переходу матеріалу із склоподібного стану у високоенергетичний;

C_1 та C_2 – емпіричні константи, що залежать від конкретного матеріалу.

На низьких частотах (від 10 до 105 Гц) збільшення частоти в 10 разів має такий самий вплив на поведінку гуми, як і зниження температури на 7-8°C.

Наприклад, еластомер (полімер з високоеластичними властивостями в широкому температурному діапазоні) з температурою склування -20°C при 10 Гц матиме температуру склування близько +10°C при 105 Гц.

Еластичність шини – це її здатність деформуватися під навантаженням і відновлювати форму, що залежить від складу гумової суміші та умов експлуатації (температура, тиск). Наприклад, всесезонні шини можуть ставати занадто еластичними при високих температурах і занадто жорсткими (втрачати еластичність) при сильних морозах.

Взимку як правило шини стають жорсткішими, а влітку – м'якшими.

Головна причина, чому існують літні, зимові та всесезонні шини це зміна еластичності шин при зміні температури.

Еластичність залежить від складу гумової суміші, а виробники при цьому намагаються досягти оптимального балансу для різних умов. Неправильне зберігання, наприклад, при низьких або високих температурах, може негативно вплинути на еластичність шини в майбутньому.

При низьких температурах шина стає жорсткішою, що погіршує зчеплення з дорогою та керованість, особливо на льоду та снігу.

При високих температурах шина стає надто м'якою, що може призвести до перегріву, швидшого зносу та погіршення керованості.

Частота для шин означає, наскільки швидко або з якою швидкістю стискаються та розширюються довголанцюгові молекули що містяться в гумі.

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На високій частоті (рис. 3.1) молекули не мають достатньо часу, щоб відновити свою форму, оскільки час між стисненням і розширенням занадто короткий, тому молекули поведуться як жорсткий або твердий матеріал. Ви можете бачити на кривій, що на високій частоті модуль також дуже високий, що призводить до поведінки твердого матеріалу.

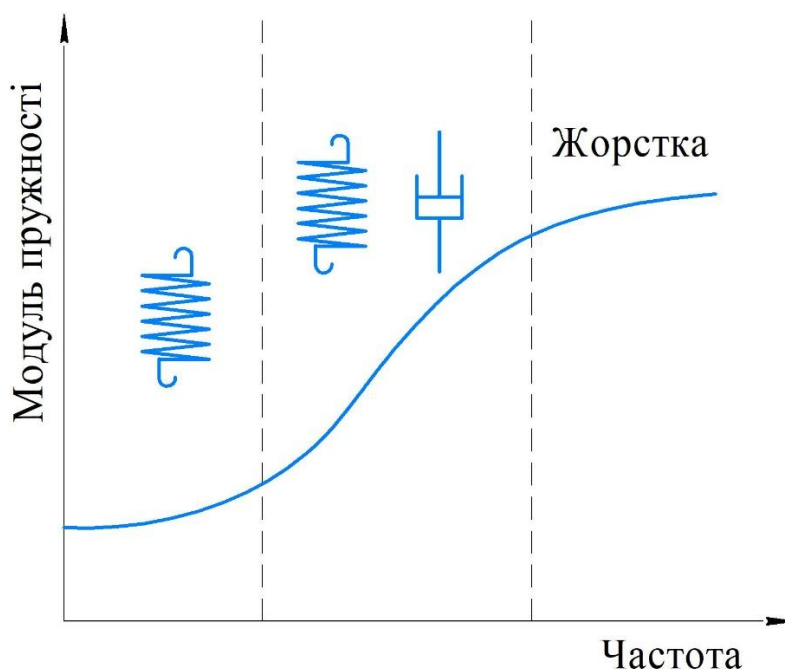


Рисунок 3.1 – Характер впливу частоти на пружність шин

На низькій частоті молекули мають достатньо часу, щоб відновити свою форму, тому вони поведуться як пружина або пружний матеріал. На кривій на низькій частоті видно, що модуль низький, а поведінка подібна до пружини.

На помірних обертах молекули поведуться як комбінація пружин та амортизатора, що демонструватиме поведінку молекули як в'язкого матеріалу. Це та область, де працюють шини.

Частота та температура мають обернену залежність. Цей зв'язок показано рівняннями Вільямса-Ландела-Феррі.

За низької температури молекули не мають достатньо часу, щоб відновити свою форму та поводитися як жорсткий або твердий матеріал. На кривій рис.

3.2 видно, що за низької температури модуль також дуже високий, що призводить до поведінки гуми як твердого матеріалу.

За високої температури молекули отримують підтримку, щоб відновити свою форму, тому вони поведуться як пружини або еластичний матеріал. На кривій рис. 3.2 видно, що за високої температури модуль пружності низький, а поведінка гуми подібна до поведінки пружини.

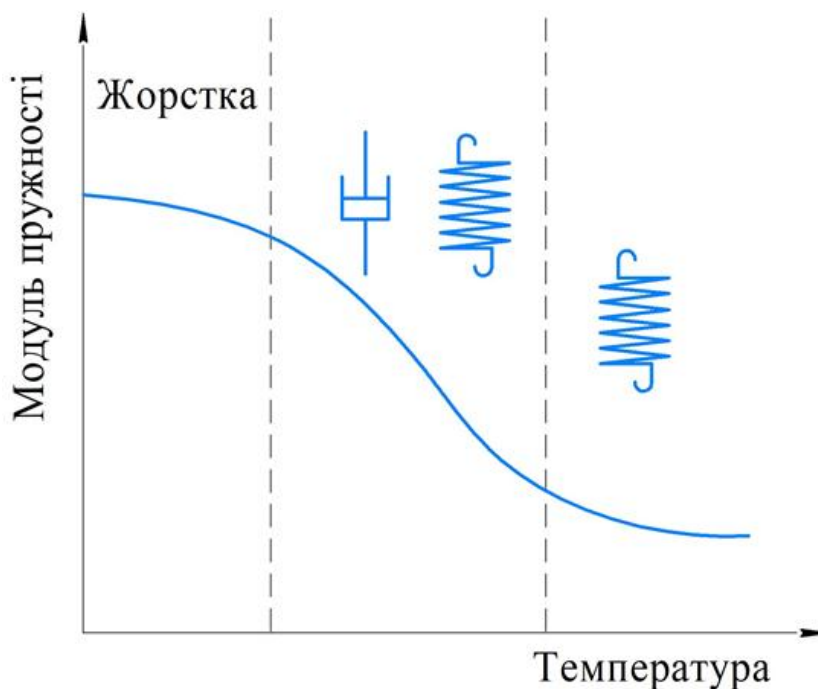


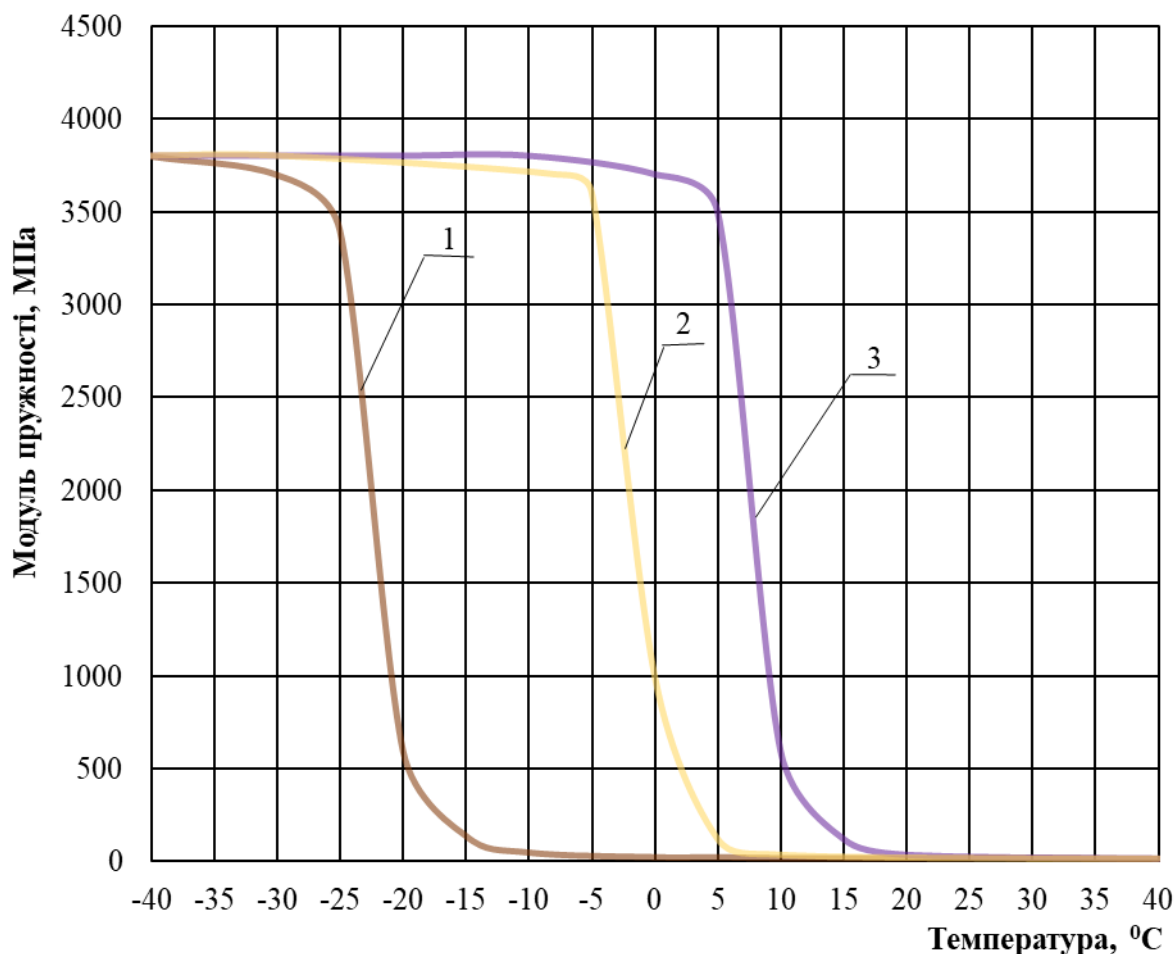
Рисунок 3.2 – Характер впливу температури на пружність шин

У помірному діапазоні температур молекули поведуться як комбінація пружин та амортизатора, що демонструє поведінку молекули як в'язкого матеріалу. Це область, де експлуатуються шини буде оптимальною.

Оскільки молекули мають в'язкі властивості в помірному діапазоні частот і температур, саме в цій області слід експлуатувати шини.

На рис. 3.3 наведено результати досліджень пружних властивостей шин в залежності від температури за сталої частоти, отриманих при використанні рівнянням Вільям-Ландел-Феррі.

Графічна залежність рис. 3.3 побудована для шин різних сезонів (зимові, всесезонні та літні).



1 – зимові шини; 2 – всесезонні шини; 3 – літні шини

Рисунок 3.3 – Результати досліджень еластичних властивостей зимових шин, всесезонних та літніх

Як бачимо з результатів досліджень еластичних властивостей зимової шини крива 1 (рис. 3.3) оптимальними температурними режимами роботи для неї буде діапазон з -25 °C по -5 °C.

Для всесезонної шини крива 2 (рис. 3.3) температурний режим роботи за показником еластичності буде знаходитися в діапазоні з -5 °C по +20 °C.

Літні шини крива 3 (рис. 3.3) мають добрі еластичні властивості за температурного діапазону +5 °C по +25 °C.

Отже, як ми встановили вище, еластичність, гістерезис та втрата енергії гуми змінюються залежно від температури та частоти напружень:

- частота напружень збільшується, гума переходить з гумоподібного стану на склоподібний (твердий та крихкий);
- температура підвищується, гума переходить зі склоподібного стану на гумоподібний.

Можна вважати, що в діапазоні низьких частот (від 10 до 105 Гц) збільшення частоти в 10 разів має такий самий вплив на стан гуми, як і зниження температури на 7-8°C.

Максимальний гістерезис та відповідну гнучкість гума демонструє коли вона близька до температури склування (яка збільшується з частотою напружень). Тому гума протектора шин сконструйована таким чином, що вона перебуває в цьому стані, коли шина експлуатується, а еластичність та гістерезис сприяють тертю, яке забезпечує покращення зчеплення.

Між протектором шини та дорожнім покриттям задіяні два механізми напруження. Перший механізм – це частотне коливання матеріалу шини за рахунок текстури дороги. Гума деформується, коли вона ковзає по шорсткій дорозі, розмір нерівностей дороги варіюється від 1 см (діапазон макротекстури) до 1 мк (діапазон мікротекстури). Фактично відбувається проникнення нерівностей дороги в гуму протектора шини (рис. 3.4).

Другий механізм – це молекулярна адгезія, яка проявляється в масштабі однієї соті мк та посилюється при ковзанні.

Блок протектора вдаряється об шорстку ділянку і деформується, але через ефект гістерезису він не відразу повертається до своєї початкової форми з іншого боку від шорсткої ділянки. Ця асиметрична деформація генерує силове поле, тангенціальна результуюча сила якого протидіє ковзанню (рис. 3.4).

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

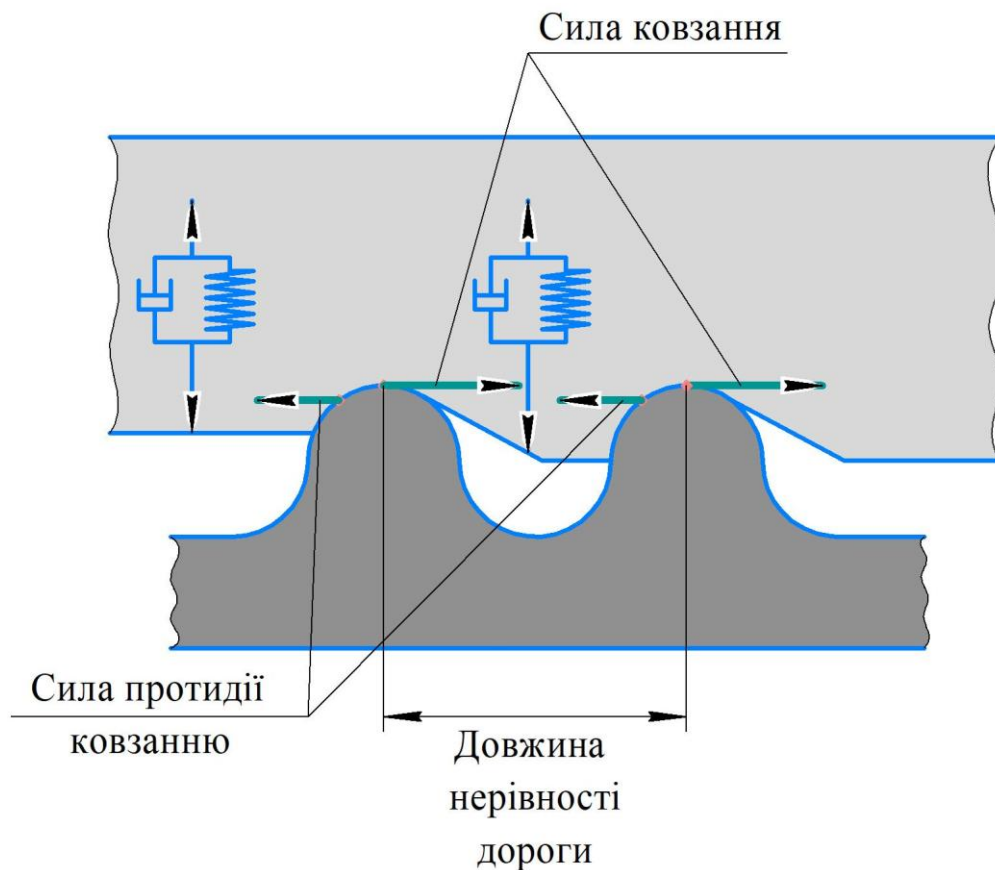


Рисунок 3.4 – Модель контакту колеса з нерівностями дороги

В обох випадках в'язкопружні властивості гуми, зокрема її гістерезис, відіграють важливу роль.

Еластичність гуми дозволяє їй адаптуватися до форми нерівностей дорожнього покриття.

Оскільки гума є в'язкою, деформацію блоку протектора під час його руху по поверхні дороги можна порівняти з течією. Блок ударяється об нерівність і деформується, але через гістерезис не повертається до початкової висоти з іншого боку нерівності (рис. 3.4).

Вплив шорсткості дороги на шину відбувається через невеликі вибоїни на дорозі, які вимірюються від кількох мк до кількох мм. Навіть за наявності води це явище функціонує ефективно. Вплив шорсткості дороги відбувається в діапазоні частот напружень від 10^2 до 10^6 Гц.

Таблиця 3.1 – Оптимальні температурні межі роботи автомобільних шин

Літні шини	Всесезонні шини	Зимові шини
		
Літні шини розроблені для використання в теплу погоду і зазвичай не можна використовувати за низької температури.	Призначені для роботи в широких температурних діапазонах. Можуть використовуватись за нижчих температур, але не на рівні шин для сильного снігу (зимових).	Шини для суворих зимових умов розроблені для найкращої роботи в умовах суворих холодів, не використовуються під час тривалих теплих погодних умов.
Випробування на зчеплення з мокрою дорогою		
$T_{ref}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 12 до $35\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{ref}=15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 5 до $35\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{ref}=10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 5 до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$

3.2 Аквапланування та гідродинамічні властивості шин.

Аквапланування – це погіршення або повна втрата зчеплення шин з дорогою в результаті появи гідродинамічного клина. Ефект виникає при русі по мокрій дорозі, особливо при заїзді в глибоку калюжу на високій швидкості.

Гідродинамічний тиск, що створюється слизьким протектором шини на межі води, можна апроксимувати рівнянням Бернуллі:

$$p_{\text{гідродин.}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (\vartheta \cdot \cos \beta)^2, \quad (3.2)$$

ρ – густина води, кг/м^3 ;

β – кут передньої кромки шини;

ϑ - швидкість руху автомобіля, м/с .

Експериментально встановлено, що аквапланування відбувається, коли тиск води ($p_{\text{гідродин.}}$) та тиск повітря в шинах (p) однакові.

Швидкість аквапланування можна приблизно визначити за такою формулою:

$$v_a = \sqrt{\frac{p}{K}}, \text{ де } K=500. \quad (3.3)$$

Насправді коефіцієнт K залежить від малюнка протектора та форми плями контакту. Сьогодні деякі високопродуктивні автомобільні шини, коли вони нові, дозволяють знизити K до значення близько 250, тобто швидкість аквапланування близько 100 км/год.

На рис. 3.5 наведено залежність величини гідродинамічного тиску від швидкості руху автомобіля.

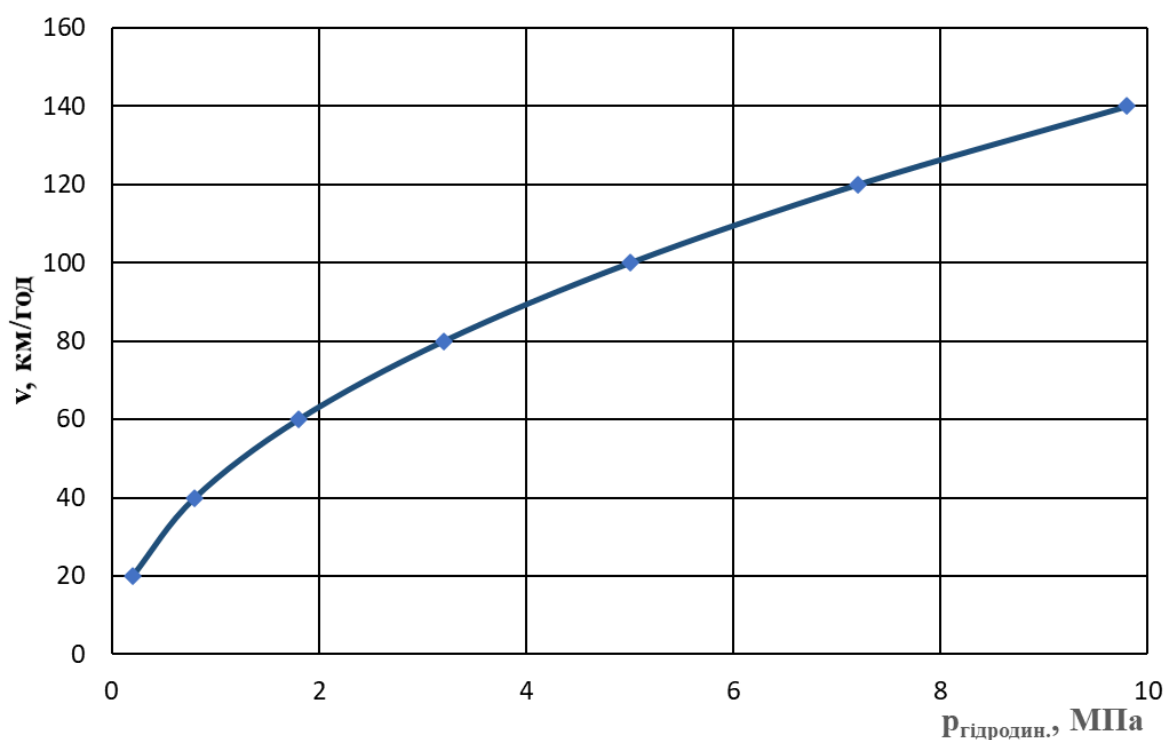


Рисунок 3.5 – Залежність зміни величини гідродинамічного тиску від швидкості руху автомобіля

Присутність води між шиною та дорогою перешкоджає зчепленню. Молекулярна адгезія не може нормально функціонувати, оскільки контакт між гумою та дорогою не ідеально чистий та сухий.

У вологу погоду підтримка зчеплення, таким чином, передбачає розсіювання води для відновлення сухого контакту між протектором та дорогою. Частково розсіюванню води сприяють нахил дороги, її структура та шорсткість поверхні.

Коли дорога мокра, вода може просочуватися між плямою контакту та дорогою. Чим товстіший шар води та більша швидкість автомобіля, тим більше посилюється цей ефект, що зрештою погіршує потенціал зчеплення.

Форма плями контакту шини, її канавки та ламелі протектора проштовхуватимуть воду вперед і відводитимуть частину об'єму води, що накопичується перед протектором. Вода, яка просочується між плямою контакту та поверхнею дороги, потім направляється в канавки протектора, де вона зберігається. Таким чином, гума протектора може пробити залишкову водяну плівку та відновити прямий контакт з поверхнею дороги.

Ці три стадії розсіювання води відбуваються між переднім та боковим краєм плями контакту і відповідають трьом різним перехідним зонам, які називаються (рис. 3.6):

- гідродинамічна (глибина води $> 0,5$ мм);
- в'язкодинамічна (глибина води: від кількох мікронів до $0,5$ мм);
- волога (періодична залишкова водяна плівка).

Таблиця 3.2 – Зчеплення шини з поверхнею дороги залежно від товщини води та швидкості.

Товщина води, що покриває дорогу	Швидкість руху, км/год	
	60	100
0 мм (суха поверхня)	1	1
< 10 мкм (волога поверхня)	0,85	0,75
1,5 мм	0,65	0,5
5 мм	0,45	0,09

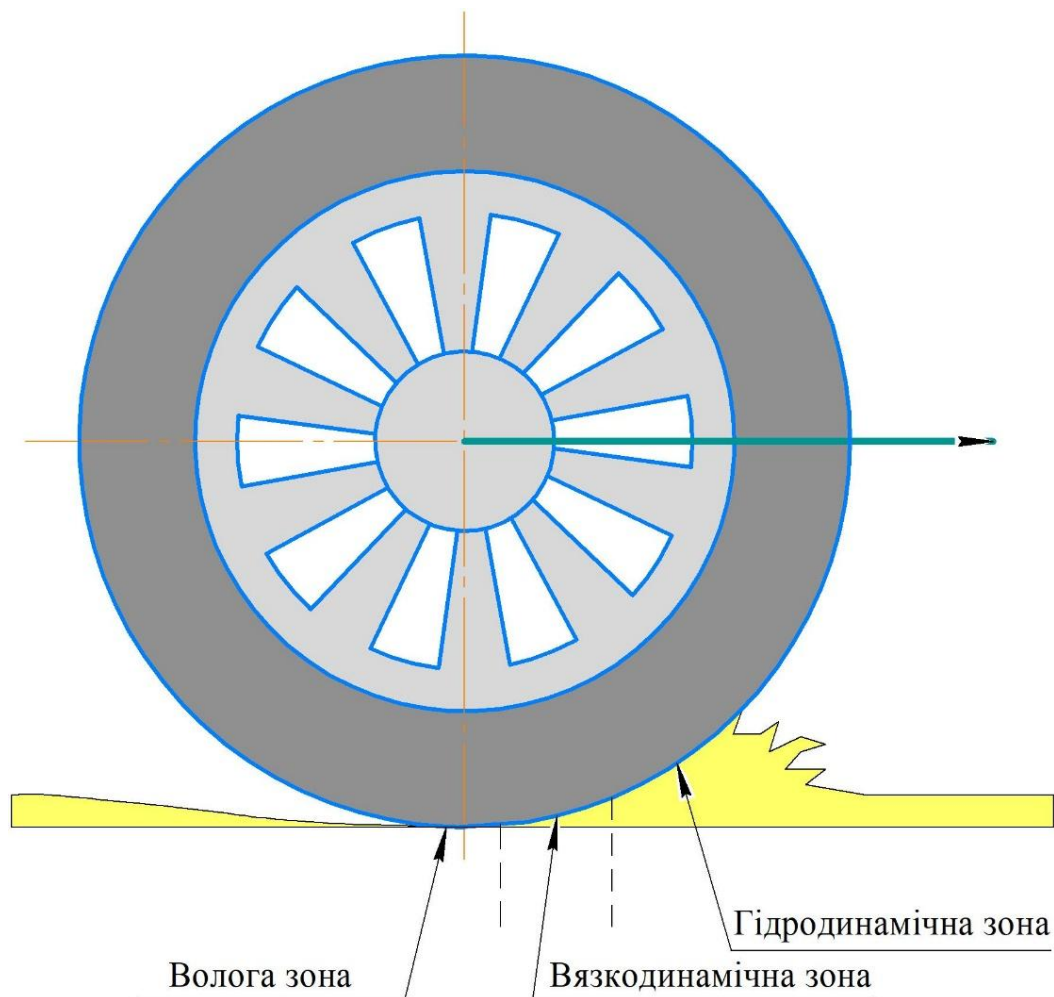


Рисунок 3.6 – Зони розсіювання води між переднім та боковим краєм плями контакту шини

На рис. 3.7 наведено залежність швидкості аквапланування шин від ступеня їх накачування.

Шина долає аквапланування, направляючи в канавки протектора воду, яка встигає просочитися під пляму контакту. Якщо потік води, який може бути спрямований через канавки протектора, більший, ніж потік, який просочується під пляму контакту, шина не відривається від поверхні дороги.

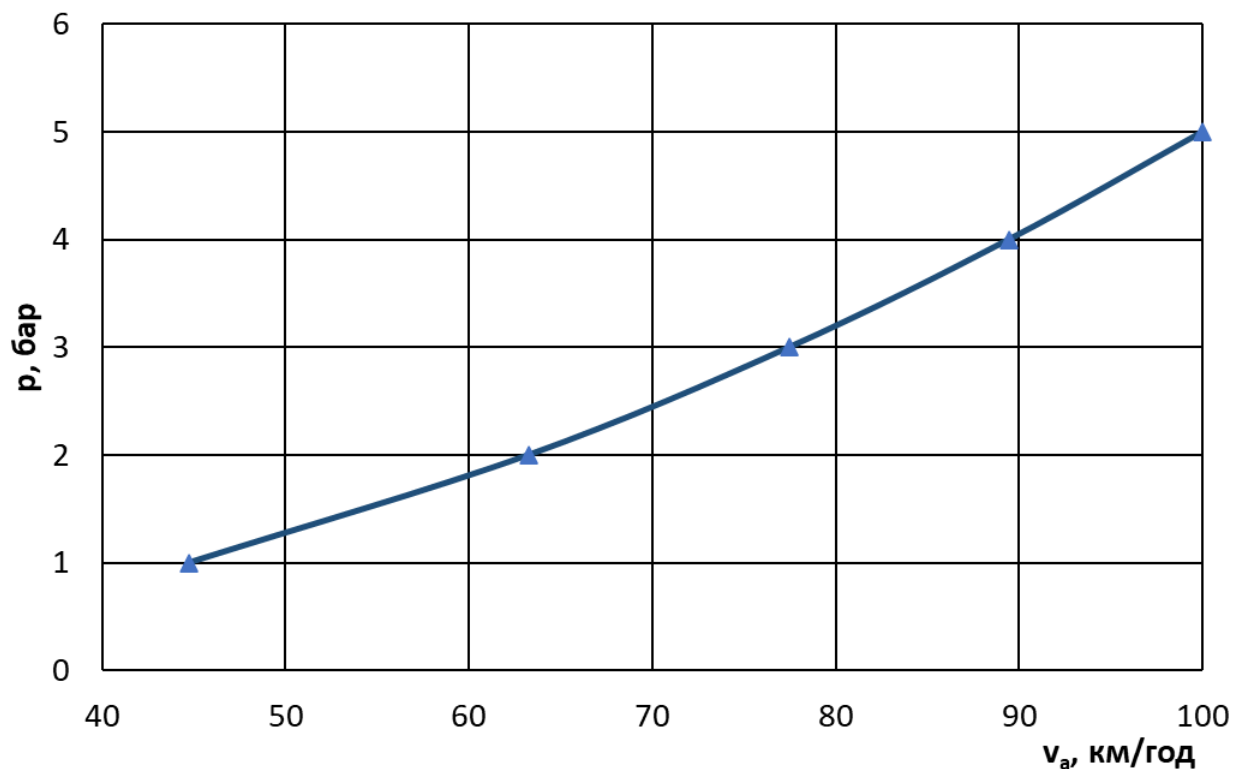
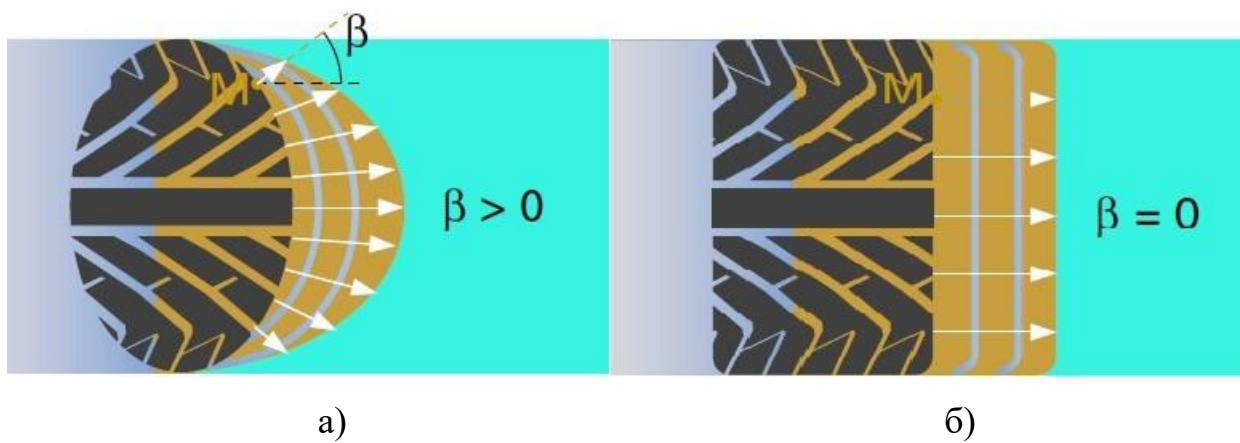


Рисунок 3.7 – Залежність зміни швидкості аквапланування шин від ступеня їх накачування

Застосовуючи рівняння Бернуллі (3.2), можна розрахувати тиск, що чиниться водою на передній частині плями контакту в точці М.

Чим більше значення кута кромки β (рис. 3.8), тобто чим більше «кутова» пляма контакту, тим менший вплив гідростатичного тиску і тим вища швидкість, на якій відбувається аквапланування.

Виходячи з рис. 3.8 ми бачимо, що шини в яких передня кромка має кут $\beta > 0$ більш стійкіші до аквапланування, оскільки здатні відштовхувати воду вперед та в бік. Шини з $\beta = 0$ відштовхують воду тільки вперед, що сприятиме підсилення явища аквапланування.



а – вода виштовхується вперед і вбік; б – вода виштовхується вперед

Рисунок 3.8 – Вплив кута передньої кромки шини
на напрямок руху води

При будь-якій товщині шару води, чим вужча шина, тим менший потік води, їй необхідно спрямовати через канавки протектора рис. 3.9.

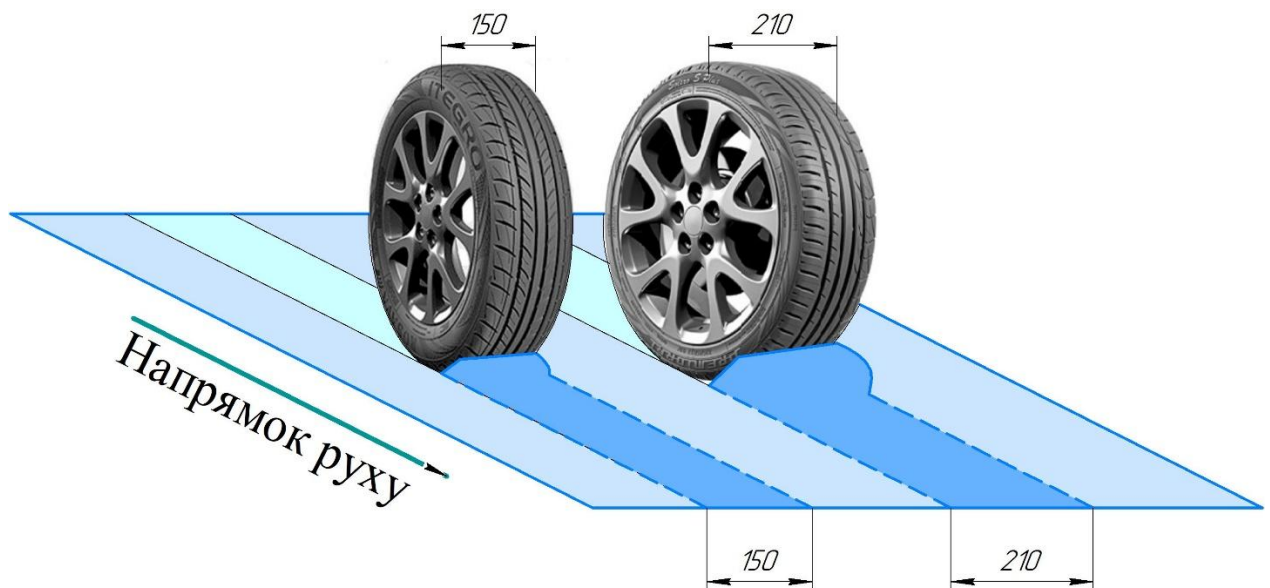


Рисунок 3.9 – Вплив ширини шини на потік води

Як бачимо з рис. 3.9 вузька пляма контакту, зменшує об'єм води, який має бути спрямований через пляму контакту.

Так, наприклад, за швидкості 80 км/год та товщині шару води на поверхні 3 мм шина з шириною 150 мм має пропускати воду до 10 л/с, а з шириною протектора 210 мм за цих умов руху вже до 14 л/с.

Отже, широкі шини повинні справитись з набагато більшим потоком води, а тому конструкція протектора має мати вищу здатність до розсіювання води.

Важливу роль у відведенні води відіграють кутові та поперечні канавки протектора шин, що, призначені для відведення вбік якомога більшої кількості води, яка накопичилася перед шиною.

Конструкція шини в передній частині плями контакту може зменшувати приблизно до 0,5 мм глибину води, що просочується під пляму контакту.

Вода, що залишилася, повинна бути спрямована в канавки протектора, де вона накопичується.

Блоки протектора в плямі контакту не котяться: вони укладаються на дорожню поверхню на передньому краї плями контакту. Коли блоки протектора покидають пляму контакту, вони просто піднімаються, тому можна стверджувати, що блоки протектора шини стискають воду майже вертикально. Саме таке стиснення штовхає воду до канавок протектора. При цьому існує одна умова, яку необхідно виконати для відновлення контакту протектора з дорогою: стиснута вода повинна мати можливість виходити до краю кожного блоку, перш ніж вона покине пляму контакту. Якщо цього не забезпечити, то блок протектора не матиме контакту з поверхнею дороги.

Чим вищий тиск на плівку води та чим менша відстань до країв блоків протектора, тим коротшим буде час виходу води із зони контакту.

Час необхідний для розподілу води по канавках протектора можна розрахувати за формулою (3.4):

$$t = K \cdot \frac{\eta}{P} \cdot \frac{S}{h_f^2} \cdot \left[1 - \left(\frac{h_f}{h_i} \right)^2 \right], \quad (3.4)$$

де K – геометричний коефіцієнт перерізу блоку протектора;

η – в'язкість рідини, Па·с;

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

P – тиск шини на в'язку плівку, Па;
 S – площа блоку, м²;
 h_i – початкова висота в'язкої плівки, м;
 h_f – кінцева висота в'язкої плівки, м.

Тиск шини на поверхню залежить від рівня тиску всередині шини: при нормальному тиску шина рівномірно контактує з дорогою всім протектором, що забезпечує найкраще зчеплення та керованість. При недостатньому тиску центральна частина протектора відривається від дороги, а навантаження зміщується на боковини, що призводить до нерівномірного зносу та погіршення керованості. При надмірному тиску контактна пляма зменшується, найбільше стикається центральна частина, що погіршує керованість, гальмування та збільшує навантаження на підвіску та кузов.

На рис. 3.10 наведено вплив тиску, що чинить шина на поверхню дороги на час розподілу води по канавках протектора.

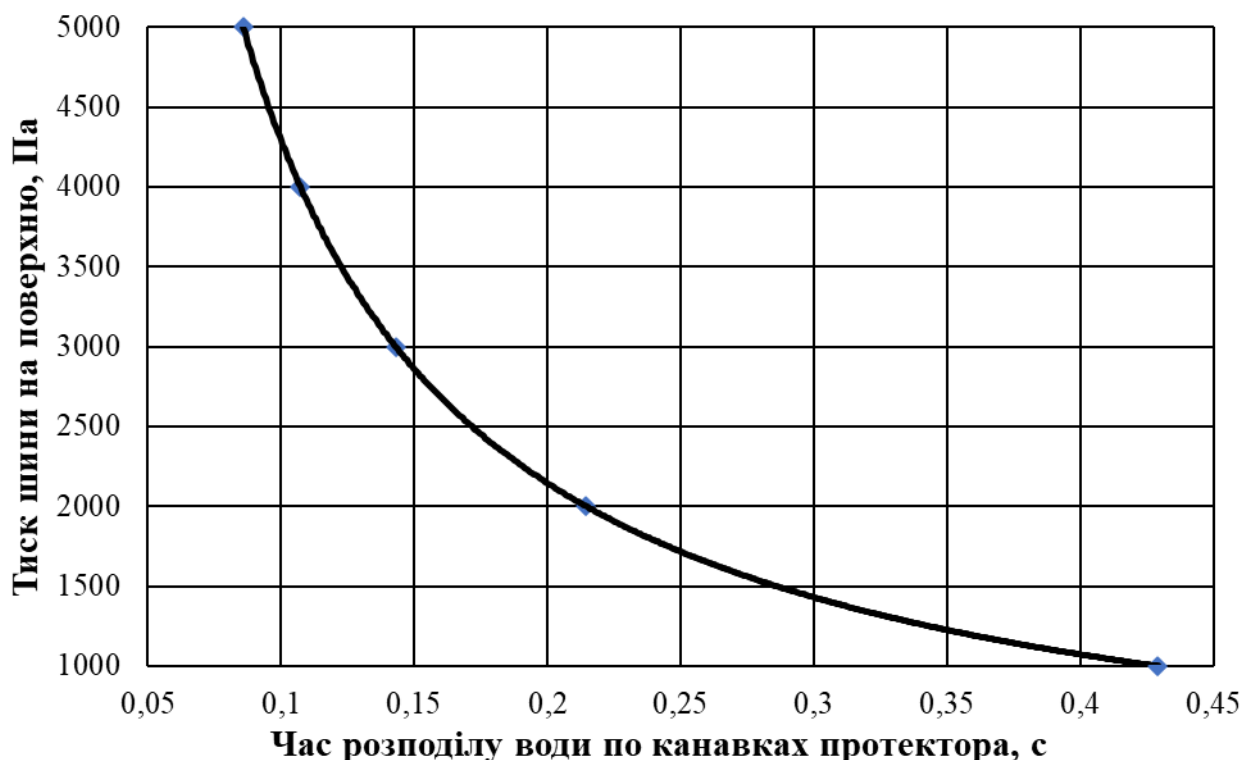


Рисунок 3.10 – Вплив тиску, що чинить шина на поверхню дороги на час розподілу води по канавках протектора

Як бачимо з рис. 3.10 при зменшенні тиску шини на поверхню дороги від 5 до 1 кН відбувається зростання часу розподілу води по канавкам протектору з 0,085 до 0,429 с. Ці має негативний вплив на зчеплення шини з дорогою та збільшує ймовірність аквапланування шин.

Площа блоку протектору шин – це висота або глибину протектора. Висота протектора вимірюється в міліметрах і залежить від типу шини.

За законом України мінімально допустима глибина протектора становить 1,6 мм для літніх шин.

Рекомендована мінімальна глибина:

- літні шини: Рекомендується замінювати шини, коли глибина протектора сягає 3 мм, хоча законодавчий мінімум становить 1,6 мм.

- зимові шини: Рекомендовано замінювати при глибині протектора 4 мм, хоча законодавчо для зимових шин в Україні немає чітко визначеного мінімуму (у європейських країнах — 3 мм).

Для нових літніх шин висота протектора становить близько 7-8 мм, а для зимових – 8-9 мм, але ці показники можуть відрізнятися залежно від виробника.

Знос протектора різко знижує керованість автомобіля, особливо на мокрій дорозі. Це збільшує ризик аквапланування та втрати контролю над авто.

Недостатня глибина протектора негативно впливає на гальмівну ефективність та зчеплення з дорогою.

Вибір між широкими та вузькими шинами залежить від умов експлуатації.

Широкі шини краще підходять для сухого асфальту, оскільки забезпечують максимальне зчеплення та керованість.

Вузькі шини ефективніші на засніжених та зледенілих дорогах, оскільки вони чинять більший тиск на меншу площу, що покращує зчеплення.

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, площа протектора – це не просто статичний показник, а динамічна характеристика, яка залежить від багатьох факторів і має прямий вплив на безпеку та ефективність водіння.

На рис. 3.11 наведено дослідження впливу площі блоку протектора шин на час розподілу води по канавках протектора.

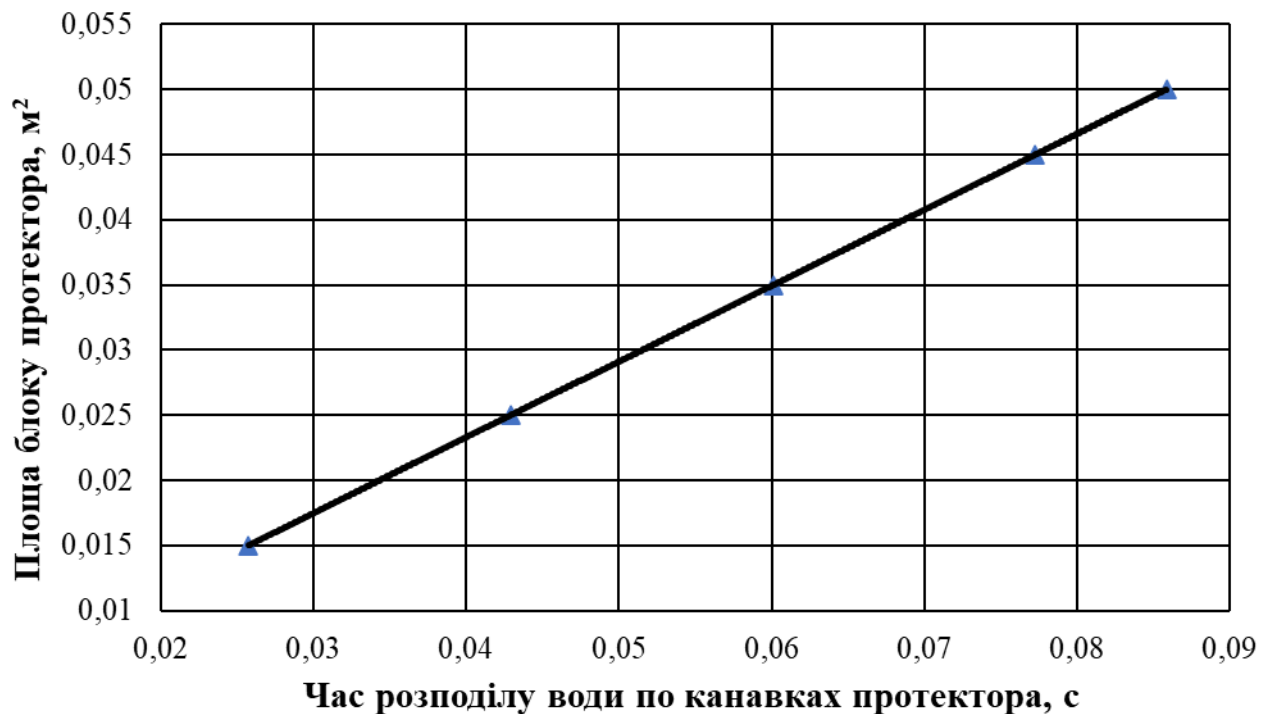


Рисунок 3.11 – Вплив площі блоку протектора шин на час розподілу води по канавках протектора

Результати досліджень рис. 3.11 вказують на зростання часу розподілу води по канавках протектора з 0,026 до 0,085 с при збільшенні площі блоку протектора з 0,015 до 0,05 м², а отже ймовірність аквапланування зростає.

Великий вплив на аквапланування шин має розмір та форма малюнка шин, що характеризується геометричним коефіцієнтом блоку протектора.

Типи малюнків протектора.

Симетричний: Найпоширеніший тип, блоки розташовані симетрично по всій поверхні шини.

Асиметричний: Має різні блоки з внутрішньої та зовнішньої сторони для оптимізації зчеплення та керованості (обов'язково встановлювати відповідно до маркування "Outside").

Направлений: Спеціальний малюнок у вигляді стрілки, який найкраще працює в одному напрямку (важливо стежити за стрілкою на боковині шини, що вказує напрямок обертання). я ймовірність аквапланування шин.

На рис. 3.12 наведені результати дослідження впливу геометричного коефіцієнта блоку протектора на час розподілу води по канавках протектора.

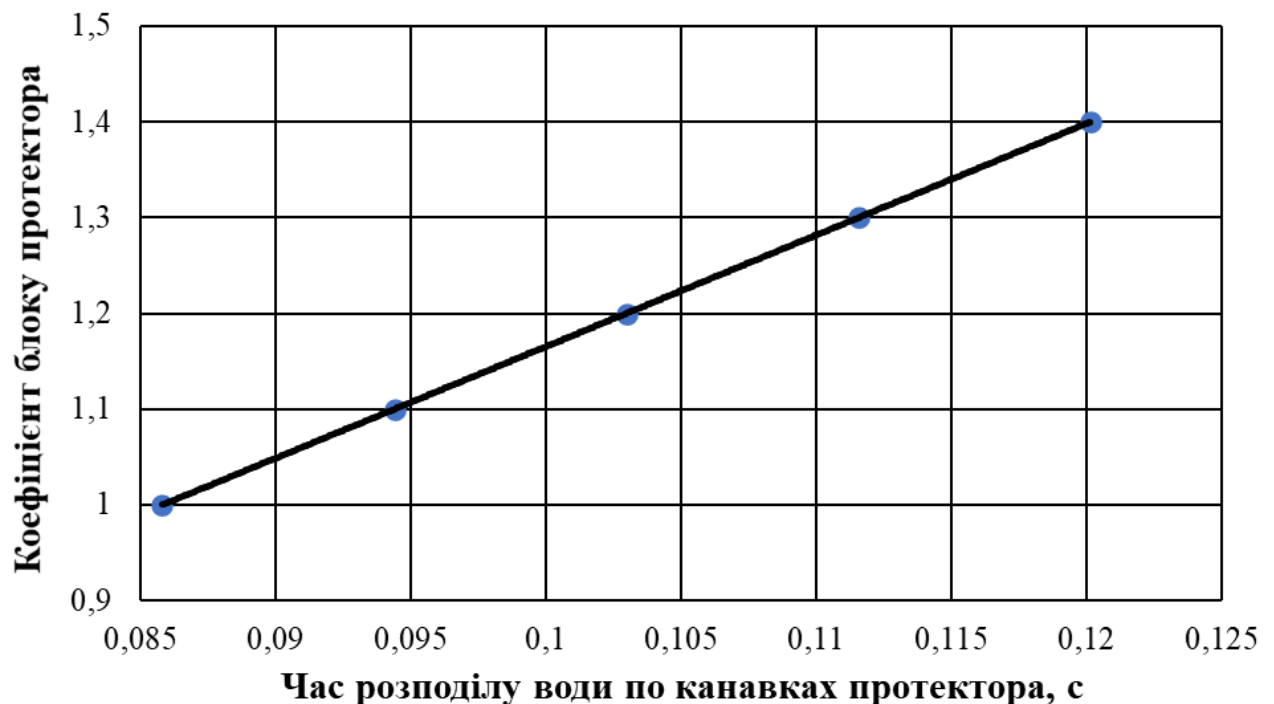


Рисунок 3.12 – Вплив геометричного коефіцієнта блоку протектора на час розподілу води по канавках протектора

Згідно результатів досліджень рис. 3.12, зростання геометричного коефіцієнта блоку протектора шин з 1 до 1,4 призводить до зростання часу розподілу води по канавках протектора з 0,085 до 0,12 с, а отже збільшується ймовірність аквапланування шин.

4 ПРАВИЛА ТЕХНІКИ БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ШИНОРЕМОНТНИХ РОБІТ

4.1 Загальні вимоги з техніки безпеки при виконанні шиномонтажних робіт

До виконання шиноремонтних робіт допускаються особи, яким виповнилося не менше 18 років, які мають відповідну професійну підготовку та пройшли необхідні заходи [68]:

- попередній медичний огляд (у разі ухилення працівника від проходження медичних оглядів, він не допускається до виконання своїх робочих обов'язків).

- вступний інструктаж.
- навчання правилам безпечної роботи.
- методам і прийомам праці і перевірку знань з безпеки праці;
- первинний інструктаж на робочому місці.

Працівники зобов'язані проходити повторний інструктаж з охорони праці щонайменше раз на пів року. Інструктаж проводить керівник робіт, а його результати заносяться до журналу реєстрації інструктажів.

У разі направлення працівників на виконання робіт, які не належать до їх основної діяльності, їм необхідно пройти цільовий інструктаж.

При працевлаштуванні, а також щонайменше раз на рік, працівники мають пройти навчання та перевірку знань з питань охорони праці.

Крім того, працівники обов'язково проходять періодичний медичний огляд не рідше одного разу на рік.

Усі працівники повинні суворо виконувати вимоги внутрішнього трудового розпорядку, дотримуватися інструкцій з охорони праці, пожежної безпеки та правил особистої гігієни. Забороняється вживати спиртні напої в робочий час, приступати до роботи в стані алкогольного або наркотичного сп'яніння. Палити дозволяється тільки в спеціально обладнаних місцях [68].

					МР.АТ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Адміністрація зобов'язана забезпечити працівників безкоштовним спецодягом, взуттям та іншими засобами індивідуального захисту відповідно до ДНАОП 0.00-3.06-98 «Типові норми безплатної видачі спеціального одягу, взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам автомобільного транспорту». Зокрема, передбачено такі засоби [68]:

- бавовняний костюм (строк використання – 12 місяців);
- шкіряні черевики (строк використання – 12 місяців);
- комбіновані рукавиці (строк використання – 3 місяці);
- захисні закриті окуляри (до зносу).

Працівник зобов'язаний правильно користуватися колективними і індивідуальними засобами захисту, а також дбайливо ставитися до виданих йому спецодягу, взуття та інших засобів індивідуального захисту [68].

Керівник підприємства має обов'язок замінити або відремонтувати спецодяг, взуття чи засоби індивідуального захисту, які стали непридатними до закінчення визначеного строку експлуатації через причини, що не залежать від працівника [68].

При виконанні шиномонтажних робіт можуть мати місце такі небезпечні і шкідливі виробничі фактори [68]:

- виліт замкового кільця при накачуванні чи підкачуванні шини;
- розрив покришки при накачуванні шини;
- падіння вивішеної частини автомобіля;
- самовільний рух автомобіля;
- падіння робітників при відкручуванні чи закручуванні гайок кріплення коліс;
- падіння колеса чи шини;
- ураження електричним струмом;
- знижена температура повітря в холодний період року.

При захворюванні або травмуванні як на роботі, так і поза роботою необхідно повідомити про це керівнику і звернутися в лікувальний заклад.

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кожен випадок нещасного випадку на виробництві, ознаки професійного захворювання або ситуація, яка може становити загрозу життю та здоров'ю людей, має бути негайно повідомлена керівнику робіт постраждалим або свідками події.

Керівник зобов'язаний організувати надання домедичної допомоги постраждалому, забезпечити його транспортування до медичного закладу та повідомити про подію власника. Для проведення розслідування необхідно зберегти умови робочого місця та стан обладнання такими, якими вони були на момент інциденту, за умови, що це не створює загрози для інших працівників і не веде до аварії.

Працівники повинні володіти навичками надання домедичної допомоги, транспортування постраждалих, знати місцезнаходження та вміст аптечки, а також вміти використовувати її засоби.

У разі пересування територією необхідно дотримуватися таких правил [68]:

- пересуватися виключно пішохідними доріжками або тротуарами;
- перетинати залізничні колії та автомобільні дороги лише у спеціально відведених місцях;
- виходячи з будівлі, переконатися у відсутності рухомого транспорту.

Для пиття слід використовувати воду зі спеціально облаштованих фонтанчиків, сатураторів або питних бачків. Обідати допускається тільки в обладнаних для цього приміщеннях – їдальні, буфеті чи кімнаті прийому їжі.

Працівники, які допускають порушення чинних інструкцій з охорони праці, несуть відповідальність згідно з законодавством.

4.2 Вимоги безпеки перед початком роботи.

Проведення шиномонтажних робіт повинно здійснюватися на спеціально відведеній ділянці (посту), яка оснащена устаткуванням, пристроями та інструментом згідно з нормативно-технологічною документацією.

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перед зняттям колеса необхідно перевірити положення замкового кільця, ослабити затягнення гайок, автомобіль вивішити на спеціальному підйомнику або за допомогою іншого підйомного механізму.

Перед вивішуванням частини автомобіля підйомними механізмами (домкратами, накатними пересувними підйомниками, талями тощо), крім стаціонарних, необхідно спочатку встановити транспортний засіб на рівній поверхні, зупинити двигун, включити знижену передачу, загальмувати його стоянковим гальмом, встановити під колеса упорні колодки, у автобуса перевірити стан опорного майданчика кузова.

При вивішуванні частини транспортного засобу плунжер домкрата (накатного пересувного підйомника) або надставка до нього повинні бути встановлені у місцях, які вказані в технологічній документації, керівництві з експлуатації транспортних засобів.

Домкрат треба установлювати на рівну неслизьку поверхню. У разі неміцного ґрунту під основу домкрата необхідно підкласти міцну дерев'яну підставку площею не менше 0,1 м² або дошку.

Під вивішені частини транспортного засобу за допомогою домкрата (пересувних накатних підйомників, талів тощо) для огляду, виконання профілактичних робіт та ремонту повинні бути встановлені підставки (козелки).

Підставки (козелки) під вивішені частини транспортного засобу повинні встановлюватися в місцях, які вказані в технологічній документації, керівництві по експлуатації транспортного засобу.

Перед відкручуванням гайок кріплення бездискових коліс із маточини, для знімання або переставлення їх необхідно повністю випустити повітря із шини.

Операції по зняттю, переміщенню та встановленню коліс вантажного автомобіля, автобуса, причепа, напівпричепа масою понад 20 кг повинні бути механізовані (використовуватися спеціальні візки, гайковерти тощо).

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перед зняттям шини з диска колеса слід повністю випустити повітря з камери. Процес демонтажу шини, яка щільно прилягає до обода, рекомендується виконувати на спеціальному стенді або за допомогою відповідного знімного обладнання. На виробничій лінії монтаж і демонтаж шин необхідно здійснювати виключно монтажними інструментами [68].

Перед установкою шини важливо перевірити стан і чистоту всіх компонентів, зокрема обода, диска колеса, бортового та замкового кілець, а також самої шини.

При монтажі шини на диск колеса замкове кільце повинно щільно входити в виїмку обода, забезпечуючи повний контакт усією внутрішньою поверхнею.

Ободи і їх елементи не допускаються до монтажу в разі наявності деформацій, тріщин, гострих кромek, задирок або корозії в місцях контакту з шиною. Крім того, кріпильні отвори не повинні мати розроблення понад встановлені допустимі розміри [68].

4.3 Вимоги безпеки під час виконання роботи.

Процес накачування та підкачування знятих шин від транспортних засобів на підприємстві має виконуватися виключно монтажником шин у запобіжних клітах або за допомогою відповідних захисних пристроїв. Це необхідно для уникнення травмування працівників у випадку розриву шини чи викидання кілець [68].

У дорожніх умовах накачування шин слід проводити із застосуванням переносних захисних пристроїв, спеціальної запобіжної вилки відповідної довжини та міцності, або розмістити колесо замковим кільцем донизу.

При виконанні шиномонтажних робіт забороняється [68]:

- використовувати кувалду чи молоток для вибивання диска під час демонтажу шини;
- знімати одне з здвоєних коліс з автомобіля без домкрата, шляхом наїзду на виступаючий предмет другим здвоєним колесом;

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- коригувати положення шини на диску постукуванням під час її накачування повітрям;
- встановлювати шини на диски, які не відповідають їх розміру чи мають ушкодження, що перешкоджають монтажу;
- поправляти положення бортового чи замкового кільця, бити по них молотком або іншими предметами при накачуванні шини або коли вона вже знаходиться під тиском;
- перевищувати норму тиску, встановлену заводом-виробником;
- вручну перекичувати колеса, диски та шини вагою понад 20 кг;
- використовувати замкові та бортові кільця, які не підходять до даної моделі шин.

Довжина шланга для накачування не повинна перевищувати відстань від точки його приєднання до магістралі стиснутого повітря або повітророздавальної колонки до середини запобіжної кліті. Самі запобіжні кліті мають бути розташовані максимально близько до джерела стиснутого повітря.

Накачування здійснюється у два етапи: спочатку до тиску 0,05 МПа із перевіркою положення замкового кільця, після чого, переконавшись у правильному розташуванні кільця під бортом шини, – до тиску, який визначено в інструкції. Якщо положення замкового кільця неправильне, слід повністю випустити повітря, скоригувати розташування кільця та повторити процедуру. При повторному неправильному положенні кільця необхідно замінити.

Підкачування шин без демонтажу потрібно здійснювати лише в тому випадку, якщо тиск знизився не більше ніж на 40% від норми та є впевненість у правильності монтажу.

На ділянках для накачування шин обов'язково має бути дозатор або манометр, який дозволяє регулювати тиск повітря для різних типів шин. Редуктор стенда для демонтажу та монтажу шин необхідно обладнати кожухом.

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для огляду внутрішньої поверхні шин використовується спредер. Огляд шин слід проводити строго у рукавицях.

При роботі з пневматичним стаціонарним підйомником для переміщення великих шин передбачено обов'язкове використання стопорного пристрою для фіксації піднятої шини.

4.4 Вимоги безпеки після закінчення роботи

Приведіть робоче місце в порядок, прибравши всі інструменти та обладнання. Повідомте керівника про будь-які несправності, які виникли під час роботи. Очистіть робочий одяг, спецвзуття та засоби індивідуального захисту; зберігайте їх у спеціально виділених для цього місцях. Помийте руки та обличчя з милом або скористайтесь душем.

4.5 Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У разі аварійної зупинки автомобіля на узбіччі чи краю проїжджої частини при проведенні шиномонтажних робіт водій повинен увімкнути аварійну світлову сигналізацію, надягти сигнальний жилет і встановити знак аварійної зупинки або миготливий червоний ліхтар. В межах населеного пункту це слід зробити на відстані не менше 20 метрів від автомобіля, а поза його межами — на відстані щонайменше 40 метрів.

При відключенні електроживлення необхідно зупинити роботу і негайно повідомити керівнику, не намагаючись самостійно визначити чи усунути причину несправності. Слід пам'ятати, що електрична напруга може раптово відновитися, створюючи небезпечну ситуацію.

У випадку пожежі необхідно одразу повідомити пожежну охорону та керівника робіт, після чого приступити до гасіння полум'я. Якщо загорітись одяг, потрібно спершу загасити вогонь за допомогою підручних засобів, але уникати накриття потерпілого з головою, щоб запобігти опікам дихальних шляхів та отруєнню токсичними продуктами горіння.

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При пожежі чи загорянні слід пам'ятати, що гасити електроустановки можна лише вуглекислотними вогнегасниками або сухим піском, щоб уникнути ураження електричним струмом. Розлите масло чи паливо необхідно негайно прибирати за допомогою піску або тирси, які після використання слід скласти у металеві ящики з кришками, розташовані поза приміщенням.

					МР.АТ-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Комфортність їзди та характеристики керованості транспортних засобів тісно пов'язані з характеристиками та експлуатаційними властивостями автомобільних шин.

На бічні рухи та крени також можуть впливати інші численні параметри, включаючи конструктивні фактори транспортного засобу, швидкість, характеристики підвіски, коливання від дороги, рульове керування та властивості шин.

Частота в шинах означає, наскільки швидко або з якою швидкістю в них стискаються та розширюються їх довголанцюгові молекули.

Існує обернено пропорційна залежність між підвищенням температури гуми та зниженням частоти напруження, якому вона піддається.

На високій частоті молекули не мають достатньо часу, щоб відновити свою форму, оскільки час між стисненням і розширенням занадто короткий, тому молекули поведуться як жорсткий або твердий матеріал. На високій частоті модуль також дуже високий, що призводить до поведінки шини як твердого матеріалу.

На низькій частоті молекули мають достатньо часу, щоб відновити свою форму, тому вони поведуться як пружина або пружний матеріал. З досліджень видно, що модуль низький, а поведінка подібна до пружини.

На помірних частотах молекули поведуться як комбінація пружин та амортизатора, що демонструє поведінку молекули як в'язкого матеріалу – це і є оптимальною областю роботи шини.

За низької температури молекули гуми не мають достатньо часу, щоб відновити свою форму та поведуться як жорсткий або твердий матеріал. З досліджень видно, що за низької температури модуль також дуже високий, що призводить до поведінки гуми як твердого матеріалу.

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За високої температури молекули гуми отримують підтримку, щоб відновити свою форму, тому вони поведуться як пружини або еластичний матеріал. З досліджень видно, що за високої температури модуль пружності низький, а поведінка гуми подібна до поведінки пружини.

З результатів досліджень еластичних властивостей зимової шини оптимальними температурними режимами роботи для неї буде діапазон з -25°C по -5°C .

Для всесезонної шини температурний режим роботи за показником еластичності буде знаходитися в діапазоні з -5°C по $+20^{\circ}\text{C}$.

Літні шини мають добрі еластичні властивості за температурного діапазону $+5^{\circ}\text{C}$ по $+25^{\circ}\text{C}$.

Отже, нами встановлено, що еластичність, гістерезис та втрата енергії гуми змінюються залежно від температури та частоти напружень:

- частота напружень збільшується, гума переходить з гумоподібного стану на склоподібний (твердий та крихкий);
- температура підвищується, гума переходить зі склоподібного стану на гумоподібний.

В діапазоні низьких частот (від 10 до 105 Гц) збільшення частоти в 10 разів має такий самий вплив на стан гуми, як і зниження температури на $7-8^{\circ}\text{C}$.

Присутність води між шиною та дорогою перешкоджає зчепленню, а молекулярна адгезія не може нормально функціонувати.

Відомі три стадії розсіювання води, що відбуваються між переднім та боковим краєм плями контакту і відповідають трьом різним перехідним зонам, які називаються:

- гідродинамічна (глибина води $> 0,5$ мм);
- в'язкодинамічна (глибина води: від кількох мікронів до $0,5$ мм);
- волога (періодична залишкова водяна плівка).

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В результаті дослідження швидкості аквапланування шин від ступеня їх накачування нами встановлено, що із зростанням тиску вшинах від 1 до 5 бар швидкість аквапланування зростає від 45 до 90 км/год.

З результатів дослідження при зменшенні тиску шини на поверхню дороги від 5 до 1 кН відбувається зростання часу розподілу води по канавкам протектору з 0,085 до 0,429 с. Ці має негативний вплив на зчеплення шини з дорогою та збільшує ймовірність аквапланування шин.

Результати досліджень впливу площі протектора вказують на зростання часу розподілу води по канавках протектора з 0,026 до 0,085 с при збільшенні площі блоку протектора з 0,015 до 0,05 м², а отже ймовірність аквапланування зростає.

Аналогічний вплив на ймовірність аквапланування має зростання геометричного коефіцієнта блоку протектора шин з 1 до 1,4 що призводить до зростання часу розподілу води по канавках протектора з 0,085 до 0,12 с, а отже збільшується ймовірність аквапланування шин.

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. M.A. Abdelkareem, M.M. Makrahy, A.M. Abd-El-Tawwab, A. EL-Razaz, M. Kamal Ahmed Ali, M. Moheyldein, An analytical study of the performance indices of articulated truck semi-trailer during three different cases to improve the driver comfort, Proc. Inst. Mech. Eng. K: J. Multi-body Dyn. 2018;232:84–102. <https://doi.org/10.1177/1464419317709895>.

2. M.A.A. Abdelkareem, L. Xu, X. Guo, M.K.A. Ali, A. Elagouz, M.A. Hassan, et al, Energy harvesting sensitivity analysis and assessment of the potential power and full car dynamics for different road modes, Mech Syst Sig Process. 110 (2018) 307–332, <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2018.03.009>.

3. R.S. Sharp, Fundamentals of the lateral dynamics of road vehicles, Springer, Mechanics for a New Mellennium, 2001, pp. 127–146.

4. R. Rajamani, Lateral vehicle dynamics, Springer, Vehicle Dynamics and control, 2012, pp. 15–46.

5. J. Zou, X. Guo, M.A.A. Abdelkareem, L. Xu, J. Zhang, Modelling and ride analysis of a hydraulic interconnected suspension based on the hydraulic energy regenerative shock absorbers, Mech Syst Sig Process. 127 (2019) 345–369, <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2019.02.047>.

6. M.A.A. Abdelkareem, A.B.M. Eldaly, M. Kamal Ahmed Ali, I. M. Youssef, Xu.L. Monte, Carlo sensitivity analysis of vehicle suspension energy harvesting in frequency domain, J. Adv. Res. 24 (2020) 53–67, <https://doi.org/10.1016/j.jare.2020.02.012>.

7. Zheng B, Huang X, Zhang W, Zhao R, Zhu S. Adhesion Characteristics of Tire-Asphalt Pavement Interface Based on a Proposed Tire Hydroplaning Model. Advances in Materials Science and Engineering. 2018;2018. <https://doi.org/10.1155/2018/5916180>.

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

8. Allen RW, Myers TT, Rosenthal TJ, Klyde DH. The effect of tire characteristics on vehicle handling and stability. 2000. <https://doi.org/10.4271/2000-01-0698>.
9. Smith ND. Understanding parameters influencing tire modeling. Department of Mechanical Engineering, Colorado State University. 2004.
10. C-s Liu, Adhesion coefficient of automobile tire and road surface, J Central South Univ. Technol. 15 (2008) 210–214, <https://doi.org/10.1007/s11771-008-0348-5>.
11. Y. Oh, H. Lee, Characteristics of a tire friction and performances of a braking in a high speed driving, Adv. Mech. Eng. 6 (2014) 260428, <https://doi.org/10.1155/2014/260428>.
12. Y.-Q. Zhao, H.-Q. Li, F. Lin, J. Wang, X.-W. Ji, Estimation of road friction coefficient in different road conditions based on vehicle braking dynamics, Chinese J. Mech. Eng. 30 (2017) 982–990, <https://doi.org/10.1007/s10033-017-0143-z>.
13. B.N. Persson, U. Tartaglino, O. Albohr, E. Tosatti, Rubber friction on wet and dry road surfaces: the sealing effect, Phys. Rev. B. 71 (2005) 035428, <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.71.035428>.
14. Wielenga TJ. Tire properties affecting vehicle rollover; 1999. <https://doi.org/10.4271/1999-01-0126>.
15. G.-M. Dong, N. Zhang, H.-P. Du, Investigation into untripped rollover of light vehicles in the modified fishhook and the sine manoeuvres, part II: effects of vehicle inertia property, suspension and tyre characteristics, Veh Syst Dyn 49 (2011) 949–968, <https://doi.org/10.1080/00423110701344752>.
16. Shim T, Velusamy PC. Influence of suspension properties on vehicle roll stability. 2006. <https://doi.org/10.4271/2006-01-1950>.
17. Whitehead R, Travis W, Bevly DM, Flowers G. A study of the effect of various vehicle properties on rollover propensity. 2004. <https://doi.org/10.4271/2004-01-2094>.

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

18. Marimuthu RP, Jang B-C, Hong SJ. A study on SUV parameters sensitivity on rollover propensity. 2006. <https://doi.org/10.4271/2006-01-0795>.
19. Y. Chen, A.W. Peterson, C. Zhang, M. Ahmadian, A simulation-based comparative study on lateral characteristics of trucks with double and triple trailers, *Int J Veh Saf* 11 (2019) 136–157, <https://doi.org/10.1504/IJVS.2019.101857>.
20. L.O. Garcí'a, F.R. Wilson, J.D. Innes, Heavy truck dynamic rollover: effect of load distribution, cargo type, and road design characteristics, *Transport. Res. Rec.* 1851 (2003) 25–31, <https://doi.org/10.3141/1851-03>.
21. El-Gindy M, Kenis W. Influence of a Trailer's Axle Arrangement and Loads on the Stability and Control of a Tractor/semitrailer; 1998.
22. Hac A. Rollover Stability Index Including Effects of Suspension Design; 2002. <https://doi.org/10.4271/2002-01-0965>.
23. Hac A. Influence of chassis characteristics on sustained roll, heave and yaw oscillations in dynamic rollover testing. 2005. <https://doi.org/10.4271/2005-01-0398>.
24. L. Wang, N. Zhang, H. Du, Experimental investigation of a hydraulically interconnected suspension in vehicle dynamics and stability control, *SAE Int. J. Passenger Cars-Mech Syst.* 5 (2012) 759–768, <https://doi.org/10.4271/2012-01-0240>.
25. Qi H, Zhang B, Zhang N, Zheng M, Chen Y. Enhanced lateral and roll stability study for a two-axle bus via hydraulically interconnected suspension tuning. *SAE International Journal of Vehicle Dynamics, Stability, and NVH.* 2018; <https://doi.org/10.4271/10-03-01-0001>.
26. W.A. Smith, N. Zhang, W. Hu, Hydraulically interconnected vehicle suspension: handling performance, *Veh. Syst. Dyn.* 49 (2011) 87–106, <https://doi.org/10.1080/00423111003596743>.
27. Mi J, Xu L, Guo S, Abdelkareem MAA, Meng L, Zuo L. The DimensionMatch and Parameters Setting of the Hydraulic Motor for the Hydraulic-

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Electromagnetic Energy-Regenerative Shock Absorber; 2017.
<https://doi.org/10.1115/DETC2017-68093>.

28. J. Zou, X. Guo, L. Xu, M.A.A. Abdelkareem, B. Gong, J. Zhang, et al. Simulation Research of a Hydraulic Interconnected Suspension Based on a Hydraulic Energy Regenerative Shock Absorber. 2018.
<https://doi.org/10.4271/2018-01-0582>.

29. F.A. Barbieri, V. de Almeida Lima, L. Garbin, J. Boaretto, Rollover study of a heavy truck combination with two different semi-trailer suspension configurations. 2014. <https://doi.org/10.4271/2014-36-0025>.

30. D.L. White, Parametric study of leveling system characteristics on roll stability of trailing arm air suspension for heavy trucks, 2000.
<https://doi.org/10.4271/2000-01-3480>.

31. Z.-F. Wang, M.-M. Dong, L. Gu, J.-J. Rath, Y.-C. Qin, B. Bai, Influence of road excitation and steering wheel input on vehicle system dynamic responses, Appl. Sci. 7 (2017) 570, <https://doi.org/10.3390/app7060570>.

32. Y. Li, W. Sun, J. Huang, L. Zheng, Y. Wang, Effect of vertical and lateral coupling between tyre and road on vehicle rollover, Veh. Syst. Dyn. 51 (2013) 1216–1241, <https://doi.org/10.1080/00423114.2013.791395>.

33. Baumann FW, Eckstein L. Effects causing untripped rollover of light passenger vehicles in evasive maneuvers. 2004. <https://doi.org/10.4271/2004-01-1057>.

34. D. Joshi, S. Kedia, S. Muthiah, A study on the effect of steering input frequency on transient lateral dynamics of four-wheeled passenger vehicles. 2019. <https://doi.org/10.4271/2019-26-0070>.

35. Diagnostyka stanu nawierzchni i wybranych elementów korpusu drogi. Wytyczne Stosowania. Warsaw, May 2019. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad. Available online: <https://www.archiwum.gddkia.gov.pl/> (accessed on 14 August 2024).

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

36. Regulation No 117 of the Economic Commission for Europe of the United Nations (UNECE)—Uniform Provisions Concerning the Approval of Tyres with Regard to Rolling Sound Emissions and/or to Adhesion on Wet Surfaces and/or to Rolling Resistance [2016/1350]. Available online: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:42016X0812\(01\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:42016X0812(01)) (accessed on 14 August 2024).

37. Mechowski, T. Measurement of the Road Friction Coefficient in Poland. *Proc. Inst. Veh.* 2009, 2, 5–15.

38. Pokorski, J.; Reński, A.; Sar, H. System for Investigation of Friction Properties of the Road Surface. *Balt. J. Road Bridge Eng.* 2015, 10, 126–131.

39. Sanders, P.D.; Browne, C. Characterising the Measurements Made by Sideways-Force Skid Resistance Devices. A Desk Study and Proposal for an Experimental Study. TRL. The Future of Transport. Published Project Report PPR957. 2020. Available online: <https://trl.co.uk/uploads/trl/documents/PPR957---Characterising-the-measurements-made-by-sideways-force-skid-resistance-devices.pdf> (accessed on 2 August 2024).

40. Salehi, M.; Noordermeer, J.W.M.; Reuvekamp, L.A.E.M.; Tolpekina, T.; Blume, A. A New Horizon for Evaluating Tire Grip Within a Laboratory Environment. *Tribol. Lett.* 2020, 68, 37.

41. Cabrera, J.A.; Castillo, J.J.; Pérez, J.; Velasco, J.M.; Guerra, A.J.; Hernández, P. A Procedure for Determining Tire-Road Friction Characteristics Using a Modification of the Magic Formula Based on Experimental Results. *Sensors* 2018, 18, 896.

42. Singh, K.B.; Taheri, S. Estimation of tire–road friction coefficient and its application in chassis control systems. *Syst. Sci. Control. Eng.* 2015, 3, 39–61.

43. Villagra, J.; d’Andrea-Novell, B.; Fliess, M.; Mounier, H. An algebraic approach for maximum friction estimation. In *Proceedings of the 8th IFAC Symposium on Nonlinear Control Systems (NOLCOS)*, Bologna, Italy, 1–3 September 2010.

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

44. Petersen, I.; Johansen, T.A.; Kalkkuhl, J.; Lüdemann, J. Wheel slip control using gain-scheduled LQ—LPV/LMI analysis and experimental results. In Proceedings of the 2003 European Control Conference (ECC), 2003. Presented at the 2003 European Control Conference (ECC), Cambridge, UK, 1–4 September 2003; pp. 880–885.

45. Park, J.; Jeong, H.; Jang, I.G.; Hwang, S.-H. Torque Distribution Algorithm for an Independently Driven Electric Vehicle Using a Fuzzy Control Method. *Energies* 2015, 8, 8537–8561.

46. Hoseinnezhad, R.; Bab-Hadiashar, A. Efficient Antilock Braking by Direct Maximization of Tire-Road Frictions. *IEEE Trans. Ind. Electron.* 2011, 58, 3593–3600.

47. Tian, C.; Leng, B.; Hou, X.; Xiong, L.; Huang, C. Multi-Sensor Fusion Based Estimation of Tire-Road Peak Adhesion Coefficient Considering Model Uncertainty. *Remote. Sens.* 2022, 14, 5583.

48. Bera, T.K.; Bhattacharya, K.; Samantaray, A.K. Evaluation of antilock braking system with an integrated model of full vehicle system dynamics. *Simul. Model. Pract. Theory* 2011, 19, 2131–2150.

49. Pinto Braz, J.P. A Novel Road Grip Estimation Method Using a Vehicle as a Probe. Ph.D. Dissertation, University of Nevada, Reno, NV, USA, 2019.

50. Radzajewski, P.; Guzek, M. Assessment of the Impact of Selected Parameters of Tractor-Semitrailer Set on the Braking Safety Indicators. *Appl. Sci.* 2023, 13, 5336.

51. Alshaw, A.; De Pinto, S.; Stano, P.; van Aalst, S.; Praet, K.; Boulay, E.; Ivone, D.; Gruber, P.; Sorniotti, A. An Adaptive Unscented Kalman Filter for the Estimation of the Vehicle Velocity Components, Slip Angles, and Slip Ratios in Extreme Driving Manoeuvres. *Sensors* 2024, 24, 436.

52. Cattani, P.; Cattani, L.; Magrini, A. Tyre–Road Heat Transfer Coefficient Equation Proposal. *Appl. Sci.* 2023, 13, 11996.

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

53. Rosta, S.; Gáspár, L. Skid Resistance of Asphalt Pavements. *Eng* 2023, 4, 1597–1615.
54. Zhang, L.; Wang, R.; Zhou, H.; Wang, G. Estimation of the Friction Behaviour of Rubber on Wet Rough Road, and Its Application to Tyre Wet Skid Resistance, Using Numerical Simulation. *Symmetry* 2022, 14, 2541.
55. Maknickas, A.; Ardatov, O.; Bogdevičius, M.; Kačianauskas, R. Modelling the Interaction between a Laterally Deflected Car Tyre and a Road Surface. *Appl. Sci.* 2022, 12, 11332.
56. Han, Y.; Lu, Y.; Chen, N.; Wang, H. Research on the Identification of Tyre-Road Peak Friction Coefficient under Full Slip Rate Range Based on Normalized Tyre Model. *Actuators* 2022, 11, 59.
57. Roveri, N.; Pepe, G.; Mezzani, F.; Carcaterra, A.; Culla, A.; Milana, S. OPTYRE—Real Time Estimation of Rolling Resistance for Intelligent Tyres. *Sensors* 2019, 19, 5119.
58. Acosta, M.; Kanarachos, S.; Blundell, M. Road Friction Virtual Sensing: A Review of Estimation Techniques with Emphasis on Low Excitation Approaches. *Appl. Sci.* 2017, 7, 1230.
59. He, H.; Peng, J.; Xiong, R.; Fan, H. An Acceleration Slip Regulation Strategy for Four-Wheel Drive Electric Vehicles Based on Sliding Mode Control. *Energies* 2014, 7, 3748–3763.
60. Fathi, H.; El-Sayegh, Z.; Ren, J.; El-Gindy, M. Modeling and Validation of a Passenger Car Tire Using Finite Element Analysis. *Vehicles* 2024, 6, 384–402.
61. Sobrino y Arjona-Guzman, M.; Jimenez-Martinez, M.; Torres-Cedillo, S.G. Vehicle Performance Assessment Using the OBD2 Port and Artificial Neural Network. *Eng. Lett.* 2022, 30, 4. Available online: <https://www.engineeringletters.com/> (accessed on 8 November 2024).
62. Rajamani, R. Tire-Road Friction Measurement on Highway Vehicles. In *Vehicle Dynamics and Control. Mechanical Engineering Series*; Springer: Boston, MA, USA, 2012.

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

63. Jilek, P. Vehicle wheel positioning innovation on a machine for measuring the contact parameters between a tyre and the road. Arch. Automot. Eng. Arch. Motoryz. 2023, 100, 31–43.

64. Pečman, J.; Šarkan, B.; Ližbetinová, L.; Ľupták, V.; Loman, M.; Bartuška, L. Impact of Acceleration Style on Vehicle Emissions and Perspectives for Improvement through Transportation Engineering Solutions. Arch. Automot. Eng. Arch. Motoryz. 2024, 104, 48–62.

65. Akhmedov, D.; Riskaliev, D. Modeling of full vehicle dynamics for enhanced stability control. Arch. Automot. Eng. Arch. Motoryz. 2024, 105, 88–102.

66. GPS Receiver BT-Q818XT Extreme 10 Hz. Available online: <http://racing.qstarz.com/Products/BT-Q818XT.html> (accessed on 14 August 2024).

67. Reński, A; Brukalski, M; Abramowski, M; Rokicki, K. Determining Tyre Adhesion Characteristics Based on the Road Tests of Automobiles. Sensors 2024, 24(23), 7447; <https://doi.org/10.3390/s24237447>.

68. Наказ міністерства інфраструктури України № 549 від 26.07.2013р. «Про затвердження Правил технічної експлуатації коліс та пневматичних шин колісних транспортних засобів категорій L, M, N, O та спеціальних машин, виконаних на їх шасі», зареєстровано в Міністерстві юстиції України 22 серпня 2013 р. за № 1452/23984.

					MP.AT-80.00.00.000 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Комплект ілюстративного матеріалу до захисту
магістерської роботи**

**студент групи АТм-24-2
Ковалів Олександр Васильович**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ
ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН ТА
ЇХ ВПЛИВ НА КОЕФІЦІЄНТ ЗЧЕПЛЕННЯ З ДОРОЖНІМ
ПОКРИТТЯМ**

Науковий керівник: доц. Мельник В.М.

**Івано-франківськ
2025р.**

Актуальність. Характеристики шин, такі як малюнок протектора, глибина протектора, тиск у шинах та матеріал суттєво впливають на коефіцієнт зчеплення, який відображає тертя між шиною та дорогою.

Глибший протектор і належне накачування збільшують площу контакту, покращуючи зчеплення, тоді як такі фактори, як зношений протектор або високий тиск у шинах, зменшують його.

Інші фактори, такі як швидкість руху автомобіля та стан дорожнього покриття (наприклад, волога, суха або ожеледиця), також відіграють вирішальну роль у визначенні доступного зчеплення.

Отже, питання дослідження експлуатаційних показників роботи автомобільних шин та їх вплив на коефіцієнт зчеплення з дорожнім покриття є актуальним та малодослідженим.

Мета роботи полягає в теоретичних та експериментальних дослідженнях експлуатаційних показників роботи автомобільних шин та їх вплив на коефіцієнт зчеплення з дорожнім покриття.

Завдання дослідження:

1. Виконати аналіз літературних джерел у сфері виробництва та експлуатації автомобільних шин.
2. Дослідити вплив частоти та температури експлуатації автомобільних шин на коефіцієнт зчеплення з дорожнім покриття.
3. Дослідити граничні межі аквапланування шин в залежності від геометричних та природніх факторів.
4. Здійснити аналіз правил техніки безпеки при ТО і ремонті шин.

Об'єкт дослідження – автомобільні шини, процес виробництва, експлуатації.

Предмет дослідження – вплив умов експлуатації та геометричних параметрів шин на коефіцієнт зчеплення з дорожнім покриттям.

Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному:

1. Проведено огляд літературних джерел у сфері виготовлення та використання автомобільних покришок.
2. Досліджено вплив частоти та температури застосування автомобільних шин на коефіцієнт зчеплення з дорожнім полотном.
3. Визначено граничні показники аквапланування шин залежно від геометричних та природних чинників.
4. Здійснено аналіз правил техніки безпеки при технічному обслуговуванні і ремонті шин.

Наукова новизна. Теоретично та експериментально досліджено впливу експлуатаційних та природних чинників на коефіцієнт зчеплення автомобільних шин з дорожнім покриттям.

Методи дослідження. У роботі використано методи аналізу наукової та технічної інформації, теоретичні та експериментальні дослідження впливу експлуатаційних та природних чинників на коефіцієнт зчеплення автомобільних шин з дорожнім покриттям.

Особистий внесок автора. Автором означені основні завдання роботи, вибрано та опановано методи їх вирішення, дібрано та опрацьовано літературні джерела, здійснено аналіз і теоретичне підтвердження зібраного матеріалу, в тому числі досліджено вплив експлуатаційних та природних чинників на коефіцієнт зчеплення автомобільних шин з дорожнім покриттям, проаналізовано правила техніки безпеки та охорони довкілля під час виконання шиноремонтних операцій, узагальнено та сформульовано висновки.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ПОКАЗНИКІВ ЗЧЕПЛЕННЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН З ДОРОЖНІМ ПОКРИТТЯМ

3

Коефіцієнт поздовжнього зчеплення μ визначається як відношення поздовжньої сили між дорожнім покриттям та шиною X до вертикальної реакції Z .

$$\mu_x = \frac{X}{Z} \quad (1)$$

Проковзування веденого колеса:

$$S = \frac{r_d \cdot \omega_k - g_k}{r_d \cdot \omega_k} \cdot 100\% \quad (2)$$

v_k – швидкість центру колеса, що дорівнює швидкості транспортного засобу;

ω_k – кутова швидкість колеса;

r_d – динамічний радіус колеса.

Пробуксовування загальмованого колеса:

$$S = \frac{g_k - r_d \cdot \omega_k}{g_k} \cdot 100\% \quad (3)$$

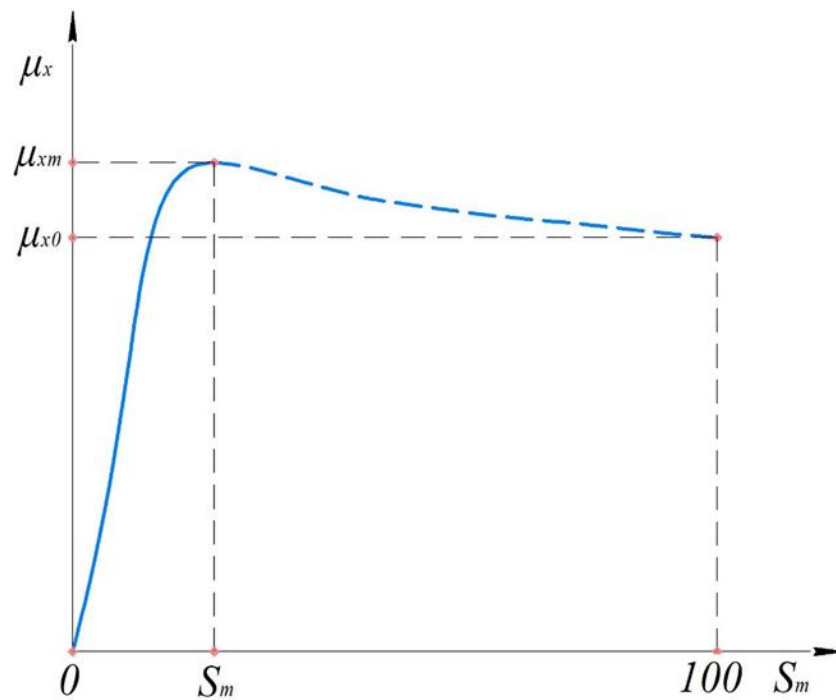


Рисунок 1 – Залежність коефіцієнта поздовжнього зчеплення μ_x від ковзання S

МЕТОДОЛОГІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН

4

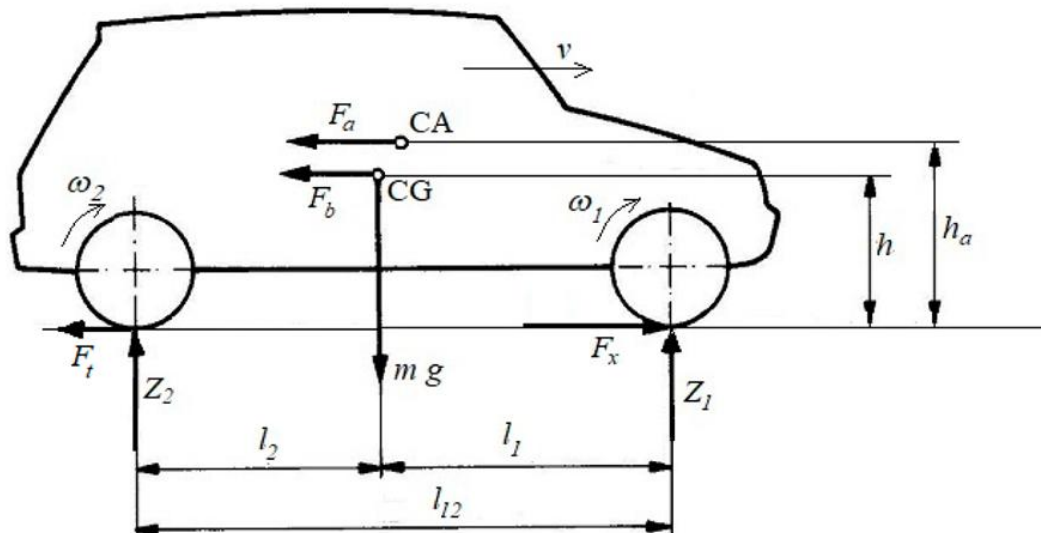


Рисунок 2 – Схема сил, що діють на транспортний засіб під час розгону

v – швидкість транспортного засобу;

a – прискорення транспортного засобу;

CG – центр мас;

CA – центр атмосферного тиску;

F_x – поздовжня сила зчеплення передніх коліс;

Z_1, Z_2 – нормальні реакції, що діють на колеса переднього та заднього мостів;

F_b – сила інерційного опору;

F_a – сила опору повітря;

F_{t2} – сила опору коченню задніх коліс;

ω_1, ω_2 – кутові швидкості переднього та заднього коліс (усереднені для лівого та правого коліс);

n_1, n_2 – швидкості обертання переднього та заднього коліс (усереднені для лівого та правого коліс);

r_{t1}, r_{t2} – радіус кочення переднього та заднього коліс;

r_{d1}, r_{d2} – динамічний радіус переднього та заднього коліс;

f_t – коефіцієнт опору коченню;

S_1, S_2 – пробуксовування переднього та заднього колеса.

Рівняння руху транспортного засобу: $F_x = F_{t2} + F_b + F_a$ (4)

Сила опору коченню задніх коліс: $F_{t2} = Z_2 \cdot f_t$; $f_t = 0,01 \cdot (1 + k_t \cdot v_2)$. (5)

Сила інерційного опору: $F_b = m \cdot a$. (6)

Сила опору повітря: $F_a = 0,047 \cdot A \cdot c_x \cdot v^2$, (7)

Нормальна реакція, що діє на колеса передньої осі: $Z_1 = \frac{m \cdot g \cdot l_2 - F_b \cdot h - F_a \cdot h_a}{l_{12}}$ (8)

Нормальна сила реакції, що діє на колеса задньої осі: $Z_2 = \frac{m \cdot g \cdot l_1 + F_b \cdot h + F_a \cdot h_a}{l_{12}}$ (9)

Збільшення навантаження на передні колеса: $\Delta Z_1 = \frac{-F_b \cdot h - F_a \cdot h_a}{l_{12}}$ (10)

Збільшення навантаження на задні колеса: $\Delta Z_2 = \frac{F_b \cdot h + F_a \cdot h_a}{l_{12}}$ (11)

Динамічний радіус переднього колеса: $r_{d1} = r_{stat} + k_v \cdot v - \Delta Z_1 / k_r$. (12)

Динамічний радіус заднього колеса: $r_{d2} = r_{stat} + k_v \cdot v - \Delta Z_2 / k_r$. (13)

Пробуксовування переднього колеса: $S_1 = \frac{\omega_1 \cdot r_{d1} - g}{\omega_1 \cdot r_{d1}}$ $S_1 = \frac{\omega_1 \cdot r_{d1} - \omega_2 \cdot r_{d2}}{\omega_1 \cdot r_{d1}}$ (14)

Коефіцієнт зчеплення: $\mu_x = \frac{F_x}{Z_1}$ (15)

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ОСНОВНИХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН

6

Визначення частотно-температурної еквівалентності за рівнянням ВЛФ (Вільям-

Ландел-Феррі):

$$\ln a_T = \frac{-C_1 \cdot (T - T_g)}{C_2 + (T - T_g)} \quad (16)$$

a_T – параметр, що залежить від температури (пов'язаний із в'язкістю або часовою шкалою);

T – температура, при якій визначається в'язкість;

T_g – температура склування, що є точкою переходу матеріалу із склоподібного стану у високоенергетичний;

C_1 та C_2 – емпіричні константи, що залежать від конкретного матеріалу.

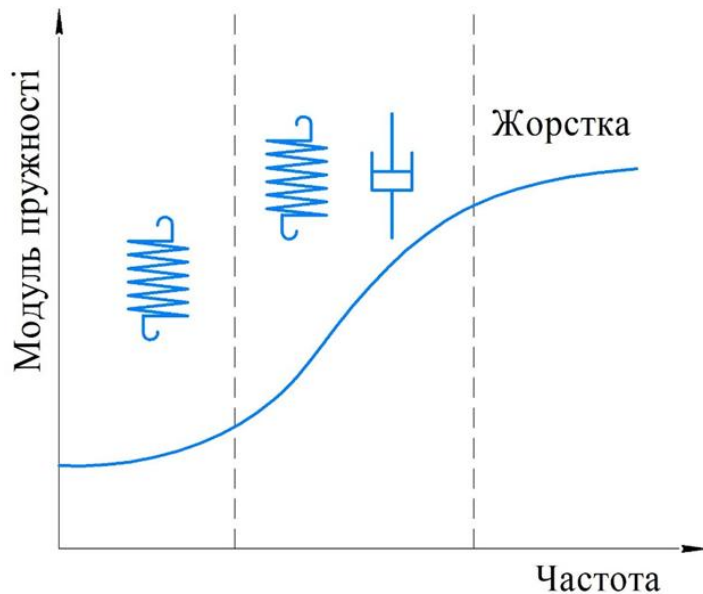


Рисунок 3 – Характер впливу частоти на пружність шин

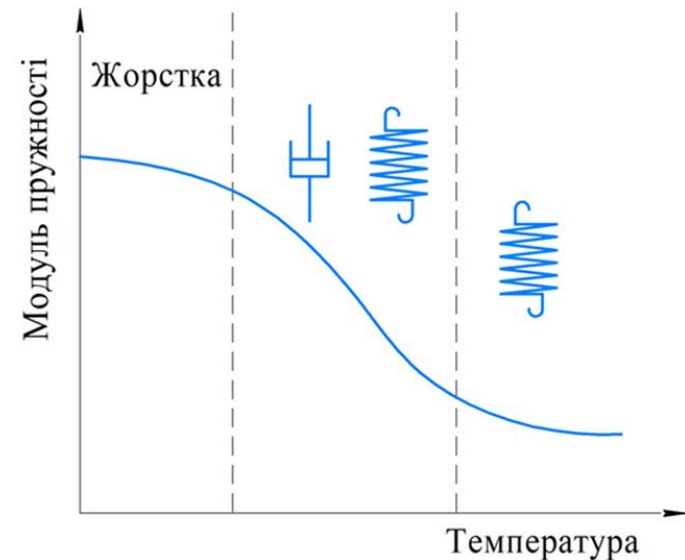
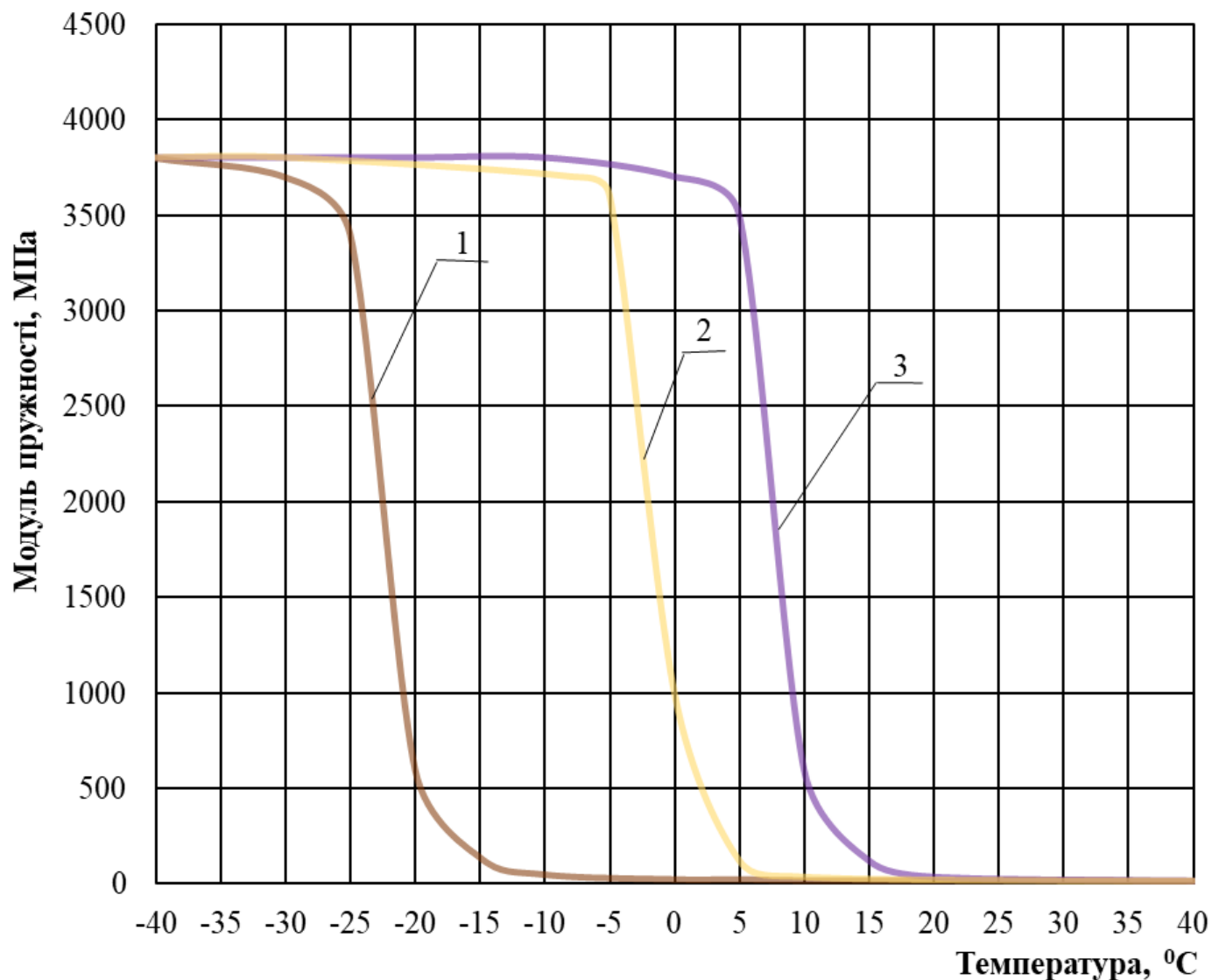


Рисунок 4 – Характер впливу температури на пружність шин



1 – зимові шини; 2 – всесезонні шини; 3 – літні шини

Рисунок 5 – Результати досліджень еластичних властивостей зимових шин, всесезонних та літніх

Таблиця 1 – Оптимальні температурні межі роботи автомобільних шин

Літні шини	Всесезонні шини	Зимові шини
		
Літні шини розроблені для використання в теплу погоду і зазвичай не можна використовувати за низької температури.	Призначені для роботи в широких температурних діапазонах. Можуть використовуватись за нижчих температур, але не на рівні шин для сильного снігу (зимових).	Шини для суворих зимових умов розроблені для найкращої роботи в умовах суворих холодів, не використовуються під час тривалих теплих погодних умов.
Випробування на зчеплення з мокрою дорогою		
$T_{\text{ref}}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 12 до $35\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{ref}}=15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 5 до $35\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{ref}}=10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 5 до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$

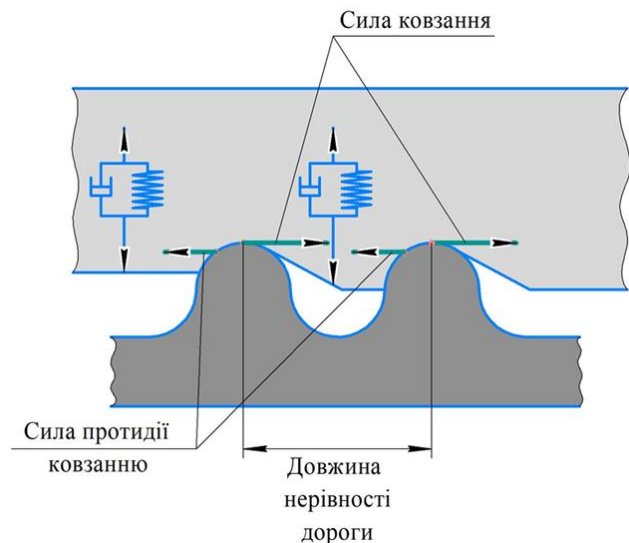


Рисунок 6 – Модель контакту колеса з нерівностями дороги

Гідродинамічний тиск, що створюється слизьким протектором шини на межі води апроксиметься рівнянням Бернуллі:

$$p_{\text{гідродин.}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (\vartheta \cdot \cos \beta)^2 \quad (17)$$

ρ – густина води, кг/м^3 ;

β – кут передньої кромки шини;

ϑ – швидкість руху автомобіля, м/с .

Швидкість аквапланування можна приблизно визначити за такою формулою:

$$\vartheta_a = \sqrt{\frac{p}{K}}, \text{ де } K=500. \quad (18)$$

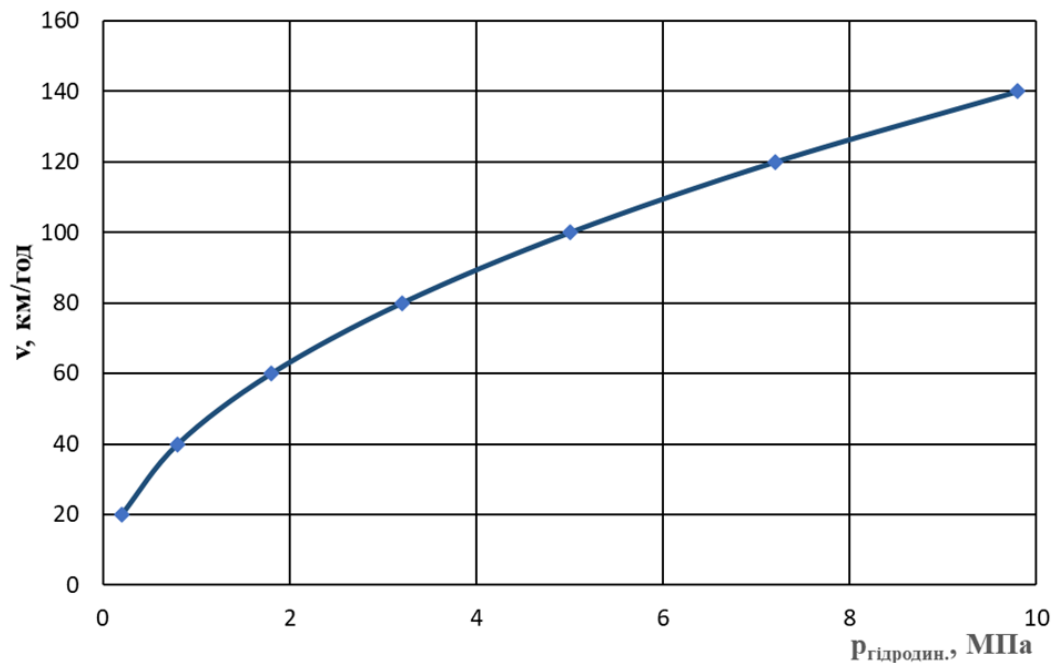


Рисунок 7 – Залежність зміни величини гідродинамічного тиску від швидкості руху автомобіля

Таблиця 2 – Зчеплення шини з поверхнею дороги залежно від товщини води та швидкості

Товщина води, що покриває дорогу	Швидкість руху, км/год	
	60	100
0 мм (суха поверхня)	1	1
< 10 мкм (волога поверхня)	0,85	0,75
1,5 мм	0,65	0,5
5 мм	0,45	0,09

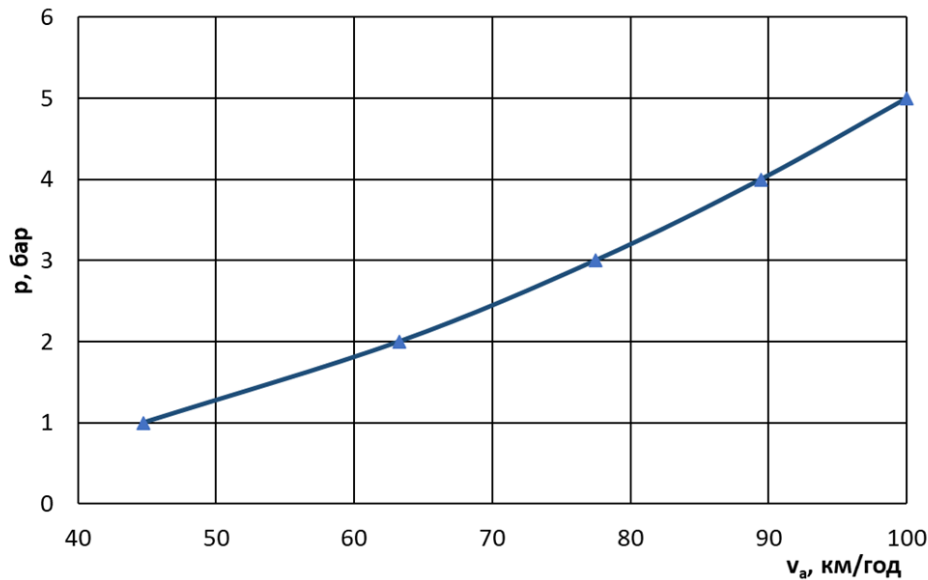


Рисунок 9 – Залежність зміни швидкості аквапланування шин від ступеня їх накачування

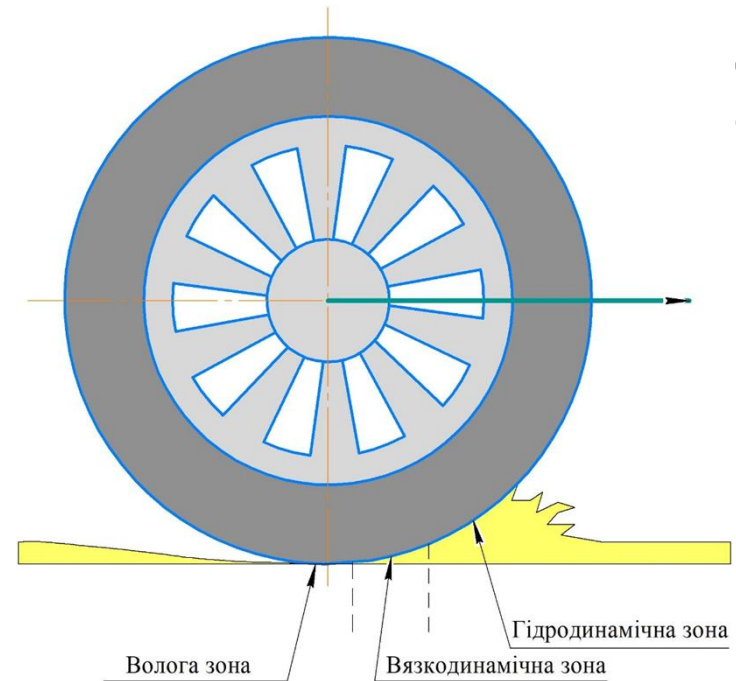


Рисунок 8 – Зони розсіювання води між переднім та боковим краєм плями контакту шини

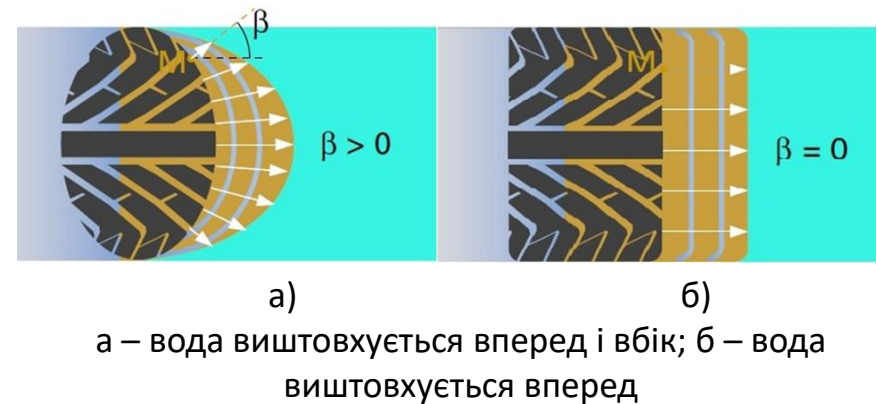


Рисунок 10 – Вплив кута передньої кромки шини на напрямок руху води

Час необхідний для розподілу води по канавках протектора розраховується за формулою:

$$t = K \cdot \frac{\eta}{P} \cdot \frac{S}{h_f^2} \cdot \left[1 - \left(\frac{h_f}{h_i} \right)^2 \right] \quad (19)$$

K – геометричний коефіцієнт перерізу блоку протектора;

η – в'язкість рідини, Па·с;

P – тиск шини на в'язку плівку, Па;

S – площа блоку, м²;

h_i – початкова висота в'язкої плівки, м;

h_f – кінцева висота в'язкої плівки, м.

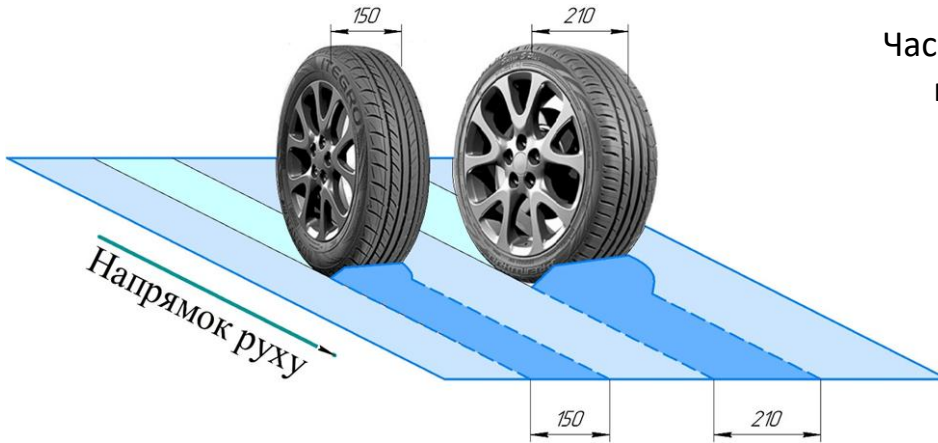


Рисунок 11 – Вплив ширини шини на потік води

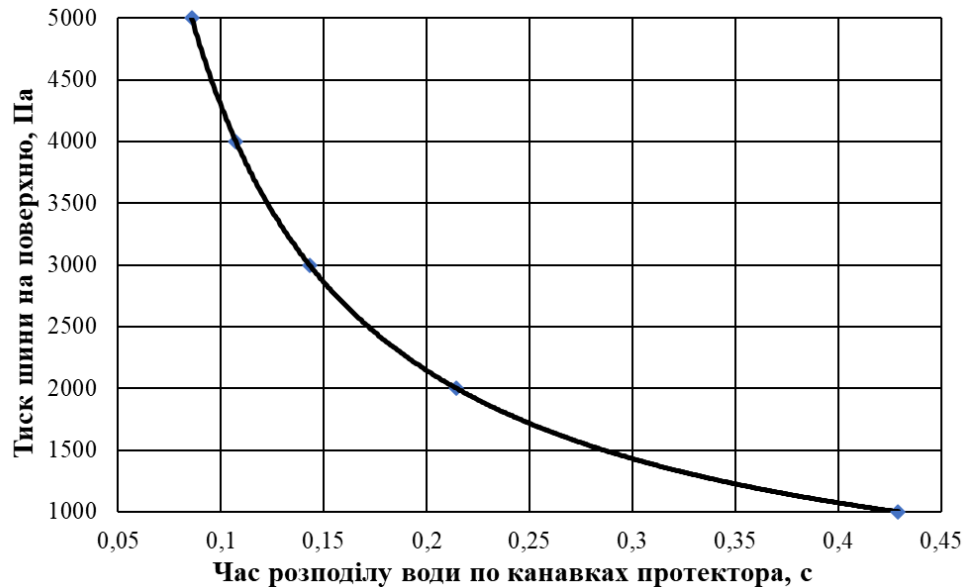


Рисунок 12 – Вплив тиску, що чинить шина на поверхню дороги на час розподілу води по канавках протектора

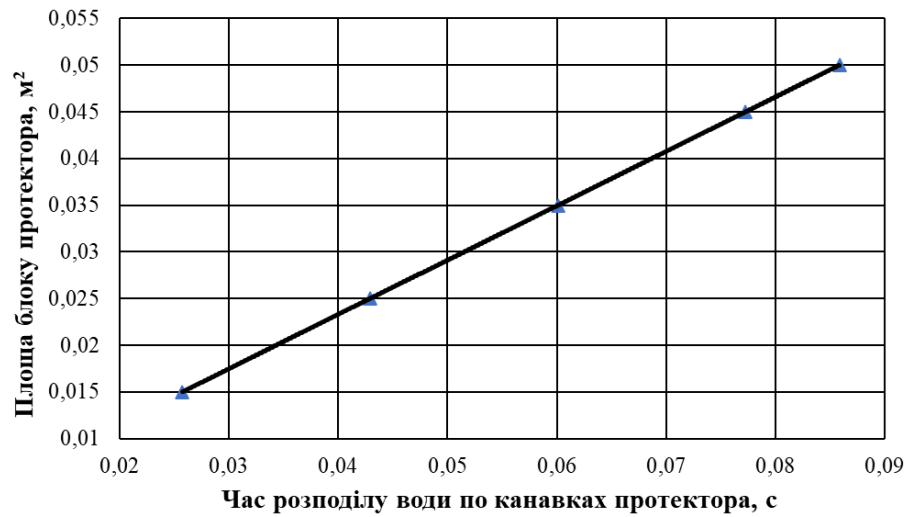


Рисунок 13 – Вплив площі блоку протектора шин на час розподілу води по канавках протектора

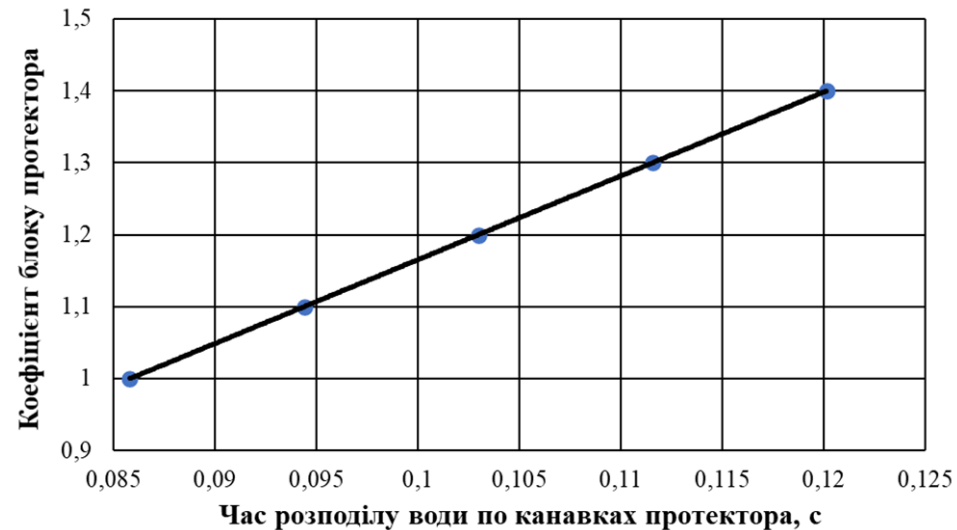


Рисунок 14 – Вплив геометричного коефіцієнта блоку протектора на час розподілу води по канавках протектора

Комфортність їзди та характеристики керованості транспортних засобів тісно пов'язані з характеристиками та експлуатаційними властивостями автомобільних шин.

На бічні рухи та крени також можуть впливати інші численні параметри, включаючи конструктивні фактори транспортного засобу, швидкість, характеристики підвіски, коливання від дороги, рульове керування та властивості шин.

Частота в шинах означає, наскільки швидко або з якою швидкістю в них стискаються та розширюються їх довголанцюгові молекули.

Існує обернено пропорційна залежність між підвищенням температури гуми та зниженням частоти напруження, якому вона піддається.

На високій частоті молекули не мають достатньо часу, щоб відновити свою форму, оскільки час між стисненням і розширенням занадто короткий, тому молекули поведуться як жорсткий або твердий матеріал. На високій частоті модуль також дуже високий, що призводить до поведінки шини як твердого матеріалу.

На низькій частоті молекули мають достатньо часу, щоб відновити свою форму, тому вони поведуться як пружина або пружний матеріал. З досліджень видно, що модуль низький, а поведінка подібна до пружини.

На помірних частотах молекули поведуться як комбінація пружин та амортизатора, що демонструє поведінку молекули як в'язкого матеріалу – це і є оптимальною областю роботи шини.

За низької температури молекули гуми не мають достатньо часу, щоб відновити свою форму та поведуться як жорсткий або твердий матеріал. З досліджень видно, що за низької температури модуль також дуже високий, що призводить до поведінки гуми як твердого матеріалу.

За високої температури молекули гуми отримують підтримку, щоб відновити свою форму, тому вони поведуться як пружини або еластичний матеріал. З досліджень видно, що за високої температури модуль пружності низький, а поведінка гуми подібна до поведінки пружини.

З результатів досліджень еластичних властивостей зимової шини оптимальними температурними режимами роботи для неї буде діапазон з -25°C по -5°C .

Для всесезонної шини температурний режим роботи за показником еластичності буде знаходитися в діапазоні з -5°C по $+20^{\circ}\text{C}$.

Літні шини мають добрі еластичні властивості за температурного діапазону $+5^{\circ}\text{C}$ по $+25^{\circ}\text{C}$.

Отже, нами встановлено, що еластичність, гістерезис та втрата енергії гуми змінюються залежно від температури та частоти напружень:

- частота напружень збільшується, гума переходить з гумоподібного стану на склоподібний (твердий та крихкий);
- температура підвищується, гума переходить зі склоподібного стану на гумоподібний.

В діапазоні низьких частот (від 10 до 105 Гц) збільшення частоти в 10 разів має такий самий вплив на стан гуми, як і зниження температури на $7-8^{\circ}\text{C}$.

Присутність води між шиною та дорогою перешкоджає зчепленню, а молекулярна адгезія не може нормально функціонувати.

Відомі три стадії розсіювання води, що відбуваються між переднім та боковим краєм плями контакту і відповідають трьом різним перехідним зонам, які називаються:

- гідродинамічна (глибина води $> 0,5$ мм);
- в'язкодинамічна (глибина води: від кількох мікронів до $0,5$ мм);
- волога (періодична залишкова водяна плівка).

В результаті дослідження швидкості аквапланування шин від ступеня їх накачування нами встановлено, що із зростанням тиску вшинах від 1 до 5 бар швидкість аквапланування зростає від 45 до 90 км/год.

З результатів дослідження при зменшенні тиску шини на поверхню дороги від 5 до 1 кН відбувається зростання часу розподілу води по канавкам протектору з 0,085 до 0,429 с. Ці має негативний вплив на зчеплення шини з дорогою та збільшує ймовірність аквапланування шин.

Результати досліджень впливу площі протектора вказують на зростання часу розподілу води по канавках протектора з 0,026 до 0,085 с при збільшенні площі блоку протектора з 0,015 до $0,05\text{ м}^2$, а отже ймовірність аквапланування зростає.

Аналогічний вплив на ймовірність аквапланування має зростання геометричного коефіцієнта блоку протектора шин з 1 до 1,4 що призводить до зростання часу розподілу води по канавках протектора з 0,085 до 0,12 с, а отже збільшується ймовірність аквапланування шин.