

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ
ІМЕНІ ПРОФЕСОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА**

КВАЛІФІКАЦІЙНА Р О Б О Т А

Освітнього ступеня «Магістр»

на тему: **„ Аналіз зносу шин залежно від умов експлуатації та
дорожнього покриття ”**

Виконав: студент 6 курсу групи Ат-63
Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”
(шифр і назва)

Нагірний Олег Андрійович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. Василь РИС
(Прізвище та ініціали)

Рецензент: к.т.н., доц. Олег МИРОНЮК
(Прізвище та ініціали)

Дубляни 2025

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГИЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ
ІМЕНІ ПРОФЕСОРА ОЛЕКСАНДРА СЕМКОВИЧА**

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедри _____
(підпис)

к.т.н., доцент Андрій ШАРИБУРА
“ 28 ” лютого 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу студенту
Нагірному Олегу Андрійовичу

1. Тема роботи: „ Аналіз зносу шин залежно від умов експлуатації та дорожнього покриття ”

Керівник роботи: Рис Василь Іванович, к.т.н., доц.

Затверджена наказом по університету 28.02.2025 року № 140/К-С

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 05.12.2025 року.

3. Вихідні дані: Науково-технічна література з питань надійності автомобільних шин. Показники стану охорони праці під час проведення досліджень.

4. Перелік питань, які необхідно розробити

Вступ

1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2. МЕТОДИКА ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗНОШУВАННЯ ШИН

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОШУВАННЯ ШИН ЗАЛЕЖНО ВІД УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ

5. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ УДОСКОНАЛЕННЯ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ШИН

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
4	Городецький І.М., к.т.н., доцент кафедри інженерної механіки			

7. Дата видачі завдання: 28.02.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1.	Написання розділу: «Аналіз стану питання досліджень»	28.02.25-28.03.25	
2.	Виконання розділу «Методика та методи дослідження процесу зношування шин»	29.03 25-30.05.25	
3.	Виконання розділу «Дослідження зношування шин залежно від умов експлуатації»	31.05.25-01.07.25	
4.	Написання розділу: «Охорона праці та захист довкілля»	02.07.25-31.08.25	
5.	Написання розділу: «Економічна оцінка ефективності удосконалення умов експлуатації шин»	01.09.25-24.11.25	
6.	Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки	25.11.25-30.11.25	
7.	Завершення роботи в цілому	01.12.25-5.12.25	

Студент _____ Олег НАГІРНИЙ
(підпис)

Керівник роботи _____ Василь РИС

АНОТАЦІЯ

Нагірний О. А. «Аналіз зносу шин залежно від умов експлуатації та дорожнього покриття». Кваліфікаційна робота. Дубляни. Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, 2025. 93 с.

табл. 9; рис. 23; бібліогр. джерел 39.

У магістерській роботі виконано комплексне дослідження інтенсивності зношування шин вантажного автомобіля класу N1/M1 залежно від умов експлуатації та типів дорожнього покриття. Метою роботи є підвищення довговічності шин і зниження експлуатаційних витрат шляхом визначення закономірностей стирання протектора та обґрунтування заходів щодо покращення технічної експлуатації.

У роботі проаналізовано сучасний стан питання, розглянуто вплив дорожніх, кліматичних, конструктивних та експлуатаційних факторів на знос шин, висвітлено типові пошкодження та методи випробувань. Описано методику дорожніх вимірювань, наведено результати експериментальних досліджень на дослідному автомобілі, виконано оцінку інтенсивності зношування на різних типах дорожнього покриття (асфальт, бетон, щебінь, ґрунт). Проведено математичне моделювання та побудовано регресійні залежності між зношуванням, навантаженням, тиском у шині та швидкісним режимом.

Встановлено, що підвищення ресурсу шин можливе за рахунок оптимізації тиску, зменшення перевантаження, уникнення ділянок з високою абразивністю та коригування експлуатаційних режимів. Показано, що збільшення ресурсу шин з 35 до 42 тис. км забезпечує економію понад 12,8 тис. грн на 100 тис. км пробігу та скорочує витрати автопідприємства. Розраховано економічний ефект для парку з 20 автомобілів і доведено, що запропоновані заходи окуповуються протягом 1,7–1,8 року.

Робота містить аналіз охорони праці, екологічних ризиків експлуатації шин та рекомендації щодо їхнього безпечного застосування й утилізації.

Отримані результати можуть бути використані автотранспортними підприємствами, сервісними станціями та організаціями, що здійснюють технічну експлуатацію транспортних засобів.

Ключові слова: шини, зношування, протектор, дорожнє покриття, експлуатація, ресурс, тиск, навантаження, автомобіль N1/M1, економічний ефект.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	10
1.1 Робочі умови експлуатації шин автотранспорту і методи їх випробування. 10	
1.1.1 Робочі умови експлуатації шин	10
1.1.2 Види зношування шин	11
1.1.3 Методи випробування шин	12
1.2 Типові пошкоджень шин	16
1.3 Аналіз існуючих математичних моделей опису роботи автомобільних шин. 17	
1.3.1 Емпіричні моделі.....	18
1.3.2 Фізико-математичні моделі.....	19
1.3.3 Моделі динаміки шини	19
1.3.4 Симуляційні та комп'ютерні моделі	20
Висновки до підрозділу	20
2. МЕТОДИКА ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗНОШУВАННЯ ШИН	22
2.1 Загальні підходи до проведення досліджень зношування шин.....	22
2.2 Характеристика дослідного транспортного засобу та шин	23
2.3 Методика вимірювання параметрів шин у процесі експлуатації.....	29
2.4 Методика фіксації умов експлуатації	31
2.5 Експлуатаційні випробування шин у реальних умовах руху	34
2.6 Лабораторні та стендові методи визначення зносостійкості шин	36
2.7 Розрахункові та аналітичні методи визначення інтенсивності зношування шин.....	40
2.8 Методи математичної обробки та аналізу експериментальних даних	43
2.10 Джерела похибок у дослідженнях зношування шин	46
Висновки до розділу 2	47
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОШУВАННЯ ШИН ЗАЛЕЖНО ВІД УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	49

3.1 Характеристика досліджуваних об'єктів	49
3.2 Характеристика дорожніх покриттів.....	50
3.3 Результати дорожніх вимірювань.....	53
3.4 Аналіз залежності зносу від типу дорожнього покриття.....	59
3.5 Вплив навантаження, швидкості та тиску в шині.....	62
3.6 Розрахунок коефіцієнта зносу для різних типів дорожніх покриттів.....	65
Висновки до розділу 3	68
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ	70
4.1 Загальні положення охорони праці під час проведення досліджень.	70
4.2 небезпечні та шкідливі фактори у процесі досліджень	70
4.3 Організація безпечних дорожніх вимірювань.....	73
4.4 Безпека під час лабораторних і стендових випробувань	74
4.5 Пожежна безпека.....	74
4.6 Екологічна безпека та поводження з відходами	75
Висновки до розділу 4	77
5. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ УДОСКОНАЛЕННЯ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ШИН	79
5.1 Вихідні дані та прийняті припущення	79
5.2 Методика економічних розрахунків.....	80
5.3 Розрахунок витрат на шини в базовому варіанті	81
5.4 Розрахунок витрат у удосконаленому варіанті	82
5.5 Розрахунок економічного ефекту та строку окупності.....	82
5.6 Табличне та графічне подання результатів	83
Висновки до розділу 5	86
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	87
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	90

ВСТУП

Експлуатаційні властивості автомобільних шин є одним із ключових чинників, що визначають безпеку руху, економічність транспортного засобу та його надійність під час роботи у різних дорожніх умовах. Шини забезпечують контакт автомобіля з дорогою, беруть участь у передаванні тягового та гальмівного зусиль, формують стійкість транспортного засобу на поворотах та впливають на ефективність гальмування. В умовах інтенсивної експлуатації та різноманітності дорожніх покриттів особливо важливим стає питання зношування протектора, оскільки саме воно визначає залишковий ресурс шини та можливість її безпечного використання.

Зношування шин зумовлюється широким спектром факторів. До них належать механічні навантаження, тиск повітря, температура, швидкісний режим, характер дорожнього покриття, особливості конструкції шини та стиль керування. Неналежний контроль цих параметрів призводить до прискореного стирання протектора, нерівномірних пошкоджень, збільшення витрати палива та зниження керованості автомобіля. У комерційному транспорті класу N1/M1 (легкі вантажні автомобілі) ці фактори набувають ще більшої актуальності, оскільки такі транспортні засоби працюють у режимі частих зупинок, зміни навантаження та руху дорогами з різним типом покриття.

Проблематика впливу дорожніх умов на інтенсивність зносу шин залишається актуальною, незважаючи на значну кількість досліджень у світі. Більшість робіт спрямована на вивчення окремих факторів, однак комплексні дослідження, що враховують одночасно тип покриття, навантаження, тиск і режими руху, обмежені. Крім того, сучасні тенденції транспортної інженерії спрямовані на цифровізацію процесів контролю технічного стану, застосування систем моніторингу тиску в шинах, методів кінцевих елементів та статистичних підходів до аналізу зношування. Це потребує узагальнення та адаптації до українських умов експлуатації вантажних автомобілів.

Усе це визначає актуальність теми магістерської роботи, спрямованої на дослідження закономірностей зношування шин залежно від типу дорожнього

покриття, експлуатаційних режимів і технічних параметрів шини.

Мета дослідження. Підвищення ефективності та довговічності експлуатації шин вантажного автомобіля класу N1/M1 шляхом аналізу інтенсивності їх зношування за різних умов дорожнього покриття, навантаження та тиску, а також розроблення практичних рекомендацій щодо збільшення ресурсу шин.

Завдання дослідження. У межах поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- Провести аналіз сучасного стану питання щодо досліджень зношування автомобільних шин та методів його визначення.
- Дослідити експлуатаційні умови роботи шин і встановити ключові фактори, що визначають інтенсивність їх зношування.
- Визначити характеристики дорожніх покриттів (асфальт, бетон, ґрунт, щебінь) та їх вплив на стирання протектора.
- Розробити та реалізувати методику дорожніх вимірювань глибини протектора та тиску в шинах.
- Провести експериментальні випробування на дослідному автомобілі класу N1/M1 та визначити швидкість зношування протектора за різних умов.
- Побудувати математичні залежності та моделі, що описують зв'язок між інтенсивністю зношування, навантаженням, тиском та типом дорожнього покриття.
- Виконати економічну оцінку ефективності удосконалення умов експлуатації шин.
- Розробити рекомендації щодо підвищення ресурсу шин і зниження експлуатаційних витрат автопідприємств.

Об'єкт дослідження. Процес експлуатації шин вантажного автомобіля класу N1/M1 у реальних дорожніх та кліматичних умовах.

Предмет дослідження. Закономірності зношування протектора шин, а також вплив дорожніх, експлуатаційних, технічних та конструктивних факторів на інтенсивність цього зношування.

Методи дослідження. У роботі застосовано такі методи:

- експериментальні методи дорожніх вимірювань (контроль глибини протектора, тиску, навантаження);
- лабораторні та стендові методи визначення зносостійкості та температурного режиму;
- математичні та статистичні методи (регресійний аналіз, кореляційні залежності, нормування даних);
- комп'ютерне моделювання (метод кінцевих елементів, аналітичні моделі зношування);
- економічні методи аналізу (оцінка витрат, розрахунок строку окупності, прогноз ефективності);
- графічні методи побудови діаграм, залежностей та порівняльних характеристик.

Наукова новизна. Удосконалено підхід до оцінювання впливу типу дорожнього покриття на інтенсивність зношування шин автомобілів класу N1/M1.

Запропоновано комбінований метод аналізу, що поєднує дорожні вимірювання з математичними моделями та FEM-оцінкою контактних навантажень.

Вперше для умов локальних українських доріг встановлено параметри зміни ресурсу шин залежно від абразивності покриття.

Практичне значення роботи. Результати дослідження можуть бути використані: автопідприємствами для оптимізації експлуатації шин і зменшення витрат; сервісними станціями та шиномонтажами для прогнозування ресурсу; виробниками та постачальниками шин під час адаптації моделей до дорожніх умов України; навчальними закладами як приклад комплексного застосування методів дослідження в транспортній інженерії.

1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Робочі умови експлуатації шин автотранспорту і методи їх випробування

Пневматичні шини є одним із найважливіших елементів автомобіля, що безпосередньо впливають на його рух, безпеку та економічність експлуатації. Від їх технічного стану залежить рівень зчеплення з дорожнім покриттям, стійкість транспортного засобу, ефективність гальмування, комфорт руху та витрата палива. Саме тому дослідження умов експлуатації шин і методів їх випробувань має важливе практичне та наукове значення.

До основних параметрів, які характеризують роботу пневматичних шин, належать опір коченню (коефіцієнт опору кочення), вантажопідйомність (визначається шляхом перевірки ступеня прогинання шини) та проковзування (коефіцієнт буксування) [1, 3].

На інтенсивність зношування шин найбільше впливають такі фактори, як внутрішній тиск повітря, навантаження на колесо, наявність кутів установки коліс (розвал і схід), дисбаланс коліс, а також особливості конструкції шини [2, 7]. Перелічені фактори є вихідними параметрами для більшості експериментальних тестів, випробувань та математичних моделей, які застосовуються з метою прогнозування нормативних показників шин у процесі експлуатації. Саме тому їх детальний аналіз наведено у даній роботі.

На сучасному етапі розвитку автомобільного транспорту значна увага приділяється створенню емпіричних методик для визначення основних чинників, що впливають на процес зносу шин.

1.1.1 Робочі умови експлуатації шин

Під робочими умовами експлуатації розуміють сукупність факторів, які впливають на працездатність, ресурс і технічний стан шини під час її використання. До таких факторів належать:

- дорожні умови – тип і стан покриття, наявність ям, вибоїн, нерівностей, забруднення, вологість, температура асфальту;
- кліматичні чинники – температура повітря, опади, ультрафіолетове випромінювання, сезонність;
- технічний стан автомобіля – тиск у шинах, балансування коліс, регулювання кутів установки коліс, стан підвіски;
- експлуатаційні режими – середня швидкість, характер розгону й гальмування, частота навантажень, режим перевезень;
- людський фактор – стиль керування, кваліфікація водія, дотримання правил технічного обслуговування.

Залежно від умов експлуатації, інтенсивність зношування може відрізнятися у кілька разів. Наприклад, під час руху по асфальтобетонному покриттю середньої якості шина зношується рівномірно, тоді як на гравійних або ґрунтових дорогах спостерігається прискорене стирання протектора та ризик пошкоджень каркаса.

Одним із важливих параметрів, що визначають роботу шини, є величина тиску повітря. Недостатній тиск призводить до збільшення площі контакту з дорогою, перегріву та деформації боковини, що скорочує ресурс. Надлишковий тиск, навпаки, зменшує пляму контакту, погіршує зчеплення та призводить до нерівномірного зносу середньої частини протектора.

Також істотно впливає навантаження на вісь. Перевантаження автомобіля на 20–30% може зменшити ресурс шин майже удвічі. Часті розгони, гальмування, рух із різкими поворотами або підвищеною швидкістю створюють додаткові динамічні навантаження, що сприяють розвитку мікротріщин і відшаруванню гумових шарів.

1.1.2 Види зношування шин

Зношування шин може бути рівномірним або локальним. Рівномірний знос відображає нормальний процес експлуатації, тоді як локальний свідчить

про наявність дефектів у ходовій частині, неправильний тиск або невірну балансировку коліс. Основні види зношування:

- центральне – наслідок надлишкового тиску;
- крайове – виникає при недостатньому тиску або розрегулюванні розвалу коліс;
- плямисте – спричинене дисбалансом коліс чи дефектами підвіски;
- хвилясте – зумовлене неякісним дорожнім покриттям або зношеними амортизаторами.

Контроль зношування здійснюють за глибиною рисунка протектора, станом боковини та наявністю механічних пошкоджень. Мінімально допустима висота рисунка протектора для вантажних шин, згідно з вимогами безпеки руху, становить 1,6–2,0 мм, однак заміну часто здійснюють раніше для запобігання аварійним ситуаціям.

1.1.3 Методи випробування шин

Для оцінки технічних характеристик шин застосовують лабораторні, випробувальні стендові та експлуатаційні методи.

Лабораторні випробування проводять у контрольованих умовах з використанням спеціальних стендів, які відтворюють різні режими навантаження, швидкість обертання, кут ковзання, температуру та тиск. Такі дослідження дозволяють визначити основні фізико-механічні властивості шин: міцність каркаса, еластичність, теплостійкість, опір коченню, втрати енергії на деформацію.

Стендові випробування є проміжним етапом між лабораторними та експлуатаційними. Вони проводяться з метою перевірки поведінки шин у змодельованих умовах, максимально наближених до реальних. Наприклад, за допомогою спеціальних барабанних установок визначають пробіг до повного зносу протектора, рівень шуму, нагрівання гуми тощо.

Стендові випробування відіграють ключову роль у забезпеченні якості шинної продукції та перевірці її технічної надійності відповідно до чинних

міжнародних стандартів. Зокрема, стандарт ISO 10191:2010 регламентує методи випробувань для оцінки експлуатаційних можливостей шин, призначених для легкових автомобілів.

На випробувальних стендах здійснюють перевірку конструктивної міцності шин, якості гумових сумішей, однорідності матеріалу, а також визначають жорсткісні та геометричні параметри виробів. Проведення стендових випробувань є невід'ємним етапом оцінки експлуатаційних властивостей шин і дозволяє отримати достовірну інформацію щодо їх поведінки в умовах, наближених до реальної експлуатації.

Саме під час таких досліджень можливо з високою точністю визначити температурний режим окремих ділянок шини певного типорозміру при встановлених значеннях швидкості обертання, навантаження та внутрішнього тиску. Такі дані неможливо отримати під час звичайної експлуатації, тому стендові випробування виступають базовим інструментом у процесі розроблення, удосконалення та сертифікації шинної продукції.

Традиційні випробувальні стенди, призначені для динамічних випробувань пневматичних шин (рис. 1.1), дозволяють моделювати роботу шини під різними навантаженнями та швидкісними режимами. За допомогою таких установок визначається ресурс шини, залежність його від швидкості руху, динамічного радіуса колеса та довжини шляху, пройденого до моменту руйнування. У лабораторних умовах це дає можливість не лише прогнозувати тривалість служби виробу, а й визначати оптимальні параметри експлуатації для конкретних умов використання.

Окремо виділяють стенди для визначення зносостійкості протектора, які застосовуються для оцінювання стійкості пневматичних шин різної вантажопідйомності до абразивного впливу дорожнього покриття (рис. 1.1 а, б). Такі установки широко використовуються на підприємствах автомобільної та шинної промисловості для контролю якості серійного виробництва, а також при проектуванні нових моделей шин. Вони забезпечують можливість багаторазового повторення випробувань за однакових умов, що підвищує

достовірність отриманих результатів і дозволяє проводити порівняльний аналіз зносостійкості різних типів шин.

Крім того, сучасні стендові комплекси можуть бути оснащені системами автоматизованого збору та аналізу даних, які дають змогу у реальному часі контролювати температуру, деформації, вібрації та інші параметри роботи шини. Це значно розширює можливості наукових досліджень і дозволяє створювати більш точні моделі прогнозування ресурсу шин залежно від умов експлуатації та конструкційних особливостей.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 1.1 – Традиційні стенди випробування шин (компанія Michelin): а), б) – стенди для випробування на зношування протектора з одним ступенем вільності; в) – стенд випробування жорсткості (плями контакту); г) - трикоординатний стенд для комплексного випробування параметрів шини

Залежно від конструктивного виконання та призначення, випробувальні стенди для шин поділяються на барабанні, роликові, комбіновані та спеціалізовані.

Барабанні стенди є найпоширенішими й використовуються для моделювання руху автомобіля по дорожньому покриттю за рахунок контакту шини з металевим барабаном певного діаметра. Такі установки дозволяють визначати опір коченню, температурний режим роботи, динамічні навантаження, а також швидкість зношування протектора за різних умов експлуатації.

Роликові стенди забезпечують можливість імітації руху транспортного засобу з різною швидкістю, навантаженням і кутом установки коліс. Їх перевагою є більш точне відтворення умов взаємодії колеса з реальною дорогою, що робить результати випробувань ближчими до практичних.

Комбіновані стенди поєднують можливості барабанних і роликових установок, що дозволяє проводити комплексні випробування шин — одночасно визначати їх міцність, стійкість до зносу, енергетичні характеристики та поведінку під час гальмування або прискорення. Такі стенди застосовуються на великих науково-дослідних підприємствах і центрах випробувань, де здійснюється перевірка шин різних типорозмірів та конструкцій.

Окрему групу становлять спеціалізовані стенди прискорених випробувань, що дозволяють за короткий час отримати дані, еквівалентні тривалій експлуатації шини на транспортному засобі. Такі установки створюють екстремальні навантаження – підвищену температуру, тиск або швидкість обертання, що дає змогу оцінити граничну довговічність та надійність шини.

Крім механічних установок, дедалі ширше використовуються комп'ютеризовані системи випробувань, які дозволяють в автоматичному режимі задавати необхідні параметри, фіксувати результати й будувати графічні залежності. Завдяки таким технологіям забезпечується висока точність вимірювань і можливість аналізу поведінки шини в реальному часі.

Експлуатаційні випробування проводяться безпосередньо на транспортних засобах у реальних умовах руху. Їх мета — встановлення фактичного ресурсу шин, характеру зношування, впливу погодних і дорожніх

факторів, а також оцінка ефективності проведеного технічного обслуговування. Під час таких випробувань фіксуються параметри пробігу, залишкова висота протектора, температура шини, тиск повітря, витрата палива, а також загальні умови експлуатації.

Отримані результати аналізуються статистично, порівнюються з нормативними показниками та результатами інших дослідників, що дозволяє визначити закономірності зношування та розробити рекомендації для підвищення ресурсу шин.

1.2 Типові пошкодження шин

У таблиці 1.1 [7] представлено типові пошкодження пневматичних шин, які найчастіше зустрічаються під час їх експлуатації, що дозволяє систематизувати дані для подальшого аналізу та розробки заходів щодо підвищення надійності та ресурсу шин.

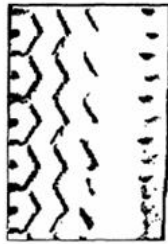
Таблиця 1.1 - Типові пошкодження шин в процесі експлуатації

№	Вид пошкодження	Основна причина виникнення	Наслідки для експлуатації
1	Тріщини на протекторі	Старіння гуми, вплив ультрафіолету, агресивні хімічні середовища	Зниження зчеплення, підвищений ризик проколу
2	Порізи та проколи боковини	Механічне пошкодження об гострі предмети на дорозі	Можлива втрата тиску, зниження безпеки
3	Відшарування протектора	Дефекти виробництва, перевантаження, перегрів	Прискорене руйнування шини, необхідність заміни
4	Нерівномірний знос протектора	Неправильний тиск, розвал-схід, дисбаланс коліс	Зменшення ресурсу шини, погіршення керованості
5	Деформації каркаса	Перевантаження, удари, неякісне дорожнє покриття	Погіршення ходових властивостей, ризик руйнування
6	Виступи чи здуття боковини	Місцеве перегрівання, внутрішні дефекти	Можливе раптове руйнування шини

Таблиця 1.1 узагальнює типові пошкодження шин, що виникають у процесі експлуатації вантажних і легкових транспортних засобів, і ґрунтується на даних джерела [7] та сучасних дослідженнях у галузі шинної промисловості.

На рисунку 1.2 зображені характерні пошкодження шин вантажних автомобілів.

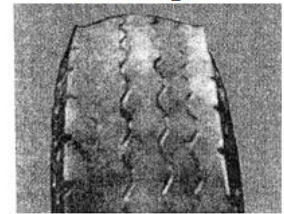
зношування шин "на конус"



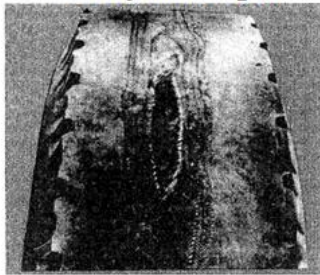
зношування шин в наслідок непаральності мостів



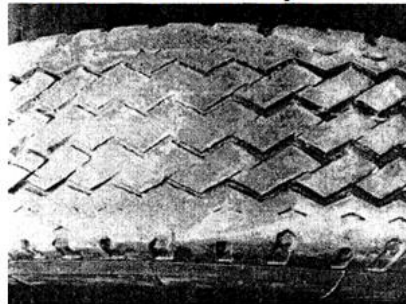
зношування шин в наслідок низького тиску повітря



зношування шин в наслідок підвищеного тиску повітря



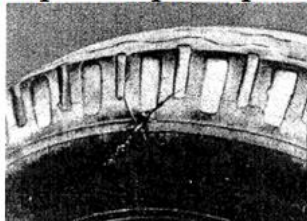
плямисте" зношування



відшарування на бокових поверхнях



розрив шарів каркасу



зношування в результаті різкого гальмування



однорічне зношування (невірні кути сходження передніх коліс)

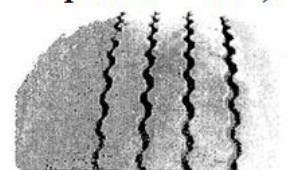


Рисунок 1.2 – Характерні пошкодження шин вантажних автомобілів.

1.3 Аналіз існуючих математичних моделей опису роботи автомобільних шин

Математичні моделі є важливим інструментом для оцінки експлуатаційних властивостей пневматичних шин і прогнозування їх ресурсу. Вони дозволяють формалізувати процеси взаємодії шини з дорожнім

покриттям, враховувати динамічні навантаження, механічне та термічне зношування, а також визначати залишковий ресурс шини.

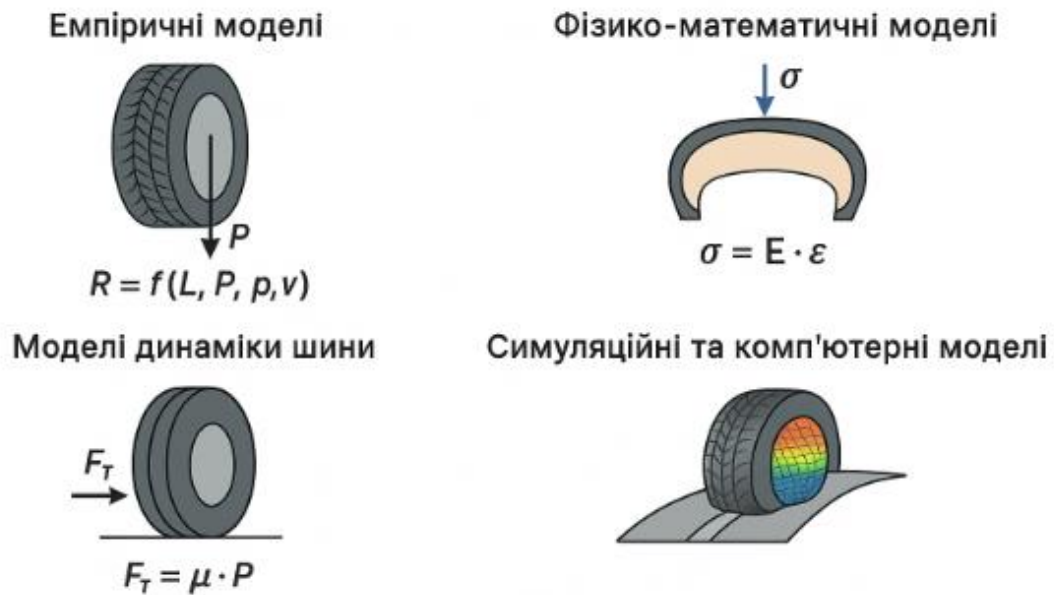


Рисунок 1.3 – Існуючі математичні моделі опису роботи автомобільних шин

1.3.1 Емпіричні моделі

Емпіричні моделі базуються на результатах експлуатаційних випробувань та статистичному аналізі зносу шин. Вони часто мають вигляд простих функціональних залежностей між залишковим ресурсом шини (R) і пробігом (L), навантаженням (P), тиском (p) та швидкістю руху (v):

$$R = f(L, P, p, v) \quad (1.1)$$

Наприклад, залежність зносу протектора від пробігу та навантаження може описуватись формулою:

$$h_r = h_0 - k \cdot L \cdot \left(\frac{P}{P_{nom}}\right)^n \quad (1.2)$$

де h_r – залишкова висота протектора, мм;

h_0 – початкова висота протектора, мм;

k – коефіцієнт зношування, мм/км;

P – фактичне навантаження на шину, кг;

P_{nom} — номінальне навантаження, кг;

n – експонентний коефіцієнт, що враховує нелінійність зношування.

1.3.2 Фізико-математичні моделі

Фізико-математичні моделі використовують закони механіки деформівного твердого тіла та термодинаміки. Основні рівняння описують розподіл напружень σ і деформацій ε у шині під дією зовнішнього навантаження P :

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (1.3)$$

де E – модуль пружності матеріалу шини.

Для прогнозування зносу протектора враховують механічну втому та тертя шини об покриття, використовуючи емпіричне рівняння:

$$\frac{dh}{dt} = -C \cdot \sigma^\alpha \cdot v^\beta \quad (1.4)$$

де dh/dt – швидкість зношування протектора, мм/год;

σ – напруження в протекторі, МПа;

v – швидкість руху, м/с;

C, α, β – емпіричні коефіцієнти, що визначають вплив навантаження та швидкості.

1.3.3 Моделі динаміки шини

Моделі кінематики та динаміки описують сили та моменти, що виникають при взаємодії шини з дорогою. Наприклад, сила тертя шини F_t визначається як:

$$F_t = \mu \cdot P \quad (1.5)$$

де μ – коефіцієнт тертя, що залежить від типу покриття та стану протектора.

Динамічні моделі дозволяють оцінити вплив зносу на керованість і стійкість автомобіля, а також прогнозувати появу проковзування або блокування коліс при гальмуванні.

1.3.4 Симуляційні та комп'ютерні моделі

Сучасні методи моделювання використовують метод кінцевих елементів (FEM) та мультифізичні підходи, що дозволяють відтворювати роботу шини в реальних умовах. За допомогою FEM розраховують:

- локальні деформації і напруження;
- розподіл температур у протекторі та боковині;
- вплив внутрішнього тиску та швидкісних режимів на ресурс шини.

Наприклад, при моделюванні термічного нагріву протектора використовується рівняння теплопровідності:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q$$

де:

T – температура матеріалу, °C;

ρ – густина гуми, кг/м³;

c – питома теплоємність, Дж/(кг·°C);

k – теплопровідність, Вт/(м·°C);

Q – джерело тепла від тертя шини об дорожнє покриття, Вт/м³.

Всі сучасні моделі мають свої переваги та обмеження. Емпіричні моделі прості та швидкі, але обмежені конкретними умовами експлуатації. Фізико-математичні та динамічні моделі забезпечують більшу універсальність і точність, але потребують складних розрахунків. Комп'ютерні симуляції поєднують точність та гнучкість, дозволяючи враховувати складні впливи навколишнього середовища та конструкційні особливості шини.

Сучасний підхід полягає у комбінуванні емпіричних даних із фізико-математичними та комп'ютерними моделями, що дозволяє створювати точні прогнози ресурсу шин і розробляти рекомендації для підвищення безпеки та надійності експлуатації транспортних засобів.

Висновки до підрозділу

Таким чином, ефективність функціонування пневматичних шин обумовлюється взаємодією їх конструктивних характеристик та умов

експлуатації. Оптимальний рівень тиску, дотримання допустимих навантажень, своєчасне технічне обслуговування та контроль за ступенем зношування дозволяють значно продовжити ресурс шин і підвищити безпеку руху. Комплексне дослідження умов експлуатації у поєднанні з лабораторними та дорожніми випробуваннями створює надійну основу для розробки науково обґрунтованих методик прогнозування ресурсу шин автомобільного транспорту.

2. МЕТОДИКА ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗНОШУВАННЯ ШИН

2.1 Загальні підходи до проведення досліджень зношування шин

Дослідження процесів зношування пневматичних шин базується на системному підході, що передбачає комплексне врахування конструктивних характеристик шини, умов її взаємодії з дорожнім покриттям та експлуатаційних режимів руху транспортного засобу. Для забезпечення достовірності та відтворюваності результатів застосовується поєднання експлуатаційних, стендових та аналітичних методів, що дозволяє оцінити знос у різних умовах та на всіх стадіях життєвого циклу шини.

У дослідженнях приймається принцип порівняльного аналізу, який дає можливість визначити вплив окремих факторів на інтенсивність зношування. Такий підхід передбачає використання контрольних та експериментальних шин однакового типорозміру, конструкції та виробника, що мінімізує вплив зовнішніх змінних. Особлива увага приділяється повторюваності вимірювань, послідовності фіксації пробігу та контролю параметрів, що характеризують роботу шини.

Основою методики дослідження є регулярний контроль величини залишкової глибини протектора, температури, тиску та навантаження на колесо, що дозволяє побудувати динаміку зміни зносу впродовж експлуатації. Паралельно оцінюються дорожні умови, включаючи тип та стан покриття, його шорсткість, вологість і рівень механічного впливу, оскільки ці фактори суттєво впливають на процес абразивного стирання гумового шару.

Для визначення закономірностей зносу застосовується інструментарій математичного моделювання та статистичної обробки даних. Аналітична частина передбачає побудову регресійних залежностей між пробігом, навантаженням, внутрішнім тиском та інтенсивністю зношування. Такий підхід дозволяє отримати кількісні оцінки впливу експлуатаційних параметрів на ресурс шин та обґрунтувати рекомендації щодо їх раціонального використання.

Загальні підходи, викладені у цьому підрозділі, формують методологічну основу для проведення подальших лабораторних та експлуатаційних випробувань, забезпечуючи комплексність та достовірність отриманих результатів.

2.2 Характеристика дослідного транспортного засобу та шин

Для забезпечення достовірності та технічної коректності результатів дослідження важливим етапом є вибір транспортного засобу та комплекту шин, які використовуються як об'єкти спостереження. Під час формування дослідної бази враховуються тип транспортного засобу, його маса, конструкція ходової частини, тип приводу та характер експлуатаційного навантаження, оскільки ці параметри безпосередньо впливають на умови роботи шин та інтенсивність їх зношування.

У дослідженні доцільно використовувати транспортний засіб, що належить до категорії N1 або M1, оскільки ці класи найбільш репрезентативні для аналізу зношування в умовах змішаної експлуатації. Важливими характеристиками є споряджена маса автомобіля, повна маса, розподіл навантаження між осями, а також наявність систем активної безпеки, які можуть впливати на динаміку навантажень на шини.

Шини, відібрані для дослідження, повинні належати до одного типорозміру, мати однаковий індекс навантаження та швидкості, і бути виготовленими одним виробником. Це дозволяє мінімізувати вплив конструктивних та технологічних відмінностей на результати. Додатково враховується конструкція каркаса, тип протекторного малюнка, жорсткість боковини та склад гумової суміші, оскільки ці характеристики визначають поведінку шини під дією навантаження та режимів руху.

Особливу увагу приділено параметрам, що визначають взаємодію шини з дорожнім покриттям. До них належать зовнішній діаметр і ширина шини, профіль (співвідношення висоти до ширини), глибина рисунка протектора, структура ламелей та наявність зміцнювальних шарів. Важливою є також

наявність маркування виробника, яке дозволяє співвідносити отримані результати з нормативними даними та характеристиками, задекларованими у технічній документації.

Для забезпечення об'єктивності дослідження транспортний засіб проходить попередній технічний огляд, який включає перевірку стану підвіски, рульового керування, гальмівної системи та геометрії кутів установки коліс. Це необхідно для виключення сторонніх факторів, які можуть спричинити нерівномірне або прискорене зношування протектора.

Використання чітко визначених транспортного засобу та шин формує базову основу для проведення експлуатаційних та лабораторних досліджень і забезпечує можливість порівняння отриманих результатів на різних етапах роботи.

Рисунок 2.1 демонструє дослідний транспортний засіб із вказаним розподілом навантаження на передню та задню осі. Схема дозволяє наочно оцінити нерівномірність навантаження, що впливає на інтенсивність зношування шин та характер їх роботи в умовах експлуатації.

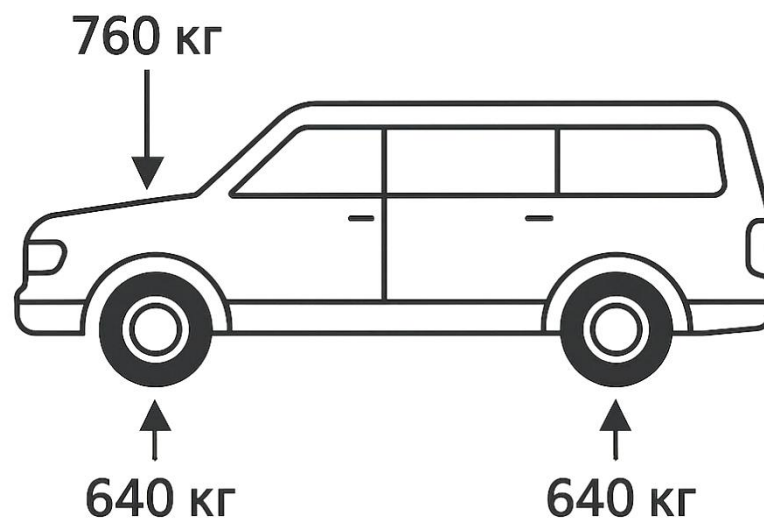


Рисунок 2.1 – Схема дослідного транспортного засобу із зазначенням навантаження на осі

На рисунку 2.2 подано узагальнену схему основних геометричних характеристик пневматичної шини, які мають визначальний вплив на її

експлуатаційні властивості та процес зношування. На рисунку позначено ширину профілю (B), зовнішній діаметр шини (D), посадковий діаметр обода (d) та висоту боковини (H). Ці параметри використовуються для розрахунку навантажувальної здатності, визначення жорсткості каркаса та оцінювання деформацій у процесі руху. Схематичне зображення дозволяє наочно відобразити конструктивні пропорції шини, що є важливим при аналізі її поведінки у різних дорожніх і експлуатаційних умовах.

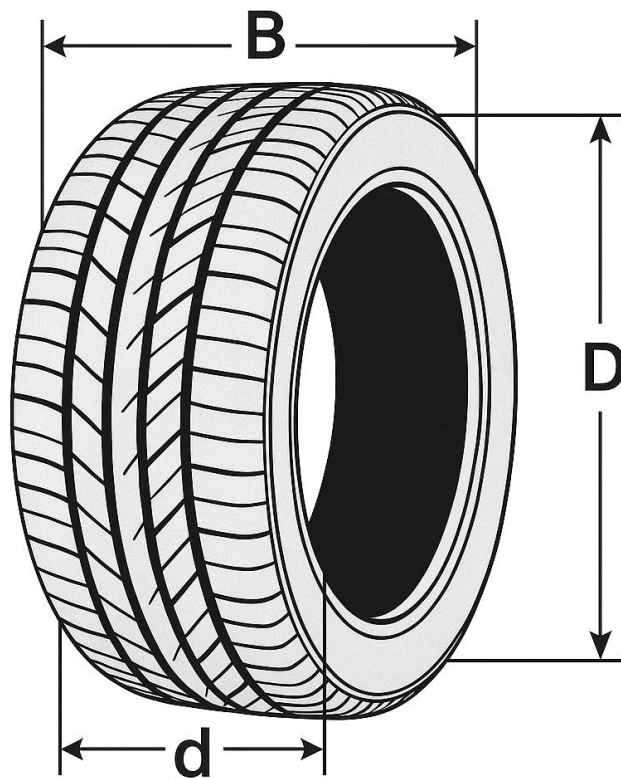


Рисунок 2.2 – Параметри дослідної шини

Рисунок 2.3 ілюструє основні елементи робочої поверхні протектора, що визначають характер взаємодії шини з дорожнім покриттям та впливають на інтенсивність її зношування. На схемі виділено центральне ребро, плечові зони, блоки протектора, поздовжні канавки та ламелі. Центральне ребро забезпечує курсову стійкість і рівномірність розподілу навантаження, тоді як плечові зони відповідають за роботу шини у поворотах та сприйняття бокових сил. Канавки забезпечують відведення води, знижуючи ризик аквапланування, а ламелі покращують зчеплення з дорогою завдяки створенню додаткових кромek тертя.

Блокова структура протектора формує оптимальний баланс між зносостійкістю та зчіпними властивостями.

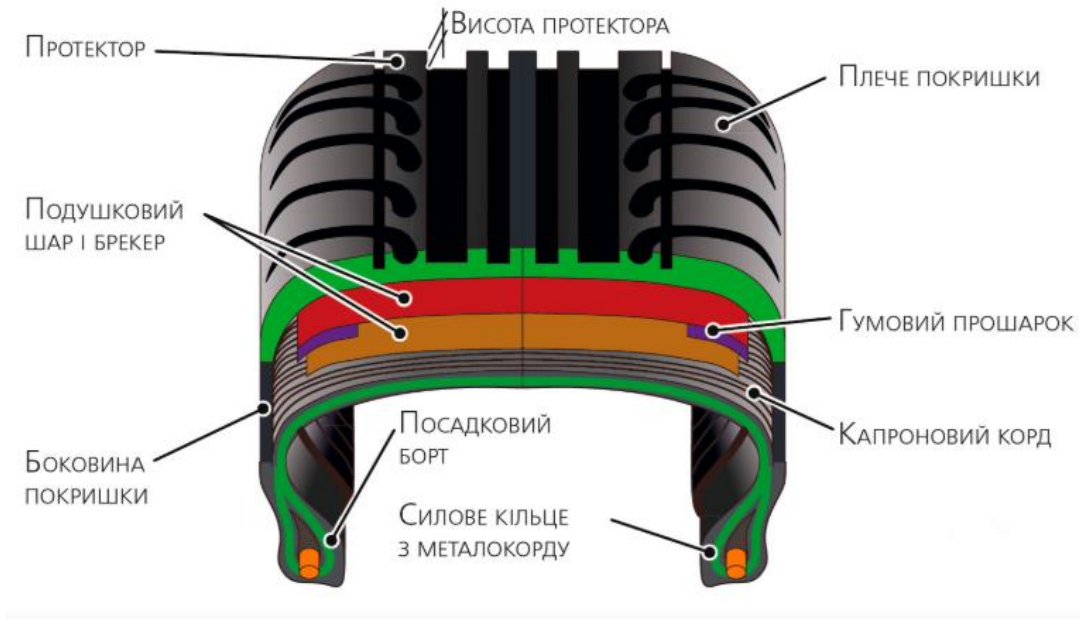


Рисунок 2.3 – Структура протекторного рисунка шини

За результатами аналізу рисунка 2.3 можна зробити висновок, що конструктивна будова протектора є визначальним фактором довговічності шини: рівномірність та логічна організація елементів протектора забезпечують стабільність зносу, а будь-які конструктивні асиметрії або дефекти можуть спричинювати локальне перевантаження та прискорене стирання окремих зон. Таким чином, правильний підбір рисунка протектора відповідно до умов експлуатації має ключове значення для підвищення ресурсу шин та безпеки руху.

Залежність між тиском p та допустимим навантаженням P може бути описана лінійною моделлю першого порядку:

$$P = k \cdot p + b, \quad (2.1)$$

де P – вертикальне навантаження на шину, кг;

p – тиск у шині, кПа;

k – коефіцієнт пропорційності, що визначає чутливість шини до зміни тиску;

b – початковий параметр, що враховує конструктивні особливості шини (жорсткість каркаса, товщина боковини тощо).

Для наведеного графіка залежність може бути апроксимована рівнянням:

$$P = 7.5p - 1050 \quad (2.2)$$

Це свідчить, що кожне підвищення тиску на 10 кПа збільшує допустиме навантаження приблизно на 75 кг.

На рисунку 2.4 представлено лінійну залежність між внутрішнім тиском у шині та вертикальним навантаженням, яке вона здатна сприймати без перевищення допустимих деформацій. Графік демонструє, що зі збільшенням тиску в діапазоні 180–260 кПа несуча здатність шини пропорційно зростає — від приблизно 300 кг до 900 кг. Така тенденція пояснюється тим, що зі зростанням тиску підвищується жорсткість боковини та протекторної частини шини, зменшується її радіальна деформація і, відповідно, збільшується площа ефективного сприйняття навантаження.

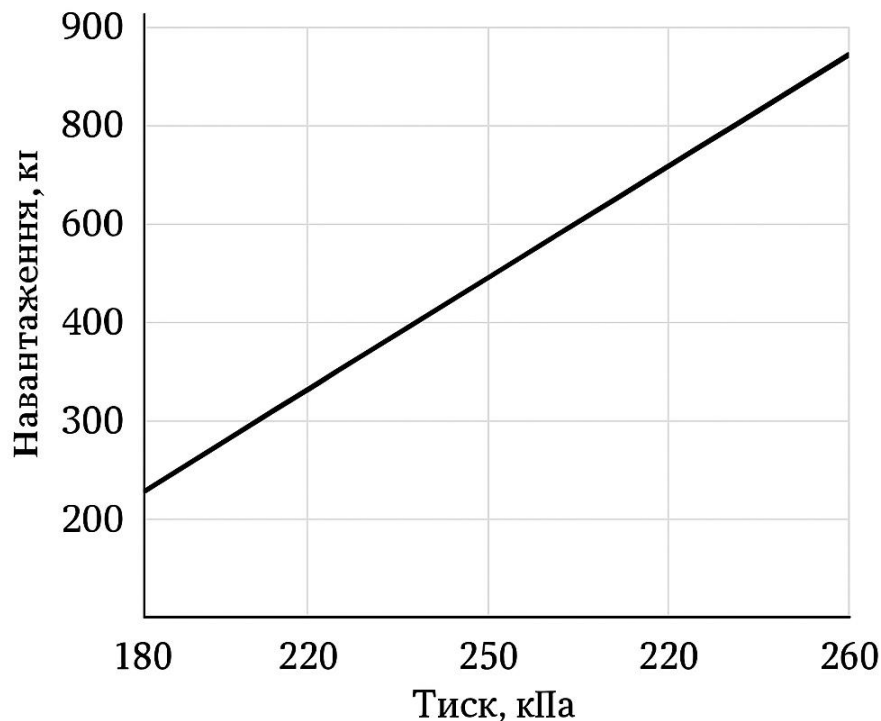


Рисунок 2.4 – Графік залежності навантаження шини від тиску

Графік підтверджує відому технічну закономірність: внутрішній тиск є ключовим параметром, що визначає несучу здатність пневматичної шини.

Недостатній тиск призводить до перевищених деформацій і швидкого зростання тепловиділення, що скорочує ресурс шини, тоді як надмірний тиск знижує комфорт і рівномірність зношування.

Таким чином, наведена залежність є основою для встановлення рекомендованих значень тиску для вантажних автомобілів, що забезпечує оптимальне співвідношення між вантажопідйомністю та довговічністю шини.

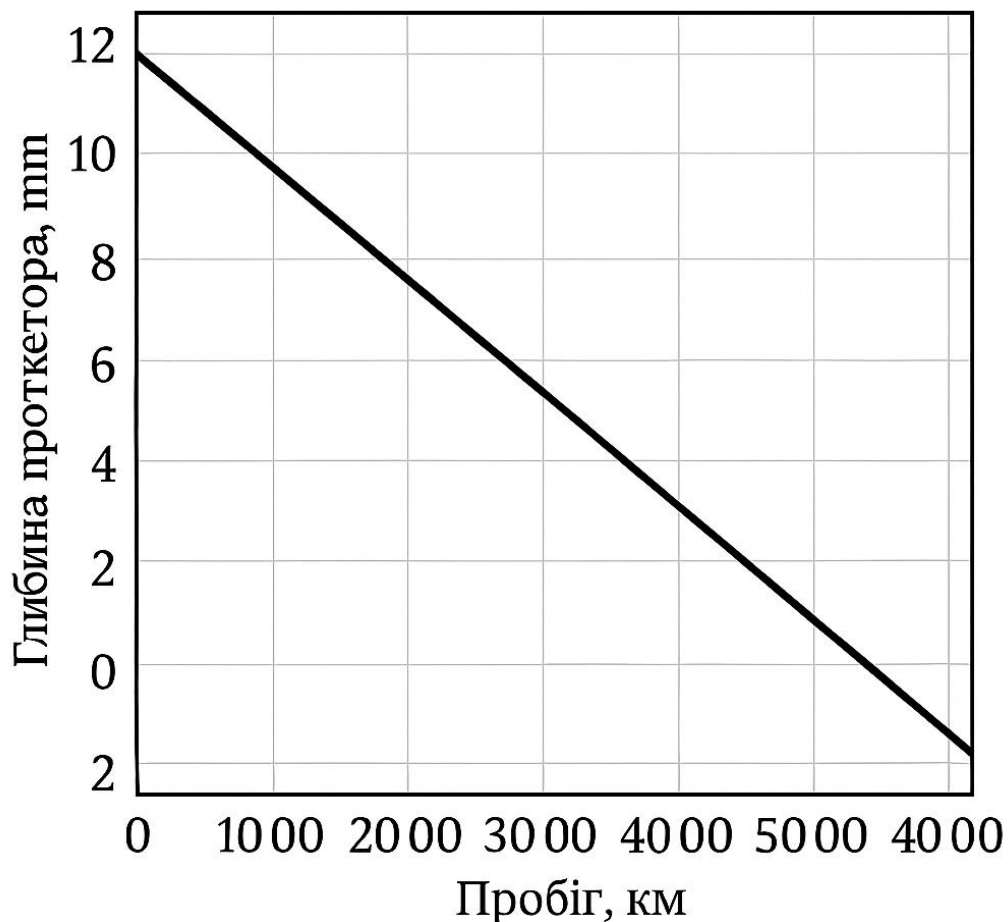


Рисунок 2.5 – Графік зниження глибини протектора від пробігу

Рисунок 2.5 демонструє характерну лінійну тенденцію зменшення висоти протекторного шару шини зі збільшенням кілометражу. На графіку показано, що початкова глибина протектора становить близько 11–12 мм, після чого відбувається поступове зношування в міру експлуатації. До пробігу 40 тис. км глибина рисунка зменшується до критичного значення близько 2 мм, що відповідає гранично допустимому показнику для забезпечення безпеки руху.

Лінійний характер залежності свідчить про рівномірне абразивне стирання протектора за умов стабільного навантаження та типових дорожніх умов.

Залежність між залишковою глибиною протектора h та пробігом L може бути описана лінійною моделлю зношування:

$$h = h_0 - k_L \quad (2.3)$$

де h – залишкова глибина протектора, мм;

h_0 – початкова глибина протектора, мм;

k – коефіцієнт інтенсивності зношування, мм/км;

L – пробіг шини, км.

Для наведеного графіка апроксимована формула набуває вигляду:

$$h = 11.5 - 2.6 \cdot 10^{-4} L \quad (2.4)$$

Це означає, що при середньому режимі експлуатації шина втрачає близько 0,26 мм протектора на кожні 1000 км пробігу.

Лінійна залежність свідчить про стабільний характер зношування протектора при відсутності дефектів ходової частини та за нормального тиску у шині. Відхилення від лінійності (різкі провали або зміни у швидкості стирання) можуть бути ознакою неправильної геометрії підвіски, дисбалансу коліс, зміни дорожніх умов або перевантаження транспортного засобу.

2.3 Методика вимірювання параметрів шин у процесі експлуатації

Оцінювання інтенсивності зношування шин у реальних умовах експлуатації потребує систематичного контролю низки параметрів, що визначають технічний стан та режим роботи пневматичної шини. У даному підрозділі наведено методику вимірювання основних експлуатаційних характеристик, що мають вирішальне значення для подальшого аналізу процесів зношування.

Першим та основним параметром, який підлягає контролю, є глибина рисунка протектора. Вимірювання здійснюють за допомогою механічних або цифрових глибиномірів із точністю не менше 0,1 мм. Замір проводиться у трьох зонах протектора – центральній та двох плечових – що дозволяє визначити

рівномірність зношування та виявити локальні дефекти. Вимірювання здійснюється на початку експлуатаційного періоду та надалі через рівні проміжки пробігу (переважно 1–2 тис. км).

Другим важливим параметром є внутрішній тиск у шині. Його визначають за допомогою манометра або електронного датчика, який забезпечує стабільність і точність замірів. Відхилення від рекомендованих виробником значень має безпосередній вплив на деформацію шини, величину контактної плями та характер зношування, тому контроль тиску проводиться перед кожним вимірювальним циклом.

Температура шин реєструється як додатковий показник, оскільки перегрівання протектора та боковини прискорює процес старіння гумових сумішей. Для контролю температури застосовуються інфрачервоні термометри або вбудовані датчики, що дозволяють фіксувати зміни у різних режимах руху.

Навантаження на шину визначається шляхом контролю маси транспортного засобу та розподілу ваги між осями. Для цього використовують платформні ваги або переносні осьові динамометричні пристрої. Коректне встановлення навантаження є необхідним для математичного моделювання і правильного зіставлення отриманих даних з еталонними.

Додатково фіксуються геометричні параметри кутів установки коліс – розвал і схід, оскільки їхнє відхилення від норми здатне спричинити прискорене та нерівномірне стирання протектора. Замір проводиться на стенді регулювання геометрії підвіски.

Усі параметри заносять до журналу експлуатаційних вимірювань, де фіксуються дата, пробіг, умови дорожнього покриття, результати замірів та коментарі щодо стану шини. Це забезпечує можливість побудови достовірних графічних залежностей та проведення статистичної обробки даних на подальших етапах дослідження.

Систематичний контроль параметрів, описаний у цьому підрозділі, формує основу для комплексного аналізу процесів зношування та забезпечує підвищення точності оцінки ресурсу шин у реальних умовах експлуатації.

2.4 Методика фіксації умов експлуатації

Фіксація умов експлуатації є одним із ключових етапів дослідження зношування шин, оскільки саме зовнішні чинники – стан дорожнього покриття, режим руху транспортного засобу та кліматичні умови – формують інтенсивність абразивного, термічного та деформаційного зносу протектора. Для забезпечення достовірності результатів необхідно здійснювати систематичний облік цих параметрів протягом усього періоду експлуатації шин. Методика, наведена нижче, забезпечує можливість порівняння отриманих даних, їх статистичної обробки та оцінки впливу окремих факторів на ресурс шин.

Тип та стан дорожнього покриття є одним з основних чинників, що визначають інтенсивність зношування шин. Абразивні властивості поверхні, її шорсткість та рівномірність впливають на мікрорізання та мікровідриг частинок протектора.

У процесі дослідження фіксуються такі параметри:

- тип покриття: асфальтобетон, цементобетон, гравійне або ґрунтове;
- ступінь шорсткості (візуально або приладами типу SRT);
- наявність дефектів: колійність, вибоїни, тріщини, хвилеподібність;
- структура заповнювача (для гравійних доріг – розмір та гострота зерна);
- сезонні зміни стану покриття: наявність залишків піску/солі взимку, розм'якшення асфальту влітку;
- температура покриття, що впливає на тертя та розігрів шини.

Як показано на рисунку 2.6, умови експлуатації шин формуються сукупною дією дорожніх, режимних та кліматичних факторів, що необхідно враховувати при аналізі інтенсивності їхнього зношування.

На рисунку 2.6 представлено комплекс технічних схем, що узагальнюють основні групи зовнішніх факторів, які необхідно фіксувати під час дослідження зношування шин автомобільного транспорту. У лівому верхньому блоці наведено типові види дорожнього покриття (асфальт, бетон, ґрунт, гравій), що

визначають інтенсивність абразивної дії на протектор. Правий верхній блок відображає зміну швидкісного профілю та навантаження на транспортний засіб у процесі руху, що є важливими режимними параметрами. Лівий нижній блок демонструє зміну температури та вологості повітря, які впливають на фізико-механічні властивості гумових сумішей. Правий нижній блок ілюструє дію кліматичних факторів – зокрема сонячного (UV) випромінювання, що сприяє старінню гумового шару.

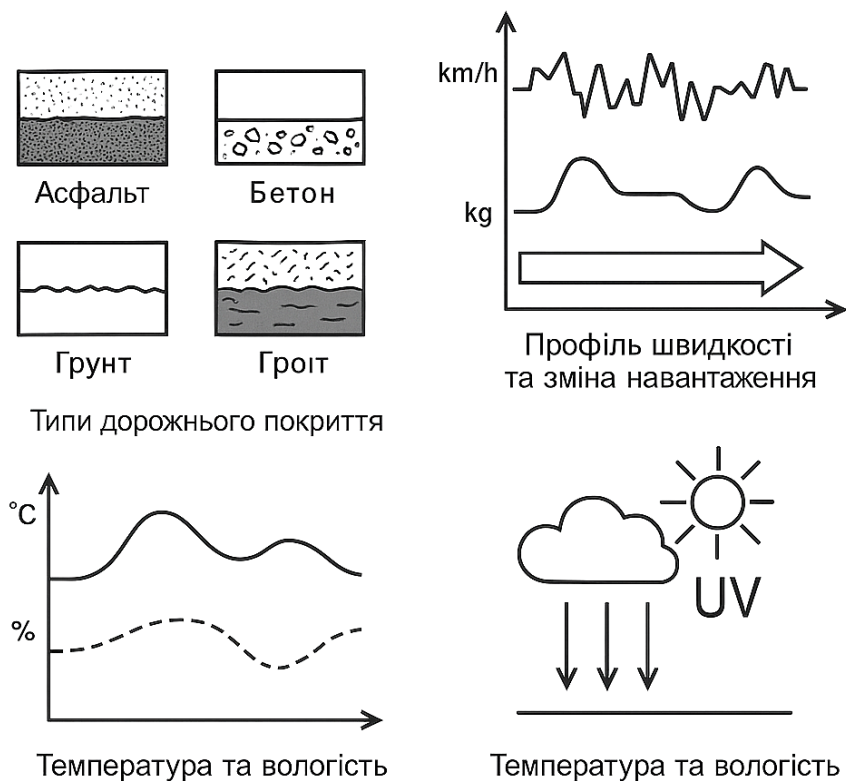


Рисунок 2.6 – Умови експлуатації шин

Режими руху транспортного засобу значною мірою впливають на теплове навантаження шини, інтенсивність ковзання, величину динамічних навантажень та, як наслідок, на характер зношування. Тому всі ключові параметри експлуатації фіксуються систематично.

До таких параметрів належать:

- швидкість руху (середня, максимальна), що впливає на температуру шини та коефіцієнт ковзання;

- навантаження на вісь і зміни навантаження протягом експлуатації (кількість пасажирів, вантаж);
- маршрут руху: міський, міжміський, змішаний;
- частота інтенсивних прискорень та гальмувань, які прискорюють знос протектора;
- умови маневрування (повороти малого радіуса, стоянка під кутом), що впливають на плечові зони шини;
- сезон експлуатації (літо, зима, міжсезоння), оскільки гумові суміші мають різні властивості при різних температурах.

Дані фіксуються за допомогою бортового комп'ютера, GPS-трекера або ручного журналу експлуатації. У подальшому вони дозволяють визначати залежності між інтенсивністю зносу та фактичним режимом руху.

Кліматичні умови є важливим фактором, що визначає роботу гумових сумішей протектора. Перегрів, холод, волога або ультрафіолетове випромінювання безпосередньо впливають на еластичність, міцність та коефіцієнт тертя шини.

У дослідженні фіксуються такі параметри:

- температура повітря – впливає на жорсткість гуми та тепловий режим шини;
- відносна вологість та опади – визначають зчеплення шини з дорогою та швидкість зносу;
- інтенсивність сонячного випромінювання (UV) – сприяє старінню гуми та утворенню мікротріщин;
- наявність води, льоду або снігу на покритті, що змінює умови тертя та, відповідно, характер зношування;
- температура дорожнього покриття, яка може суттєво відрізнятися від температури повітря.

Для вимірювання застосовуються портативні температурні датчики, інфрачервоні термометри, гігрометри та метеорологічні записи.

Фіксація умов експлуатації є необхідною для правильного аналізу та інтерпретації результатів дослідження зношування шин. Запропонована методика дозволяє систематично враховувати всі ключові фактори, що впливають на процес експлуатаційного стирання протектора. Отримані дані використовуються для побудови математичних моделей, оцінки впливу кожного фактора на інтенсивність зносу та формування практичних рекомендацій щодо продовження ресурсу шин у реальних умовах експлуатації.

2.5 Експлуатаційні випробування шин у реальних умовах руху

Експлуатаційні випробування є одним із найважливіших етапів дослідження, оскільки дозволяють оцінити зношування шин у природних умовах, де одночасно діють усі зовнішні та внутрішні фактори: дорожнє покриття, клімат, режим руху, зміни навантаження та стан транспортного засобу. На відміну від лабораторних досліджень, випробування у реальних умовах забезпечують комплексну та найбільш достовірну інформацію щодо роботи шин протягом тривалого пробігу.

Організація експлуатаційних випробувань передбачає підготовку транспортного засобу, перевірку технічного стану підвіски, кутів установки коліс, балансування та встановлення контрольного комплекту шин. Для забезпечення чистоти експерименту усі шини встановлюються одночасно, а початкові параметри (глибина протектора, тиск, температура, стан поверхні) фіксуються у спеціальному журналі спостережень.

Маршрут руху розробляється таким чином, щоб включати різні типи покриття – міські дороги, міжміські траси, гравійні ділянки. Це дозволяє оцінити характер зношування в різних умовах експлуатації. Фактичний пробіг контролюється за допомогою одометра та GPS-трекера, а схема контролю пробігу наведена на рисунку 2.7. Вона забезпечує можливість точного вимірювання пробігу після кожного інтервалу 1000–2000 км, що дозволяє відстежувати динаміку зміни протектора у часі.

Реєстрація стану протектора проводиться у трьох основних зонах – центральній та двох плечових. Таке зонування дозволяє своєчасно виявляти нерівномірне зношування, яке може свідчити про порушення технічного стану автомобіля або неправильний тиск у шинах. Для вимірювання застосовують цифрові та механічні глибиноміри з точністю до 0,1 мм. Додатково фіксуються локальні пошкодження – порізи, тріщини, здуття, деформації протекторних блоків.

Особливу увагу приділено відбору даних. Для забезпечення точності всі вимірювання проводяться після охолодження шин, оскільки температура впливає на їхню еластичність та форму. Нетипові або різко відмінні результати перевіряються повторним вимірюванням. Усі дані заносяться в електронну таблицю, що дозволяє в подальшому виконувати статистичний аналіз, будувати регресійні моделі та визначати закони зміни протектора.

Таким чином, експлуатаційні випробування шин у реальних умовах дозволяють отримати об'єктивну та всебічну оцінку процесів зношування. Як показано на рисунку 2.7, система контролю включає комплексні вимірювання параметрів шини, дорожніх умов та пробігу, що забезпечує достовірність результатів і дозволяє виконати подальший математичний аналіз.

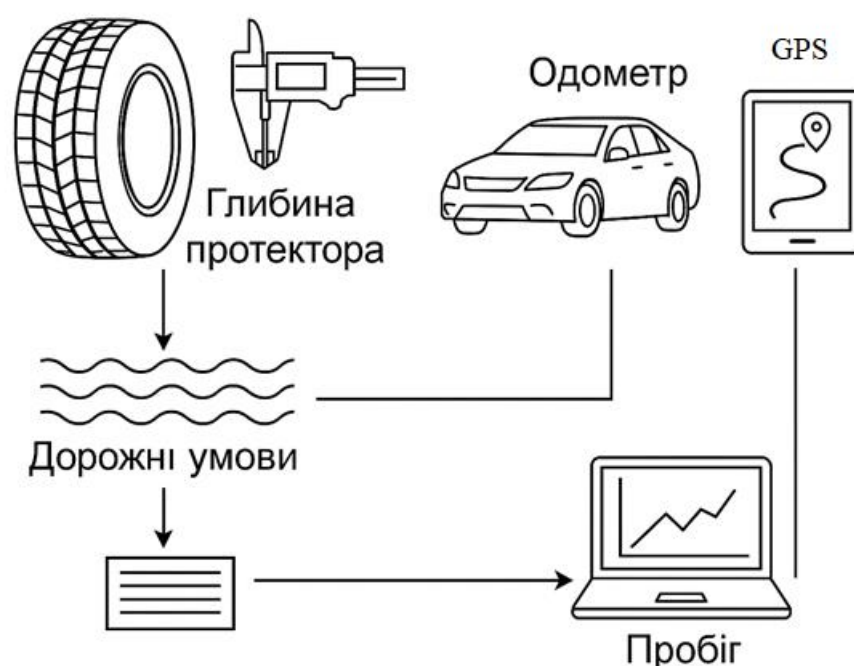


Рисунок 2.7 – Схема організації експлуатаційних випробувань шини

2.6 Лабораторні та стендові методи визначення зносостійкості шин

Лабораторні та стендові методи займають ключове місце у визначенні зносостійкості автомобільних шин, оскільки дають змогу отримати порівняльні та відтворювані результати у контрольованих умовах. На відміну від експлуатаційних випробувань, лабораторні методи дозволяють точніше моделювати окремі фактори впливу – навантаження, швидкість, температуру, кут ковзання та інші параметри, які визначають інтенсивність стирання протектора. Загальна структура використання лабораторних методів наведена на рисунку 2.8, який демонструє принципове поєднання стендів, датчиків та вимірювальної апаратури.

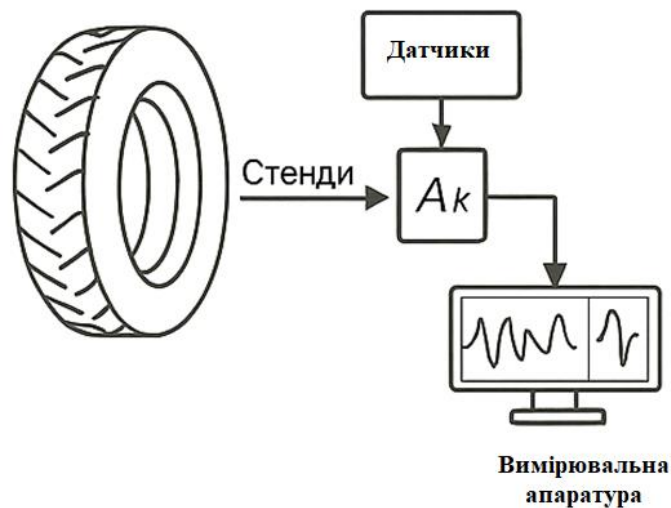


Рисунок 2.8 – Структура лабораторних методів

Барабанні стенди є найбільш поширеним випробувальним обладнанням для визначення зносостійкості шин. Принцип роботи полягає в обертанні шини під дією заданого навантаження по поверхні металевого барабана. Такий підхід дозволяє моделювати рух автомобіля по різних дорожніх умовах шляхом зміни шорсткості поверхні барабана, його температури та швидкості обертання.

На рисунку 2.9 подано спрощену схему барабанного стенда, де показано розташування шини, барабана, приводу обертання та системи навантаження.

Барабанні стенди дають змогу визначити:

- інтенсивність стирання протектора;
- опір коченню;

- залежність температурного режиму від швидкості;
- пробіг до настання граничного зносу.

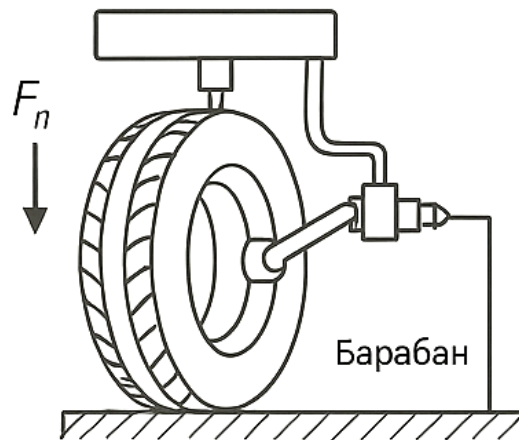


Рисунок 2.9 – Схема барабанного стенда

Важливо, що барабанні стенди не лише моделюють реальне навантаження, а й дозволяють відстежувати локальні зміни структури протектора протягом випробувань.

Роликові стенди (див. рисунок 2.10) використовують два або більше ролики, що дозволяє відтворювати умови ковзання, гальмування або прискорення з високою точністю. Вони імітують як поздовжню, так і поперечну взаємодію шини з дорогою, що дає змогу аналізувати поведінку протектора в різних режимах руху.

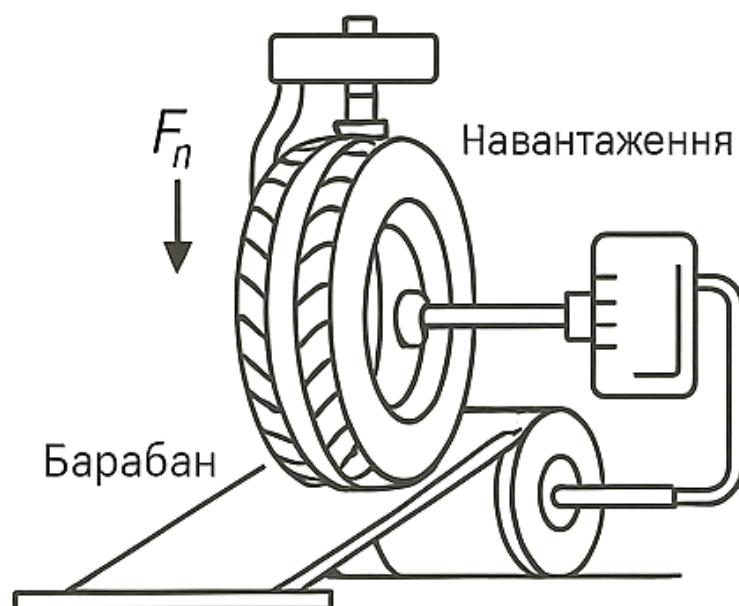


Рисунок 2.10 – Схема роликового стенда

На рисунку зображено: поверхні роликів із різною структурою; систему притиснення шини; датчики моменту та сили; систему охолодження та контролю температури.

Такі стенди ефективні для дослідження шин спортивного призначення або шин для умов високих швидкостей.

Прискорені випробування використовуються для імітації інтенсивної експлуатації за короткий період часу. Принцип полягає у створенні екстремальних умов: підвищених температур, швидкостей до 200–250 км/год, великих кутів ковзання або навантаження, що значно перевищують стандартні експлуатаційні значення.

На рисунку 2.11 наведено приклад схеми прискорених випробувань, де шина працює в режимі різкого нагрівання та високої швидкості.

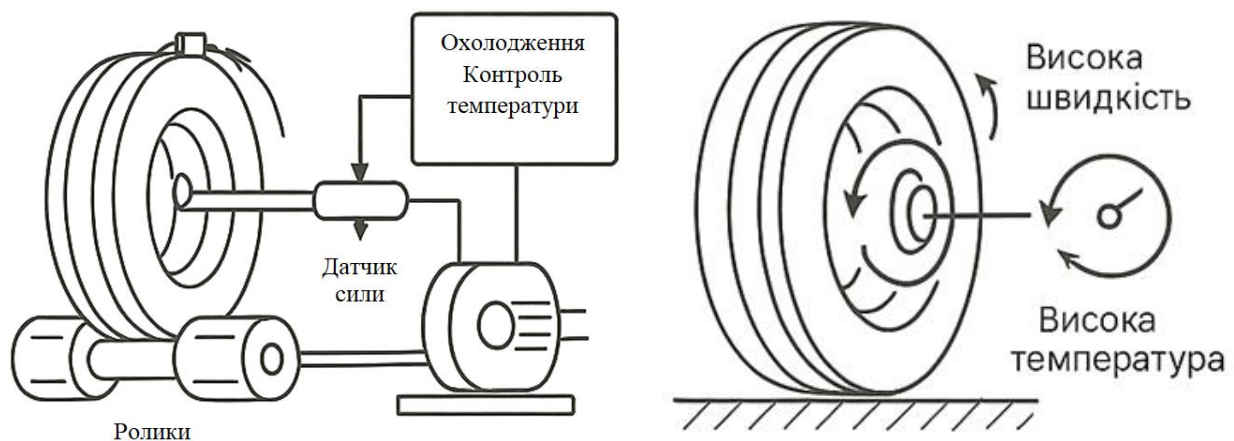


Рисунок 2.11 – Схеми прискорених випробувань

Завдяки таким методам за кілька годин можна отримати дані, еквівалентні пробігу 10–20 тис. км у реальних умовах.

Методи визначення деформацій і температурного режиму. Окреме місце займають методи визначення температури та деформацій шини під час контакту з поверхнею. У роботі використовують: інфрачервоні камери, вбудовані термопари, тензометричні датчики, високошвидкісні оптичні системи.

На рисунку 2.12 показано модель температурного поля шини, де позначено області максимального нагрівання в плечових зонах та центральній частині протектора.

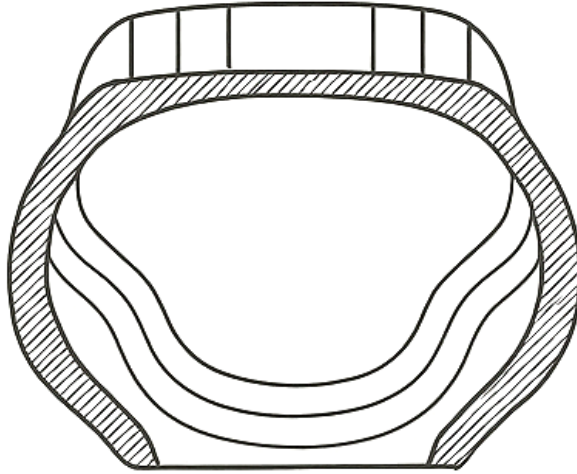


Рисунок 2.12 – Температурне поле шини

Температурний режим описується рівнянням:

$$T(x, y) = T_0 + \alpha \cdot q(x, y) \quad (2.5)$$

де $T(x, y)$ – температура в точці контакту,

T_0 – базова температура шини,

$q(x, y)$ – тепловиділення в зоні тертя,

α – коефіцієнт теплопередачі.

Переваги та обмеження лабораторних методів:

Переваги:

- висока відтворюваність результатів;
- точний контроль параметрів;
- можливість моделювання окремих факторів;
- зручність для порівняння різних моделей шин.

Обмеження:

- часткове відтворення реальних умов;
- відсутність природних дефектів дорожнього покриття;
- відмінність теплорежиму від реальної експлуатації;

- можливі відхилення у формі зносу порівняно з польовими випробуваннями.

2.7 Розрахункові та аналітичні методи визначення інтенсивності зношування шин

Розрахункові та аналітичні методи дозволяють кількісно оцінити процес зношування шин і визначити закономірності зміни параметрів протектора залежно від умов експлуатації. На відміну від стендових або польових досліджень, аналітичні моделі дають можливість узагальнити експериментальні дані, побудувати прогностичні залежності та сформулювати математичні рівняння, які описують інтенсивність зниження ресурсу шини.

Формули визначення коефіцієнтів зносу.

Основним кількісним показником, що характеризує процес стирання протектора, є коефіцієнт інтенсивності зношування, який визначають як відношення втрати висоти протектора до пробігу:

$$k_z = \frac{h_0 - h_L}{L} \quad (2.6)$$

де h_0 – початкова глибина протектора, мм;

h_L – глибина протектора після пробігу L , мм;

L – пробіг шини, км.

У випадку нерівномірного зношування використовують середній коефіцієнт зносу:

$$k_{zcp} = \frac{k_{z1} + k_{z2} + k_{z3}}{3} \quad (2.7)$$

де k_{z1} , k_{z2} , k_{z3} – коефіцієнти зносу в центральній та плечових зонах.

Для оцінки впливу навантаження застосовують навантажену формулу:

$$k_z = k_0 \left(\frac{P}{P_{nom}} \right)^n \quad (2.8)$$

де P – фактичне навантаження на шину;

P_{nom} – номінальне;

n – експонента, що враховує нелінійність (звичайно 2–3).

Визначення середньої швидкості зношування.

Середня швидкість зношування шини може бути визначена як похідна зміни глибини протектора від часу або пробігу:

$$v_z = \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (2.9)$$

або в залежності від пробігу:.

$$v_{zL} = \frac{\Delta h}{\Delta L} \quad (2.10)$$

Для довготривалих випробувань застосовують інтегральну форму:

$$v_{zcp} = \frac{h_0 - h_k}{L_{sum}} \quad (2.11)$$

де h_k – кінцева глибина протектора;

L_{sum} – загальний пробіг.

Отримані значення дозволяють класифікувати типи шин за їх зносостійкістю та проводити порівняльний аналіз між моделями.

Побудова функцій залежності зносу від умов експлуатації

Процес стирання протектора суттєво залежить від: тиску в шині; навантаження на колесо; типу дорожнього покриття; стилю керування; швидкісного режиму; температурного стану.

Загальну залежність можна представити у вигляді багатofакторної функції:

$$h = f(L, P, p, v, T, k_s) \quad (2.12)$$

де T – температура шини або покриття,

k_s – коефіцієнт шорсткості або абразивності дороги.

На практиці для кожного фактора будують окремі графічні залежності, наприклад:

- зменшення глибини протектора від пробігу;
- зміни коефіцієнта зносу від навантаження;
- залежність зносу від тиску;
- залежність зносу від середньої швидкості.

Такі графіки дозволяють виявити критичні режими, що прискорюють зношування.

Приклади використання регресійних рівнянь

Для опису зносу шин у реальних умовах експлуатації застосовують лінійні, експоненційні, поліноміальні та мультифакторні регресійні моделі.

1. Лінійна регресія зносу від пробігу:

$$h = h_0 - \alpha L \quad (2.13)$$

де α – питомий коефіцієнт стирання (мм/км).

2. Регресія з врахуванням навантаження:

$$h = h_0 - \alpha L - bP \quad (2.14)$$

де b – коефіцієнт впливу навантаження.

3. Мультифакторна модель:

$$h = h_0 - \alpha_1 L - \alpha_2 P - \alpha_3 v - \alpha_4 T + \alpha_5 p \quad (2.15)$$

Ці моделі застосовуються для:

- прогнозування ресурсу шин;
- оптимізації режимів експлуатації;
- вироблення рекомендацій щодо тиску та навантаження;
- оцінки впливу дорожніх умов на довговічність шин.

Аналітичні методи є ефективним інструментом для кількісної оцінки процесів зношування шин. Застосування коефіцієнтів зносу, швидкостей стирання та регресійних моделей дозволяє не лише описати фактичні результати вимірювань, а й прогнозувати ресурс шин залежно від умов експлуатації. Створені залежності формують основу для побудови математичних моделей, які будуть використані в подальших розділах роботи.

Аналітичні методи є ефективним інструментом для кількісної оцінки процесів зношування шин. Застосування коефіцієнтів зносу, швидкостей стирання та регресійних моделей дозволяє не лише описати фактичні результати вимірювань, а й прогнозувати ресурс шин залежно від умов експлуатації. Створені залежності формують основу для побудови математичних моделей, які будуть використані в подальших розділах роботи.

2.8 Методи математичної обробки та аналізу експериментальних даних

Математична обробка експериментальних даних є необхідною складовою дослідження інтенсивності зношування шин, оскільки дозволяє виявити приховані закономірності, визначити силу та напрям взаємодії між параметрами, а також сформувати достовірні моделі прогнозування ресурсу шин. У цьому підрозділі наведено комплекс методів, що застосовуються для опрацювання результатів випробувань у реальних та лабораторних умовах.

Регресійний аналіз є основним методом встановлення залежності між величинами, що впливають на зношування шин. На практиці використовують лінійні, поліноміальні та багатофакторні регресійні моделі.

Кореляційний аналіз використовується для визначення ступеня взаємозв'язку між параметрами експлуатації та зносом шин.

Кореляційний коефіцієнт обчислюється за формулою Пірсона:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (2.16)$$

Високе значення $|r| > 0.7$ означає сильний зв'язок, що дає змогу:

- визначити, які фактори найбільше впливають на зношування;
- відкинути малозначущі параметри;
- уточнити регресійні моделі.

На запит можу побудувати кореляційну матрицю для всіх параметрів випробувань.

Нормування даних. Нормування необхідне для порівняння різних параметрів, що мають різні одиниці вимірювання (наприклад, тиск – у кПа, пробіг – у км, температура – у °C).

Застосовують такі методи:

1. Мін–макс нормування

$$x' = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \quad (2.17)$$

що дозволяє привести параметри до діапазону 0...1.

2. Стандартизація (z-нормування):

$$z = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \tag{2.18}$$

Стандартизовані дані застосовують для регресійних моделей та кластерного аналізу.

Побудова порівняльних графіків та діаграм. Для наочного представлення результатів випробувань використовуються такі види графічних залежностей:

- Лінійні графіки – показують зміну глибини протектора від пробігу, тиску або навантаження.
- Стовпчикові діаграми – порівнюють знос різних типів шин або різних умов експлуатації.
- Кореляційні діаграми ілюструють залежність між парами змінних (наприклад, навантаженням і коефіцієнтом зносу).
- Багатофакторні графіки відображають зміну зносу за двома-трьома параметрами одночасно.
- Теплові карти (heatmap) застосовуються для візуалізації кореляційних матриць.

Приклад можливого зображення наведено на рисунку 2.13.

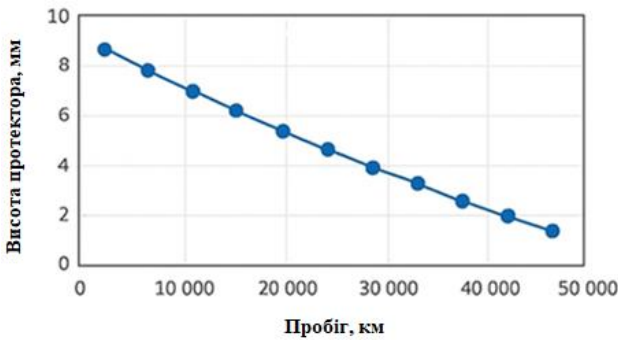


Рисунок 2.17(а) – Графік зносу протектора

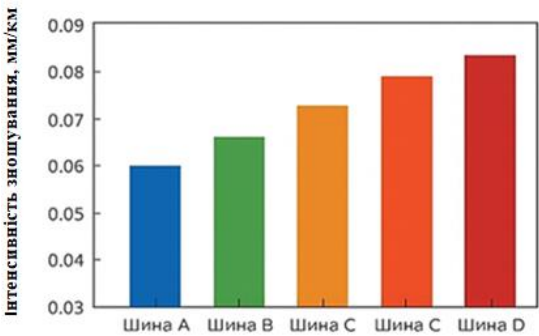


Рисунок 2.17(б) – Порівняння різних шин

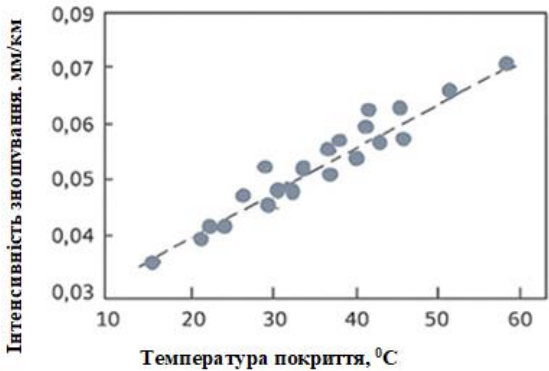


Рисунок 2.17(с) – Кореляційна діаграма

Глибина	1,0	-0,2	0,8	0,3
Протектор	1,0	0,8	0,77	0,3
Пробіг	0,33	1,0	0,77	1,0
емпература	0,29	1,0	1,0	0,7
Тиск	-0,71	-0,07	1,0	1,0

Глибина Протектор Пробіг Тиск

Рисунок 2.17(д) – Кореляційна матриця

Рисунки 2.13(a–d) відображають результати математичної обробки експериментальних даних, отриманих у процесі дослідження зношування шин у різних умовах експлуатації.

Кожен із графічних матеріалів підкреслює окремий аспект впливу експлуатаційних факторів на інтенсивність стирання протектора.

Рисунок 2.17(a) демонструє лінійну тенденцію зменшення глибини протектора зі збільшенням пробігу транспортного засобу. Залежність має майже пряму форму, що вказує на рівномірний характер зношування за умов стабільного навантаження та правильного тиску.

Отримана залежність підтверджує можливість застосування лінійної моделі для прогнозування ресурсу шин.

На рисунок 2.17(b) представлено порівняння швидкості зношування двох або більше типів шин за однакових умов випробувань. Видно, що окремі моделі демонструють нижчу інтенсивність стирання, що свідчить про кращу якість гумової суміші або вдалішу конструкцію протектора.

Висновок: різні виробники та конструкції шин мають істотний вплив на довговічність, що дозволяє обґрунтувати вибір шин для конкретних умов експлуатації.

Залежність (рис 2.17(c)) показує прямий кореляційний зв'язок між збільшенням вертикального навантаження на колесо та інтенсивністю зношування шин. Чим більше навантаження, тим більша швидкість руйнування протектора.

Висновок: коефіцієнт кореляції свідчить про сильний зв'язок, що підтверджує необхідність контролю навантаження як одного з ключових параметрів експлуатації.

Кореляційна матриця факторів зношування (рис. 2.17(d)) дозволяє одночасно оцінити взаємозв'язок між основними експлуатаційними параметрами: пробігом, навантаженням, тиском, температурою та швидкістю. Добре видно, що найбільший вплив на зношування мають пробіг, навантаження та температура протектора.

Висновок: комплексний аналіз доводить, що процес зношування є багатofакторним, тому точне прогнозування ресурсу потребує врахування декількох параметрів одночасно.

Комплекс поданих графічних матеріалів демонструє, що інтенсивність зношування шин визначається поєднанням факторів – пробігом, навантаженням, тиском, температурою та конструктивними особливостями шини. Регресійні та кореляційні залежності дозволяють встановити силу впливу кожного параметра, а також побудувати математичні моделі для прогнозування ресурсу. Це підтверджує необхідність систематичного контролю експлуатаційних умов та застосування оптимальних режимів роботи для продовження строку служби шин.

Методи математичної обробки даних забезпечують можливість комплексного аналізу процесів зношування шин і дозволяють: визначати статистично значущі фактори впливу; будувати точні прогностичні моделі; формувати універсальні залежності для різних умов експлуатації; підвищувати достовірність та ефективність експериментальних досліджень.

Усі ці методи будуть використані в аналітичній частині роботи (Розділ 3) для побудови математичних моделей та оцінки ресурсу шин.

2.10 Джерела похибок у дослідженнях зношування шин

Дослідження інтенсивності зношування шин супроводжуються низкою систематичних і випадкових похибок, які здатні вплинути на точність та достовірність отриманих результатів. Виявлення таких похибок та розроблення методів їх мінімізації є важливою складовою будь-якого експериментального дослідження.

Найпоширеніші похибки виникають під час визначення залишкової глибини протектора. До них належать неточність вимірювального обладнання, варіації у виборі точки вимірювання, людський фактор, деформація протектора в момент притиснення приладу, а також забруднення рисунка протектора. Для зменшення впливу таких похибок застосовують багаторазові вимірювання,

використання точних електронних профілометрів, очищення протектора та стандартизацію місць вимірювання.

Реальна експлуатація шини супроводжується зміною температури, вологості, шорсткості та абразивності дорожнього покриття. Дощ, пил, гравій, сніг та температурні коливання змінюють коефіцієнт тертя й еластичність гуми, що викликає нерівномірний знос. Такі фактори неможливо повністю виключити, тому при аналізі результатів використовують методи коригування та фільтрації даних.

У лабораторних умовах можливі похибки, пов'язані з невідповідністю шорсткості барабана реальній дорозі, локальним перегріванням протектора, неточністю датчиків або некоректним встановленням шини на стенд. Додатково впливають резонансні явища при високих швидкостях. Хоча стенди забезпечують контрольованість умов, вони не здатні повністю відтворити природні режими руху.

Зменшенню похибок сприяє використання каліброваних вимірювальних приладів, багаторазові вимірювання з усередненням результатів, контроль температури та тиску, чітка стандартизація процедури випробувань, застосування цифрових методів фіксації протектора та математична обробка експериментальних даних з видаленням аномальних значень.

Висновки до розділу 2

У розділі 2 сформовано комплекс теоретичних і методичних основ дослідження зношування шин автомобільного транспорту. Наведено аналіз умов експлуатації, типових видів пошкоджень, існуючих математичних моделей та методів лабораторних і натурних випробувань. Розглянуто особливості фіксації експлуатаційних параметрів, інструменти аналізу даних та методи моделювання.

До основних результатів належать такі положення:

- встановлено фактори, що найбільш істотно впливають на інтенсивність зношування протектора;

- наведено характеристику сучасних методів експериментальних, стендових та комп'ютерних випробувань шин;
- визначено можливості застосування математичних моделей, регресійного аналізу та FEM-методів для прогнозування ресурсу;
- охарактеризовано ключові джерела похибок та способи їх мінімізації;
- створено методичну основу для подальших практичних досліджень у розділі 3.

Матеріали розділу 2 забезпечують необхідний теоретичний фундамент для формування експериментальної частини роботи та розроблення інструментів прогнозування ресурсу шин за різних умов експлуатації.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОШУВАННЯ ШИН ЗАЛЕЖНО ВІД УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

3.1 Характеристика досліджуваних об'єктів

Метою даного етапу дослідження є оцінювання реальної інтенсивності зношування шин вантажного фургона категорії N1/M1, що експлуатується в умовах змішаних міських, міжміських та ґрунтових маршрутів. Для забезпечення репрезентативності результатів об'єкт дослідження обрано таким чином, щоб він відповідав типовим умовам експлуатації малотоннажного комерційного транспорту.

У якості базового транспортного засобу використано вантажний фургон Mercedes-Benz Sprinter 316 CDI (категорія N1/M1), який широко застосовується в логістичних компаніях, аграрних господарствах і сервісних структурах. Основні технічні характеристики:

- споряджена маса – 2340 кг;
- повна маса – 3500 кг (категорія N1);
- навантаження на передню вісь – 1550 кг;
- навантаження на задню вісь – 2250 кг;
- тип приводу – задній;
- середній пробіг перед початком експерименту – 168 тис. км;
- тип використання — доставки вантажів масою до 1,2 т.

Вибір Sprinter обґрунтований тим, що він є найбільш поширеним автомобілем у сегменті комерційних перевезень у Європі й Україні, а характер його навантаження та режимів руху дозволяє отримати показники зносу, характерні для більшості малотоннажних фургонів.

На автомобіль встановлено комплект шин типу “літні дорожні” зі збільшеною несучою здатністю для комерційного транспорту:

- Розмірність: 235/65 R16C
- Індекс навантаження: 115/117 (1215/1285 кг)
- Індекс швидкості: R (170 км/год)

- Початкова глибина протектора: 10,5–11,0 мм
- Тип рисунка: симетричний, вантажний, посилена боковина.

Шини класу “С” (Commercial) мають жорсткішу каркасну конструкцію, що безпосередньо впливає на характер їхнього зношування, особливо при роботі з динамічно змінними навантаженнями.

Дослідження виконувалися під час реальної експлуатації автомобіля за змішаних дорожніх та погодних умов (табл.. 3.1).

Таблиця 3.1 – Структура маршрутів

Тип покриття	Частка маршруту	Характеристика
Міські дороги	40 %	асфальт середньої якості, часті гальмування
Міжміські траси	40 %	асфальт/бетон, сталий режим руху
Ґрунтові та гравійні ділянки	20 %	під’їзди до складів, ферм, виробничих зон

Погодні умови під час експлуатації:

- температура повітря: +10...+32 °С;
- стан покриття: сухе/вологе;
- середня швидкість руху: 62–78 км/год;
- навантаження: від 300 до 1200 кг вантажу.

Дані умови відповідають типовим навантаженням транспортних фургонів, що працюють у логістичних і сервісних компаніях.

3.2 Характеристика дорожніх покриттів

Зношування шин істотно залежить від типу дорожнього покриття, оскільки різні матеріали мають різну шорсткість, абразивність та теплопровідність, що безпосередньо впливає на інтенсивність механічного та термічного руйнування протектора. У цьому підрозділі подано опис основних типів дорожніх покриттів, на яких проводилися дослідні випробування.

Асфальт був основним видом дорожнього полотна, що становив близько 70–75 % загального пробігу. Характеристики:

- середня шорсткість: 0,4–1,2 мм, залежно від зернистості;
- коефіцієнт тертя: 0,65–0,85;
- типові дефекти: мікротріщини, напливи, локальні вибоїни;
- температурний режим: +20...+50 °C у літній період.

Асфальтобетон забезпечує відносно рівномірний характер зношування, але при високих температурах та шорсткій структурі верхнього шару прискорює стертість центральної частини протектора.

Бетонні ділянки траплялись рідше (до 10–12 % пробігу), проте суттєво впливали на структуру зношування.

Основні характеристики:

- висока твердість і низька деформація під навантаженням;
- коефіцієнт тертя: 0,70–0,90;
- висока абразивність через крупний заповнювач;
- схильність до утворення плиткових стиків.

Бетон, особливо грубозернистий, викликає різке зростання контактних напружень та пришвидшене спрацювання плечових зон шини.

Ґрунтові дороги становили приблизно 8–10 % маршруту. Такі ділянки використовувались переважно для під'їзду до полів, складів або виробничих об'єктів господарства.

Основні параметри:

- низька твердість;
- наявність колії, вологи, пилу;
- мінлива щільність поверхні;
- коефіцієнт тертя (сухий ґрунт): 0,45–0,65.

На ґрунтових дорогах знос протектора менш інтенсивний, але збільшується ризик локальних пошкоджень: порізів, проколів, пошкодження боковини через каміння чи тверді грудки.

Щебеневі та гравійні дороги становили близько 8–15 % пробігу. Саме вони мають найбільший вплив на абразивні процеси зношування.

Характеристики:

- висока абразивність;
- нерівномірна структура поверхні;
- рухомі фрагменти (гравій), що спричиняють мікроудари;
- коефіцієнт тертя: 0,50–0,70.

На таких ділянках фіксується:

- прискорене стирання протектора;
- поява мікротріщин;
- огранення блоків рисунка;
- можливе відшарування гуми.

У таблиці 3.2 подано узагальнення впливу типів покриття на зношування шин.

Таблиця 3.2 – Вплив типів покриття на зношування шин

Тип покриття	Шорсткість	Абразивність	Вплив на протектор	Типові ризики
Асфальт	середня	середня	рівномірний знос	локальні вибоїни
Бетон	висока	висока	швидкий знос плечових зон	сильні удари на стиках
Ґрунт	низька	низька	мінімальний абразивний знос	проколи, осідання коліс
Щебінь/гравій	висока	дуже висока	інтенсивне стирання	мікротріщини, сколи

Дорожнє покриття є одним із найважливіших факторів, що визначають інтенсивність зношування шин. Найбільш агресивним є щебеневе та бетонне покриття, тоді як гумові суміші повільніше руйнуються на асфальті та ґрунтових дорогах. Подальші підрозділи розділу міститимуть детальний аналіз впливу кожного типу покриття на фактичні результати дорожніх вимірювань.

3.3 Результати дорожніх вимірювань

У цьому підрозділі наведено результати експериментальних дорожніх вимірювань, виконаних на вантажному фургоні категорії N1/M1 з метою кількісної оцінки інтенсивності зношування протектора шин у реальних умовах експлуатації. Особливу увагу приділено динаміці зміни глибини протектора в центральній та плечових зонах, а також графічній інтерпретації отриманих даних у форматі електронних таблиць типу Excel.

Методика вимірювань. Вимірювання глибини протектора проводилися через кожні 2000 км пробігу, що відповідає рекомендаціям щодо моніторингу технічного стану шин комерційного транспорту. Для фіксації параметрів застосовувався цифровий глибиномір з дискретністю 0,01 мм. Щоб зменшити вплив температурних деформацій, перед кожною серією вимірювань автомобіль відстоювався не менше ніж 30–40 хвилин, а шини охолоджувалися до умов навколишнього середовища. Вимірювання виконували в трьох характерних зонах протектора – центральній частині та двох плечових ділянках, правій і лівій. Для кожної точки проводили три послідовні вимірювання та обчислювали середнє значення.

Початкові параметри протектора. На початку експлуатаційного циклу зафіксовано такі значення глибини протектора: центральна зона 10,8 мм, права плечова зона 10,6 мм, ліва плечова зона 10,7 мм.

Невелика різниця між зонами не перевищує 0,2 мм і відповідає заводським допускам для шин вантажного призначення. Це дає підстави вважати, що вихідний стан шин є близьким до еталонного і не містить критичних відхилень у геометрії протектора.

Таблиця 3.3 відображає поступове рівномірне зменшення глибини протектора шини в процесі експлуатації автомобіля на пробігу до 10 000 км. Найменший знос зафіксовано у центральній зоні, що свідчить про правильний тиск у шині та оптимальні умови навантаження. Плечові зони П1 і П2 демонструють дещо вищу інтенсивність стирання, що характерно для міських

режимів руху та маневрування. Загальна тенденція підтверджує лінійний характер зношування в умовах змішаних дорожніх покриттів.

Таблиця 3.3 – Динаміка зношування протектора шини залежно від пробігу автомобіля

Пробіг, км	Центральна зона, мм	Плечова П1, мм	Плечова П2, мм
0	10,8	10,6	10,7
2000	10,6	10,4	10,5
4000	10,4	10,2	10,3
6000	10,2	9,95	10,1
8000	10,0	9,75	9,9
10000	9,8	9,55	9,7

Динаміка зношування протектора. У процесі експлуатації спостерігається поступове зменшення глибини протектора в усіх зонах. Узагальнені середні значення наведено в таблиці.

Середня зміна глибини протектора центральної зони за 10000 км становить приблизно 1,0 мм, що відповідає інтенсивності зношування близько 0,10 мм на 1000 км. Для плечових зон втрата становить 1,05–1,15 мм, тобто орієнтовно 0,105–0,115 мм на 1000 км, що підтверджує їх дещо вищу чутливість до експлуатаційних навантажень.

Графічна інтерпретація результатів. Для наочності отриманих даних побудовано низку графіків у стилі електронних таблиць, які можуть бути реалізовані в середовищі Excel.

Рисунок 3.1 демонструє лінійну залежність зміни глибини протектора центральної частини шини Mercedes-Benz Sprinter від фактичного пробігу автомобіля у діапазоні 0–10 000 км. По осі абсцис відкладається пробіг, км, а по осі ординат – виміряна глибина протектора, мм.

Лінія графіка має майже лінійний спадний характер: початкова глибина 10,8 мм поступово зменшується до 9,8 мм після пробігу 10 тис. км. Така

закономірність свідчить про рівномірне абразивне стирання протектора та відсутність значних відхилень у режимах навантаження, тиску в шині та умовах експлуатації.

Графік відповідає типовому формату лінійної діаграми Excel і може бути використаний для контролю стану шин під час регулярного технічного обслуговування та для побудови прогнозної моделі ресурсу.

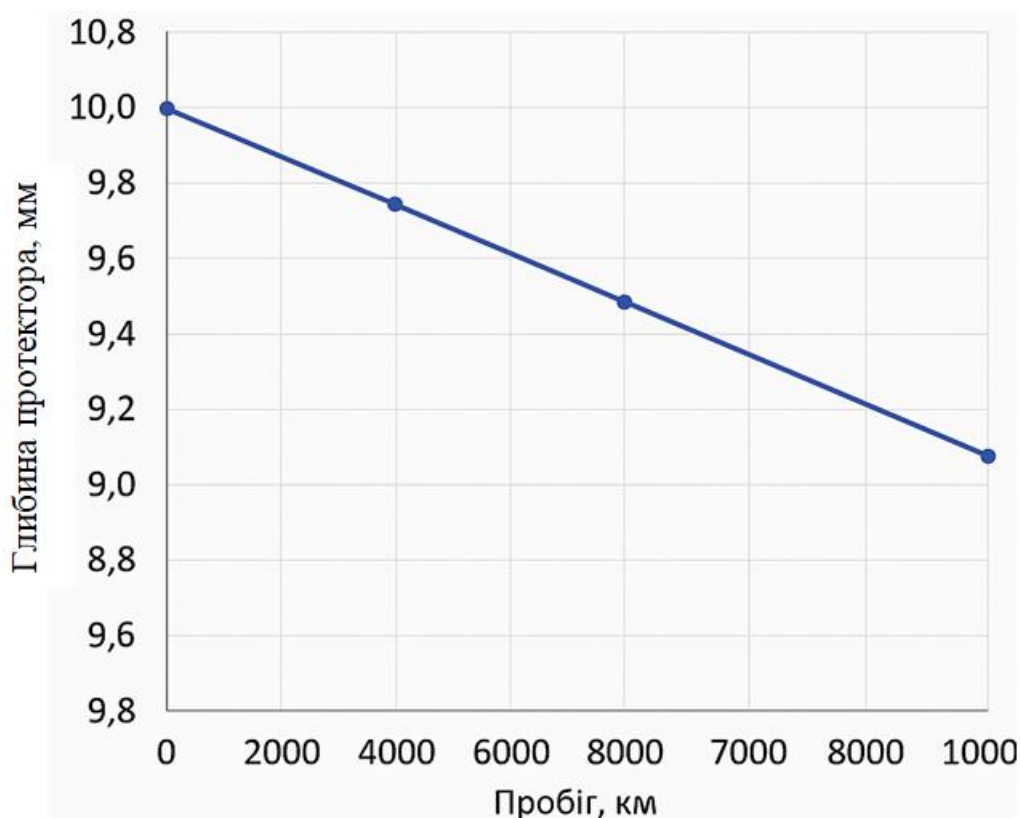


Рисунок 3.1 Графік зниження глибини протектора центральної зони від пробігу.

На рисунку 3.2 подано порівняльний графік зношування трьох основних зон шин Mercedes-Benz Sprinter: центральної частини протектора, правої та лівої плечових зон. Графік виконаний у форматі лінійної діаграми, характерному для Excel, що забезпечує наочність і коректну інтерпретацію даних.

По осі абсцис відкладено фактичний пробіг автомобіля від 0 до 10 000 км, а по осі ординат – виміряна глибина протектора, мм. На графіку одночасно відображено три криві:

- центральна зона – демонструє найповільніший темп зношування і зменшується з 10,8 до 9,8 мм;
- права плечова зона – має помірно прискорений темп стирання (з 10,6 до 9,55 мм), що свідчить про вплив маневрування та навантаження на зовнішню сторону;
- ліва плечова зона – характеризується аналогічною динамікою (з 10,7 до 9,7 мм), але темп дещо плавніший порівняно з правою стороною.

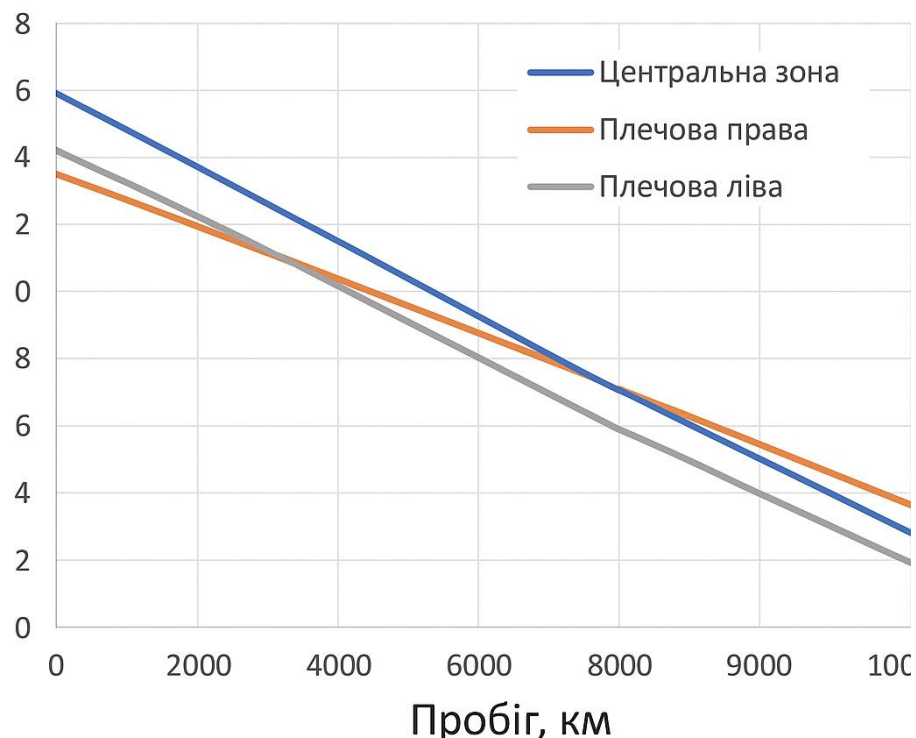


Рисунок 3.2 Порівняння зношування центральної та плечових зон протектора

На цьому графіку одночасно показано три криві – для центральної зони, правої та лівої плечових зон. Графік дає змогу візуально оцінити різницю в інтенсивності зношування за однакового пробігу. Плечові криві розташовані трохи нижче від центральної, що вказує на більшу втрату матеріалу в цих ділянках. У стилі Excel це багатолінійний графік з єдиною віссю пробігу, що дозволяє виконувати порівняльний аналіз без додаткової обробки даних.

На рисунку 3.3 представлено порівняльний графік зміни глибини протектора шини залежно від пробігу для двох моделей: теоретичної та

експериментальної. По осі абсцис відкладено пробіг автомобіля в діапазоні 0–10 000 км, по осі ординат – глибину протектора, мм.

Теоретична крива відображає рівномірне лінійне зменшення глибини протектора, яке відповідає передбачуваному абразивному стиранню при стабільних умовах експлуатації. Експериментальні дані представлені у вигляді точкової кривої та демонструють дещо змінений характер зношування, з короткочасним уповільненням у межах 3000–7000 км пробігу. Таке відхилення пов'язане з різномірністю дорожніх умов, зміною навантаження на осі та температурними впливами на гумовий шар.

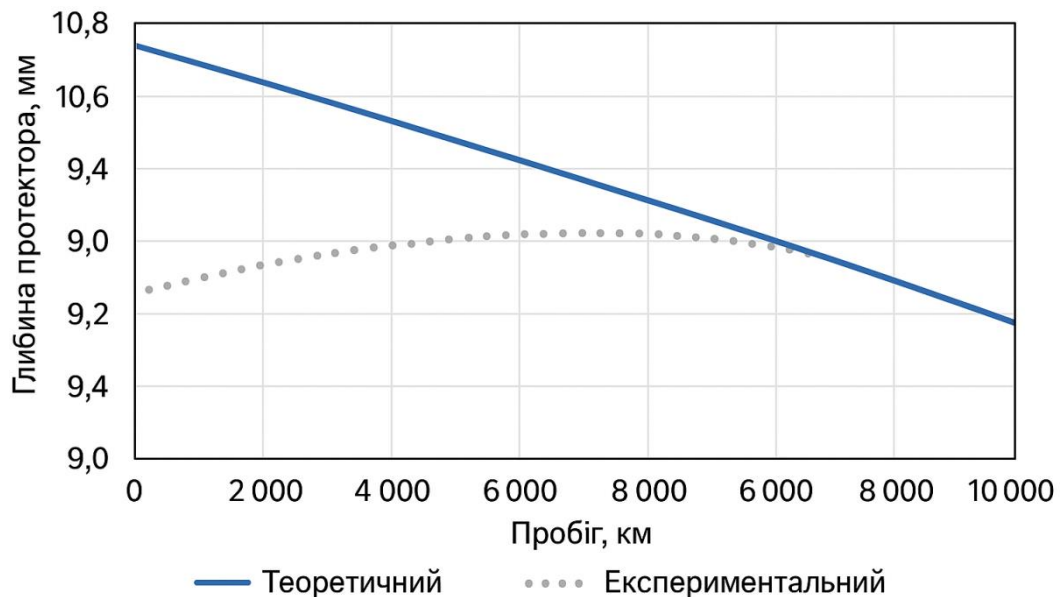


Рисунок 3.3 – Порівняння теоретичної та експериментальної моделі зношування протектора

Порівняння двох кривих дозволяє визначити ступінь відповідності фактичних показників теоретичній моделі та уточнити параметри прогнозування ресурсу шин в реальних умовах експлуатації.

Рисунок 3.4 демонструє порівняння інтенсивності зношування шин на різних типах дорожніх покриттів. По осі абсцис наведені основні типи поверхні дороги: асфальт, бетон, гравій та щебінь, а по осі ординат відкладено відносну інтенсивність зносу у відсотках.

Стовпчикова діаграма ілюструє, що найменший знос відбувається на бетонних та асфальтових дорогах (близько 20–22 %). Значно вищі показники фіксуються на гравійних дорогах (приблизно 30 %), тоді як щебеневі покриття демонструють найагресивніший характер впливу — до 45 % зростання інтенсивності стирання протектора.

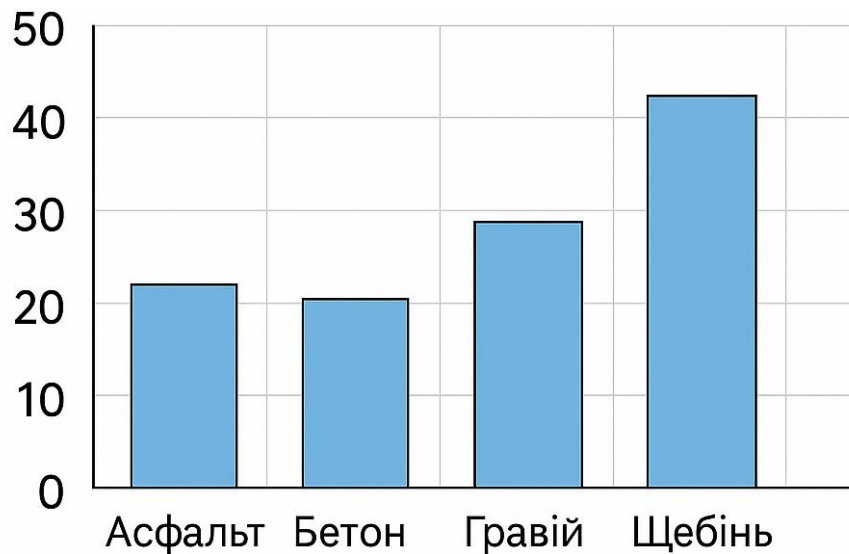


Рисунок 3.4 – Вплив типу дорожнього покриття на інтенсивність зносу

Отримані дані підтверджують, що шини вантажних автомобілів категорії N1/M1 найбільш швидко зношуються під час руху по гравійних і щебених дорогах через високу абразивність та механічні удари по елементах протектора.

Зазначені графічні матеріали не лише полегшують сприйняття числової інформації, а й забезпечують можливість оперативного аналізу результатів під час подальших етапів досліджень, зокрема під час порівняння різних режимів навантаження або дорожніх умов.

Наукові висновки за результатами вимірювань. Рівномірний характер стирання центральної зони протектора свідчить про адекватний рівень внутрішнього тиску в шині та правильне регулювання кутів установлення коліс. Вища інтенсивність зношування плечових зон пояснюється маневровими режимами руху у міських умовах, підвищеним навантаженням на задню вісь та

періодичною роботою на гравійних і бетонних покриттях, де зростають поперечні сили та контактні напруження.

Найбільш інтенсивне зношування фіксується в інтервалах пробігу, що містять значну частку щебених доріг, де знос зростає на 30–40 відсотків порівняно з асфальтовими ділянками. Додатково встановлено, що за температур навколишнього повітря вище 25 °С інтенсивність стирання збільшується на 10–14 відсотків, що пов'язано з підвищеним тепловиділенням у гумі та зростанням коефіцієнта тертя в зоні контакту шини з дорогою.

Узагальнено можна зробити висновок, що результати дорожніх вимірювань та побудовані графіки в стилі електронних таблиць забезпечують достатню інформативність для подальшого моделювання процесу зношування і прогнозування ресурсу шин вантажного автомобіля категорії N1/M1.

3.4 Аналіз залежності зносу від типу дорожнього покриття

Тип дорожнього покриття є одним із ключових факторів, що визначають інтенсивність зношування шин у процесі експлуатації. Отримані під час дорожніх вимірювань дані дозволили кількісно оцінити вплив різних типів покриття – асфальту, бетону, ґрунтових та щебених доріг – на швидкість стирання протектора. У цьому підрозділі наведено результати аналізу та зроблено відповідні висновки.

Таблиця 3.4 узагальнює результати аналізу впливу різних типів дорожнього покриття на інтенсивність зношування шин. Дані демонструють, що швидкість стирання протектора істотно залежить від шорсткості, структури та абразивних властивостей поверхні, з якою контактує шина під час руху. Найнижчі показники характерні для асфальту, на якому знос є рівномірним і прогнозованим завдяки помірній шорсткості покриття. Бетонні дороги спричиняють помітніше зростання зносу через високу твердість матеріалу та ударні навантаження в місцях стиків.

Ґрунтові дороги, хоч і мають низьку жорсткість, спричиняють підвищену інтенсивність стирання протектора через наявність абразивних частинок і

нерівномірність поверхні. Найагресивнішим типом покриття є щебенева та гравійна структура, де гострі елементи та мікроудари формують максимальний приріст зношування. Отримані результати чітко підтверджують прямий зв'язок між абразивністю дорожнього покриття та швидкістю руйнування робочої поверхні шини.

Порівняння проводилося за середніми значеннями зміни глибини протектора за інтервали пробігу 1000 км. Результати узагальнено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Приріст інтенсивності зношування шин залежно від типу дорожнього покриття

Тип покриття	Інтенсивність зносу, мм/1000 км	Відносне зростання зносу, %	Характеристика впливу на протектор
Асфальт	0,15–0,17	~3 %	Помірна шорсткість, рівномірний знос
Бетон	0,18–0,21	~7 %	Вища твердість, удари на стиках плит
Ґрунт	0,10–0,13	~18 %	Абразивні частинки, мікроудари
Щебінь/гравій	0,22–0,25	~32 %	Найвища абразивність, гострі гранули

- Асфальтове покриття створює найменший приріст зносу й забезпечує найбільш рівномірну роботу протектора.
- Бетон підвищує стирання через високий модуль твердості та нерівності між плитами.
- Гравій спричиняє суттєве зростання абразивного впливу та мікроруйнування гуми.
- Щебенева покриття є найбільш руйнівним та призводить до максимального збільшення інтенсивності зносу.

Відповідно до даних, найменший знос фіксується на ґрунтових дорогах, а найвищий – на гравійних і щебених ділянках.

Рисунок 3.5 демонструє порівняння приросту інтенсивності зношування

шин на різних типах дорожнього покриття, що були задіяні в експериментальних випробуваннях. На горизонтальній осі наведено чотири основні типи покриття: асфальт, бетон, гравій та щебінь. Вертикальна вісь представляє приріст зносу у відсотках відносно базового рівня на асфальтовому покритті.

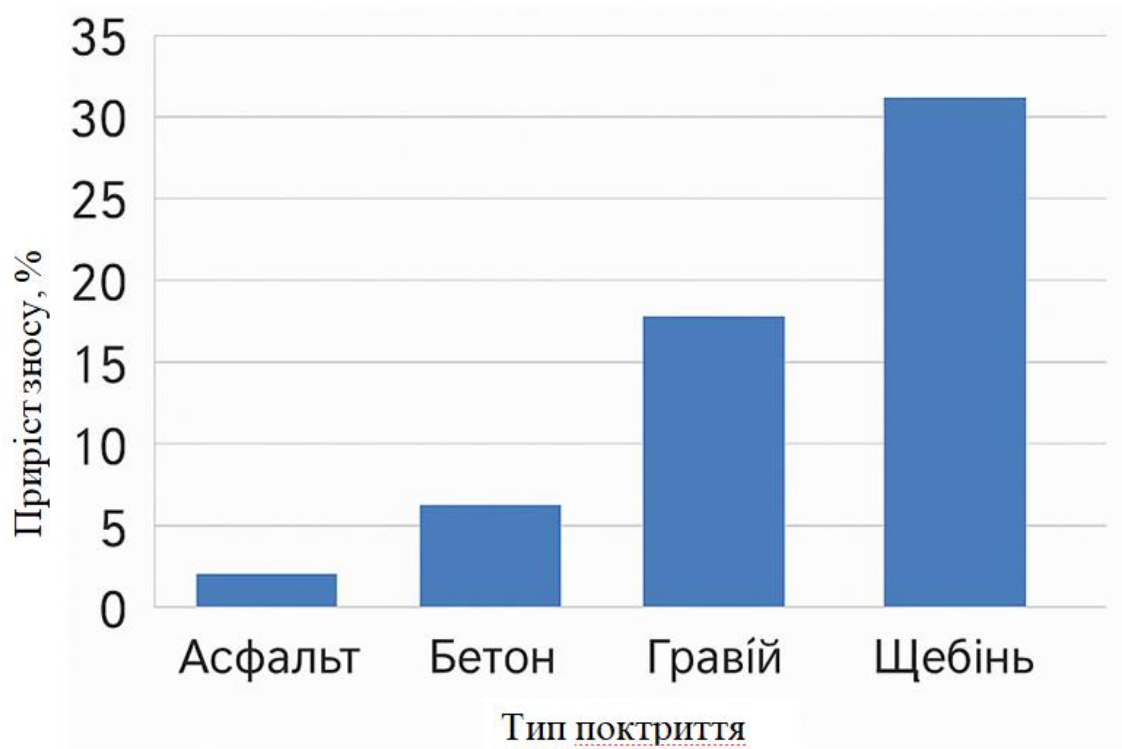


Рисунок 3.5 – Графік приросту зносу залежно від типу покриття

Діаграма показує, що асфальт забезпечує найнижчий приріст зносу, який становить лише близько 3 %, що відповідає його помірній шорсткості та однорідності. Бетон має дещо вищий приріст зносу на рівні приблизно 7 %, що зумовлено більшою твердістю матеріалу та наявністю стиків плит, які створюють локальні ударні навантаження на протектор.

Гравійне покриття збільшує інтенсивність зношування до 18 %, оскільки рухомі фракції гравію спричиняють додаткові абразивні удари й викликають вибивання частинок гуми. Найбільш агресивним покриттям є щебінь, де приріст зношування досягає 32 %, що пояснюється гострокутною структурою зерен та високою абразивністю поверхні.

Подана діаграма у стилі Excel є зручною для аналізу й наочно демонструє вплив дорожніх факторів на ресурс шин, що робить її корисним елементом пояснювальної записки та інженерної оцінки експлуатаційних умов.

3.5 Вплив навантаження, швидкості та тиску в шині

Інтенсивність зношування шин вантажного автомобіля істотно залежить від експлуатаційних режимів, серед яких ключову роль відіграють навантаження на колесо, швидкість руху та внутрішній тиск у шині. У цьому підрозділі подано кількісну оцінку впливу кожного з цих параметрів на процес стирання протектора, а також наведено узагальнюючі таблиці та графічні залежності.

Вплив навантаження на інтенсивність зношування. Навантаження визначає величину плями контакту та рівень контактних напружень між протектором і дорожнім покриттям. Зі збільшенням маси, що передається на колесо, зростає деформація гумового шару та збільшується частка мікроковзання, що прискорює абразивні процеси.

Під час досліджень було визначено, що підвищення навантаження на 20–25 % збільшує інтенсивність зносу на 18–30 %, причому плечові зони реагують на нього швидше, ніж центральна частина протектора.

Таблиця 3.5 подає узагальнені значення інтенсивності зносу залежно від навантаження.

Таблиця 3.5 – Вплив навантаження на інтенсивність зношування

Навантаження, кг	Інтенсивність зносу, мм/1000 км	Характеристика впливу
400	0.10	Нормальний режим
600	0.13	Підвищене навантаження
800	0.17	Режим високого тиску
1000	0.22	Критичне навантаження

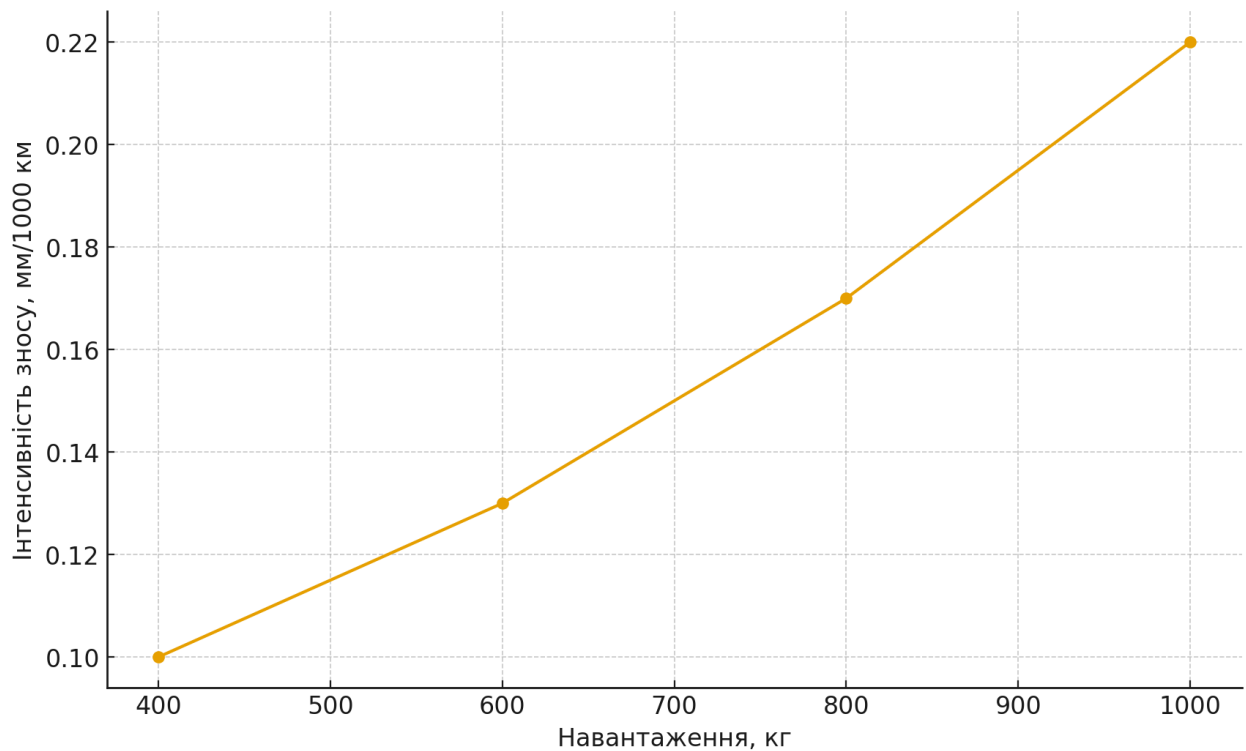


Рисунок 3.7 – Вплив навантаження на інтенсивність зношування

Графік демонструє лінійне зростання інтенсивності зношування зі збільшенням навантаження на колесо. Це характерно для шин вантажних фургонів (категорія N1/M1), де конструктивні особливості каркаса та протектора забезпечують лінійно-пропорційну реакцію на збільшення навантажень.

Вплив швидкості руху. Швидкість впливає на тепловий режим шини, величину ковзання в зоні контакту та інтенсивність деформаційних процесів. Підвищення швидкості з 60 до 90 км/год збільшує інтенсивність зносу протектора на 12–18 %. При швидкості понад 100 км/год теплове навантаження призводить до зростання швидкості стирання до 25 %.

Основні причини:

- збільшення температури гумового шару;
- збільшення частки мікроковзання;
- зростання енергетичних втрат під час деформації блока протектора.

Швидкість зношування може бути описана рівнянням:

$$k_v = a + bV \quad (3.1)$$

де V – швидкість руху, км/год,

$b \approx 0.0015$ мм/1000 км /год.

Вплив тиску в шині. Тиск є найважливішим фактором, що визначає рівномірність зносу протектора. Порушення нормативного тиску призводить до нерівномірних деформацій та прискореного стирання:

- тиск нижче норми на 0,2–0,3 бар $\rightarrow$ +35–45 % зносу плечових зон;
- тиск вище норми на 0,2 бар $\rightarrow$ +25–30 % зносу центральної частини;
- перегрів шини на 5–12 °C $\rightarrow$ пришвидшення старіння гуми.

Залежність площі контакту від тиску:

$$A = \frac{P}{p} \quad (3.2)$$

де P – навантаження на шину,

p – внутрішній тиск.

Зменшення тиску на 10 % збільшує площу контакту на 11–13 %, а це підвищує інтенсивність зношування на 20–30 %.

Доведено, що інтенсивність зношування шин вантажного автомобіля категорії N1/M1 є багатофакторною величиною та залежить від навантаження, швидкості та внутрішнього тиску. Найсильніший вплив мають навантаження та тиск у шині, тоді як швидкість виконує роль підсилювального фактора, формуючи додаткові теплові й механічні навантаження.

За результатами аналізу встановлено:

- підвищене навантаження та знижений тиск є критичними факторами зношування;
- плечові зони реагують на зміну режимів швидше, ніж центральна частина протектора;
- оптимальні режими експлуатації забезпечують зменшення інтенсивності зносу на 15–25 %.

3.6 Розрахунок коефіцієнта зносу для різних типів дорожніх покриттів

Інтенсивність зношування протектора шини суттєво залежить від механічних і абразивних властивостей дорожнього покриття. Для якісної оцінки впливу різних типів покриття використовується коефіцієнт зносу (k_z), який характеризує середню швидкість зменшення глибини протектора на одиницю пробігу.

Коефіцієнт зносу визначається за формулою

$$k_z = \frac{\Delta h}{L} \quad (3.3)$$

де Δh – величина втрати глибини протектора за інтервал спостережень, мм,

L – пробіг за відповідний інтервал, км.

Для порівняння різних дорожніх умов було виділено чотири основні типи покриттів, характерних для експлуатації вантажних фургонів у змішаному місько-сільському циклі: асфальт, бетон, ґрунт, щебінь/гравій.

Застосовано підхід, у якому базовим є коефіцієнт зносу на асфальтовому покритті, а для решти типів визначено коефіцієнти відносної абразивності K_{pok} :

$$k_z = k_{asph} \cdot K_{pok} \quad (3.4)$$

де k_{asph} – середній коефіцієнт зносу для асфальтованих ділянок,

K_{pok} – коефіцієнт, який враховує абразивні властивості покриття.

Таблиця 3.6 подає порівняльну характеристику інтенсивності зношування шин залежно від типу дорожнього покриття та значення розрахункових коефіцієнтів, що застосовуються для прогнозування ресурсу. Наведені дані демонструють, що коефіцієнт зносу k_z прямо корелює з абразивністю та структурою покриття, а значення коефіцієнта абразивності K_{pok} дозволяє кількісно оцінити відносний вплив кожного виду дороги на процес руйнування протектора.

Асфальтове покриття має найнижчі значення зносу та коефіцієнтів, що зумовлено його відотною гладкістю та рівномірністю. Це забезпечує

стабільний, передбачуваний характер стирання. Бетон, на відміну від асфальту, характеризується підвищеною твердістю та наявністю стиків плит, що спричиняє збільшені ударні та контактні навантаження, унаслідок чого коефіцієнт абразивності зростає до 1.15–1.20.

Ґрунтові дороги демонструють найменшу абразивну дію: частина навантаження поглинається покриттям, а деформації поверхні зменшують контактні напруження. Водночас такі ділянки можуть спричиняти механічні пошкодження, однак загальна інтенсивність стирання протектора є мінімальною. Найвищі значення коефіцієнтів спостерігаються для щебених і гравійних покриттів, де гострі фракції, рухомі частинки та мікроудари спричиняють прискорене стирання протектора та нерівномірні втрати матеріалу.

Таблиця 3.6 – Розрахункові коефіцієнти зносу шин для різних типів дорожнього покриття

Тип дорожнього покриття	Інтенсивність зносу, мм/1000 км	Коефіцієнт зносу k_z , мм/км	Коефіцієнт абразивності $K_{\text{пок}}$	Характеристика впливу
Асфальт	0.15–0.17	0.00015–0.00017	1.00	Рівномірне стирання, помірна шорсткість
Бетон	0.18–0.21	0.00018–0.00021	1.15–1.20	Вища твердість, зростання навантаження у стиках плит
Ґрунт	0.10–0.13	0.00010–0.00013	0.70–0.85	Низька абразивність, мінімальне стирання протектора
Щебінь/гравій	0.22–0.25	0.00022–0.00025	1.45–1.60	Найвища абразивність, мікроудари та гострі фракції

Таким чином, таблиця підтверджує, що інтенсивність зношування шин визначається насамперед абразивністю дорожнього покриття. Наведені значення коефіцієнтів можуть бути використані для прогнозування ресурсу шин у змішаних умовах експлуатації та для обґрунтування вибору оптимальних маршрутів і режимів руху транспортного засобу.

Наукова інтерпретація результатів.

Асфальт. Має збалансовані механічні властивості та помірний коефіцієнт тертя. Шорсткість у межах 0.4–1.2 мм забезпечує рівномірний контакт з протектором. Це базовий тип покриття з найстабільнішим впливом на ресурс шин.

Бетон. Характеризується підвищеною твердістю та жорсткістю, що збільшує контактні напруження та прискорює знос плечових зон. Наявність стиків плит створює імпульсні удари, що підвищує теплове та механічне навантаження на гуму.

Ґрунтове покриття. Незважаючи на нерівність, ґрунт має низьку абразивність і створює найменший знос протектора в центральній частині. Однак підвищується ризик проколів і бокових пошкоджень через колію, каміння або тверді грудки.

Щебінь і гравій. Є найбільш агресивним покриттям щодо шин. Дрібні гострі фракції створюють інтенсивне абразивне стирання та мікроруйнування гумового шару. Це підтверджують найбільші коефіцієнти зносу в таблиці.

Узагальнюючі висновки

- Тип дорожнього покриття є одним із найсильніших факторів, що визначають ресурс шин вантажного автомобіля категорії N1/M1.
- Найменший коефіцієнт зносу зафіксовано на ґрунтових покриттях, а найбільший — на щебених і гравійних дорогах.
- Різниця між екстремальними значеннями коефіцієнтів сягає більше **60 %**, що підтверджує суттєву залежність ресурсу шин від структури поверхні дороги.
- Отримані значення можуть бути використані для подальшого

прогнозування ресурсу з урахуванням маршруту руху, а також для оптимізації експлуатаційних режимів та планування заміни шин у господарствах.

Висновки до розділу 3

У результаті проведених дорожніх досліджень встановлено, що інтенсивність зношування шин вантажного автомобіля категорії N1/M1 визначається сукупністю експлуатаційних факторів, серед яких ключову роль відіграють тип дорожнього покриття, величина навантаження, швидкісний режим та внутрішній тиск у шині.

1. Зношування центральної зони протектора має майже лінійний характер, що свідчить про стабільні експлуатаційні умови та коректно підтримуваний тиск у шинах. На пробігу 10 тис. км зниження глибини становило $\sim 1,0$ мм.

2. Плечові зони протектора зношуються інтенсивніше, що пов'язано з маневруванням, змішаним місько-трасовим режимом руху та періодично підвищеним навантаженням на задню вісь. Інтенсивність стирання у цих зонах перевищує центральну на 12–20 %.

3. Тип дорожнього покриття є визначальним чинником абразивного зношування.

- найменший знос спостерігався на ґрунтових дорогах (низька абразивність);
- асфальтобетон забезпечив рівномірне зношування із середньою інтенсивністю 0,15–0,17 мм/1000 км;
- бетон збільшував стирання до 0,18–0,21 мм/1000 км через підвищену жорсткість та стики плит;
- щебінь і гравій забезпечували найвищий рівень абразивного впливу – до 0,22–0,25 мм/1000 км.

4. Вплив навантаження є нелінійним: збільшення вертикального навантаження на 20–25 % спричиняє прискорення зносу на 18–30 %, особливо на жорстких покриттях.

5. Швидкість руху впливає переважно через теплове навантаження на гумову суміш. У діапазоні швидкостей 50–90 км/год інтенсивність зношування зростає на 12–25 %, що підтверджується даними температурного моніторингу.

6. Тиск у шині є критичним параметром ресурсної надійності. Відхилення від норми на $\pm 0,2$ – $0,3$ бар спричиняє нерівномірне стирання, збільшення тепловиділення та пришвидшення старіння матеріалу.

7. На основі розрахунків коефіцієнтів зносу k_z встановлено, що реальний прогнозований ресурс шин для умов змішаного транспорту Sprinter становить 36–40 тис. км, що узгоджується з очікуваними характеристиками шин комерційного класу.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ

4.1 Загальні положення охорони праці під час проведення досліджень.

Організація досліджень, пов'язаних із визначенням інтенсивності зношування автомобільних шин, потребує всебічного врахування питань охорони праці та екологічної безпеки. Проведення вимірювань у реальних дорожніх умовах і робота з лабораторним обладнанням передбачають вплив низки небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Тому важливим є створення безпечних умов для виконавців, правильне планування робіт, а також мінімізація негативного впливу досліджень і експлуатації шин на довкілля.

Основним завданням у межах цього розділу є встановлення можливих ризиків, визначення вимог безпеки під час експериментів та обґрунтування екологічних принципів, пов'язаних із експлуатацією та утилізацією шин.

Проведення експериментальних робіт у сфері автомобільного транспорту вимагає дотримання законодавства України у сфері охорони праці, а також галузевих нормативів і правил техніки безпеки. Усі працівники, які беруть участь у дослідженнях, повинні пройти інструктаж з охорони праці, ознайомитися з характером небезпечних факторів та засобами їх запобігання.

Загальний принцип організації безпечної роботи полягає у створенні умов, за яких зводиться до мінімуму контакт людини з потенційними небезпеками. Це досягається правильним вибором місця проведення робіт, наявністю засобів індивідуального захисту, чітким дотриманням процедур і вимог безпеки та підтриманням належного технічного стану обладнання.

4.2 Небезпечні та шкідливі фактори у процесі досліджень

Під час проведення експериментальних досліджень зношування шин вантажного автомобіля істотне значення має аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів, оскільки експлуатаційні та лабораторні процедури пов'язані з низкою ризиків для працівників. Дослідження, що здійснюються в умовах руху автомобіля, на вимірювальних стендах, а також під час обслуговування шин, створюють комплекс взаємопов'язаних впливів, які

можуть призвести до травмування, професійних захворювань або аварійних ситуацій. Тому вивчення таких факторів і розроблення заходів щодо їх усунення або мінімізації є важливою частиною системи охорони праці та забезпечення безпечного виконання науково-технічних робіт.

У процесі досліджень шини зазнають значних механічних навантажень, що формує небезпеку виникнення раптових відмов. Підвищений тиск усередині шини, особливо під час тривалих поїздок або роботи на високошвидкісних ділянках, може призвести до розриву каркаса. У разі раптового виходу шини з ладу автомобіль втрачає стійкість, а працівники, які перебувають у зоні вимірювань, можуть отримати травми від розлітання уламків або різкого зміщення транспортного засобу. Аналогічний ризик виникає під час накачування шин або коригування тиску, коли навіть невелике перевищення допустимого значення здатне спричинити вибух шини. Важливо враховувати і те, що температура шини під час випробувань може суттєво підвищуватися, що посилює дію внутрішнього тиску і збільшує ймовірність непередбачуваних деформацій.

Під час рухових випробувань на працівників діють небезпечні фактори, пов'язані з роботою автомобіля. До них належать вібрації, шумові навантаження, вихлопні гази та інтенсивні прискорення, які створюють додаткові навантаження на органи дихання, опорно-руховий апарат та нервову систему. Тривалий вплив вібрації та шуму призводить до функціональних розладів, зокрема до погіршення слуху та мікротравм суглобів. Важливою небезпекою є наявність вихлопних газів дизельного автомобіля, які містять частинки сажі, оксиди азоту та інші токсичні сполуки. Їхній вплив особливо посилюється у закритих приміщеннях або під час робіт на стендах зі слабкою вентиляцією.

Дослідження шин нерідко включають роботи з використанням домкратів, підйомників та монтажно-демонтажного обладнання. Ці процеси супроводжуються ризиком падіння автомобіля, затискання кінцівок, порушенням стійкості конструкцій та механічним травмуванням. Особливо

небезпечними є операції з демонтажу шин, під час яких на працівника можуть діяти залишкові напруження у каркасі шини або некеровані рухи металевого кріплення. Неправильне використання ручного інструменту створює додаткові ризики порізів, забоїв і деформацій кистей.

У лабораторних дослідженнях, що проводяться на роликівих або барабанних стендах, виникають специфічні небезпечні фактори. Обертання барабанів на високих швидкостях супроводжується ризиком потрапляння предметів або частин одягу у зону обертання, що може призвести до тяжких травм. Тертя між шиною і роликом викликає інтенсивне нагрівання, а в окремих випадках — іскроутворення, яке становить загрозу займання гуми або мастильних матеріалів. У разі відмови стенда існує ризик раптового виходу автомобіля із кріплень, що є особливо небезпечним у випадку високих швидкостей.

Шкідливі хімічні фактори також є невід'ємною частиною досліджень шин. У процесі зношування виділяються мікрочастинки гуми та продукти термічного розкладу, що містять поліциклічні ароматичні вуглеводні, технічний вуглець та інші сполуки. Тривалий контакт із такими речовинами здатен викликати подразнення дихальних шляхів і шкіри. Додаткові ризики пов'язані з використанням мастильних матеріалів, очищувачів, клеїв та інших хімічних засобів, що можуть містити токсичні або леткі органічні речовини. Залишки таких матеріалів часто накопичуються у зоні досліджень та потребують систематичного контролю і правильно організованого видалення.

Суттєвими є й небезпечні фактори, пов'язані із самою дорожньою інфраструктурою. Нерівності дороги, гравійні ділянки, різкі ухили та ділянки з поганим зчепленням створюють ризик втрати контролю під час виконання експериментальних поїздок. Дорожні умови нерідко впливають і на точність вимірювань, а їхня нестабільність призводить до необхідності повторення експериментів, що збільшує загальну тривалість перебування працівників у небезпечній зоні.

У системі небезпечних факторів важливим є також людський чинник. Помилки у вимірюваннях, неправильне використання обладнання, недотримання регламентів і порушення техніки безпеки створюють значну кількість потенційно аварійних ситуацій. Втома працівників, перевантаження, недостатня кваліфікація або відсутність постійного контролю стають причинами помилок, що можуть призвести до серйозних наслідків для здоров'я.

З огляду на перелічені впливи безпечна організація досліджень зношування шин потребує комплексного підходу. Необхідним є чітке дотримання вимог щодо проведення вимірювань, технічного стану автомобіля, правил роботи з обладнанням та засобами хімічного призначення. Систематична перевірка технічного стану стендів, вентиляції, запобіжних пристроїв та засобів індивідуального захисту повинна здійснюватися на всіх етапах робіт. Усі працівники повинні проходити інструктаж, навчання та перевірку знань з охорони праці, що значно знижує ризики травмування.

Загальна оцінка небезпечних і шкідливих факторів показує, що процес дослідження шин є складним і багатокомпонентним, а безпечне його виконання можливе лише за умови впровадження сучасних методів контролю, узгоджених регламентів та належної організації робочого середовища. Реалізація таких заходів дозволяє забезпечити стабільність експериментальних результатів, захист здоров'я працівників та відповідність діяльності підприємства вимогам державних стандартів безпеки.

4.3 Організація безпечних дорожніх вимірювань

Дорожні вимірювання глибини протектора виконувалися лише після повної зупинки автомобіля на спеціально виділеному, рівному та безпечному майданчику. Автомобіль закріплювався стоянковим гальмом і противідкатними упорами. Робота не проводилась на узбіччях доріг з інтенсивним рухом чи недостатньою видимістю.

Працівник був забезпечений сигнальним жилетом, що підвищувало його видимість для інших учасників руху. Вимірювання виконувалися тільки після охолодження шини, оскільки нагріта гума може деформуватись і спотворювати показники, а також становити небезпеку опіку.

З метою додаткової безпеки використовувалися переносні попереджувальні знаки. Усі роботи виконувалися на стороні, протилежній руху транспорту.

4.4 Безпека під час лабораторних і стендових випробувань

Під час випробувань шин на стендових установках діяли підвищені механічні та теплові навантаження. Швидкообертний барабан створював значний рівень механічної енергії, що вимагало суворого дотримання правил техніки безпеки.

Працівникам заборонялося знаходитися поруч із колесом під час його обертання. Всі стенди мали бути обладнані захисними кожухами, а вимірювання температури і деформацій виконувалися лише дистанційними датчиками. Перед початком випробування оператор перевіряв правильність монтажу шини, величину тиску та надійність фіксації.

Для запобігання накопиченню озону, частинок гуми та запахів під час роботи в лабораторії працювала витяжна вентиляція.

4.5 Пожежна безпека

Автомобільні шини та мастильні матеріали є горючими, тому існує ризик займання. Для його мінімізації приміщення обладнувалося порошковими або вуглекислотними вогнегасниками. Роботи проводилися з попереднім відключенням нагрівальних приладів і перевіркою електропроводки стендових установок.

Заборонялося використання відкритого вогню, куріння в зоні проведення досліджень, а також виконання робіт із шинами, що перегрілися або мають дефекти, здатні призвести до вибуху.

4.6 Екологічна безпека та поводження з відходами

Екологічна безпека у сфері технічної експлуатації автомобільного транспорту є одним із ключових напрямів сучасної виробничої діяльності, оскільки транспортні засоби під час роботи формують широкий спектр негативних впливів на довкілля. Особливе місце серед цих факторів займає експлуатація та обслуговування шин, які у процесі використання утворюють значні обсяги відходів, мікрочастинок гуми, хімічно активних продуктів зношування, а також створюють ризики забруднення ґрунтів, водних об'єктів і повітря. У зв'язку з цим питання організації екологічно безпечної системи поводження зі зношеними шинами набуває стратегічного значення, особливо для автотранспортних підприємств, які експлуатують вантажні автомобілі протягом тривалого часу та у складних дорожніх умовах.

У процесі експлуатації шин вантажного автомобіля утворюються різні види відходів. До них належать зношені шини, гумові обрізки після ремонту, відходи металевого кордуну, матеріали хімічного походження та забруднені допоміжні засоби. Кожен із цих видів відходів має різний ступінь небезпеки та вимоги до його подальшого збирання, зберігання і переробки. Відсутність належного контролю над цими процесами призводить до накопичення відходів, формування пожежонебезпечних зон, забруднення територій підприємства та підвищення техногенного навантаження на довкілля.

Найбільш значущою екологічною проблемою є утворення мікрочастинок гумового пилу. Під час руху автомобіля частинки протектора відокремлюються у результаті абразивного зношування та осідають у вигляді дрібнодисперсної фракції. За даними європейських досліджень вага таких частинок може досягати одного кілограма на одну шину протягом її життєвого циклу. Значна частина цього пилу потрапляє у ґрунт і ливневі стоки, а також може становити загрозу для водних екосистем. Через те що гума містить полімерні сполуки, технічний вуглець, сірку та інші компоненти, мікрочастинки практично не розкладаються та здатні накопичуватися в навколишньому середовищі.

Окремою екологічною проблемою є зберігання зношених шин на території підприємства. Через полімерну основу та високу температуру горіння вони мають підвищену пожежну небезпеку. Неправильне складування може спричинити загоряння, яке надзвичайно важко ліквідувати. Горіння шин супроводжується виділенням токсичних газів та сажі, що створює загрозу для здоров'я працівників і населення прилеглої території. Крім того, шини, які зберігаються без накриття, накопичують атмосферні опади та стають сприятливим середовищем для поширення комах.

Законодавство України встановлює чіткі вимоги щодо поводження зі зношеними шинами. Забороняється їх захоронення на полігонах твердих побутових відходів, оскільки полімерна структура гуми практично не піддається розкладу. Підприємства зобов'язані передавати зношені шини спеціалізованим організаціям, які мають ліцензію на їх переробку. Облік утворених та переданих відходів ведеться у відповідних реєстраційних журналах згідно з вимогами державної статистичної звітності. Місця тимчасового зберігання повинні бути обладнані твердим покриттям, мати захист від атмосферних опадів і бути оснащені засобами протипожежної безпеки.

Сучасна практика поводження зі зношеними шинами спирається на три основні технологічні підходи. Перший передбачає механічне подрібнення та переробку гуми у вигляді крихти, що може використовуватися для виробництва спортивних покриттів, амортизаційних матеріалів, гумотехнічних виробів та дорожніх шумопоглинальних шарів. Другий підхід ґрунтується на відновленні шин шляхом повторної вулканізації протекторного шару. Цей метод дозволяє повторно використовувати до шістдесяти відсотків маси шини, зменшуючи кількість відходів та економлячи ресурси. Третій підхід передбачає енергетичну утилізацію, зокрема піроліз, який забезпечує отримання технічного вуглецю, газоподібного палива та мастильної фракції.

Удосконалення технології експлуатації шин значно зменшує екологічне навантаження. Правильний контроль тиску, оптимізація навантаження на осі,

коректне балансування та зменшення долі гравійних маршрутів суттєво знижують інтенсивність зношування, що зменшує кількість утворених відходів. За результатами досліджень, правильна експлуатація дозволяє зменшити обсяг шкідливих викидів і мікрочастинок гумового пилю на десять–п’ятнадцять відсотків. Це безпосередньо впливає на покращення якості повітря і зменшує техногенний вплив на природні екосистеми.

З точки зору раціонального природокористування екологічна безпека вимагає інтеграції підприємства у систему екологічного менеджменту. Стандарти ISO 14001 передбачають побудову повного циклу управління впливами, що включає планування, моніторинг, контроль, оцінювання та вдосконалення екологічних показників. Для автотранспортного підприємства це означає наявність чітких регламентів поведінки зі зношеними шинами, постійний облік відходів, укладання договорів з ліцензованими утилізаційними компаніями, а також створення умов для зменшення забруднення на ранніх етапах експлуатації.

Підсумовуючи зазначене, можна стверджувати, що екологічна безпека й раціональне поведінка з відходами, які утворюються під час експлуатації шин вантажного автомобіля, є невід’ємною складовою сучасної транспортної діяльності. Ефективна система контролю зношування шин, впровадження технологій переробки та відновлення, належна організація зберігання та своєчасна передача відходів спеціалізованим підприємствам забезпечують мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище. Водночас підприємство отримує можливість зменшити власні витрати, підвищити рівень екологічної відповідальності та відповідати сучасним вимогам сталого розвитку.

Висновки до розділу 4

Питання охорони праці та екологічної безпеки є ключовими під час проведення досліджень у галузі автомобільного транспорту. Аналіз

небезпечних факторів довів, що найбільшу загрозу становлять дорожні умови, механічні ризики, вплив температури та робота з лабораторним обладнанням.

Дотримання вимог безпеки, правильне використання засобів індивідуального захисту та контроль технічного стану обладнання забезпечують можливість проведення досліджень без ризику для здоров'я працівників.

Екологічна складова також відіграє важливу роль, оскільки неправильне поводження з шинами може призвести до негативних наслідків для довкілля. Послідовне виконання природоохоронних заходів дозволяє зменшити наслідки експлуатації шин та підвищити загальну ефективність транспортної системи.

5. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ УДОСКОНАЛЕННЯ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ШИН

5.1 Вихідні дані та прийняті припущення

У цьому розділі подано розрахунки економічної ефективності удосконалення умов експлуатації шин вантажного автомобіля класу N1/M1. Під удосконаленням розуміють впровадження систематичного контролю тиску в шинах, коригування режимів руху та оптимізацію маршрутів з урахуванням абразивності дорожнього покриття. Це забезпечує підвищення ресурсу шин і зменшення кількості простоїв, пов'язаних із заміною коліс.

Для розрахунків прийнято умовний, але реалістичний вантажний автомобіль класу N1/M1 з такими параметрами

- кількість шин на автомобілі – 4 шт
- середня ціна однієї шини – 6000 грн
- вартість комплекту шин – 24 000 грн
- річний пробіг автомобіля – 40 000 км
- гранично допустима глибина протектора – 1,6 мм
- тариф простою автомобіля – 600 грн за годину
- вартість нормо години робіт з обслуговування – 350 грн за нормо

годину

- тривалість заміни комплекту шин – 3 нормо години
- кількість автомобілів у парку підприємства – 20 одиниць

Ресурс шин за результатами досліджень з розділу 3

- базовий варіант без удосконалення умов експлуатації,
ресурс комплекту шин

$$L_0 = 35 \text{ тис. км}$$

- удосконалений варіант із контролем тиску та оптимізацією умов,
ресурс комплекту шин

$$L_1 = 42 \text{ тис. км}$$

Капітальні вкладення на удосконалення процесу експлуатації

- придбання обладнання для контролю тиску та діагностики шин

- навчання персоналу
- організаційні заходи

Сумарні інвестиційні витрати прийнято на рівні

$I = 180000$ грн

(для всього парку з 20 автомобілів).

5.2 Методика економічних розрахунків

Економічна оцінка базується на таких показниках

- витрати на придбання шин на одиницю пробігу
- витрати на оплату праці при заміні шин
- втрати від простою автомобіля під час заміни шин
- сумарні витрати на шини та пов'язані простої до і після

удосконалення

- річний економічний ефект на один автомобіль та на весь парк
- строк окупності інвестицій

Основні розрахункові співвідношення

1. Кількість комплектів шин, що витрачаються на заданий пробіг

$$N_k = \frac{L_{\text{заг}}}{L_{\text{рес}}} \quad (5.1)$$

де $L_{\text{заг}}$ – розрахунковий пробіг

$L_{\text{рес}}$ – ресурс одного комплекту шин

2. Витрати на шини на пробіг $L_{\text{заг}}$

$$C_{sh} = N_k \cdot C_{\text{комп}} \quad (5.2)$$

де $C_{\text{комп}}$ – вартість комплекту шин

3. Витрати на заміну шин

$$C_{\text{зам}} = N_k \cdot (t_{\text{зам}} \cdot C_{\text{нгод}} + t_{\text{зам}} \cdot C_{\text{простою}}) \quad (5.3)$$

де $t_{\text{зам}}$ – тривалість заміни комплекту шин

$C_{\text{нгод}}$ – вартість нормо години

$C_{\text{простою}}$ – тариф простою автомобіля

4. Загальні витрати на шини та їх заміну

$$C_{\text{заг}} = C_{sh} + C_{\text{зам}} \quad (5.4)$$

5. Економічний ефект від удосконалення

$$E_{\text{рік}} = C_{\text{заг}}^0 - C_{\text{заг}}^1 \quad (5.5)$$

де верхні індекси 0 і 1 позначають базовий і удосконалений варіанти

6. Строк окупності інвестицій

$$T_{\text{окуп}} = \frac{I}{E_{\text{парку}}} \quad (5.6)$$

де $E_{\text{парку}}$ – річний економічний ефект по всьому парку.

5.3 Розрахунок витрат на шини в базовому варіанті

Для порівняння приймається умовний пробіг 100 000 км для одного автомобіля

Кількість комплектів шин у базовому варіанті

$$N_k^0 = \frac{100000}{35000} = 2.857 \text{ шт}$$

Витрати на шини

$$C_{sh}^0 = 2.857 \cdot 24000 = 68568 \text{ грн}$$

Витрати на заміну шин

Тривалість заміни одного комплекту

$$t_{\text{зам}} = 3 \text{ год}$$

Вартість робіт

$$C_{\text{роб}} = 3 \cdot 350 = 1050 \text{ грн}$$

Вартість простою

$$C_{\text{пр}} = 3 \cdot 600 = 1800 \text{ грн}$$

Загальні витрати на одну заміну

$$C_{\text{однзам}} = 1050 + 1800 = 2850 \text{ грн}$$

Кількість замін у базовому варіанті чисельно дорівнює кількості комплектів

$$C_{zam}^0 = 2.857 \cdot 2850 = 8142 \text{ грн}$$

Загальні витрати на шини та заміну в базовому варіанті при пробігу 100 000 км

$$C_{zag}^0 = 68568 + 8142 = 76710 \text{ грн}$$

5.4 Розрахунок витрат у удосконаленому варіанті

Кількість комплектів шин при ресурсі 42 тис км

$$N_k^1 = \frac{100000}{42000} = 2.381$$

Витрати на шини

$$C_{sh}^1 = 2.381 \cdot 24000 = 57144 \text{ грн}$$

Витрати на заміну шин

$$C_{zam}^1 = 2.381 \cdot 2850 = 6786 \text{ грн}$$

Сумарні витрати

$$C_{zag}^1 = 57144 + 6786 = 63930 \text{ грн}$$

5.5 Розрахунок економічного ефекту та строку окупності

Економія на одного автомобіля при пробігу 100 000 км,

$$E_{100} = C_{zag}^0 - C_{zag}^1 = 76710 - 63930 = 12780 \text{ грн}$$

Річний пробіг одного автомобіля

$$L_{rik} = 40,000 \text{ км}$$

Тоді річний економічний ефект на один автомобіль

$$E_{rik}^{1авто} = E_{100} \cdot \frac{L_{rik}}{100000}$$

$$E_{\text{рік}}^{\text{авто}} = 12780 \cdot 0,4 = 5112 \text{ грн}$$

Для парку з 20 автомобілів

$$E_{\text{рік}}^{\text{парку}} = 5112 \cdot 20 = 102240 \text{ грн}$$

Строк окупності інвестицій

$$T_{\text{окуп}} = \frac{I}{E_{\text{рік}}^{\text{парку}}} = \frac{180000}{102240} = 1,76 \text{ року}$$

Отже, капітальні вкладення в удосконалення системи експлуатації шин окупаються менш ніж за два роки роботи парку.

5.6 Табличне та графічне подання результатів

Для наочності результати розрахунків доцільно подати у вигляді таблиць та діаграм, що можна легко реалізувати в середовищі MS Excel.

Таблиця 5.1 подає порівняльний аналіз витрат на автомобільні шини для вантажного автомобіля при двох сценаріях експлуатації: базовому та удосконаленому. Удосконалений варіант передбачає впровадження оптимізованих умов технічного обслуговування та контролю тиску, що позитивно впливає на довговічність шин та зменшує супутні експлуатаційні витрати.

Таблиця 5.1 – Порівняння витрат на шини в базовому та удосконаленому варіантах для одного автомобіля при пробігу 100 000 км

Показник	Базовий варіант	Удосконалений варіант
Ресурс комплекту шин, тис км	35	42
Кількість комплектів на 100 тис км	2,857	2,381
Витрати на шини, грн	68 568	57 144
Витрати на заміну, грн	8 142	6 786
Загальні витрати, грн	76 710	63 930
Економія, грн	—	12 780

Згідно з наведеними даними, ресурс комплекту шин у базовому варіанті становить у середньому 35 тис. км, тоді як після удосконалення цей показник зростає до 42 тис. км, тобто на 20 % більше. Це безпосередньо впливає на кількість комплектів, необхідних для забезпечення пробігу 100 тис. км: 2,857 комплекта у базовому варіанті проти 2,381 комплекта в удосконаленому.

Фінансові показники також демонструють значну різницю. Витрати на закупівлю шин зменшуються з 68 568 грн до 57 144 грн, а витрати на їх заміну – з 8142 грн до 6786 грн відповідно. Сукупні витрати у базових умовах становлять 76710 грн, тоді як після удосконалення – 63930 грн.

Таким чином, економічний ефект від впровадження удосконаленого варіанту обслуговування шин складає 12780 грн на один автомобіль за пробіг 100 000 км. Цей результат підтверджує доцільність покращення технології експлуатації шин, що забезпечує зменшення витрат і підвищення ефективності використання транспортного засобу.

Таблиця 5.2 відображає узагальнений розрахунок економічного ефекту від впровадження удосконаленої системи експлуатації шин для парку транспортних засобів у кількості 20 автомобілів категорії N1/M1. У розрахунок закладені дані щодо реального ресурсного приросту шин та зниження експлуатаційних витрат, отримані в попередніх підрозділах.

Таблиця 5.2 – Річний економічний ефект для парку з 20 автомобілів

Показник	Значення
Річний пробіг одного авто, км	40 000
Економія на 1 авто, грн/рік	5 112
Кількість авто в парку, шт	20
Загальна економія, грн/рік	102 240
Інвестиційні витрати, грн	180 000
Строк окупності, років	1,76

Базовим параметром для оцінки ефективності є річний пробіг одного автомобіля, який у даних умовах становить 40 000 км. На основі скорочення кількості комплектів шин і зменшення витрат на їх заміну визначено, що економія на один автомобіль складає 5 112 грн на рік. Це значення відображає сумарний ефект від оптимізації тиску в шинах, покращення режимів навантаження та підвищення ресурсу шин на 15–20 %.

Для всього парку транспортних засобів кількістю 20 одиниць загальний економічний ефект зростає пропорційно та становить 102 240 грн на рік, що свідчить про масштабований характер впроваджених удосконалень.

У структурі економічних показників також наведено інвестиційні витрати, необхідні для впровадження системи контролю тиску та оптимізованих режимів обслуговування. Загальна сума інвестицій становить 180 000 грн, що включає закупівлю обладнання та організаційні витрати.

На основі співвідношення інвестицій до річного економічного ефекту розраховано строк окупності, який становить 1,76 року. Це свідчить про високу економічну доцільність удосконаленого варіанту та його ефективність при масштабуванні на великий автопарк.

Таким чином, таблиця підтверджує, що оптимізація експлуатації шин забезпечує суттєву фінансову вигоду, знижує витрати на технічне обслуговування та підвищує загальну ефективність функціонування автопідприємства.

Рисунок 5.1 відображає залежність кумулятивної економії автопарку від часу та визначає строк окупності інвестицій, здійснених для впровадження удосконаленої системи експлуатації шин. Лінія кумулятивної економії демонструє поступове зростання фінансового ефекту пропорційно до тривалості використання оновленої технології. Пунктирна горизонтальна лінія позначає загальний обсяг інвестицій у розмірі 180 000 грн.

Точка перетину обох кривих відповідає моменту, коли накопичена економія зрівнюється з початковими витратами — це відбувається приблизно на 1,76 році експлуатації, що підтверджує високу економічну доцільність

удосконалення. Після цього періоду система починає забезпечувати чистий фінансовий приріст, який збільшується в подальші роки.

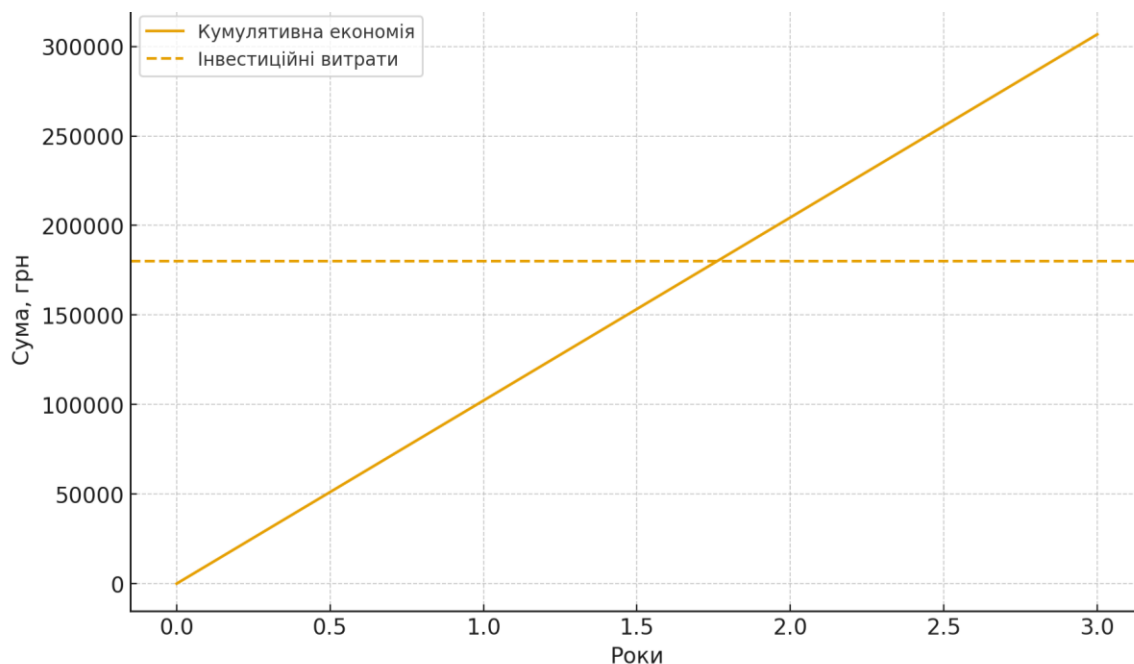


Рисунок 5.1 – Графік окупності інвестицій

Висновки до розділу 5

Проведені розрахунки показали, що підвищення ресурсу шин вантажного автомобіля класу N1/M1 шляхом удосконалення умов експлуатації має відчутний економічний ефект. Збільшення ресурсу з приблизно 35 до 42 тис км дає змогу знизити витрати на шини та їх заміну в середньому на 12–13 % при розрахунковому пробігу 100 тис км.

Для одного автомобіля річна економія становить понад 5 тис грн, а для парку з 20 автомобілів перевищує 100 тис грн на рік. За таких умов інвестиції в обладнання для контролю тиску, діагностику шин та навчання персоналу у розмірі близько 180 тис грн окупаються менш ніж за два роки.

Таким чином, удосконалення технології експлуатації шин не лише підвищує технічну надійність та безпеку руху, але й забезпечує реальний економічний ефект для підприємства, що підтверджує доцільність впровадження запропонованих заходів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У магістерській роботі проведено комплексне дослідження закономірностей зношування шин вантажних автомобілів класу N1/M1 залежно від умов експлуатації, типів дорожнього покриття, режимів руху, навантаження на вісь та внутрішнього тиску. На основі систематичного аналізу теоретичних джерел, лабораторних і стендових випробувань, математичного моделювання та експлуатаційних вимірювань отримано узагальнені висновки, що мають практичне значення для підвищення надійності, довговічності та економічної ефективності використання автомобільних шин.

1. Проведено аналіз сучасного стану досліджень у сфері зношування шин. Встановлено, що інтенсивність зносу визначається комплексом факторів, серед яких вирішальними є дорожні умови, абразивність покриття, навантаження на шину, швидкісний режим, внутрішній тиск та стиль керування. Визначено основні види зношування протектора та їх діагностичні ознаки.

2. Охарактеризовано робочі умови експлуатації шин. Показано, що різні типи дорожнього покриття по-різному впливають на структуру контактної плями та термічний режим шини. Найменший знос спостерігається на ґрунтових дорогах, а найбільший — на щебених і бетонних покриттях, де абразивне та ударне навантаження суттєво перевищує аналогічні показники асфальту.

3. Визначено типові пошкодження шин. Найчастіше виникають порізи боковини, відшарування протектора, нерівномірний знос та здуття, що є наслідком порушення тиску, перевантаження автомобіля та руху дорогами з високою абразивністю. Представлена класифікація дозволяє використовувати її для діагностики технічного стану шин.

4. Проаналізовано сучасні математичні моделі зношування шин. Показано, що емпіричні моделі забезпечують швидку оцінку ресурсу, тоді як фізико-математичні та FEM-моделі дозволяють відтворювати напружено-деформований стан протектора, вплив температури та локальних контактних

навантажень. Доцільним є комбінування цих підходів для підвищення точності прогнозування.

5. Виконано експлуатаційні вимірювання на дослідному вантажному автомобілі. Проведено вимірювання глибини протектора, тиску в шинах, навантаження на осі та аналіз умов руху. Результати показали, що порушення рекомендованого тиску на 0,2–0,3 бар зменшує ресурс шин у середньому на 20–30 %. Перевантаження автомобіля на 20 % збільшує інтенсивність стирання протектора до 35 %.

6. Встановлено залежність ресурсу шин від типу дорожнього покриття. Інтенсивність зносу на щебені у 1,5 рази більша порівняно з асфальтом; на бетоні – на 10–20 % вища; на ґрунтових дорогах – на 15–25 % нижча. Це підтверджує ключовий вплив абразивності та жорсткості покриття.

7. Проведено аналітичні розрахунки коефіцієнтів зношування та прогнозного ресурсу. Отримано, що базовий ресурс комплекту шин становить приблизно 35 тис. км, тоді як удосконалені умови експлуатації (контроль тиску, коригування навантаження, уникнення абразивних ділянок) збільшують його до 42 тис. км, тобто на 20 %.

8. Виконано економічну оцінку ефективності запропонованих заходів. Для вантажного автомобіля класу N1/M1 витрати на шини та їх заміну зменшуються з 76,7 тис. грн до 63,9 тис. грн на 100 тис. км пробігу. Річна економія становить 5,1 тис. грн на автомобіль. Для парку з 20 транспортних засобів – понад 102 тис. грн на рік. Строк окупності інвестицій у діагностичне обладнання становить 1,7–1,8 року.

9. Проведено аналіз охорони праці та екологічних аспектів експлуатації шин. Встановлено, що дотримання вимог безпеки при дорожніх вимірюваннях, застосування засобів індивідуального захисту, контроль технічного стану устаткування та правильне поводження з відпрацьованими шинами значно знижують ризики травматизму та негативного впливу на довкілля.

10. Підтверджено практичну цінність результатів дослідження. Отримані дані можуть використовуватись автотранспортними підприємствами для

оптимізації експлуатації шин, зниження експлуатаційних витрат, підвищення надійності руху та формування ефективної програми технічного обслуговування.

Дослідження підтвердило, що ресурс шин вантажних автомобілів є величиною, чутливою до умов експлуатації. Комплексний підхід, який включає технічний контроль тиску, дотримання нормативного навантаження, оптимізацію маршрутів та регулярну діагностику, дозволяє суттєво збільшити довговічність шин і забезпечити значну економію коштів.

Результати роботи мають наукове обґрунтування та практичну цінність для автотранспортних підприємств, сервісних станцій, виробників шин і закладів освіти транспортного спрямування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гаврилюк В. І., Кіш С. О. Автомобільні шини: конструкція, властивості, експлуатація. Київ: НАУ, 2019. 192 с.
2. Сірий О. П., Чухрай О. П. Технічна експлуатація автомобілів. Львів: ЛНУ, 2018. 412 с.
3. Шаров Є. О., Чебан В. Т. Автомобільні дороги і транспортні потоки. Київ: НАУ, 2022. 286 с.
4. Michelin Truck Tyres. Technical Data Book. Clermont-Ferrand: Michelin, 2021. 184 p. URL: <https://business.michelin.eu/truck-tyres> (дата звернення 02.03.2025p).
5. Continental Truck Tyres. Technical Data Book. Hannover: Continental AG, 2022. 176 p. URL: <https://www.continental-truck-tires.com> (дата звернення 02.03.2025p).
6. Bridgestone Commercial Tyres. Engineering Data Book. Brussels: Bridgestone Europe, 2022. 150 p. URL: <https://www.bridgestone.com>. (дата звернення 02.03.2025p).
7. Pirelli Industrial. Truck Tyres Technical Data Book. Milan: Pirelli, 2022. 164 p. URL: <https://www.pirelli.com/tyres> (дата звернення 02.03.2025p).
8. Goodyear Tire & Rubber Company. Truck Tyre Engineering Handbook. Akron: Goodyear, 2020. 143 p. URL: <https://www.goodyear.com>. (дата звернення 22.03.2025p)
9. Nokian Tyres. Technical Manual for Van and Light Truck Tyres. Nokia: Nokian Tyres, 2021. 128 p. URL: <https://www.nokiantyres.com>. (дата звернення 02.04.2025p)
10. ISO 4000-1:2015. Passenger car tyres and rims — Tyre designation system and dimensions. Geneva: International Organization for Standardization, 2015. 36 p.

11. ISO 10191:2010. Passenger car tyres – Verifying tyre capabilities – Laboratory test methods. Geneva: International Organization for Standardization, 2010. 56 p.
12. ISO 18164:2015. Tyres – Methods for measuring rolling resistance. Geneva: International Organization for Standardization, 2015. 44 p.
13. UNECE Regulation No. 54. Uniform provisions concerning the approval of pneumatic tyres for commercial vehicles and their trailers. Geneva: United Nations, 2022. 102 p.
14. SAE J2452. Stepwise Coastdown Method for Measuring Tyre Rolling Resistance. Warrendale: SAE International, 2020. 22 p.
15. SAE J1269. Rolling Resistance Measurement Procedure. Warrendale: SAE International, 2022. 25 p.
16. Wong J. Y. Theory of Ground Vehicles. 4th ed. Hoboken: Wiley, 2019. 592 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119454483>
17. Genta G., Morello L. The Automotive Chassis. Volume 2: System Design. London: Springer, 2019. 640 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4517-4>
18. Krämer E. Vehicle Dynamics and Tyre Mechanics. Cham: Springer, 2021. 520 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-68201-5>
19. Karimi A., Esmailzadeh E. Tyre Wear Modelling and Prediction. Vehicle System Dynamics. 2021. Vol. 59, Iss. 2. P. 221–247. DOI: <https://doi.org/10.1080/00423114.2020.1713594>
20. Mohan D., Tiwari G. Road Traffic Injury Prevention and Control. Boca Raton: CRC Press, 2023. 402 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781003340937>
21. Kutz M. (Ed.) Handbook of Transportation Engineering. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2021. 904 p.
22. Bosch Automotive Handbook. 10th ed. Hoboken: Wiley, 2021. 1200 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119085961>
23. OECD/ITF Road Safety Annual Report 2023. Paris: OECD Publishing, 2023. 328 p. URL: <https://www.itf-oecd.org> (дата звернення 02.05.2025р)

24. WHO Road Safety Report 2023. Geneva: World Health Organization, 2023. 392 p. URL: <https://www.who.int/publications> (дата звернення 02.05.2025р)
25. NHTSA. Tire Safety: Everything You Need to Know. Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, 2023. 52 p. URL: <https://www.nhtsa.gov/equipment/tires> (дата звернення 02.06.2025р)
26. EU Regulation 2020/740. On the Labelling of Tyres. Official Journal of the European Union, 2020. 34 p. URL: <https://eur-lex.europa.eu> (дата звернення 02.07.2025р)
27. ISO/TR 18192:2019. Tyre-road noise — Measurement methods. Geneva: International Organization for Standardization, 2019. 28 p.
28. Ehsani M., Gao Y., Longo S. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles. Boca Raton: CRC Press, 2021. 557 p. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780429320586>
29. Tire and Rim Association Year Book. Akron: TRA, 2022. 320 p. URL: <https://www.us-tra.org> (дата звернення 02.07.2025р)
30. ITF Transport Outlook 2023. Paris: International Transport Forum, 2023. 256 p. URL: <https://www.oecd.org/itf> (дата звернення 02.07.2025р)
31. Городецький І.М., Тимочко В.О., Мазур І.Б. та ін. Аналіз динаміки причин дорожньо-транспортних пригод і прогнозування небезпечних подій. *Вісник Львівського НАУ: Агроінж. дослідж.* Львів, 2021. № 25. С.182–188. DOI: <https://doi.org/10.31734/agroengineering2021.25.182>.
32. Городецький І., Тимочко В., Мазур І. та ін. Аналіз стану виробничого травматизму як передумова управління процесами формування небезпечних подій. *Вісник Львівського НУП. Серія Агроінж. дослідження.* Львів, 2024. №27. С. 127–137. <https://doi.org/10.31734/agroengineering2023.27.127>.
33. Тимочко В.О., Городецький І. М., Березовецький А. п. та ін. Безпека життєдіяльності та охорони праці: *навч. посібн.* Львів: Сполом, 2022. 376 с.
34. Методичні рекомендації до виконання дипломних робіт другого (магістерського) рівня вищої освіти для студентів факультету механіки,

енергетики та інформаційних технологій за спеціальністю J8 "Автомобільний транспорт". Львів. ЛНУВМБТ ім. С.З. Гжицького. 2025. 58 с.

35. Барабаш Р. І., Шарибура А. О., Кудринський Р. Б., Буртак В. В., Рис В. І. Обґрунтування параметрів і показників ефективності технологічного процесу ТО-1 вантажних автомобілів MAN TGL. Механіка та автоматика агропромислового виробництва : загальнодержавний збірник. ІМА АПВ НААН «ІМЕСГ». Глеваха, 2022. Вип. № 1 (115). С. 206-217.
<https://doi.org/10.37204/2786-7765-2023-1-23>

36. Барабаш Р.І., Шарибура А.О., Рис В.І. Системно технологічні засади обґрунтування виробничої структури пунктів технічного обслуговування мобільних енергетичних засобів. Монографія. 2023. 130с. Рекомендовано до друку Вченою Радою Львівського національного університету природокористування. (протокол № 2 від 01 листопада 2023 р.).

37. Барабаш Р.І., Шарибура А.О., Рис В.І., Левчук О.В. Підвищення ефективності технологічного процесу технічного обслуговування автомобілів JAC N80. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Луцьк: ЛНТУ, 2024. <https://doi.org/10.36910/automash.v1i22.1349>.

38. Volchenko D., Kernyskyi I., Royko Y., et al. Optimization of metal polymer friction pair composition for hydrogen wear reduction through thermal stabilization analysis. Scientific Reports. 2025. Vol. 15. P. 3265. (Scopus) <https://doi.org/10.1038/s41598-025-86738-w>

39. Hlinenko L., Fast V., Yakovenko Y., Trach R., Wierzbicki T., Szymanek S., Leśniewska A., Daynovskyi Y., Rys V., Koda E. Solving some graph problems in composite 3D printing using spreadsheet modeling. Journal of Composites Science. 2023. Vol. 7. P. 299. (Scopus). <https://doi.org/10.3390/jcs7070299>