

**ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА
ТА АРХІТЕКТУРИ**

Факультет інформаційних технологій та механічної інженерії

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра експлуатації та ремонту машин

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Дослідження факторів, що впливають на ресурс пневматичних
шин в процесі експлуатації вантажних автомобілів

Виконав: здобувач вищої освіти

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

спеціальності

274 «Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

освітньої програми

ОПП «Автомобільний транспорт»

(вид та назва освітньої програми)

групи АТ-19мп

Богдан Д'ЯЧЕНКО

(ім'я та прізвище здобувача)

Керівник Віктор СТАДНИК

(ім'я та прізвище)

Рецензент _____

(ім'я та прізвище)

Оцінка захисту кваліфікаційної роботи

(сума балів, оцінка ECTS, оцінка за національною шкалою,)

Секретар ЕК _____ / Віталій БОГОМОЛОВ /

(підпис)

(ім'я та прізвище секретаря ЕК)

Дніпро – 2020

**ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ БУДІВНИЦТВА
ТА АРХІТЕКТУРИ**

Інститут, факультет інформаційних технологій та механічної інженерії
 Кафедра експлуатації та ремонту машин
 Рівень вищої освіти другий (магістерський)
 Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр та назва)
 Освітня програма ОПП «Автомобільний транспорт»
(вид та назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____
к.т.н. Олександр ЛИХОДІЙ
 « 28 » вересня 2020 року

**З А В Д А Н Н Я
ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Богдану Д'ЯЧЕНКО
(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи Дослідження факторів, що впливають на ресурс пневматичних шин в процесі експлуатації вантажних автомобілів

керівник роботи Віктор СТАДНИК
(ім'я та прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ректора від « 28 » вересня 2020 року № 438-кв

2. Строк подання роботи до захисту « 08 » грудня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи Технічні характеристики: а) шини Michelin, Bridgestone, Continental, Goodyear; б) тривісні бетонозмішувачі Volvo; в) чотиривісні самоскиди Volvo

4. Зміст кваліфікаційної роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Фізика зносу при коченні. 2. Знос як сукупність експлуатаційних чинників.

3. Дослідження динаміки зносу шин комерційних вантажних автомобілів.

4. Підсумки роботи та пропозиції. Висновки.

Список використаних джерел. Додатки.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	завдання прийняв
2	<i>Ольга САКНО, доцент</i>		
3	<i>Ольга САКНО, доцент</i>		

6. Дата видачі завдання « 01 » вересня 2020 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Розрахунково-пояснювальна записка:		
1.1	<i>Вступ</i>	до 18.09	
1.2	<i>1. Фізика зносу при коченні.</i>	до 30.09	
1.3	<i>2. Знос як сукупність експлуатаційних чинників.</i>	до 7.10	
1.4	<i>3. Дослідження динаміки зносу шин комерційних вантажних автомобілів.</i>	до 14.10	
1.5	<i>4. Підсумки роботи та пропозиції.</i>	до 20.10	
1.6	<i>Висновки</i>	до 28.10	
1.7	<i>Список використаних джерел</i>	до 6.11	
1.8	<i>Додатки</i>	до 12.11	
2	Презентаційний матеріал	до 25.11	
3	Оформлення кваліфікаційної роботи магістра	до 2.12	
4	Підготовка до переддипломного захисту	з 10.12	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

/ Богдан Д'ЯЧЕНКО /

(ім'я та прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

/ Віктор СТАДНИК /

(ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи на тему «Дослідження факторів, що впливають на ресурс пневматичних шин в процесі експлуатації вантажних автомобілів» складається із 94 аркушів формату А4, на яких містяться 4-ри розділи, 10 таблиць, 20 рисунків, 33 джерела інформації.

Об'єкт дослідження. Пневматичні шини фірм Michelin, Bridgestone, Continental, Goodyear, застосовувані на тривісних бетонозмішувачах Volvo та чотиривісних самоскидах Volvo.

Предмет дослідження. Процес зміни ресурсу пневматичних шин комерційних автомобілів в процесі їх технічної експлуатації.

За мету кваліфікаційної роботи прийнято удосконалення доступної до впровадження на автопідприємствах розрахункової методики, що дозволяє прогнозувати довговічність пневматичних шин комерційних автомобілів в певних умовах експлуатації і режимах роботи.

Методи дослідження. масиви даних, отриманих шляхом періодичних вимірів залишкової висоти рисунка протектора шин комерційних автомобілів.

Наукова новизна отриманих результатів. Складається в теоретичному обґрунтуванні способу прогнозування ресурсу шин комерційних автомобілів.

Практичне значення одержаних результатів. Удосконалено розрахункову методику, спрямованої на оцінку довговічності автомобільної шини, адаптованої до застосування в умовах експлуатації. Матеріали магістерської роботи впроваджено в ДВНЗ ПДАБА (м. Дніпро) при проведенні лекційній та практичних робіт з дисципліни «Технічна експлуатація автомобілів».

Результати роботи можуть бути використані на підприємствах автомобільного транспорту, так як безпека руху багато в чому залежить від визначення періодичності контролю технічного стану автомобілів.

АВТОМОБІЛЬ, ШИНА, ЗНОС, ТЕХНІЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ, МЕТОДИКА

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. ФІЗИКА ЗНОСУ ПРИ КОЧЕННІ	9
1.1. Дослідження в області тертя кочення.	9
1.2. Механізми стирання еластомерів	15
1.3. Контактні методики розрахунку інтенсивності зносу автомобільних шин.....	22
1.3.1. Розрахунок за спрощеною втомною моделлю	22
1.3.2. Розрахунок за втомною моделлю з урахуванням дотичних навантажень	24
1.3.3 Розрахунок за комплексною моделлю з урахуванням еволюції контактних характеристик.....	25
Висновок за розділом 1	26
2. ЗНОС ЯК СУКУПНІСТЬ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ЧИННИКІВ	27
2.1. Вплив дорожньо-кліматичних чинників на інтенсивність зносу та ресурс автомобільних шин	27
2.1.1. Вплив умов експлуатації	27
2.1.2. Вплив дорожніх умов.....	28
2.1.3. Вплив кліматичних умов	32
2.2. Експлуатаційні чинники у динаміці зносу	34
2.2.1. Вплив бічного відведення	34
2.2.2. Вплив швидкості поступового руху	37
2.2.3. Вплив режиму роботи колеса.....	37
2.2.4. Вплив дотичних навантажень	38
2.2.5. Вплив нормального навантаження	40
2.2.6. Вплив внутрішнього тиску.....	41
2.2.7. Вплив циклічно змінних дотичних навантажень.....	42
2.3. Коригування ресурсу шин за коефіцієнтами експлуатаційних та дорожніх умов.....	45
2.3.1. Зміст методики, нормативні значення коефіцієнтів	45

2.3.2. Перевірка методики на прикладі шин комерційних вантажівок.....	49
Висновок за розділом 2.....	52
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЗНОСУ ШИН КОМЕРЦІЙНИХ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ	54
3.1. Зміст та умови проведення експерименту.....	54
3.1.1. Об'єкт дослідження.....	54
3.1.2. Методологія експерименту	55
3.2. Результати експерименту	57
3.2.1. Етап приробітку.....	58
3.2.2. Етап усталеного зносу	60
3.2.3. Етап критичного зносу.....	62
Висновок за розділом 3	64
4. ПІДСУМКИ РОБОТИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	66
4.1. Пропозиції відносно вдосконалення методики коефіцієнтів коригування.....	66
4.1.1. Розробка коефіцієнтів коригування	67
4.2. Основні наукові результати і рекомендації.....	72
4.2.1. Рекомендації щодо організації шинного сервісу	72
4.2.2. Рекомендації щодо попередньої оцінки технічного стану транспортного засобу за виглядом та інтенсивністю зношування пневматичних шин ..	
4.2.3. Рекомендації щодо подальшого вдосконалення розрахункової методики.....	75
ВИСНОВКИ.....	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	80
ДОДАТКИ.....	83
Додаток А. Технічна характеристика рухомого складу	83
Додаток Б. Характеристики шин	90
ВІДОМІСТЬ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ МАГІСТРА	94

ВСТУП

Актуальність. На основі ряду літературних джерел, а так само ґрунтуючись на узагальненні практичного досвіду, можна стверджувати, що в умовах сучасного комерційного автотранспорту від 90 до 97% всіх шин виходять з експлуатації через знос. Вкрай низькі на тлі цих цифр відсотки критичних пошкоджень шини і прихованого виробничого браку, що призвів до неможливості подальшої експлуатації [1, 2, 3].

Необхідність прогнозування зносу шини, спрощення та впровадження даної процедури у виробничу практику можна розглядати в декількох ключових аспектах. Так, з точки зору самої експлуатації автомобіля, шина – кінцевий елемент, в якому знаходять реалізацію всі процеси, спрямовані на рух автомобіля. Динамічність і ефективність гальмування, керованість і курсова стійкість, паливна економічність і екологічна безпека ось деякі, але найважливіші з експлуатаційних якостей автомобіля, що залежать від шини, і необхідно залежать від її стану [1, 2, 3, 4].

З економічної точки зору автомобільні шини є однією з ключових видаткових статей будь-якого підприємства автомобільного транспорту. Не маючи в своєму розпорядженні інструменту, що дозволяє з достатньою точністю визначити динаміку зносу і вичерпання ресурсу шини, стає неможливою достовірною оцінкою залишкової вартості транспортного засобу, розробка бізнес-плану, складання тарифів на перевезення, визначення причин і терміну списання шин [3, 4, 5].

Звертаючи увагу на стан і завантаженість сучасних автомобільних доріг нашої країни, не можна також забувати про підвищення вимог до безпеки руху. Ряд дослідників відзначає підвищення схильності шини до проколів, розривів і розшарування з вичерпанням її ресурсу, процентне співвідношення аварійності на вологих та забруднених покриттях також не на користь зношених шин [1, 2, 5, 6].

Зважаючи на неможливість управління процесом зношування, вкрай важливою є можливість прогнозувати не тільки настання економічної неефективності експлуатації шини і втрату її якостей, а й критичне зниження безпеки її застосування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Матеріали магістерської роботи є узагальненням досліджень, що виконані у межах:

- комплексних цільових програм, концепцій та наказів: «Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року» (Розпорядження Кабінету міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р); Програма реалізації Пріоритетних напрямів співробітництва держав-учасників СНД у сфері транспорту на період до 2020 року (Міжнародний документ від 22.05.2009 р., №998 445); «Про затвердження Правил експлуатації колісних транспортних засобів» (Наказ Міністерства інфраструктури України від 26.07.2013 р., №550);

- плану науково-дослідних робіт кафедри експлуатації та ремонту машин ДВНЗ ПДАБА за темою «Підвищення ефективності експлуатації транспортних засобів».

Об'єктом дослідження є пневматичні шини фірм Michelin, Bridgestone, Continental, Goodyear, застосовувані на тривісних бетонозмішувачах Volvo та чотиривісних самоскидах Volvo.

Предметом дослідження є процес зміни ресурсу пневматичних шин комерційних автомобілів в процесі їх технічної експлуатації.

Метою роботи є удосконалення доступної до впровадження на автопідприємствах розрахункової методики, що дозволяє прогнозувати довговічність пневматичних шин комерційних автомобілів в певних умовах експлуатації і режимах роботи.

Завдання дослідження:

1. Проаналізувати стан питання про зношуванні автомобільної шини.
2. Визначити з певною періодичністю вимірювання залишкової висоти рисунка протектора шин комерційних автомобілів.
3. Змодельовати на підставі отриманих даних спрощеної моделі для розрахунку ресурсу автомобільної шини.
4. Розробити пропозиції щодо підвищення експлуатації автомобілів.

Методи дослідження. Дослідження базується на масиві даних, отриманих шляхом періодичних вимірів залишкової висоти протектора шин комерційних

автомобілів, що знаходяться в експлуатації. Отриманий масив відображає реальну динаміку зносу шин автопарку в залежності від їх пробігу за фіксованими маршрутами міста Дніпра і Дніпропетровської області. У подальшому, для отримання розрахункових залежностей, дані було піддано статистичній обробці та узагальненню, графічної ілюстрації, порівняно з результатами розрахунків за математичними моделями інших дослідників.

Наукова новизна складається в теоретичному обґрунтуванні способу прогнозування ресурсу шин комерційних автомобілі.

Практичне значення одержаних результатів. Практична цінність роботи полягає в удосконаленні розрахункової методики, спрямованої на оцінку довговічності автомобільної шини, адаптованої до застосування в умовах експлуатації. Розроблено алгоритми технічного діагностування автомобілів. Матеріали магістерської роботи впроваджено в ДВНЗ ПДАБА (м. Дніпро) при проведенні лекційній та практичних робіт з дисципліни «Технічна експлуатація автомобілів».

Апробація результатів магістерської роботи. Результати магістерської роботи були повідомлені на щорічній науково-практичній конференції ХНАДУ (м. Харків) жовтень-2020.

Результати роботи можуть бути використані на підприємствах автомобільного транспорту, так як безпека руху АТЗ багато в чому залежить від визначення періодичності контролю технічного стану автомобілів.

РОЗДІЛ 1. ФІЗИКА ЗНОСУ ПРИ КОЧЕННІ

1.1. Дослідження в області тертя кочення

Перші роботи в області тертя кочення належать Шарлю Кулону, і відносяться до 1785 року [7]. У них, на основі експериментальних даних, запропоновано розраховувати залежність сили тертя кочення F від радіуса ковзанки R і прикладеного навантаження на нього P за формулою $F = (k \cdot P)/R$, k – коефіцієнт, іменованій зазвичай плечем тертя.

Справедливість цього твердження підтверджена Т. Тредголдом [8], в серії експериментів зі сталевими колесами, що котяться по рейці.

У 40-х роках XIX століття Жюль Дюпюї вивів, що сила тертя F пропорційна P/\sqrt{R} , при цьому Дюпюї вважав, що тертя кочення не є особливою властивістю поверхонь, а є наслідком стиснення і недосконалої пружності до матеріалів, що контактують [9].

У 1876 році побачила світ класична робота Осборна Рейнольдса, [10], в якій наведено результати дослідження кочення гумових і сталевих катків по пласкій поверхні з різних матеріалів. У ході експерименту було встановлено, що дійсна відстань, що пройдена сталевим циліндром за один оберт при коченні по м'якій гумі менше геометричної відстані, рівної довжині розгортки поверхні катку. Рейнольдс пояснив причину виникнення сил опору коченню наявністю на поверхнях взаємодіючих тіл ділянок з прослизанням, що призводить до появи сил тертя ковзання на них. На основі проведених дослідів Рейнольдс припустив, що величина прослизання залежить від співвідношення пружних властивостей матеріалів і радіусів кривизни контактуючих поверхонь.

Н.П. Петров [11] у 1889 р., вивчаючи опір руху коліс по залізничних рейках, приписував виникнення опору перекочуванню двом головним причинам: «По-перше, говорив він, під впливом сили, що притискає каток до пластини або колеса до рейки, обидва вони зминаються, не приймаючи потім своєї первісної форми, і,

по-друге, колесо що котиться, стискаючись саме і стискаючи рейку у місцях взаємного дотику, викликає відносне переміщення поверхонь стислих частин, яке і супроводжується тертям твердих не змащених тіл» [12, 13].

В експериментальних дослідженнях С.В. Пинегіна і А.В. Орлова [14, 15] досліджувалося вільне кочення кулі по сталевій площині і прямолінійним жолобам. За допомогою тензOMETричного методу вдалося встановити, що відмінності в радіальних переміщеннях поблизу контуру контакту значні і залежать від різниці кривизни контактуючих поверхонь. Вплив радіусів кривизни циліндричних тіл на опір коченню вивчено в роботі [16]. Показано, що мастило впливає на опір коченню, що також підтверджує роль ковзання на контакті [15]. Таким чином, часткове прослизання – одне з джерел опору перекочуванню тел.

Оскільки абсолютно пружних тіл не існує, джерелом опору перекочуванню є також гістерезисні втрати в тілах за рахунок їх деформування. Цьому механізму тертя кочення присвячені численні роботи Табора [17-19], Грінвуда і Міншела [20]. Проводячи досліди з коченням сталевих куль і циліндрів по гумовій опорі [18], Д. Табор прийшов до висновку, що опір коченню виникає в основному через втрати на пружний гістерезис в гумі. У наступних експериментах цей висновок був перевірений на інших матеріалах: перекочування сталевого і політетрафторетіленового колеса по дерев'яній поверхні [19], по мідному жолобу [18].

Наявність зон прослизання і гістерезисні втрати у контактуючих матеріалах, так само як і молекулярна взаємодія в них [24, 25] відіграють велику роль у формуванні сили тертя кочення, причому питома значення кожної з цих причин змінюється в залежності від фізико-хімічних властивостей матеріалів і зовнішніх умов.

Якісно новим кроком у вивченні тертя кочення стало рішення контактних задач в приватних постановках. Вирішення такого завдання дозволило визначити розподіл напруг і опір коченню в зоні контакту тіл. Найбільша складність у вирішенні завдання – визначення меж зон прослизання, яких може бути декілька. Розглянемо класичні роботи з визначення опору коченню, розподілів тисків і розташування зон зчеплення і прослизання при терті кочення.

У дослідженнях Ф. Картера і Г. Поритського щодо провідних коліс локомотива визначені розміри і положення ділянок зчеплення і ковзання на майданчику контакту. Розглядаючи три ділянки на майданчику контакту (у центрі ділянка зі зчепленням, з якою межують ділянки з прослизанням дотичних поверхонь), Г. Поритський не перевіряв коректність рішення на обох ділянках прослизання. Б. Кейн [20], залучаючи фізичні міркування щодо спрямування дії тангенціальних сил і прослизання, показав, що з рішення Г. Поритського випливає, що на майданчику контакту може утворитися лише дві ділянки, при цьому ділянка зчеплення перебуває попереду, на стороні набігання колеса. Рішення Ф. Картера і Г. Поритського дають наступний розподіл тангенціальних зусиль $\tau(x)$ на майданчику контакту $(-a, a)$:

$$\tau(x) = \frac{\mu}{\pi KR} \cdot \begin{cases} \sqrt{a^2 - x^2}, & -a \leq x \leq c \\ \sqrt{a^2 - x^2} - \sqrt{(a-x)(x-c)}, & c \leq x \leq a \end{cases}; K = \frac{2(1-\nu^2)}{\pi E} \quad (1.1)$$

де c – точка переходу зони зчеплення в зону прослизання;

E – модуль пружності Юнга;

ν – коефіцієнт Пуассона взаємодіючих тіл. Для напівширини області контакту та розміру зони зчеплення отримані співвідношення:

$$2a = \sqrt{8KPR}; \frac{a-c}{2a} = 1 - \frac{\delta R}{\mu a}; \delta = \frac{\omega R - V}{V}, \quad (1.2)$$

де ω – кутова швидкість обертання циліндра;

δ – величина відносного прослизання.

К. Джонсон [21] навів дані експериментів, що підтверджують таке розташування ділянок в області контакту. Рішення Картера - Поритського було використане ним в задачі про коченні кулі по пружній основі.

Проте Г. Фроммом при дослідженні задачі про взаємодію двох обертових дисків різних радіусів з одного і того ж пружного матеріалу показано [22], що при деяких значеннях зовнішніх сил можлива схема кочення з трьома зонами на майданчику контакту (зона зчеплення оточена двома зонами прослизання).

При коченні двох пружних тіл з різних матеріалів виникає додаткове прослизання за рахунок різниці в тангенціальних деформаціях на взаємодіючих

поверхнях внаслідок відмінності їх пружних постійних. Тому розподіл нормальних тисків буде відрізнятися від теорії Герца. В.І. Моссаковський [23] і Г. Бафлер [24] незалежно один від одного одержали інтегральні рівняння для нормальних і тангенціальних напружень, які обумовлюють зчеплення на всьому майданчику контакту. З цих рівнянь випливає, що майданчик контакту розташований симетрично, а розподіл нормальних напружень, що зникають у кутах площадки контакту, не симетричний щодо осі симетрії циліндра, що обертається, внаслідок чого виникає додатковий опір перекочуванню.

Одномірні (стрижневі) моделі для опису недосконалої пружності основи при коченні по ньому циліндричних і сферичних тіл використовувалися згодом у роботах [24, 25], при цьому поведінка стрижнів при стисканні описувалася різними диференціальними рівняннями першого порядку.

У роботах С. Хантера [22] і Л. Морленда [19] вивчалось кочення жорсткого циліндра по в'язко-пружному шару основи. В якості моделі матеріалу основи приймалася найпростіше лінійне середовище, для якого функція релаксації $\gamma(t)$ має вигляд:

$$\gamma(t) = \frac{1}{G_D} \left(1 + f_\beta (1 - e^{-t/T_\tau}) \right), \quad (1.3)$$

де G_D – динамічний модуль зсуву;

f_β – напруга однолінійного спектру релаксації;

T_τ – час релаксації.

При цьому вважалось, що тангенціальні сили на майданчику контакту відсутні, а опір перекочуванню виникає тільки внаслідок несиметричного розподілу тиску циліндра на основу на майданчику контакту. У роботах [3-6] для таких самих в'язко-пружних матеріалів розглядається контакт двох циліндрів з різними і однаковими пружними постійними. При цьому існували рішення, відповідні спектру часів релаксації. У цих роботах встановлено, що сила опору коченню має максимум, коли час запізнювання матеріалу можна порівняти з часом контакту.

У роботі [10] знайдено розподіл нормальних напружень при коченні в'язко-пружного циліндра по основі з того ж матеріалу, для якого залежність між

напруженнями і деформаціями виражалася інтегральними співвідношеннями Вольтерра з експоненціальним ядром.

Задача про коченні в'язко-пружного циліндра по основі з того ж матеріалу розглядалася у припущенні, що співвідношення між напругами і деформаціями у в'язко-пружному тілі мають вигляд [21]:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{ij}^* &= \frac{1-\nu^2}{E} \sigma_x^* - \frac{\nu(1+\nu)}{E} \sigma_y^*, \\ \varepsilon_y^* &= \frac{1-\nu^2}{E} \sigma_y^* - \frac{\nu(1+\nu)}{E} \sigma_x^*, \\ \gamma_{xy}^* &= \frac{1+\nu}{E} \tau_{xy}^*,\end{aligned}\tag{1.4}$$

де $\varepsilon_{ij}^* = \varepsilon_{ij} - T_\varepsilon V \frac{\partial \varepsilon_{ij}}{\partial x}$,

$$\begin{aligned}\sigma_{ij}^* &= \sigma_{ij} - T_\sigma V \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x}, \\ i &= x, y.\end{aligned}\tag{1.5}$$

Тут T_ε і T_σ характеризують в'язкі властивості середовища, E – тривалий модуль пружності матеріалу. Миттєвий модуль пружності для розглянутої моделі визначається величиною $H = \alpha E$, де $\alpha = T_\varepsilon / T_\sigma$.

При постановці задачі передбачалося [21], що весь майданчик контакту $(-a, b)$ розбивається на зону прослизання $(-a, c)$ і зону зчеплення (c, b) , розташовану попереду на стороні набігання циліндра. Рішення задачі зведено до визначення двох аналітичних функцій:

$$w_1(z) = \int_{-a}^b \sigma_y^*(t, 0) \frac{dt}{t-z} = U_1(x, y) - iV_1(x, y)\tag{1.6}$$

$$w_2(z) = \int_{-a}^b \tau_y^*(t, 0) \frac{dt}{t-z} = U_2(x, y) - iV_2(x, y)\tag{1.7}$$

дійсні та уявні частини яких задовольняють на межі $(y=0)$ наступним співвідношенням:

$$\begin{aligned}V_1 &= V_2 = 0, & x &\notin (-a, b) \\ U_1 &= -\frac{x-T_\varepsilon V}{2KR}, V_2 + \mu V_1 = 0, & x &\in (-a, c)\end{aligned}\tag{1.8}$$

$$U_1 = -\frac{x - T_\varepsilon V}{2KR}, U_2 = \frac{\delta}{2K}, \quad x \in (c, b)$$

Величини K і δ визначені останніми співвідношеннями (1.1) і (1.2). Граничні умови (1.8) дозволяють спочатку вирішити завдання визначення $w_1(z)$ (1.6), а потім, використовуючи знайдену функцію $V_1(x, 0)$, визначити $w_2(z)$ (1.7). Функції ε_{ij}^* σ_{ij}^* на дійсній вісі виражаються через дійсні та уявні частини функцій $w_1(z)$ і $w_2(z)$. Тоді істинні напруження і переміщення, що діють на границі напівплощини, знаходяться з рішень диференціальних рівнянь (1.5). Були отримані [28, 29] аналітичні вирази для нормальних і дотичних напружень, діючих на майданчику контакту, а також рівняння для визначення розмірів зон зчеплення і прослизання.

1.2. Механізми стирання еластомерів

Знос автомобільної шини є неодмінним наслідком її роботи, його інтенсивність і характер не постійні в часі і залежать від широкого спектру факторів. Видову ж різноманітність зносів обмежують, в більшості досліджень, абразивним зношуванням, втомним зносом, зносом скочуванням і зносом сколюванням [10-14].

Передумовою виникнення зносу є наявність тертя і «стомлюваності» поверхневого шару протектора. Знос є наслідком впливу на матеріал ряду механічних і теплових навантажень, що виникають в результаті відносного переміщення і взаємодії між поверхнями. Він характеризується якістю матеріалу протектора і його робочою температурою, якістю дорожнього покриття, величиною роботи тертя в прикордонному шарі між шиною і дорогою.

Під величиною зносу розуміється об'єм або вага гуми, знятий внаслідок її взаємодії з опорною поверхнею. Найбільше значення має швидкість зносу протекторної гуми і її тенденція до руйнування, наприклад до розтріскування, до закінчення нормального терміну служби шини. Знос є наслідком роботи, що постійно здійснюється шиною, з подолання сил тертя в умовах нормального кочення колеса.

В якості параметрів, що характеризують антизносіві властивості матеріалу, повсякчас приймаються динамічні і температурні якості, модуль пружності і межа міцності на розтяг при короткочасних навантаженнях, а також коефіцієнт тертя.

Абразивний знос гум.

Даний вид зносу характерний для випадку, коли поверхня гуми піддається дряпаючому впливу загострених нерівностей контртіла. Відділення матеріалу відбувається в результаті мікрорізання, в результаті якого на поверхні тертя виникає система протяжних подряпин, спрямованих за напрямком ковзання. Абразивний знос гум докладно вивчений в роботах А. Шалламаха [15-17], І. В. Крагельська [28, 29], С. Б. Ратнера [10].

У роботах А. Шалламаха було досліджено руйнування поверхні гум під дією згладжених нерівностей [15], модельованих одиничним виступом шорсткої поверхні – тупою голкою. Голка, під дією тангенціальною сили, стискає певний обсяг гуми перед собою і розтягує позаду (рис. 1.1).

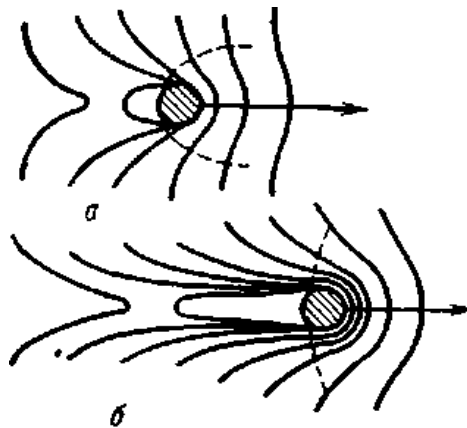


Рис. 1.1. Дві послідовні стадії (а і б) деформації поверхні гуми під дією голки (схема). Заштрихована окружність – поперечний переріз голки [11]

У певний момент часу пружні сили, намагаючись повернути стислу гуму в початковий стан, перевершують за розміром силу тертя між голкою і гумою, тим самим провокуючи перескок голки в нове положення. У тому випадку, якщо міцність гуми виявиться менше сил тертя, неминучий надрив гуми та утворення осередку роздиру.

Переходячи від модельних дослідів до випробувань гум на абразивних поверхнях і припускаючи, що довжина комірки роздиру пропорційна ширині площі контакту і обсяг стертої частки пропорційний третього ступеня довжини осередку роздиру, Шалламах отримав такий вираз для обчислення питомої інтенсивності стирання при абразивному зносі:

$$I_{уд} = n^2 a^3 = kn^2 r^3 \left(\frac{P}{En^2 r^2} \right)^{3\chi} \quad (1.9)$$

де n^2 – кількість абразивних часток в одиниці поверхні абразиву;

a – діаметр площі контакту частки абразиву з гумою;

r – середній радіус кривизни вершини абразивної частки;

p – тиск;

E – модуль пружності гуми;

χ, k – константи.

Пізніше було встановлено [16], що показник ступеня χ дорівнює $1/3$, завдяки чому початковий вираз значно спростився:

$$I_{уд} = k \frac{pr}{E} \quad (1.10)$$

Механічні властивості гум враховані у формулі (1.9) константою k , що показує число проходів абразиву для відриву частинок гуми. Ця константа може бути прийнята для наближеної оцінки опору стирання. З (1.10) випливає, що інтенсивність стирання прямо пропорційна тиску. Експериментально цей висновок був підтверджений при випробуваннях гум з БСК [17]. При терті гуми по грубим твердим поверхням без зміни напрямку руху часто можна спостерігати на поверхні зразка виникнення паралельних гребенів, розташованих під прямим кутом до напрямку руху. Вперше такі гребені спостерігав і описував А. Шалламах [15], ґрунтуючись на модельних дослідах з голкою (рис. 1.2).

Специфіка поведінки гуми у разі дії індентора така, що після виникнення розриву позаду голки починається процес релаксації матеріалу, внаслідок якого частина поверхні гуми зміщується, утворюючи канавки. Якщо б у процесі стирання брав участь ряд паралельно розташованих голок, то на поверхні гуми утворювалася борозна, розташована перпендикулярно до напрямку їх руху.

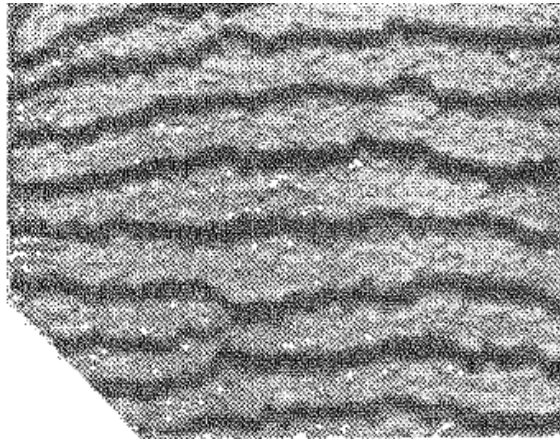


Рис. 1.2. Мікрофотографія стертої поверхні гуми при зносі по асфальту [11]

З даних уявлень прямує, що малюнок стирання тим інтенсивніше, чим грубіше поверхню контртіла і чим менше жорсткість гуми. Ще одна особливість малюнку стирання полягає в тому, що з його появою збільшується інтенсивність стирання. А. Шалламах пояснює це тим, що при русі по абразивній поверхні гребені малюнка стирання відгинаються назад, в результаті чого стиранню піддається тільки нижня частина виступів, а інша частина поверхні виступів захищена від стирання. Внаслідок цього розвивається явище своєрідного «підрізання» виступів. Виступи стають тонше, це відбувається до тих пір, поки їх гребені цілком не відірвуться, після чого на гумі залишаються тупі основи гребенів. Нові гребені продовжують виникати з розташованих нижче шарів матеріалу, і малюнок до певної міри відновлюється.

Спостереження малюнків стирання показали, що їх основна конфігурація зберігається в процесі тертя, хоча весь малюнок у цілому переміщується уздовж поверхні в напрямку руху. Згідно з даними Шалламаха [25, 26] відстань між гребенями l залежить від тиску p , модуля пружності гуми E і середнього радіуса кривизни вершини абразиву r наступним чином:

$$l_{уд} = k \left(\frac{pr}{E} \right)^{1/3}. \quad (1.11)$$

У той же час, при випробуваннях з загостреним індентором процес руйнування помітно інтенсифікувався – часто достатньо було одноразового впливу для

виникнення роздиру. Відповідно до наведеної вище моделі, швидкість об'ємного зносу:

$$K_v = \frac{V_I}{S \cdot F} \quad (1.12)$$

де V_I – обсяг зношеного матеріалу;

S – шлях прослизання;

F – площа контакту.

При цьому K_v залежить від модуля пружності гуми G , контактного тиску роздиру P і заокруглення нерівності R у вигляді:

$$K_v = \text{const} \cdot \left(\frac{P}{G \cdot R} \right). \quad (1.13)$$

Експериментальна перевірка цієї залежності показала правильність таких модельних уявлень.

В експлуатаційних умовах абразивний знос виявляється досить рідко в чистому вигляді, частіше за все в поєднанні з іншими видами, однак його інтенсивність часом на кілька порядків перевершує інтенсивності інших видів. Характер зносу зводиться до суто абразивного, наприклад, у разі виконання екстреного гальмування з блокуванням коліс, або ж у разі інтенсивного бічного зносу мосту.

Абразивне зношування знайшло широке застосування в експериментальних дослідженнях еластомерів, тому що дозволяє за малий проміжок часу досягти значних зносів зразків і забезпечує хорошу відтворюваність результатів, оскільки контртіла (найчастіше абразивна шкірка) характеризується досить стійкими параметрами – твердістю абразиву, розміром, гостротою щільністю розташування зерен [14, 22].

Число циклів до руйнування є функцією втомної витривалості гуми і напруженого стану, що залежить від тиску, швидкості, геометрії поверхні що зношує та інших факторів. Число циклів n до руйнування визначається за рівнянням [27]:

$$n = \left(\frac{f_z}{f_l} \right)^b, \quad (1.14)$$

де f_z – опір розриву;

f_1 – амплітуда динамічного напруження;

b – коефіцієнт динамічної витривалості.

Коефіцієнт b , що характеризує стійкість гуми до повторних навантажень, мало залежить від температури (в межах 50-120°C), концентрації напруги (зразки з дозованим надрізом), частоти (до 50 Гц) [28, 29]. Тому коефіцієнтом b зручно користуватися для оцінки втомних властивостей гум.

У роботі Є.Ф. Непомнящого [20] встановлено залежність кількості циклів n до руйнування від амплітуди діючої напруги σ для гум як у випадку об'ємного, так і фрикційного навантаження, описувана степеневою функцією виду $n = \text{const} \sigma^{-t}$. Ця обставина дозволяє при розрахунках зносу використовувати характеристики, отримані з експериментів по об'ємній втомі. Так в роботі [21] було проведено широке зіставлення результатів випробувань на знос гум різного складу з комплексом їх механічних властивостей. У цей комплекс входить втомна характеристика t , яка особливо сильно впливає на результат, оскільки присутня як показник ступеня. Враховуючи, що t було взято з дослідів по статичному розриву гум при тривалій дії навантаження, кореляцію слід визнати вельми задовільною.

Модель втомного руйнування ґрунтується на наступних умовах [17, 22]:

- розглядається ковзання двох тіл, поверхня, що зазнає зносу номінально пласка, гладка і м'яка, шорстка опора має однакові нерівності, розташовані на рівній відстані одна від одної;

- обсяг заглиблення твердої поверхні в гладке тіло називають деформованим обсягом V_d ;

- обсяг продукту зносу є пропорційним до деформованому обсягу, товщина шару, що зазнає зносу є пропорційною до заглиблення виступів, а амплітудне значення напруги – найбільшому тиску;

- число експлуатаційних циклів, які призводять до поділу обсягу V_d , залежить від певної сили τ тертя у відповідності з функцією $n = \text{const} \tau^{-t}$.

Виходячи з цих умов, можна визначити зносостійкість (β) за наступним рівнянням [14, 23]:

$$\beta = k \mu \left(\frac{f_z}{k''} \right)^b E^{2/3(l-b)} p^{1/3(l-b)} \left(\frac{z}{r} \right)^{1/3(5-2b)} \quad (1.15)$$

де k і k'' – безрозмірні константи, які не залежать у даному випадку від умов роботи і властивостей гуми.

Рівняння (1.15) надає наближено-кількісну залежність між зносостійкістю і основними параметрами, що характеризують властивості фрикційної пари і умови роботи. Властивості гуми що зазнає зносу згідно цього рівняння визначаються її міцністю f_z , модулем пружності E , коефіцієнтом динамічної витривалості b і коефіцієнтом тертя μ по поверхні даного контртіла. З параметрів, що характеризують зовнішні умови, в рівняння (1.15) входить тільки тиск p . Швидкість і температура можуть бути введені через відповідні залежності для міцності, пружних, втомних і фрикційних властивостей гум. Незважаючи на наближеність, рівняння (1.15) дає можливість встановлювати раціональні режими роботи елементів тертя і вибирати гуми з оптимальним комплексом механічних властивостей. Залежність інтенсивності зношування гуми від її механічних властивостей може бути описана також рівнянням, в якому більш точно враховані параметри шорсткості контртіла, в тому числі і реальних покриттів [20, 24-27]:

$$I = k \left(\frac{\mu E}{f_z} \right)^b \left(\frac{p}{E} \right)^{1+b\gamma}, \quad (1.16)$$

де γ – параметр шорсткості, рівний $1/(2\nu+1)$;

ν – показник ступеня в рівнянні кривої опорної поверхні [28]. Для ас-фальтових і бетонних покриттів параметри шорсткості мають середні значення: $\nu = 3,0$; $\gamma = 0,14$ [20];

k – константа.

З рівнянь (1.15) і (1.16) випливає, що втомний знос збільшується з підвищенням модуля пружності гуми, тиску, зменшенням опору розриву і погіршенням втомних властивостей гуми (зменшенням b). При реалізації втомного зносу гум на стертії поверхні не виявляється будь-якого малюнка стирання. Теоретичні уявлення про втомне зношування мають загальний характер і експериментально підтверджені при стиранні каучуків і пластмас [28, 24], металів [28, 23] та інших матеріалів.

Відповідно до наведеної вище моделі, загальне рівняння для обчислення інтенсивності зношування в пружному контакті має вигляд [20]:

$$I_h = k \cdot \left(\frac{p_a}{E}\right)^{1+\alpha t} \cdot \mu^t \left(\frac{E}{\sigma_z}\right)^t, \quad (1.17)$$

де k – коефіцієнт, що залежить від шорсткості поверхні і властивостей втомного руйнування матеріалу;

p_a/E – безрозмірний контактний тиск;

σ_z – межа міцності;

μ – коефіцієнт тертя ковзання;

t – параметр фрикційної втоми матеріалу;

I_h – інтенсивність зносу.

Дане відношення було підтверджено численними роботами. Наприклад, було підтверджено для автомобільних шин [24], для зразків з гуми, що рухаються по металу в різному діапазоні температур і швидкостей [25].

Розглядаючи руйнування твердих тіл як термоактиваційний процес, С.М. Журков [296] встановив, що довговічність і міцність пов'язані співвідношенням:

$$\tau = \tau_0 \exp\left\{\frac{u_0 - \gamma\sigma}{RT_\theta}\right\}, \quad (1.18)$$

де τ – довговічність (час, необхідний для руйнування матеріалу);

σ – напруження руйнування;

γ – структурно-чутлива константа;

T_θ – температура;

R – універсальна газова постійна;

u_0 – енергія активації процесу руйнування;

$\tau_0 = 10-12$ с.

Ці ідеї знайшли застосування для опису зношування полімерних матеріалів в основному завдяки роботам С.Б. Ратнера [27] і його співробітників. Вважаючи, що інтенсивність зношування зворотно пропорційна довговічності, вони запропонували співвідношення:

$$I_h \sim \exp\left\{-\frac{u_0 - \gamma\sigma}{RT}\right\} \quad (1.19)$$

1.3. Контактні методики розрахунку інтенсивності зносу автомобільних шин

Дана група методик виникла на основі контактних задач із зносом, описаних раніше і численних лабораторних випробувань. Відмітна особливість методик даної групи – прийняття за основу принципів опору матеріалів, фізико-хімічних параметрів шин і опорних поверхонь. Рішення подібних завдань зводиться, як правило, до обчислення інтенсивності зносу, тобто обсягу матеріалу, відокремленого за один цикл навантаження, або ж обчислення кількості циклів навантаження до досягнення певної величини зносу.

1.3.1. Розрахунок за спрощеною втомною моделлю. Виходячи з тих міркувань, що в умовах, близьких до нормальних умов експлуатації автомобільної шини, домінуючим видом зносу є втомний, було отримано загальне рівняння для даного виду зношування без урахування дотичних напружень та еволюції контактних характеристик, для відомого режиму руху (1.2.2):

$$I_h = k \left(\frac{p_a}{E} \right)^{1+\alpha t} \cdot \mu^t \left(\frac{E}{\sigma_z} \right)^t, \quad (1.24)$$

де I_h – Інтенсивність зношування, м/цикл.

k – Коефіцієнт, що залежить від шорсткості поверхні і властивостей втомного руйнування матеріалу. При зношуванні шини по поверхні, що імітує дорожнє покриття в задовільному стані $k=50$ [12].

p_a/E – Безрозмірний контактний тиск.

p_a – Нормальний тиск в площині контакту. Приймаючи до уваги рівномірний розподіл повної маси по шинах автомобіля та площу контакту для шин однакової розмірності, прийmemo $p_a=0,415$ МПа для шин експериментальних самоскидів, та задніх коліс бетонозмішувачів. Для бетонозмішувачів КамАЗ $p_a=0,389$ Мпа.

E – Модуль пружності матеріалу. Згідно до довідникових даних, для каучуку $E=0,00008 \cdot 10^5$ МПа.

σ_z – Межа міцності матеріалу шини. Для протекторних каучуків шин вантажних автомобілів 15 МПа.

μ – Коефіцієнт тертя ковзання. Для випадку сухого ковзання гуми асфальто-бетоном $\mu=0,85$.

t – Параметр фрикційної втомності матеріалу. Для протекторних гум $t=2\dots3$.

α – Параметр закону зношування. Експериментальним шляхом встановлено, що для випадку зношування каучуку абразивним аркушем в режимі кочення $\alpha=3,5$ [12].

Обчислимо для реальних шин Michelin XZY-2, XDY-3 та ИД-304:

$$I_{h_{xzy2,xdy3}} = 50 \cdot \left(\frac{0,415}{0,00008 \cdot 10^5} \right)^{1+3,5 \cdot 2} \cdot 0,85^2 \cdot \left(\frac{0,00008 \cdot 10^5}{15} \right)^2$$

$$= 5,38 \cdot 10^{-10} \text{ м/цикл};$$

$$I_{h_{ИД-304}} = 50 \cdot \left(\frac{0,389}{0,00008 \cdot 10^5} \right)^{1+3,5 \cdot 2} \cdot 0,85^2 \cdot \left(\frac{0,00008 \cdot 10^5}{15} \right)^2$$

$$= 3,21 \cdot 10^{-10} \text{ м/цикл}.$$

Виконаємо розрахунок висоти протектору, що буде зношена під час експлуатації, приймаючи до уваги початкову висоту, та висоту, за якої шини необхідно вивести з експлуатації:

$$h_{xzy2} = 18 - 1,6 = 16,4 \text{ мм};$$

$$h_{xdy3} = 25 - 1,6 = 23,4 \text{ мм};$$

$$h_{ИД-304} = 20 - 1,6 = 18,4 \text{ мм}.$$

Керуючись інформацією, а саме значеннями вільного або статичного радіусів шин, обчислимо кількість циклів навантаження на кілометр пробігу:

$$n_{xzy2} = \frac{1000}{0,538 \cdot 2 \cdot \pi} = 295,8 \text{ циклів/км};$$

$$n_{xdy3} = \frac{1000}{0,549 \cdot 2 \cdot \pi} = 289,9 \text{ циклів/км};$$

$$n_{ИД-304} = \frac{1000}{0,516 \cdot 2 \cdot \pi} = 303,4 \text{ циклів/км}.$$

Обчислимо пробіг, за подолання якого висота протектору теоретично має набути значення 1,6 мм:

$$L_{xzy2} = \frac{0,0164}{5,38 \cdot 10^{-10} \cdot 295,8} = 103053 \text{ км};$$

$$L_{xdy3} = \frac{0,0234}{5,38 \cdot 10^{-10} \cdot 289,9} = 105150 \text{ км};$$

$$L_{\text{ИД-304}} = \frac{0,0184}{3,21 \cdot 10^{-10} \cdot 303,4} = 188928 \text{ км}.$$

1.3.2. Розрахунок за втомною моделлю з урахуванням дотичних навантажень. Усталостна модель з урахуванням дотичних напружень є більш досконалим продовженням попередньої втомної моделі. На відміну від неї, за допомогою даної моделі можлива диференціація між інтенсивностями зносу провідних, відомих і керованих коліс. У число її компонент входить так само розгорнута форма подання дорожнього покриття, реалізована через чисельне вираження шорсткості поверхні і константи шорсткості.

Крім цього, в формулу введено значення прослизання, що враховує постдеформаційну релаксацію матеріалу:

$$I_h = \frac{C_1 \cdot S \cdot \tau^{1+\beta t}}{2\pi \cdot R_C \cdot (2+\beta t)} \cdot \left(\frac{k}{C_2 \cdot \sigma_z} \right)^t \cdot \left(\frac{E \cdot \mu}{1-\nu^2} \right)^{t-\beta t-1}, \quad (1.25)$$

де I_h – інтенсивність зносу, м/цикл.

C_1, C_2 – константи шорсткості поверхні.

β – шорсткість поверхні.

S – прослизання, мм.

τ – величина дотичних напружень, МПа.

t – параметр фрикційної втомності матеріалу. Для протекторних гум $t=2\dots3$.

μ – коефіцієнт тертя ковзання. Для випадку сухого ковзання гуми асфальто-бетоном $\mu=0,85$.

ν – коефіцієнт Пуассона. Для каучуків $\nu=0,47$ МПа.

k – коефіцієнт, що залежить від шорсткості поверхні і властивостей втомного руйнування матеріалу. При зношуванні шини по поверхні, що імітує дорожнє покриття в задовільному стані $k=50$ [12].

α – параметр закону зношування. Експериментальним шляхом встановлено, що для випадку зношування каучуку абразивним аркушем в режимі кочення $\alpha=3,5$ [1].

R_c – статичний радіус шини, м. За інформацією, зведеною у додатку А, $R_{c,xzy2}=0,538$ м; $R_{c,xdy3}=0,5495$ м; $R_{c,ИД-304}=0,516$ м.

σ_z – межа міцності матеріалу шини. Для протекторних каучуків шин вантажних автомобілів 15 МПа.

E – модуль пружності матеріалу. Згідно до довідникових даних, для каучуку $E=0,00008 \cdot 10^5$ МПа.

Прийнявши до уваги характеристики гуми, аналогічні до попереднього обчислення, та скориставшись аналогічним алгоритмом розрахунку пробігу залежно від довжини розгортки з урахуванням прослизання, було отримано наступні значення пробігів: XZY-2 – 90080 км; XDY-3 – 92540км; ИД-304 – 110920км.

1.3.3. Розрахунок за комплексною моделлю з урахуванням еволюції контактних характеристик. Представляє інтерес алгоритм розрахунку зношування еластичної шини з урахуванням еволюції її контактних характеристик, наведений у роботі [1]. Головною відмітною особливістю даної методики є розрахунок з урахуванням мінливості контактних характеристик у парі шина – дорожнє покриття.

Знос за один цикл:

$$h = aK|\psi - 1|p_0^a C(\alpha, q^*), \quad (1.26)$$

де h – знос, що виражено товщиною шару, стертого за один цикл.

a – напівширина майданчику контакту.

K – Параметр фрикційної втомності матеріалу.

Ψ – Відносна швидкість тіл, що контактують.

p_0^a – максимальний контактний тиск напівширини майданчику.

$C(\alpha, q^*)$ – коефіцієнт, що залежить від параметра закону зношування і координати зони зчеплення/прослизання.

У цю формулу мінливість контактних характеристик введена через коефіцієнт C , що змінюється в залежності від еволюції втомних характеристик (α) і геометрії

зон зчеплення/прослизання (q^*), за законом, графічне представлення якого надано у [2], а це говорить про необхідність введення у формулу механізму інтегрування.

Користуючись графічним поданням залежності числа циклів навантаження від відсоткової частки зносу, вдалося встановити, що теоретичний пробіг для шин моделі XDY-3 і XZY-2 становить 538 тис. км, ИД-304 – 505608 тис. км. Подібні значення ресурсу наводять на думку або про переоцінку вкладу еволюції контактних характеристик у динаміку зносу, або про завідомо неточні характеристики гум. Однак уточнення даної розрахункової методики представляється в умовах виробництва непростим завданням, що вивчення властивостей гум кожної з моделей шин окремо.

Висновок за розділом 1

В якості параметрів, що характеризують антизносові властивості матеріалу, повсякчас приймаються динамічні і температурні якості, модуль пружності і межа міцності на розтяг при короткочасних навантаженнях, а також коефіцієнт тертя.

Підводячи підсумок розділу, слід зазначити, що контактні методики розрахунку не можуть повною мірою відповісти вимогам виробництва. Алгоритм розрахунку за допомогою них складний, вимагає знання індивідуальних для кожної шини характеристик, а застосування узагальнених характеристик призводить до значної похибки кінцевого результату. З цієї точки зору, кращою альтернативою представляються статистичні методи розрахунку, засновані на досвіді експлуатації різних моделей шин в різних умовах, так як вплив на стан шини введено в дану методику через кінцевий результат будь-якого з таких впливів - зміна пробігу шини. Сам факт існування зміни пробігу є критерієм суттєвості фактора.

РОЗДІЛ 2

ЗНОС ЯК СУКУПНІСТЬ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ФАКТОРІВ

2.1. Вплив дорожньо-кліматичних чинників на інтенсивність зносу та ресурс автомобільних шин

Беззаперечним є той факт, що інтенсивність зносу однієї і тієї самої автомобільної шини може істотно змінюватися в залежності від багатьох зовнішніх умов, що відрізняються як за керованістю, так і за мірою впливу. Так, за керованістю можна визначити не керовані чинники (кліматичні), частково керовані (дорожні умови, стиль керування, тощо) та повністю керовані (дотримання рекомендацій з навантаження, обслуговування, максимальної швидкості тощо).

У контексті даної роботи вважаю доцільним розподіляти експлуатаційні чинники за мірою впливу на динаміку зносу. Відтак, зводимо теоретичні відомості до наступного списку:

- умови експлуатації
- дорожні умови
- передане через шину дотичне навантаження;
- зміна дотичного навантаження в часі;
- дорожньо-кліматичні умови.

Тому в контексті даної роботи доцільно розглянути їх більш детально.

2.1.1. Вплив умов експлуатації. Відомо, що термін служби шин однакової якості, виражений в кілометрах пробігу, може значно відрізнятися в залежності від умов роботи. Ця різниця може бути більше, ніж відмінність, що відповідає звичайним коливанням якості матеріалу. На сучасному рівні розвитку шинного виробництва ефект поліпшення протизносних якостей матеріалів протектора може виражатися лише кількома десятими відсотків, тоді як зовнішні умови роботи шини можуть змінювати величину роботи тертя, а отже і ресурс, в декілька разів [2].

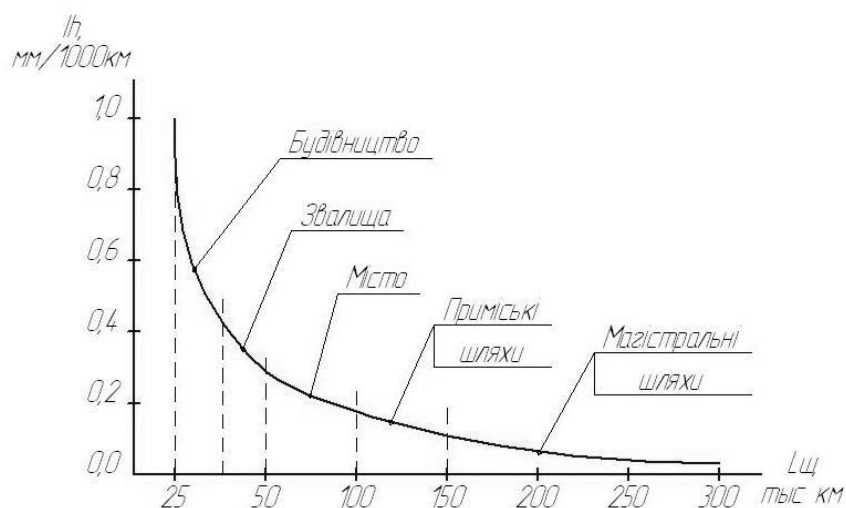


Рис. 2.1. Залежність інтенсивності зносу від умов експлуатації

2.1.2. Вплив дорожніх умов. Дорожні фактори можна розділити на три основні групи, внутрішня класифікація яких представлена на рисунку 2.2 [12].

Якість дороги оцінюється станом проїзної частини, рівністю і станом верхнього шару дорожнього покриття. Велике значення має шорсткість покриття, так як з цим пов'язані нерівності, які вторгаються в гуму.

Стан проїзної частини дороги оцінюється за трибальною системою Лисихіна [9], у якій 1 бал відповідає відмінній якості покриття, 2 – середній, 3 – незадовільній. Рішення про стан дороги виноситься з огляду на її поздовжній та поперечний профіль, наявність, кількість і характер тріщин, тощо. Слід зазначити, що подібну методику не завжди можна вважати достатньо точною, бо вона ґрунтується на завчасно суб'єктивних якісних оцінках. Але безсумнівна перевага – відсутність потреби у забезпеченні обладнанням – призвела до поширення та розвинення оглядових методик.

Вплив профілю і типу дороги. Інтенсивність зносу істотно залежить від профілю дороги. На гірських дорогах знос шин зростає в 2–7 разів в порівнянні зі зносом на рівнинних дорогах внаслідок більших кутів відведення шин, більших поздовжніх навантажень у зоні контакту, що видно з графіку 2.3. Окрім того, слід прийняти до уваги більш інтенсивні гальмування та частіші гальмування, більший опір розгону авто.



Рис. 2.2. Класифікація дорожньо-кліматичних умов [3]

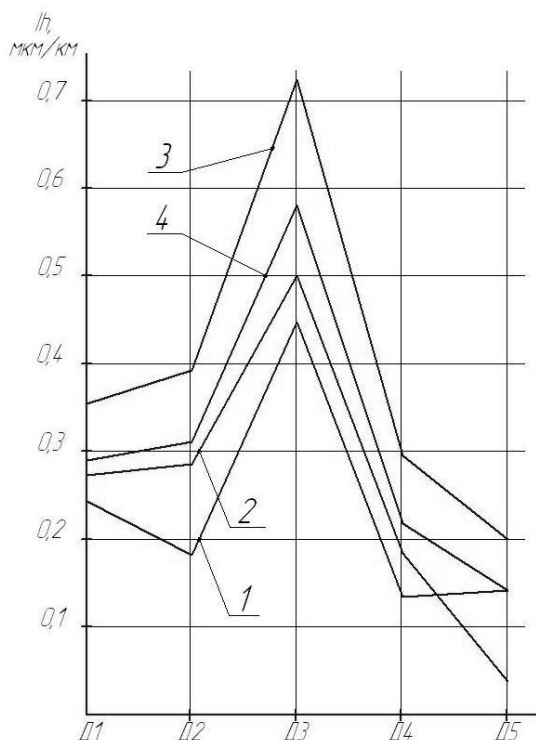
Вплив шорсткості дорожнього покриття. Крім зазначених характеристик важливе значення для зносу протектора має абразивність покриття, яка характеризується відношенням h_{\max}/r (висоти окремої нерівності на покритті до радіусу заокруглення при вершині цієї нерівності). Вплив абразивності покриття на інтенсивність зносу шин експериментально не встановлювалося, але за допомогою втомної теорії зносу можна визначити цей вплив розрахунковим шляхом [13].

При коченні колеса, навантаженого радіальною і бічною силами, зону контакту можна розділити на зону зчеплення і зону ковзання. Ковзання виступів протектора відбувається в нестационарних умовах: постійно змінюється контактне дотичне зусилля по шляху ковзання виступу. Тому можна записати:

$$dh = I \cdot ds, \quad (2.1)$$

де d_h – товщина зношеного шару на шляху ковзання;

I – інтенсивність зносу протекторної гуми при ковзанні, вирахована за формулою типу (1.9).



Д1, Д5 – рівнинні ділянки; Д2, Д4 – перехідні ділянки; Д3 – гірські ділянки.

Наведена для легкових автомобілів марок 1 – Fiat; 2 – Opel; 3 – Ford;

4 – Daimler-Benz

Рис. 2.3. Залежність інтенсивності зносу протектора від типу доріг [15]

З урахуванням формул (2.1) і (2.2) в роботі [13] було отримано вираз, що описує інтенсивність зносу протектора шини під час кочення:

$$I_k = \frac{c_1}{2\pi R k_2} \left(\frac{E\mu}{1-\mu_1^2} \right)^{b-bt-1} \left(\frac{k_1}{c_2 \sigma_0} \right)^b \int_0^s \tau^{1+bt} ds, \quad (2.3)$$

де R – радіус кочення шини;

E – модуль пружності гуми;

b – коефіцієнт динамічної витривалості;

k_1 – коефіцієнт;

σ_0 – напруження при розриві протекторної гуми;

c_1, c_2, k_2, t – коефіцієнти, що враховують шорсткість поверхні кочення;

μ – коефіцієнт тертя;

μ_1 – коефіцієнт Пуассона;

τ – дотичне напруження в зоні контакту шини з дорогою.

Для того щоб проінтегрувати вираз (2.3), на підставі експериментальних даних була встановлена ідеалізована залежність між контактним меридіональним дотичним напруженням і прослизанням, яка може бути записана наступним чином: на відрізку Os_1

$$\tau = \tau_m \frac{s}{s_1}; \quad (2.4)$$

на відрізку s_1s_m

$$\tau = \tau_m \frac{s_m - s}{s_m - s_1} \quad (2.5)$$

З формули (2.6) можна визначити залежність зносу шини від шорсткості дорожньої поверхні, що характеризується показником h_{\max}/r (рис. 2.4). Від цього показника залежать коефіцієнти c_1 , c_2 , k_2 , t .

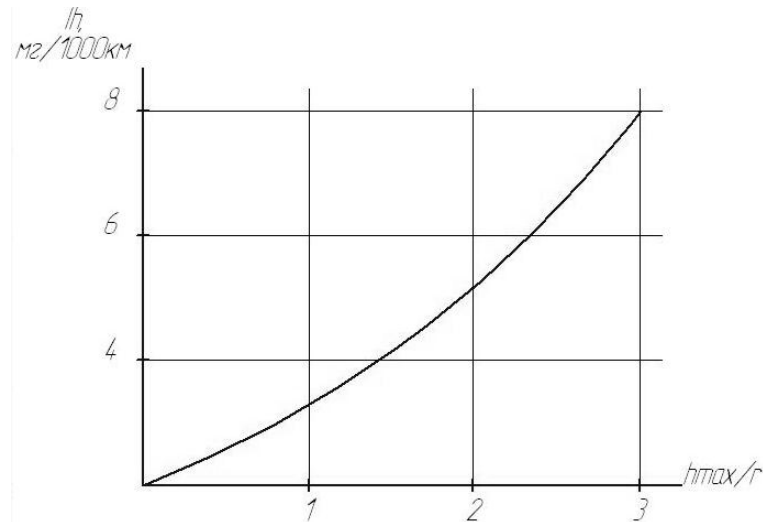


Рис. 2.4. Залежність інтенсивності зношування від шорсткості дорожньої поверхні

Спеціальні випробування великого асортименту діагональних шин 260-508 показали, що якщо траса руху автомобілів включає 35% гравійного покриття і 65% асфальтованого, то інтенсивність зносу протектора зростає на 37-77% в порівнянні з інтенсивністю його зносу на повністю асфальтованій трасі (0,23-0,34 замість 0,13-0,23 мм/1000 км).

На складних дорожніх покриттях (група В, кар'єри) знос зростає в багаторазово. Наприклад, для шини 12.00-20 з малюнком протектора підвищеної прохідності знос складає 0,7–0,8 і 0,8–1,8 мм/1000 км при експлуатації шин на будівництві ГЕС і на рудниках металургійного комбінату.

Збільшення зносу з погіршенням доріг можна пояснити збільшенням абразивності поверхні і нестабільності навантаження, а також інтенсифікацією втомних навантажень у радіальному відношенні. Абразивність дорожнього покриття на дорогах групи В значно вище, ніж на дорогах групи А. Підвищення абразивності дороги від групи А до групи В викликає зміну механізму зносу гуми протектора. На дорогах групи А реалізується, головним чином, втомний знос, а на дорогах групи Б, і особливо групи В і в кар'єрах, значно збільшується частка високоінтенсивних видів зносу гуми – абразивного і відділенням макрочасток гуми, про це свідчить вид поверхні зносу – за умови експлуатації шини на дорогах групи А протектор має гладку поверхню і виступи малюнка не деформовані. При випробуванні на дорогах групи Б на поверхні шини виникають чисельні порізи та поглиблення, що вказують на виривання порівняно великих частинок гуми; на дорогах групи В з поверхні бігової доріжки вириваються і викришуються великі фрагменти гуми, на ній утворюються чисельні порізи. З погіршенням якості доріг збільшуються коливання навантажень відносно їх середнього значення, тобто збільшується нестационарність навантажень.

2.1.3. Вплив кліматичних умов. Вплив середньодобової температури. Інтенсивності зносу автомобільних шин притаманний сезонний характер [14, 15]. Відтак, помічено, що інтенсивність зносу літніх шин може знижуватися на 25...30% у осінню та зимову пору року, так як кліматичні умови впливають на величину дотичних напружень, при яких починається прослизання елементів протектора, і на їх температуру при ковзанні. Даний факт можна пояснити по-перше зміною фізико-механічних властивостей гуми. Наприклад, зі зниженням температури підвищується жорсткість гуми, знижуються гістерезисні втрати в ній, отже знижується робота тертя. Окрім того, опорна поверхня набуває вологості, конденсуючи її з порівняно теплішого повітря, або під впливом опадів, що також знижує роботу тертя. Відтак, для шин кар'єрних вантажівок була отримана наступна зеленість повного ресурсу від пори року:

Так, якщо прийняти ресурс літньої шини за 100%, то бачимо, що дана цифра відповідає теплій порі року, у той час як у вологі осінні та весняні місяці, ресурс тієї ж літньої шини здатний підвищитися на 25% від початкового. Більш того, відзначається подальше підвищення ресурсу до 40% від первинного в холодні зимові місяці, зважаючи на істотне підвищення жорсткості гуми під впливом сезонних температур (рис. 2.5).

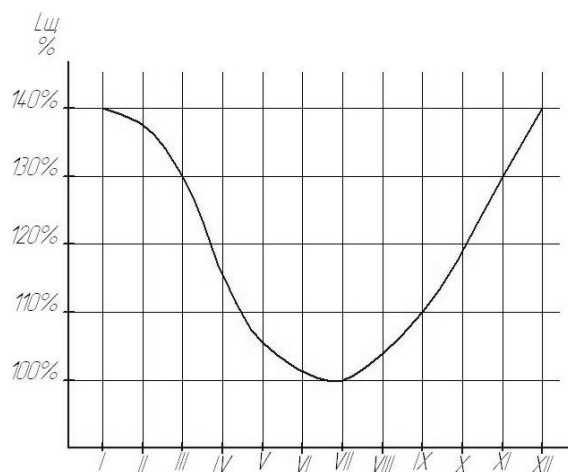


Рис. 2.5. Сезонні коливання ресурсу автомобільної шини [12]

Вплив відносної вологості повітря. Стирання гум в лабораторних умовах і при експлуатації відбувається, як правило, при різній відносній вологості. До теперішнього часу відсутня єдина думка про вплив відносної вологості на зносостійкість гум. Показано [20], що зміна відносної вологості повітря з 10 до 100% приводить до дуже незначного зменшення інтенсивності стирання. Шалламахом встановлено [11] значно більший вплив відносної вологості повітря. Ймовірно, позначився вплив вологи на властивості пропудруючого порошку (в даному випадку застосовували окис магнію) і його адгезії до гуми і поверхні що зношує.

Зменшення інтенсивності стирання шин з підвищенням відносної вологості повітря спостерігали також Геєзінк і Прат, які пояснювали це тим, що з підвищенням відносної вологості в зоні контакту утворюється водна плівка, яка діє подібно мастилу.

2.2 Експлуатаційні чинники у динаміці зносу

2.2.1. Вплив бічного відведення. Найбільші дотичні контактні напруження і прослизання елементів малюнка протектору при проходженні зони контакту спостерігаються в режимі кочення з бічним відведенням, найменші – при вільному коченні. У ряді досліджень, наприклад в роботі [14], показано, який вплив кут відведення надає на роботу тертя в зоні контакту шин (рис. 2.6).

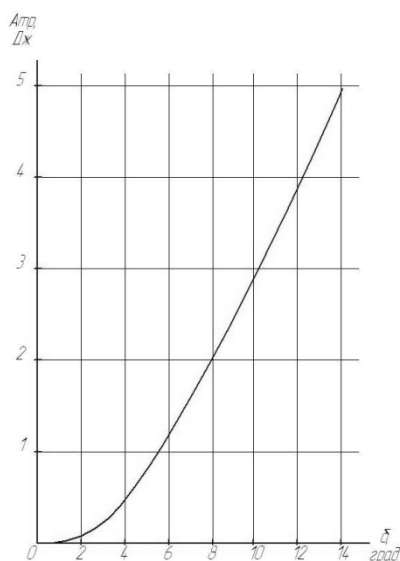
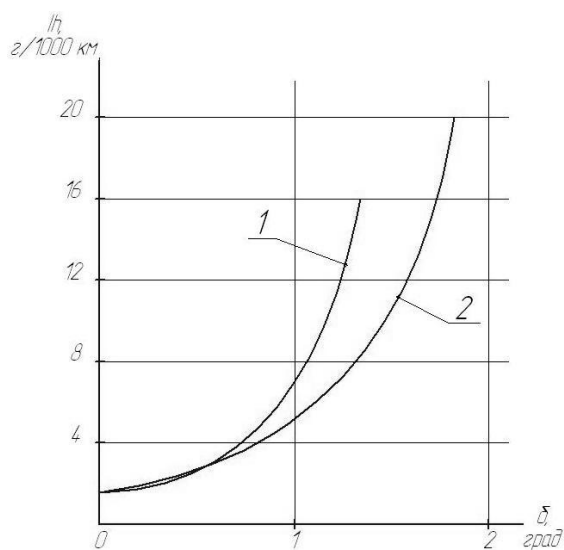


Рис. 2.6. Залежність роботи тертя в контактні шини із дорогою від кута бокового відведення



1 – випадок не усталеного відведення;
2 – усталеного

Рис. 2.7. Залежність інтенсивності зношування від кута бокового відведення

Бічне відведення як наслідок кута сходження коліс. Знос протектора залежить від кута сходження. У випадку усталеного відведення [14], коли під час кочення шини кут відведення не змінюється, із збільшенням кута сходження від 1° до 2° знос шин підвищується в 3–4 рази (рис. 2.7).

У реальних умовах експлуатації сход автомобільних коліс змінюється в часі, отже, змінюється і кут відведення шин, і подібне відведення називається неусталеним. Досліджувалася зносостійкість шин 560–15 і 155–15 і в умовах несталого відведення; кут відведення змінювали від 0 до 6° (кут δ приймали рівним $20'$, $40'$, 1° , $1^\circ 20'$, $1^\circ 50'$, $2^\circ 20'$) і від δ до $-\delta$ (кут δ приймали рівним $20'$, $40'$, 1° , $1^\circ 20'$). Зміна кута сходу в залежності від часу мало синусоїдальний характер.

У разі зміни кута сходження від 0 до δ° знос шин приблизно був на 30% більше, ніж при сталому відведенні і значенні кута $0,5\delta$. Практично важливо, що якщо амплітуда коливання сходу дорівнює $30'$, то знос протектора збільшується незначно і різко зростає після подальшого підвищення амплітуди.

Так, при амплітуді коливання кута сходження від 0 до $30'$ знос збільшується на 25% в порівнянні з зносом при куті сходу 0° , а при амплітуді від 0 до 1° знос збільшується у 3 рази. При зміні кута сходу в межах $\pm\delta$ знос протектора зростає майже в 1,5–2 рази в порівнянні з зносом при несиметричному циклі зміни сходу від 0 до δ° і стає більше, ніж знос в умовах усталеного відведення при куті δ .

Цей фактор повинен враховуватися не лише на етапі розробки кінематичної схеми підвіски, але й в умовах експлуатації – незадовільний технічний стан зчленувань, їх прослабшання, експлуатація несправних вібропоглинаючих компонентів здатні спричинити динамічне змінення кутів встановлення керованих коліс.

Дослідження показують, що для кожного автомобіля можна визначити оптимальне установче значення сходу передніх коліс, при якому знос шин в експлуатації найменший. В якості прикладу на рис. 2.8 представлена залежність зносу шин на прикладі автомобіля «ГАЗ М–21» від сходу передніх коліс, що встановлюється при регулюванні передньої підвіски (рис. 2.8).

Підвищений знос шин під дією бічного відведення залежить також від конструкції автомобіля. Далеко не всі конструктивні рішення підвісок сучасних автомобілів спроможні забезпечити стабільність кутів установки коліс під час деформації пружних елементів. Крім того, часто спостерігається недостатнє узгодження роботи підвіски і рульового приводу керованих коліс.

Існують графічно відображені залежності [2], що свідчать про нестабільність кута сходження керованих коліс під впливом радіального навантаження на колесо, і, вочевидь, його нестабільність під час руху, адже, як відомо, при русі автомобіля радіальне навантаження на колеса не залишається постійним, а змінюється у більшу і меншу сторону від номінального значення. Амплітуда коливання радіального

навантаження залежно від рівності дороги і швидкості руху складає 10-40% від номінального значення.

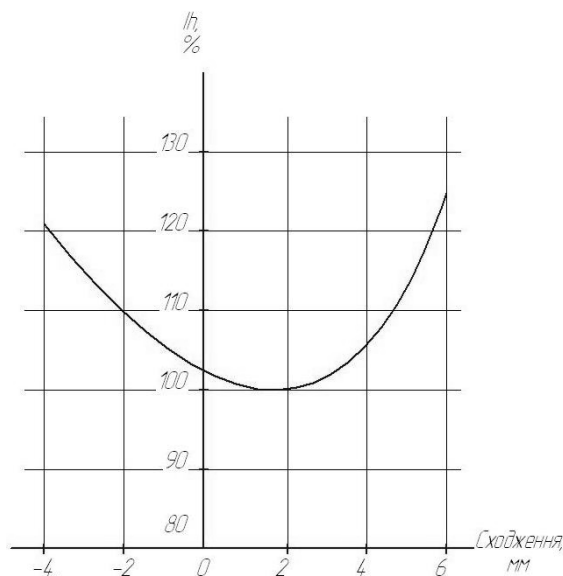


Рис. 2.8. Залежність інтенсивності зношування шин керованих коліс (у відсотках від проектованого) від кута сходження [2]

Бічне відведення як наслідок руху в повороті. При русі автомобіля на нього діє бічна сила, що змінюється за величиною і напрямком. На дорогах задовільної якості, час, протягом якого рульове колесо знаходиться в положенні, відповідному прямолінійному руху автомобіля, становить лише близько 10% від загального часу руху [12]. Число поворотів рульового колеса вантажного автомобіля за 1 км на асфальтовому шосе коливається від 40 до 150, а на бруковому – від 75 до 300 [12]. Більше число поворотів відноситься до швидкості руху 10 км/год, менше – до швидкості 60 км/год, за рахунок динамічної стабілізації керованого колеса. Середній кут відхилення коліс від положення, що відповідає прямолінійному руху, на асфальтовому шосе склав близько 10° , а на бруковому покритті – близько 30° . Слід враховувати, що ці дані отримані дослідницьким шляхом, на спеціальній дільниці, найбільш сприятливій для прямолінійного руху. Таким чином, навіть на прямолінійних ділянках дороги автомобіль рухається по криволінійних траєкторіях, в результаті чого на нього діють бокові сили, а колеса котяться з бічним відведенням.

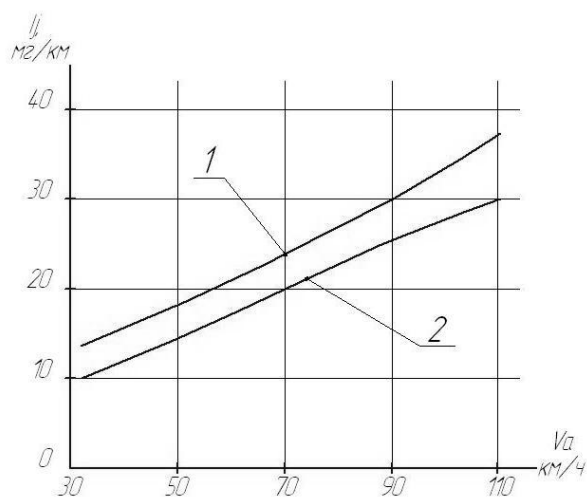
2.2.2. Вплив швидкості поступового руху. Швидкість руху авто є значущим чинником у контексті впливу на інтенсивність зносу, так як знаходить відображення у остаточній швидкості прослизання у контакті. Принципово відрізняються за впливом на знос швидкості на прямій ділянці маршруту так у повороті.

Відтак, за умови прямолінійного руху найбільш впливовим чинником є саме зростання швидкості прослизання та кількості циклів навантажування за одиницю часу, однак при русі поворотом в дію вступають відцентрові сили, що є пропорційними до квадрату швидкості руху, та зворотно пропорційними до значення радіусу повороту. Наводяться дані [2], що показують, що при підвищенні швидкості автомобіля від 40 до 80 км/год знос шин збільшується в 10 разів (дані для умов дослідницького треку). Підвищення швидкості на рівнинних дорогах значно менше впливає на знос шин. Так, наприклад, при збільшенні швидкості руху автомобіля «ГАЗ М-21» з 50 до 100 км/год на рівнинній асфальтованій дорозі знос шин підвищується тільки на 20%. Ці, здавалося б, суперечливі дані пояснені в роботі [2].

2.2.3. Вплив режиму роботи колеса. У повній відповідності з результатами дослідження явищ у зоні контакту знаходяться експериментальні дані, отримані при вивченні впливу режиму роботи шини на знос протектора.

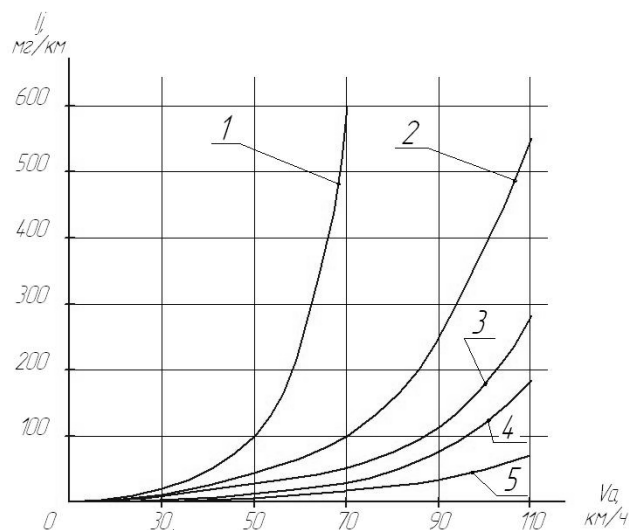
Як зазначалося вище, шина може працювати в режимі вільного кочення, провідному та гальмівному режимі, чи в умовах бічного відведення. Експериментальні дані свідчать про значну відмінність між інтенсивністю зношування провідних та ведених коліс (рис. 2.9).

Подібні відмінності пояснюються наявністю в контакті провідних коліс особливо великих дотичних напружень, що складаються з наявними напруженнями від бічного відведення, та спричиняються присутністю на вісі колеса крутного моменту тим більшого, чим більшим є радіальне навантаження на вісь, це твердження витікає з умови реалізації провідних та гальмівних моментів за зчепленням (рис. 2.10).



1 – для шин провідних коліс; 2 – для шин ведених коліс

Рис. 2.9. Залежність інтенсивності зносу шин від швидкості руху авто (горизонтальна прямолінійна ділянка маршруту) [2]



1 – 100 м; 2 – 200 м; 3 – 300 м; 4 – 400 м; 5 – 500 м

Рис. 2.10. Залежність інтенсивності зношування від швидкості транспортного засобу у поворотах різного радіусу [2]

2.2.4. Вплив дотичних навантажень. Слід нагадати, що під дотичними навантаженням розуміються будь-які, що лежать у площині контакту шини із дорожнім покриттям. З погляду експлуатації можна виділити наступні джерела виникнення поздовжніх та поперечних сил у зоні контакту.

Як відомо з підрозділу 2.2.1, найбільш істотних прослизань, а отже і зносу автомобільна шина зазнає за умов бічних навантажень, що у свою чергу є екстремальними під час руху поворотом. Відомо також, що робота тертя у контакті пропорційна квадрату реалізованої бічної або окружної сили. Відтак можна зробити висновок, що інтенсивність зносу є прямо пропорційною до четвертого ступеня швидкості, за тієї умови, що шина знаходиться під постійним впливом моменту або сили відведення (рис. 2.11).

На рис. 2.12 показана залежність інтенсивності зносу протектора шини 6,00-16 від крутного моменту. Експеримент було виконано на стенді [12]. При збільшенні крутного моменту від 0 до 250 Нм (25 кгсм) інтенсивність зносу зросла з 0,1–0,2 до 3–3,5 мм/1000 км, тобто в 20–30 разів. В умовах експлуатації максимальне значення

крутного моменту, що передається через шини наведеної моделі не перевищує 100–150 Нм (10–15 кгсм), і діє епізодично.

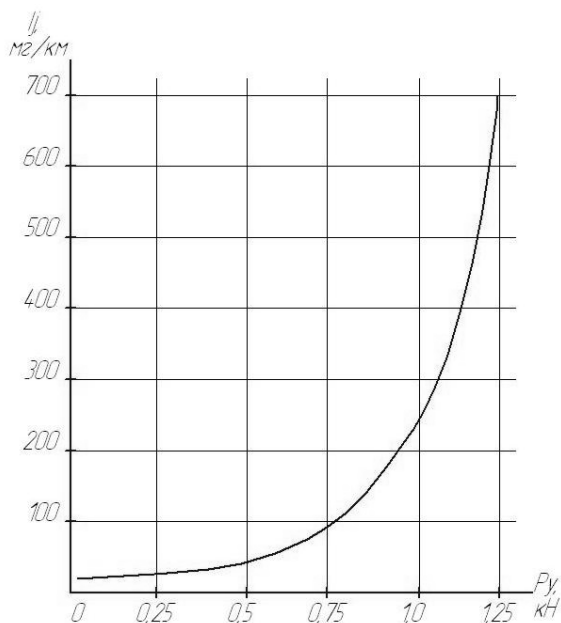


Рис. 2.11. Залежність інтенсивності зносу автомобільної шини від величини поперечної сили [12]

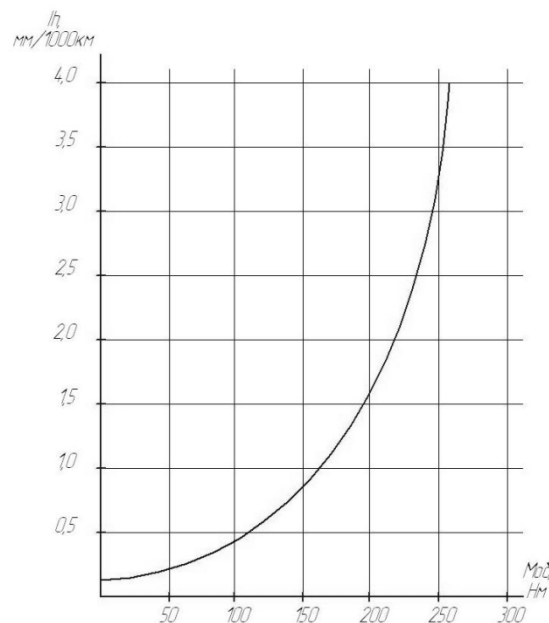


Рис. 2.12. Залежність інтенсивності зношування від крутного моменту, що передається крізь шину [12]

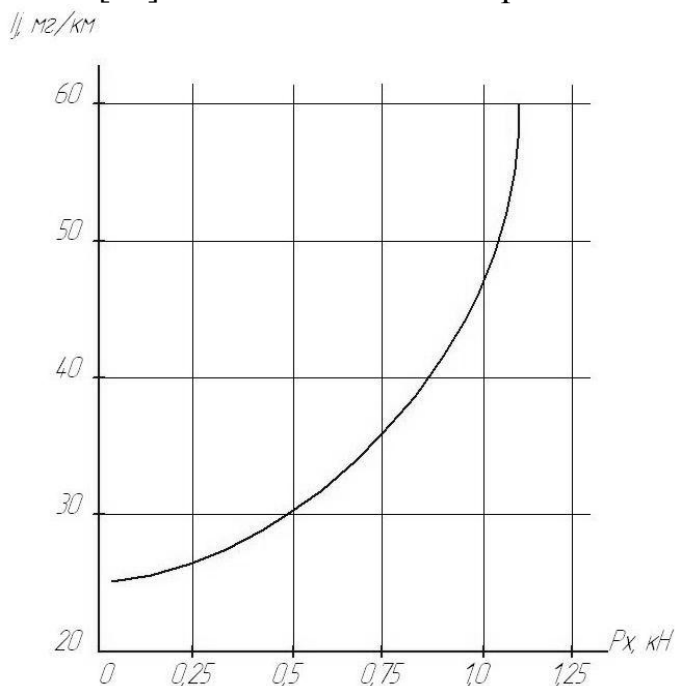


Рис. 2.13. Залежність інтенсивності зносу шини від величини поздовжньої сили [2]

Застосування автомобільних причепів істотно підвищує знос шини, особливо при запізнюванні гальмування причепа, коли стискаючі зусилля, що виникають між причепом і тягачем набувають значень $1,3 \cdot 10^4 \dots 8,8 \cdot 10^4$ Н (1,3...8,8 тс) для

автопоїзда на базі автомобіля «КрАЗ» [12]. У години пік, незважаючи на те, що середньотехнічні швидкості руху автомобіля знижуються на 10-15 км/год, різко зростає число розгонів і гальмувань, в результаті чого знос шин може збільшитися в 3 рази в порівнянні зі зносом в звичайний час [12].

Встановити вплив крутного моменту в чистому вигляді при експлуатації, як це було зроблено на стенді, практично неможливо, так як зі зміною моменту змінюється швидкість руху автомобіля і вплив на автомобіль зовнішніх сил, обумовлений нерівностями дороги [2].

2.2.5. Вплив нормального навантаження. Нормальне навантаження, що необхідно залежить від завантаження транспортного засобу та розподілу ваги за осями, здатне збільшувати інтенсивність природного зносу автомобільних шин за законом, близьким до лінійного. Так, фірма Michelin наводить дані, що перевантаження шини на 10% призводить до скорочення її ресурсу на таку ж величину, у той час як перевантаження на 50% скорочує ресурс на 60%. Залежність, що була отримана при спостереженні за кар'єрною технікою підтверджує наведену інформацію.

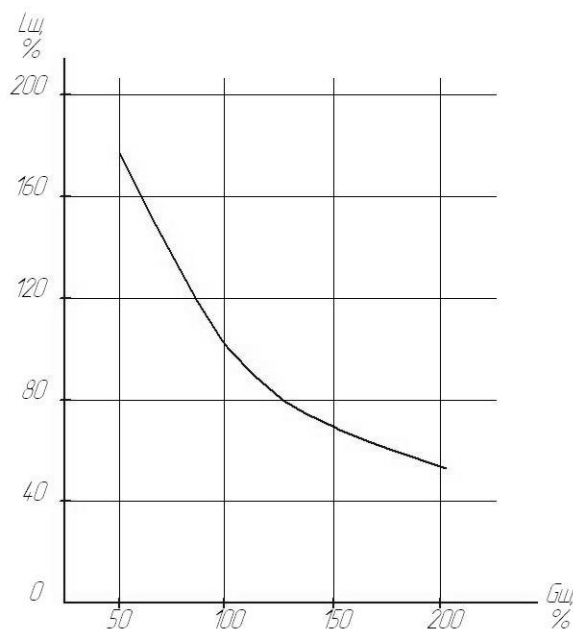


Рис. 2.14. Залежність ресурсу автомобільної шини від нормального навантаження [2]

2.2.6. Вплив внутрішнього тиску. Збільшення зносу шин спостерігається при зниженні внутрішнього тиску. На рис. 2.15 показана ця залежність для шин 6.70-15. У середньому знос протектора зростає (відносно) на таку ж величину, на яку знижується внутрішній тиск [13, 11].

Це правило виконується при зменшенні внутрішнього тиску на 30% від встановленої норми. Подальше значне зниження тиску призводить до більш інтенсивного зростання зносу. Це залежить головним чином від того, що шини при зниженні внутрішнього тиску котяться під дією бічних сил з великими кутами відведення, і, окрім того, зазнають більш значних деформацій і прослизань при контакті з дорожнім покриттям.

Якщо б нормативне значення внутрішнього тиску в шинах вибиралося з міркувань зносостійкості протектора, то воно, як правило, було б значно вище прийнятих значень, які для легкових шин, наприклад, встановлюються з міркувань компромісу між міцністю шини, комфортабельністю їзди, зчепленням з покриттям, паливною економічністю.

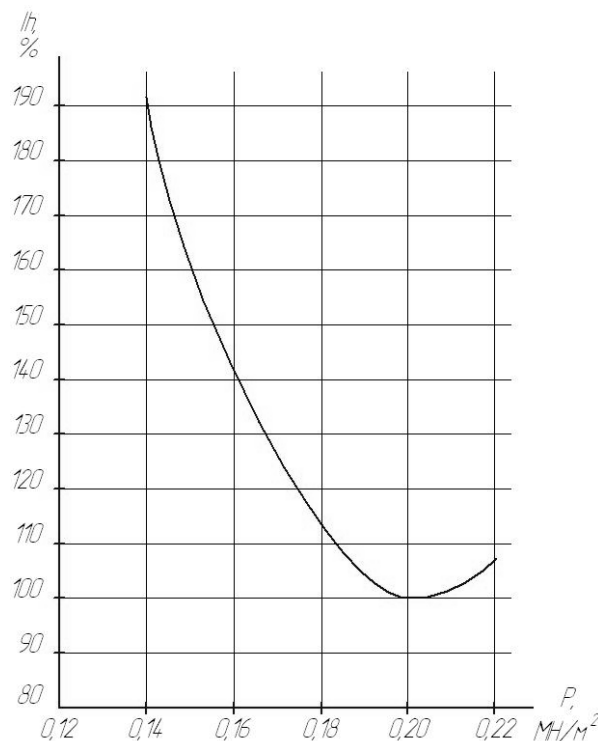


Рис. 2.15. Залежність відносної інтенсивності зносу шини від внутрішнього тиску
(на прикладі шин 6,70-15 та автомобіля ГАЗ М-21)

Виходячи з положень, викладених раніше, зниження внутрішнього тиску в шині неодмінно призведе до підвищення гістерезисних втрат, внаслідок зростання питомих деформацій, а отже до підвищення роботи тертя [12]. Також відомо, що в нормальних умовах експлуатації вантажної техніки зниження тиску від номінального призводить до зростання температури поверхневого шару протектора до 130°C, за якої виникає можливість руйнування шини [12].

За експериментальними даними, температура в масиві гуми не перевищує 100°C. Температура поверхні в мікронах фактичного контакту елементів протектора, отримана розрахунковим шляхом, за даними різних авторів [13, 14], знаходиться в межах 200–400°C. Такі екстремальні значення температури короткочасні, але вони виникають в той момент, коли відбувається знос елемента.

2.2.7. Вплив циклічно змінних дотичних навантажень. Радіальне та бічне биття, частіш за все є наслідками нерівномірності зносу протектору або ушкодження каркасу, тобто проявляють себе як наслідки тривалої експлуатації шини, рідше – як наслідок відсутності приробітку шини до особливостей автомобіля, але перш за все биття слід розглядати як чинник, що спричиняє циклічну мінливість дотичних навантажень у часі.

Інтенсивність зносу шини при роботі в умовах змінних навантажень (радіального і тангенціального) більше, ніж за стабільного навантаження, що дорівнює середньому значенню змінного [13]. Співвідношення значень зносу при постійному і змінному навантаженнях визначали розрахунковим шляхом.

Тоді середня інтенсивність зносу при змінному навантаженні буде дорівнювати:

$$\bar{I}_k = \int_{-\infty}^{\infty} I_k r \cdot d \left(\frac{P}{l} \right). \quad (2.11)$$

З формули (2.10) випливає, що інтенсивність зносу при коливаннях P/l навколо середнього значення $\langle P/l \rangle$ завжди вище, ніж якщо б P/l підтримувалося постійним на рівні $\langle P/l \rangle$.

$$\lambda_1 = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \left(1 + \frac{\sigma}{P/l} \right)^k e^{-\frac{t_c^2}{2}} dt_c \quad (2.12)$$

Та к само як радіальне биття, статичний дисбаланс викликає зміну нормальних навантажень у ділянці контакту, за якої спостерігалася лінійна залежність між інтенсивністю зносу та величиною дисбалансу (Рис. 2.17).

Збільшення дисбалансу легкових шин 560-15 з 0,2 до 0,3 Нм (з 2000 до 3000 гссм) призводить до підвищення зносу протектора при експлуатації до 20%. Ці дані узгоджуються з результатами, отриманими в роботі [13].

Маючи в своєму розпорядженні цілісну картину зовнішніх і внутрішніх факторів, що впливають на динаміку зносу автомобільної шини, можемо зробити висновок, що більшість з них знаходять відображення в сукупності експлуатаційних факторів, що піддаються не тільки контролю, але і управлінню в умовах виробництва.

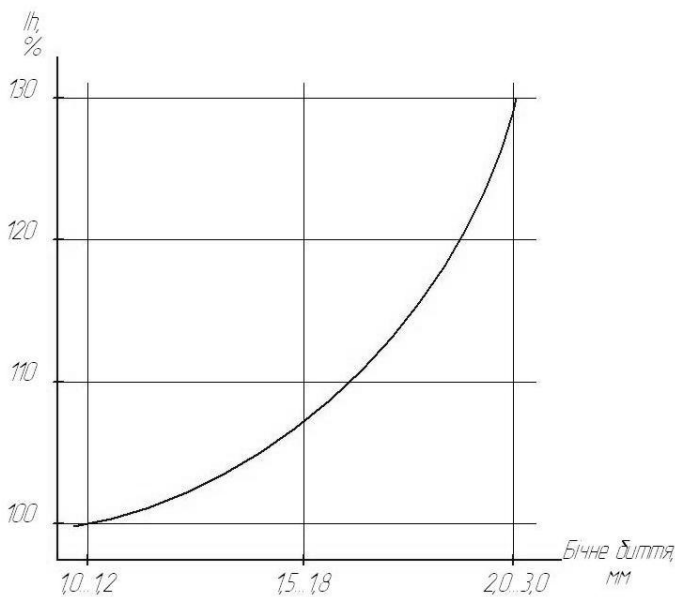
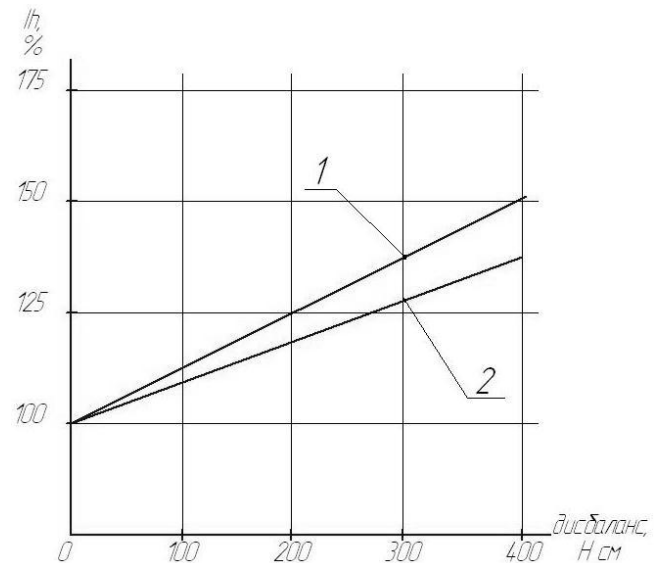


Рис. 2.16. Залежність відносної інтенсивності зносу від величини бічного біття колеса [2]



1 – передня вісь автомобіля; 2 – задня вісь

Рис. 2.17. Залежність відносної інтенсивності зносу шин від статичного дисбалансу коліс [2]

Знос шин залежить від тиску повітря, навантаження, дотичних сил, кутів встановлення керованих коліс, конструкції шини, радіуса бігової доріжки, ширини

профілю, малюнка протектора, кута ниток корду, близькості брекерного пояса до поверхні контакту, ширини обода, типу автомобіля, манери керування, типу і стану дороги, температури навколишнього середовища. Всі зазначені фактори впливають на величину переміщень елементів профілю шини, що відбуваються під певним тиском у прикордонному шарі і між шиною і дорогою.

Тягові і гальмівні навантаження на колесах різко підвищують інтенсивність зносу шин. Так, наприклад, інтенсивність зносу шин за збільшення тягової сили зростає в ступені приблизно 2,2, а гальмівної – в ступені 2,6. Істотний вплив на інтенсивності зносу шин надає застосування автомобільних причепів. У цьому випадку підвищуються не тільки тягові сили на ведучих колесах, але і гальмівні сили на колесах автомобіля-тягача.

Не слід недооцінювати вплив суб'єктивного фактору на знос шин – інтенсивні гальмування на великих швидкостях, зависока швидкість при проходженні повороту, недбале рушання з місця здатні істотно скоротити строк експлуатації шин. Дослідження, проведені в США [13], показали, що при невмілому управлінні автомобілем знос шин за один день може сягнути величини їх зносу після шестимісячної експлуатації при правильному керуванні автомобілем.

Підводячи підсумки за умовами експлуатації шин, можна зробити висновок, що з боку технічного стану авто найбільш впливовими факторами відносно динаміки зносу є:

- кути встановлення керованих коліс, величина дисбалансу коліс;
- технічний стан підвіски і рульового механізму авто в цілому;
- внутрішній тиск у шині.

З боку організації транспортної роботи:

- перевантаження автомобіля;
- застосування причепів, навісного обладнання;
- прокладання маршруту транспортного засобу;

З боку дорожньо-кліматичних умов найбільший ступінь впливу надають:

- тип дороги;
- рельєф місцевості;

- вологість і середньодобова температура повітря.

2.3. Коригування ресурсу шин за коефіцієнтами експлуатаційних та дорожніх умов

Як було показано у першому розділі роботи, контактні методи виявилися неспроможними задовольнити виробничі вимоги до розрахунку ресурсу автомобільних шин – неможливість повною мірою перенести властивості матеріалу та результати дослідів на практичний аспект використання шини призвели до значних похибок. Окрім того складності із вихідними параметрами шини, в більшості випадків, унеможливають об'єктивний розрахунок взагалі, оскільки є комерційною таємницею виробника.

Відтак, на практиці найбільшої поширеності набула методика розрахунку пробігу шини за коефіцієнтами коригування, що базується на статистичній обробці пробігів багатьох моделей шин у різноманітних дорожніх умовах.

2.3.1. Зміст методики, нормативні значення коефіцієнтів. Наведена розрахункова методика є однією з найбільш застосовуваних для визначення ресурсів у різних областях техніки. Щодо автомобільних шин дана методика полягає в домноженій базового середньої пробігу шин певної моделі на сукупність поправочних коефіцієнтів, що враховують різні чинники, що впливають на роботу шини. Основна розрахункова формула для обчислення пробігу шини у фактичних умовах експлуатації, відмінних від нормальних має вигляд [5]:

$$N = N_{\text{НУ}} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6, \quad (2.13)$$

де $N_{\text{НУ}}$ – норма середнього ресурсу для нормальних умов експлуатації в тис. км (мото-годинах);

k_1 – коефіцієнт коригування залежно від дорожньо-кліматичних умов експлуатації;

k_2 – коефіцієнт, що враховує інтенсивність експлуатації пневматичних шин;

k_3 – , що враховує тривалість експлуатації пневматичних шин;

k_4 – коефіцієнт, що враховує використання вантажності (пасажировмісності);

k_5 – коефіцієнт коригування для пневматичних шин автомобілів-тягачів автопоїздів, що постійно застосовують з причепами;

k_6 – коефіцієнт, що враховує відношення пробігу в місті до пробігу за межами міста.

При цьому коефіцієнт k_1 є добутком трьох коефіцієнтів, тобто залежить від трьох факторів:

$$k_1 = k_{11} \cdot k_{12} \cdot k_{13}, \quad (2.14)$$

де k_{11} – коефіцієнт коригування норм за типом дорожнього покриття;

k_{12} – коефіцієнт коригування норм за поздовжнім похилом дороги;

k_{13} – коефіцієнт коригування норм за ступенем хімічного забруднення.

Значення коефіцієнтів зведено до таблиці 2.1 згідно [5].

Таблиця 2.1

Коефіцієнти коригування норм залежно від дорожньо-кліматичних умов експлуатації

Кліматична зона	Коефіцієнт коригування залежно від типу дорожнього покриття в задовільному (незадовільному) технічному стані (k_{11})			Коефіцієнт коригування залежно від поздовжнього похилу дороги (k_{12})			Коефіцієнт коригування залежно від ступеня хімічного забруднення (k_{13})		
	асфальто-бетон	цементобетон	брущатка, колотий камінь	не більше 40 ‰	від 40 до 60 ‰	понад 60 ‰	I	II	III, IV
Північна	1,0 (0,96)	0,88 (0,80)	0,84 (0,76)	1,0	0,98	0,96	1,0	0,98	0,96
Центральна	1,0 (0,96)	0,88 (0,80)	0,84 (0,76)	1,0	0,98	0,96	1,0	0,98	0,96
Південна	0,95 (0,90)	0,79 (0,76)	0,76 (0,73)	1,0	0,98	0,96	1,0	0,97	0,95
Гірська	0,97 (0,93)	0,82 (0,78)	0,80 (0,76)	1,0	0,98	0,96	1,0	1,0	1,0

Коефіцієнт коригування k_2 норм залежно від інтенсивності експлуатації
пневматичних шин

Інтенсивність експлуатації, тис. км (тис. мотогодин)/місяць	Значення коефіцієнта k_2
від 1,0 (0,04) до 1,5 (0,06)	0,95
понад 1,5 (0,06) до 3,0 (0,12)	0,98
понад 3,0 (0,12)	1,0

Коефіцієнт коригування норм залежно від тривалості експлуатації пневматичних шин (k_3) обирається за наступних умов:

Якщо інтенсивність експлуатації КТЗ характеризують середнім місячним пробігом меншим однієї тисячі кілометрів (40 мотогодин наробітку), що відповідає періоду експлуатації шини понад 5 років, для кожного з наступних за п'ятим роком експлуатації коефіцієнт k_3 становить для 6-го – 0,96; 7-го – 0,92; 8-го – 0,88; 9-го – 0,82; 10-го – 0,75.

Коефіцієнт коригування k_5 норм для бортових автомобілів-тягачів автопоїздів визначають, виходячи з умови, що $k_5 = 0,9$ у разі 100 %-го пробігу з одним причепом і $k_5=1$ – коли пробіг здійснено без причепа.

Дана розрахункова методика має ряд незаперечних переваг, що дозволили їй стати базою для експлуатаційних норм середнього ресурсу пневматичних шин колісних транспортних засобів, що затверджуються Міністерством транспорту та зв'язку України [3]. До числа таких можемо віднести:

- Загальну простоту. Відсутність складних обчислювальних операцій і, яких би то не було, аналітичних дій сприяють її застосуванню в умовах виробництва.

- Гнучкість. Завдяки таблицям поправочних коефіцієнтів можна порівняно швидко повторити розрахунок для інших умов експлуатації, враховуючи, з певним ступенем точності, їх особливості.

Коефіцієнт коригування k_4 норм залежно від коефіцієнта використання вантажності k_v (пасажировмісності $k_{пас}$) КТЗ

Колісні транспортні засоби	Значення коефіцієнта використання вантажності k_v (пасажировмісності $k_{пас}$)								
	до 0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	1
	Значення коефіцієнта k_4								
Автомобілі легкові	1,03	1	1	1	0,97	0,97	0,96	0,96	0,95
Автомобілі вантажні бортові, причепи, сідельні тягачі, напівпричепи	1,03	1,03	1	1	1	0,98	0,98	0,97	0,97
Автомобілі вантажопасажирські	1,03	1,03	1,02	1	1	1	0,98	0,98	0,97
Автомобілі-самоскиди	1,04	1,04	1,03	1,03	1	1	1	1	0,98
Автобуси (мікроавтобуси)	1,05	1,03	1,03	1,02	1,02	1	1	1	1

Таблиця 2.4

Коефіцієнт коригування k_6 норм залежно від відношення пробігу в містах і населених пунктах до загального пробігу вулично-дорожньою мережею загального користування

Відношення пробігу вулично-дорожньою мережею загального користування в місті до загального пробігу, %	0	20	40	60	80	100
Значення коефіцієнта k_6	1,04	1,02	1,00	0,99	0,98	0,97

Не можна не відзначити так само і недоліки даної розрахункової методики, а саме при:

1. Громіздкість. Очевидно, що для обліку навіть найбільш значних факторів, що впливають на ресурс шини, потрібна значна кількість достовірних, підтверджених практикою коефіцієнтів. Дана система містить 8 коефіцієнтів, які приймають від 2 до 36 значень.

2. Вимагає доступу до нормативної літератури. Сам вихідний параметр, щодо якого ведеться розрахунок – базовий середній пробіг шини, є результатом

статистичної обробки, і без звернення до нормативної літератури дізнатися його не представляється можливим.

3. Висока ймовірність отримання хибного результату. Сукупність нормативних коефіцієнтів, обрана для конкретних умов здатна забезпечити точність розрахункової методики в цілому лише за наявності базового середнього пробігу для тих же умов, а не загального середнього серед усіх можливих.

2.3.2. Перевірка методики на прикладі шин комерційних вантажівок.

Перевірку методу виконаємо, ґрунтуючись на даних, отриманих шляхом реєстрації маршруту, спостереження за стилем управління автомобілем водіїв на маршруті.

У першу чергу, згідно з таблицями 2.1–2.4, а так само відомостями, наведеними у розділі 2.1, сформуємо два підсумкових поправочних коефіцієнта – для самоскидів і для автобетонозмішувачів. Зважаючи на сталість маршрутів самоскидів в рамках діяльності організації, до роботи додається план маршрутів техніки із зазначенням пробігів по дорогах населених пунктів і поза ними, зазначенням стану дорожнього покриття в період проведення експерименту на ділянках маршруту.

Оскільки область відноситься до центрального кліматичному регіону, керуємося відповідними даними таблиці 2.1. Так, відомо, що 80% маршруту самоскида пролягає по дорогах з асфальто-бетонним покриттям в задовільному стані, а 20% – дорогами з аналогічним покриттям в незадовільному стані. Переміщення по території кар'єру у всіх трьох випадках (див. додаток) не перевищує кілометра. У відповідності із цим спостереженням обчислимо середній зважений коефіцієнт k_{11} :

$$k_{11} = 1 \cdot 0,8 + 0,96 \cdot 0,2 = 0,992.$$

У силу специфіки рельєфу місцевості, поздовжній похил доріг області варіативний, і практично ніколи не дорівнює нулю. Згідно з даними, отриманими в ході спостереження, доцільно прийняти в розрахунок значення поздовжнього ухилу 40-60% і понад 60%, що займають 70 і 30% протяжності маршруту відповідно (табл. 2.1):

$$k_{12} = 0,98 \cdot 0,7 + 0,96 \cdot 0,3 = 0,974.$$

Відомо, що наш регіон є одним з найбільш екологічно несприятливих і хімічно забруднених регіонів України. Зважаючи на це виберемо коефіцієнт k_{13} відповідний до III і IV рівнів хімічної забрудненості: $k_{13}=0,96$.

Для автомобілів-самоскидів підприємства є характерною висока інтенсивність експлуатації. Так, на період проведення експерименту місячний пробіг варіювався в межах 3,5...8 тис. км. Виходячи з цього, приймемо найбільше значення коефіцієнта k_2 згідно з таблицею 2.2: $k_2=1$.

З попереднього пояснення випливає, що термін експлуатації шин на самоскидах підприємства не може перевищувати п'яти років, тому коефіцієнт коригування k_3 приймаємо рівним одиниці – $k_3=1$.

Коефіцієнт коригування k_4 залежить від коефіцієнта використання вантажопідйомності транспортного засобу. Завдяки відстеженню вагових даних відомо, що завантаження автомобілів-самоскидів коливається від 26 до 30 т при номінальній масі вантажу, що перевозиться 26т і критичній – 32т (див. додаток). Отже, доцільно прийняти $k_{\text{ван}}=1$, тоді $k_4=0,98$.

Автомобілі-самоскиди не експлуатуються в якості тягачів у складі автопоїзда, і весь пробіг здійснюють без причепа. Тому приймемо $k_5=1$.

Коефіцієнт коригування k_6 вибирається з таблиці 2.4 виходячи з процентного відношення пробігу авто в межі населених пунктів до пробігу поза нею. Методом інтерполяції встановлюємо, що $k_6=1,017$.

Підсумковий коригувальний коефіцієнт буде дорівнювати:

$$k_{\text{САМ}} = 0,992 \cdot 0,974 \cdot 0,96 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,98 \cdot 1 \cdot 1,017 = 0,924.$$

Аналогічно зробимо вибір коефіцієнтів для автобетонозмішувачів.

Згідно з відомостями, наданими організацією, автобетонозмішувач, в середньому, 80% пробігу здійснює по дорогах загального користування з асфальто-бетонним і ґрунтовим покриттям і 20% – по території будівельних об'єктів. При цьому відомо, що дорожнє покриття на більшості об'єктів складається з щебеню, колотого каменю. Складемо коефіцієнт коригування k_{11} за умови, що дороги загального користування перебувають у задовільному стані:

$$k_{11} = 0,76 \cdot 0,2 + 1 \cdot 0,8 = 0,95.$$

Так як в межах міста поздовжній ухил більшості доріг не перевищує 60 %, прийmemo $k_{12}=0,98$.

Виходячи з екологічної обстановки, що склалася в області, і в місті Дніпро зокрема, призначимо $k_{13}=0,96$.

Згідно відомостям підприємства, місячний пробіг автобетонозмішувачів варіюється в межах 1200...3000 км. Прийmemo $k_2=0,98$ у відповідності з максимальним значенням.

Період експлуатації шин, встановлених на автобетонозмішувачі, не перевищує п'яти років, отже, $k_3=1$.

Коефіцієнт використання вантажопідйомності для автобетонозмішувачі залежить, головним чином, від марки бетону, призначеної до транспортування. Від марки суміші залежить її рецептурний склад, а, отже – щільність. У більшості випадків підприємство виробляє і транспортує суміші, при яких коефіцієнт використання вантажопідйомності становить 0,8...0,95. У цьому випадку можемо прийняти $k_4=1$.

Автобетонозмішувачі не менше 90% пробігу здійснюють у межах міста. Згідно з даними таблиці 2.4 обчислимо:

$$k_6 = 0,97 \cdot 0,9 + 1,04 \cdot 0,1 = 0,977.$$

Підсумковий коригувальний коефіцієнт для автобетонозмішувачів становить:

$$k_{\text{АБЗ}} = 0,95 \cdot 0,98 \cdot 0,96 \cdot 0,98 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,977 = 0,86.$$

Згідно [3], для шин моделі ИД-304 У-4, що встановлюються на автобетонозмішувачі КамАЗ, базовий середній пробіг становить 80 тис. км. Для шин Michelin моделей XZY-2 і XDY-3, що встановлюються на самоскиди Volvo FM 400, базовий середній пробіг становить 65 тис. км. Керуючись наведеними даними, обчислимо ресурс шин з урахуванням умов експлуатації.

Для самоскидів:

$$N_{xzy,xdy} = N_{\text{ну.}xzy,xdy} \cdot k_{xzy,xdy};$$

$$N_{xzy,xdy} = 65000 \cdot 0,924 = 60060 \text{ км.}$$

Для автобетонозмішувачів:

$$N_{\text{ид-304}} = N_{\text{ну.ид-304}} \cdot k_{\text{ид-304}};$$

$$N_{\text{ид-304}} = 80000 \cdot 0,86 = 68800 \text{ км.}$$

Перевіримо методику для шин XZY-2 і XDY-3, керуючись нормативами фірми Michelin [13]. Приймаємо, відповідно до рекомендацій виробника, середню інтенсивність зносу рівною 0,1 мм/1000 км. Тоді, приймаючи до уваги початкову висоту протектора XZY-2 18 мм, і протектора XDY-3 – 25 мм, обчислимо висоту, до граничного зносу, якщо висота протектора, при якій шина підлягає виведенню з експлуатації складає 1,6 мм:

$$h_{xzy} = 18 - 1,6 = 16,4 \text{ мм};$$

$$h_{xdy} = 25 - 1,6 = 23,4 \text{ мм.}$$

Знаючи висоту протектора, що зношується до досягнення нею критичного значення, обчислимо базовий пробіг шини:

$$N_{xzy} = \frac{16,4}{0,1} \cdot 1000 = 164000 \text{ км};$$

$$N_{xdy} = \frac{23,4}{0,1} \cdot 1000 = 234000 \text{ км.}$$

Тоді, у відповідності до поправочних коефіцієнтів, обчислених раніше, отримаємо:

$$N_{xzy} = 164000 \cdot 0,924 = 151536 \text{ км};$$

$$N_{xdy} = 234000 \cdot 0,924 = 216216 \text{ км.}$$

Висновок за розділом 2

Результати обчислень показують, що пробіг шин до списання, обчислюваний згідно до нормативів, рекомендованих [5] не відповідає дійсності, як для шин зарубіжного, так і вітчизняного виробництва. Згідно з даними, отриманими під час проведення експерименту, шини Michelin XZY-2, що встановлюються на керовані осі самоскидів Volvo FM 400 до моменту списання в середньому долають 123,5 тис. км, а Michelin XDY-3, що встановлюються на провідні осі тих же самоскидів до списання долають 220 тис. км.

Шини марки ИД-304 У-4, що встановлюються на всі осі автобетонозмішувачів КамАЗ виходять з експлуатації після подолання, в середньому, 47 тис. км.

Наведені факти свідчать про необхідність перегляду коефіцієнтів коригування для всіх марок шин. Доцільно в подальших розрахунках прийняти базовий середній пробіг для шин Michelin у відповідність з рекомендаціями виробника, для шин заводів Омкшина, Belshina, КАМА через брак рекомендованих – згідно [5].

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЗНОСУ ШИН КОМЕРЦІЙНИХ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ

3.1. Зміст та умови проведення експерименту

3.1.1 Об'єкт дослідження. Зі складу автопарків підприємств компанії UTEC Logistics в експерименті були задіяні:

- 5 самоскидів VOLVO FM 400 вантажопідйомність до 32 т;
- 5 автобетонозмішувачів VOLVO FM 400 місткістю до 8 м³;
- 4 автобетонозмішувачі КамАЗ 6520-61 місткістю 8 м³.

Таблиця 3.1

Застосовність шин в автопарках підприємств

Модель КТЗ	Розташування осі			
	1-а Керована	2-а Керована	1-а Провідна	2-а Провідна
VOLVO FM 400 8x4	- Michelin XZY-2 315/80 R22,5.		- Michelin XZY-2 315/80 R22,5; - Continental HDC-1 315/80 R22.5 (Michelin)*; - Michelin XDY-3 315/80 R22.	
VOLVO FM 400 6x4	- Michelin XZY-3 385/65 R22.5.	–	- Goodyear RHD 315/80 R22.5; - Bridgestone R297. - Michelin XDY-3 315/80 R 22,5;	
КамАЗ 6520-61 6x4	- КАМА ИД-304 У-4 12.00 R20; - Belshina ИД-304 У-4 12.00 R20; - Омскшина ИД-304 (н/с14, 18).	–	- КАМА ИД-304 У-4 12.00 R20; - Belshina ИД-304 У-4 12.00 R20; - Омскшина ИД-304 (н/с14, 18).	- КАМА ИД-304 У-4 12.00 R20; - Belshina ИД-304 У-4 12.00 R20; - Омскшина И Д-304 (н/с14, 18).

Примітка: * – було виконане наварювання вказаним в дужках протектором.

Характеристики транспортних засобів, задіяних в експерименті, додаються (додаток А).

Об'єктом дослідження є асортимент шин, що постійно застосовуються на даних автомобілях.

3.1.2. Методологія експерименту. Мета експерименту – накопичення масиву даних, що являють собою залежність залишкової висоти малюнка протектора від пробігу шини в умовах міста Дніпра і області.

Метод виконання експерименту – виконання безпосередніх вимірів залишкової висоти малюнка протектора з періодичністю 5...7 тис. км за фактичним пробігом з наступним документуванням.

Загальні положення. Існує велика кількість різноманітних методів оцінки інтенсивності зносу протектора [14-15].

Проте вимір залишкової висоти малюнка протектора, її документування і порівняння з попередніми значеннями є найбільш доцільною методикою відстеження динаміки зносу автомобільних шин в умовах виробництва, оскільки цей метод не потребує прецизійного і дорогого вагового обладнання, попереднього впливу на шину, руйнівного впливу на неї і навіть демонтажу. Крім того метод безпосереднього вимірювання глибини малюнка протектора дозволяє виявити нерівномірності зносу шини, як по ширині бігової доріжки так і по довжині її кола, що практично не можливо при об'ємних і вагових методах оцінки або ж надає недостатньо точні дані, як при методі нанесення поглиблених міток або використанні індикаторів зносу.

Кількість реєстрованих точок. Вибір необхідної кількості точок, які підлягають реєстрації, ґрунтується на кількох практичних міркуваннях:

- можливість відстеження нерівномірності зносу за шириною бігової доріжки;
- можливість відстеження нерівномірності зносу за довжиною кола бігової доріжки;
- можливість отримання достатнього для виключення грубої помилки вимірювання кількості значень;
- можливість виконання серії вимірів без демонтажу колеса.

Так, для якомога більш точного визначення технічного стану шини і його зв'язку з технічним станом автомобіля рекомендується проводити вимірювання в шести перерізах по довжині бігової доріжки і в трьох площинах по її ширині [14]:

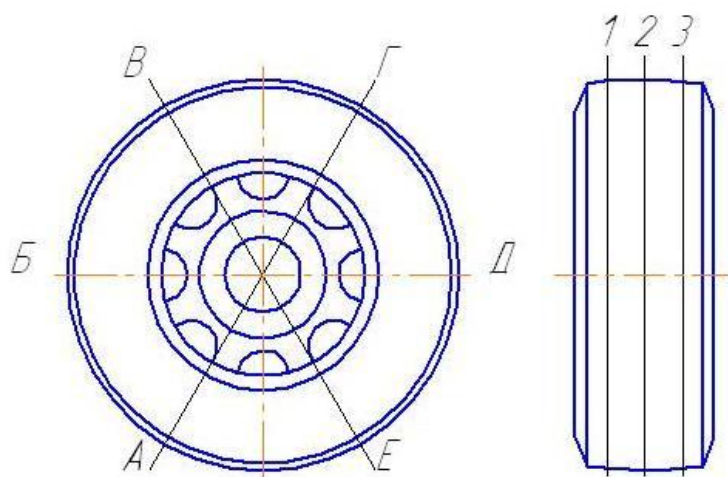


Рис. 3.1. Рекомендована схема розташування контрольних точок при вимірюванні залишкової висоти протектору

Дійсно, запропонована схема має значні переваги, такі як безпомилкове визначення характеру нерівномірності зносу по довжині бігової доріжки і мінімізація грубої помилки виміру розширенням масиву даних, однак без демонтажу колеса проведення вимірювань у відповідність з цією схемою неможливе, зважаючи на близьке розташування деталей підвіски, паливних баків та бризковиків. Крім того, беручи до уваги неминучість виконання вимірів під час короткочасних стоянок транспорту, стало за необхідність скорочення часових витрат на проведення вимірювань.

Виходячи з наведених вище міркувань, було прийнято рішення проводити вимірювання в трьох перерізах по довжині бігової доріжки і в трьох площинах по ширині. Порівняння статистично оброблених масивів, отриманих першим і другим методами, показало, що в контексті даної роботи, виходячи з її цілей і завдань дане спрощення є прийнятним.

Вимірювальний інструмент. В якості вимірювального інструменту при проведенні експерименту був обраний штангенциркуль цифровий Sigma 391110, з межею вимірювання 0-150 мм, точністю 0,02 мм.

Документування результатів вимірювань. Для наочності документування отриманих даних, забезпечення можливості подальшої ідентифікації перерізу і площини, в якій був отриманий розмір, автомобіля, на який була встановлена шина,

була розроблена спеціальна форма запису. Вона включає в себе дані про автомобіль, положення і розмірність шин, їх пробіг з початку експлуатації до проведення виміру, залишкову висоту протектора, тиск повітря в шині і характер зносу.

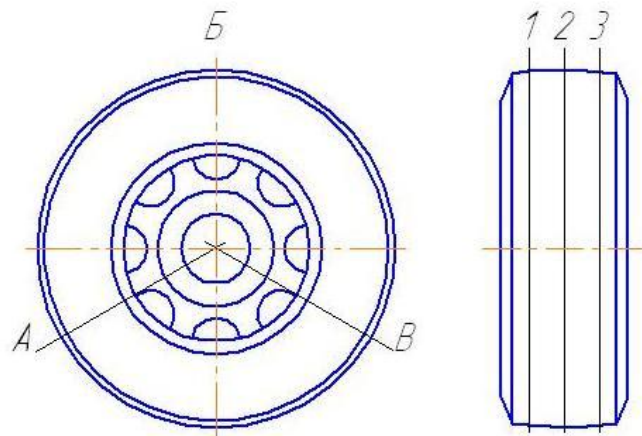


Рис. 3.2. Практична схема розташування контрольних точок при вимірюванні залишкової висоти протектору



Рис. 3.3. Загальний вигляд штангенциркуля Sigma 391110

3.2. Результати експерименту

За результатами експерименту можна зробити висновок, що автомобільній шині властива складна, нелінійна залежність зносу від наробітку, яку можна спостерігати на прикладі багатьох технічних об'єктів: Середня інтенсивність зношування – одна з найважливіших характеристик автомобільної шини, яка вказує на її експлуатаційні характеристики, доцільність її використання в конкретних

умовах. У контексті даної роботи оцінюється в міліметрах зношеної висоти протектора, віднесеної до тисячі кілометрів пробігу.

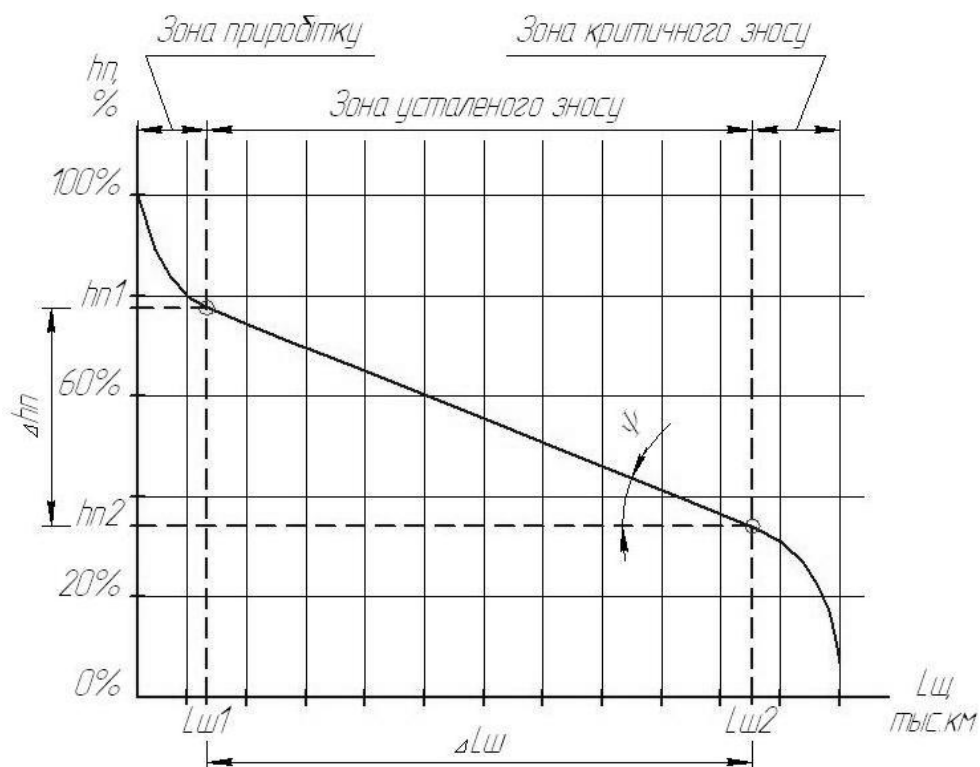


Рис. 3.4. Загальний вигляд залежності залишкового ресурсу (висоти протектору) шини від її наробітку

На малюнку (3.4) можна бачити, що наробіток шини, або її повний пробіг можна розділити на три етапи з точки зору мінливості інтенсивності зношування – зону підробітку, зону усталеного (стабільного) зносу і зону критичного зносу.

Відтак, фази приробітку і критичного зносу представляють собою ступеневі функціональні залежності залишкової висоти протектора від напрацювання, а значить, припускають мінливість інтенсивності зношування з накопиченням пробігу. У той же час в сталій фазі інтенсивність зношування має положисту лінійну залежність, причому тангенс кута ψ нахилу прямої є середню інтенсивністю зношування:

$$I_h = \frac{\Delta h_{п}}{\Delta L_{ш}} = \frac{h_{п1} - h_{п2}}{L_{ш2} - L_{ш1}} = \left[\frac{\text{мм}}{1000 \text{ км}} \right] \quad (3.1)$$

Розглянемо експериментальні дані, зіставивши їх з викладеними вище міркуваннями.

3.2.1. Етап приробітку. Необхідно присутній на початку експлуатації шини період приробітку обумовлюється, в значній мірі, пристосуванням шини до індивідуальних особливостей геометрії шасі автомобіля, роботі вузлів підвіски. Очевидно, що шасі автомобіля, що був в експлуатації у різних і не завжди сприятливих умовах, несе ряд недосконалостей, як то скручування рами, прогин або непаралельність мостів, їх одно – або різносторонній зсув, деформація колісного диска і багато інших.

У ході експерименту було складено графічне представлення періоду приробітку шин марки Goodyear RHD, розмірності 315/80 R22, 5 (рис. 3.5), що встановлюються на провідні осі автобетонозмішувачів Volvo.

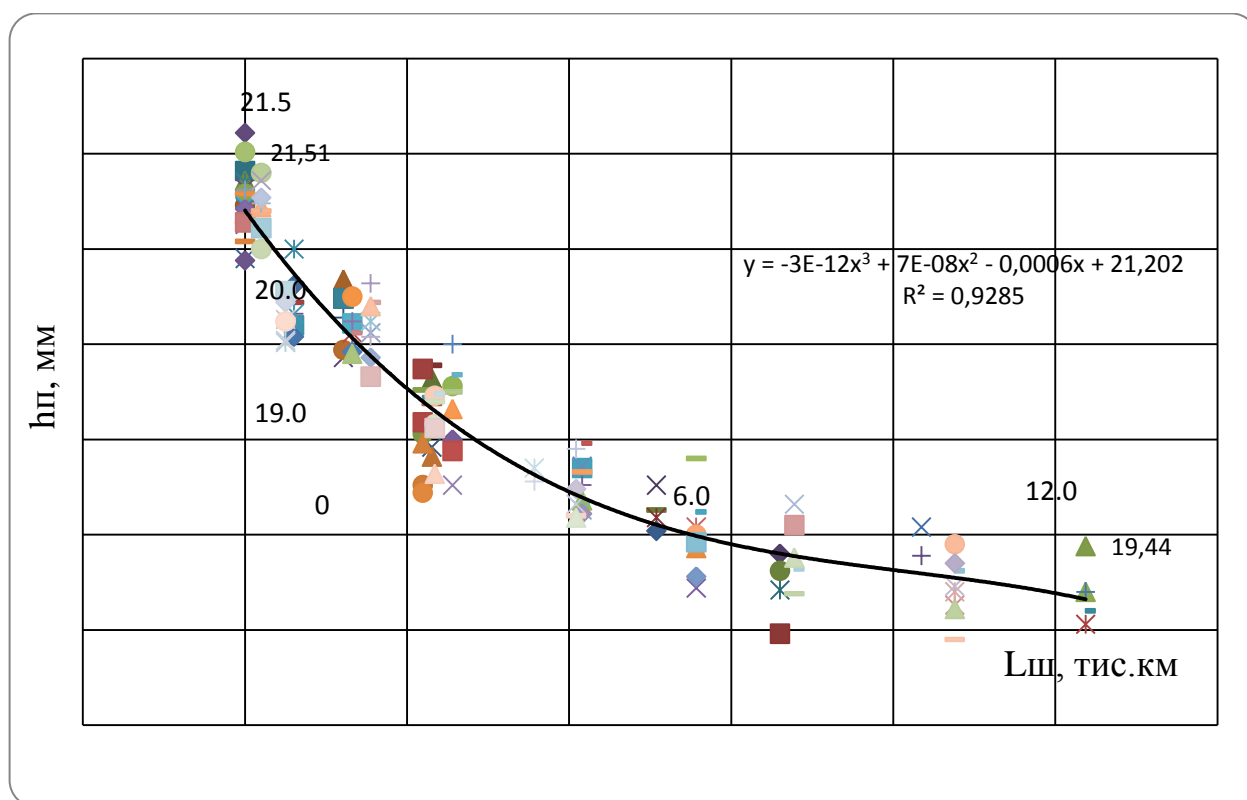


Рис. 3.5. Графік зносу шин марки Goodyear RHD. Період приробітку

За виглядом даної залежності можна зробити висновок, що період приробітку складає близько 8,5 тис. км.

Згідно з протоколами вимірювань, середня інтенсивність зношування становила в цей період 0,377 мм/1000 км, при цьому на перших 1,5 тис. км сягала значення 1,04 мм/1000 км, а за перші 4 тис. км пробігу мала середнє значення 0,5036 мм/1000

км. В інтервалі напрацювання від 4 до 8,5 тис. км середня інтенсивність зношування поступово знизилася до величини, що є нормальною для шин, які експлуатуються в умовах будівництва, прийнявши значення 0,147 мм/1000 км.

Факт існування приробітку шин до автомобіля підтвердився також у ході спостереження за динамікою зносу провідних коліс самоскидів. Так, якщо шини з пробігом близько 216 тис. км, на момент виведення з експлуатації, зношувалися з інтенсивністю 0,066...0,079 мм/1000 км, то встановлені замість шини з пробігом 41,1 тис. км показали інтенсивність зношування на рівні 0,14...0,2 мм/1000 км.

Звертаючись до даних експерименту, можна зауважити, що за етап приробітку шини автобетонозмішувачів втрачають, в середньому 2,5 мм від початкової висоти протектору. У виняткових випадках шини автобетонозмішувачів за період приробітку втрачають 2,9 мм від початкової висоти протектору.

3.2.2. Етап усталеного зносу. Етап усталеного зносу – найбільш тривалий етап відносно наробітку шини, що займає близько 85% пробігу багатотоннажних автомобільних шин. Для цього етапу характерна рівномірна середня інтенсивність зношування, підтримувана завдяки відносно постійним умовам експлуатації шини і завершенню процесу приробітку (рис. 3.6).

Сталий знос вдалося спостерігати в повному циклі експлуатації шин Michelin XZY-2, розмірністю 315/80 R22,5, що встановлюються на керовані вісі автомобілів-самоскидів Volvo (рис. 3.6).

Виходячи з положень, викладених у попередньому підрозділі, верхня межа усталеного зносу відповідає тому значенню пробігу, за якої відбулося усталення середньої інтенсивності зносу протектору шини. Спираючись на дані, наведені у додатку Д можна говорити про початок усталення на 16 тис. км пробігу.

За виглядом наведеного графіку, а також за результатами документування вимірів, можна зробити висновок, що перехідна зона для даних шин знаходиться на 100 тис. км пробігу. На цій відмітці спостерігається стрімке наростання розбіжності між залишковими середніми висотами протектору, які плавно наростали до 100 тис. км.

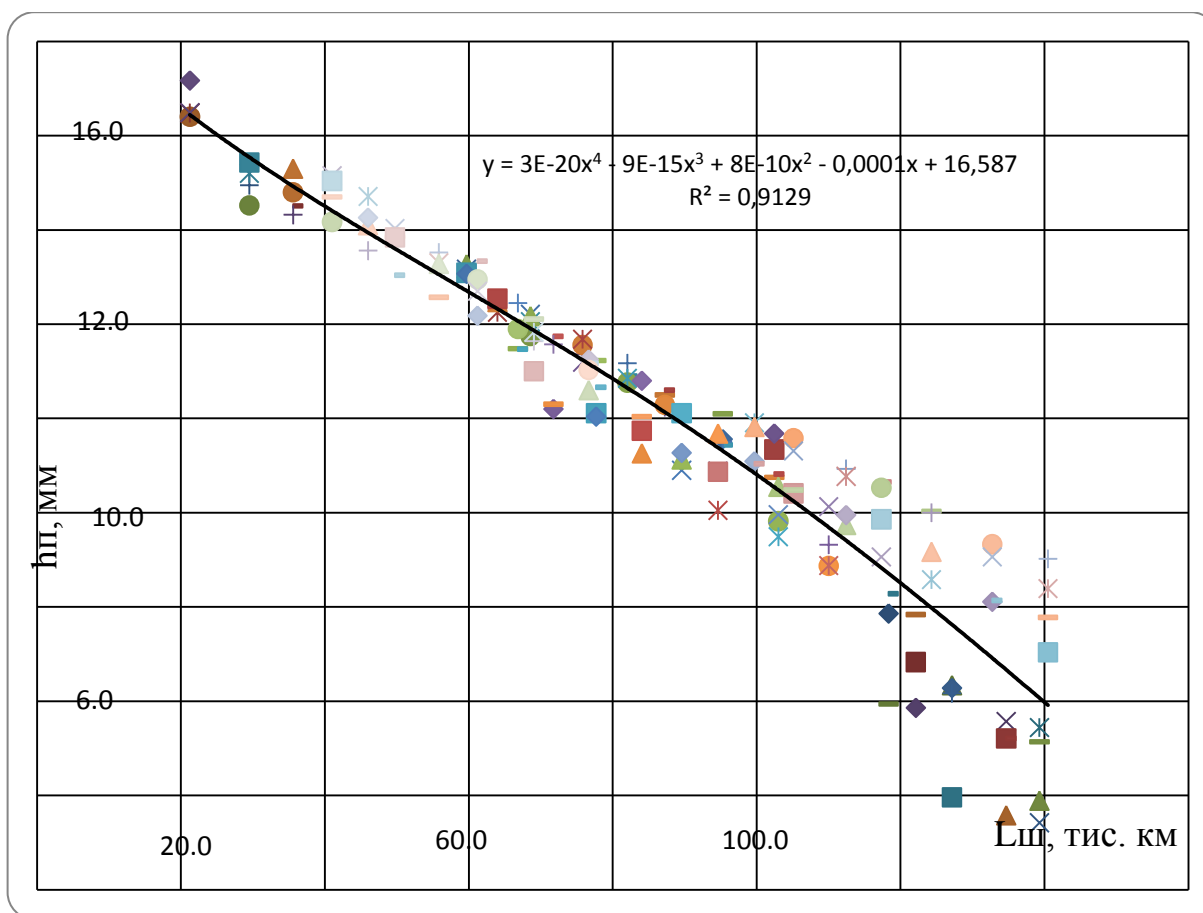


Рис. 3.6. Графік зносу шин Michelin XZY-2

Таким чином, у режимі усталеного зносу шина керованого колеса чотиривісного самоскида долає близько 72% пробігу. Середня інтенсивність зносу за цей період становить 0,112 мм/1000 км, при мінімальному значенні інтенсивності 0,088 мм/1000 км. Середня висота протектору на початок фази усталеного зносу склала 14,75 мм, а наприкінці фази – 4,64 мм. Таким чином власна середня величина зносу склала 10,11 мм, що дорівнює 62% від загальної висоти, що повинна зазнати зносу до моменту списання.

Також, на невеликій ділянці пробігу, обмеженій часовими рамками експерименту, вдалося спостерігати усталений знос протектору шин Michelin XZY-3, розмірністю 385/65 R22,5, що встановлюються на керовану вісь автобетонозмішувачів Volvo.

3.2.3. Етап критичного зносу. Етап критичного зносу характеризується підвищеною середньою інтенсивністю зношування, нестабільністю даної величини. На прикладі рис. 3.7 можна спостерігати, як розсіювання залишкової висоти протектора збільшується з пробігом, що свідчить про мінливість інтенсивності зношування, яка сягає меж варіювання при наробітку 120 тис. км 0,08...0,2 мм/1000 км для шин керованих коліс самоскидів (рис. 3.7-3.8), та 0,04...0,25 мм/1000 км для провідних.

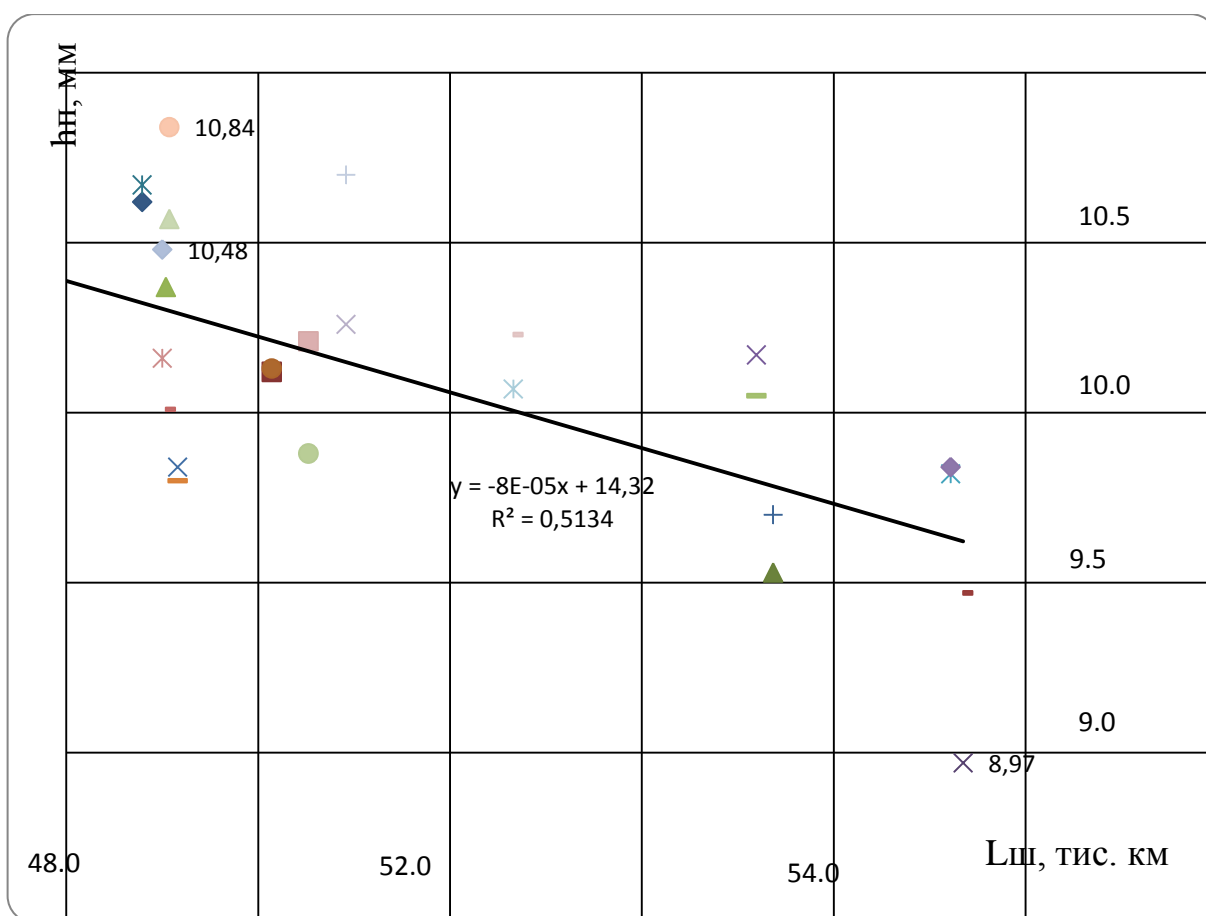


Рис. 3.7. Графік усталеного зносу на прикладі шин Michelin XZY-3

Етап входження шини в фазу критичного зносу – найбільш несприятливий з точки зору економічної доцільності експлуатації. Практика показує, що 80% випадків ушкоджень, що не підлягають ремонту пов'язані саме з вичерпанням ресурсу шини. Так як підприємство зацікавлене у відновленні протектора шини методом наварки, в завдання технічного відділу введена функція завчасного

виведення з експлуатації шин, що мають середню залишкову висоту протектора близько 2 мм.

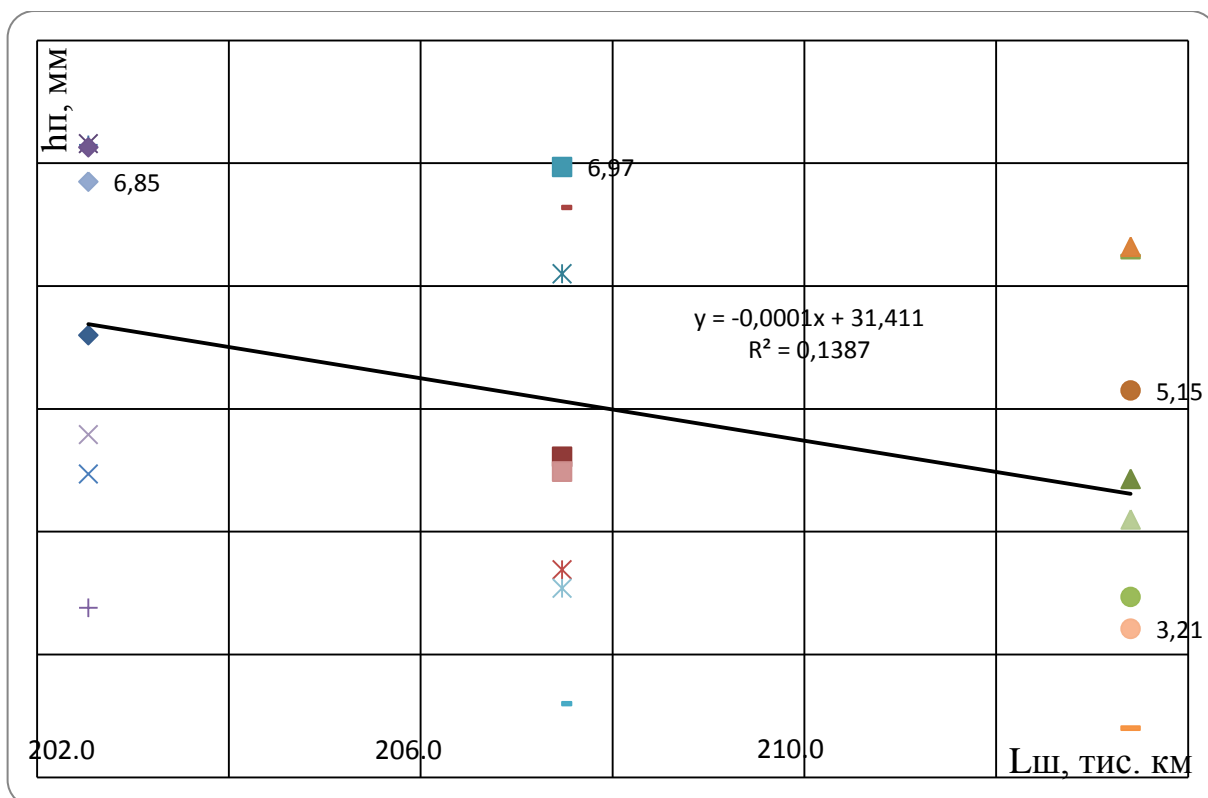


Рис. 3.8. Графік зносу шин Michelin XDY-3 при наближенні до зняття з експлуатації

Можна припустити, що чинниками, що зумовлюють критичний знос є:

1. Накопичення втомних напружень і руйнувань в масиві протекторної гуми.
2. Наростання нерівномірності зносу по довжині бігової доріжки, що призводить за собою мінливість радіуса кочення. Беручи до уваги сталість швидкості автомобіля, непостійність радіуса кочення колеса необхідно повинно призвести або до посиленого прослизання в зоні контакту, або до мінливості і збільшення амплітуди дотичних поздовжніх напружень. У залежності від результату кочення колеса з непостійним радіусом зміниться міра впливу абразивного чи втомного зносу.

У випадку подвійної ошиновки нерівномірність зносу шин може призвести до того, що спарена шина, в деякому центральному перерізі, поведе себе як усічений конус, покладений бічною поверхнею на площину. Очевидно, що основи усіченого конуса при коченні його бічної поверхні по площині прагнуть подолати різні

відстані. Якщо подібне явище реалізується у плямі контакту спарених шин, воно може привести до циркуляції дотичних напружень, викликаних моментом тертя з плечем, що дорівнює половині відстані між площинами симетрії шин.

3. Підвищення жорсткості шини в дотичному напрямку. Підвищення дотичної жорсткості тягне за собою зниження здатності до шини пружної деформації, отже, більш ранній її перехід до прослизання. Таким чином, при інших рівних умовах зношена шина перейде в ре жим повного бічного прослизання раніше тієї, що має великий запас ресурсу.

4. Підвищення жорсткості шини в нормальному напрямку. З підвищенням жорсткості шини в нормальному напрямку знижується так її протидія проникаючим впливам, таким як проколи, порізи, зрізи та інші, здатні інтенсифікувати зношування.

5. Зменшення діаметра шини. Геометрична передумова більшого циклічного навантаження шини – зменшення довжини її розгортки. У результаті відбувається більше робочих циклів за одиницю пробігу, а значить, інтенсивність зносу зростає.

Висновки за розділом 3

Звертаючись до даних експерименту, можна зауважити, що за етап приробітку шини автобетонозмішувачів втрачають, в середньому 2,5 мм від початкової висоти протектору. У виняткових випадках шини автобетонозмішувачів за період приробітку втрачають 2,9 мм від початкової висоти протектору.

У режимі усталеного зносу шина керованого колеса чотиривісного самоскида долає близько 72% пробігу. Середня інтенсивність зносу за цей період становить 0,112 мм/1000 км, при мінімальному значенні інтенсивності 0,088 мм/1000 км. Середня висота протектору на початок фази усталеного зносу склала 14,75 мм, а наприкінці фази – 4,64 мм. Таким чином власна середня величина зносу склала 10,11 мм, що дорівнює 62% від загальної висоти, що повинна зазнати зносу до моменту списання.

Етап входження шини в фазу критичного зносу – найбільш несприятливий з точки зору економічної доцільності експлуатації. Практика показує, що 80% випадків ушкоджень, що не підлягають ремонту пов'язані саме з вичерпанням ресурсу шини.

РОЗДІЛ 4

ПІДСУМКИ РОБОТИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

4.1. Пропозиції відносно вдосконалення методики коефіцієнтів коригування

Метод коригуючих коефіцієнтів користується заслуженою увагою з боку виробництв через свою простоту, пристосовність і доступність. У числі інших достоїнств методики – здатність нівелювати вплив різних чинників побічних порядків і їх взаємний вплив, так як сам принцип методики ґрунтується на обробці безпосередньо пробігу шини.

Однак, як показало співставлення результатів розрахунків і практичних пробігів, не в усіх випадках метод коригуючих коефіцієнтів надає достовірний результат. Так, в умовах виробництва завищення розрахункового ресурсу шин здатне привести до невідповідності експлуатуючої організації до вичерпання ресурсу шин рухомого складу, особливо через брак досвіду експлуатації конкретних моделей шин в даних умовах. З іншого боку, значне заниження розрахункового ресурсу призведе до нарощування складських запасів, підвищення питомої ваги даної витратної статті у фінансовому плані підприємства.

Беручи до уваги вищесказане, пропоную виконати перегляд і удосконалення методики коригування пробігу шин за допомогою коефіцієнтів експлуатаційних умов. Практика показала необхідність врахування наступних факторів, здатних зробити істотний вплив на динаміку зносу в умовах реального виробництва:

- умови експлуатації;
- розташування шини на КТЗ з урахуванням конструкції;
- швидкісна перевантаження шин з урахуванням радіуса повороту;
- відхилення внутрішнього тиску від нормативного значення;
- перевантаження транспортного засобу.

Розрахунки ведуться згідно до рекомендацій виробника у випадку зарубіжних моделей шин, та за рекомендаціями [5] для шин виробників країн СНД. Рекомендовані коефіцієнти зведені в ряді таблиць.

4.1.1. Розробка коефіцієнтів коригування. 1. Результатом розрахунку є пробіг автомобільної шини до моменту списання, за умови прийняття рішення про списання зважаючи природного зносу.

Випадки списання шини, що не охоплюються розрахунковою методикою:

- вихід з експлуатації внаслідок руйнування, пошкоджень, що не підлягають ремонту;

- експлуатація шин в умовах, що не передбачені виробником;

- передчасне списання з ініціативи відділу експлуатації підприємства.

2. Розрахункова методика ґрунтується на методі поправочних коефіцієнтів, базовим пробігом для якого є заявлений виробником у разі шин фірми Michelin і базовий середній відповідно до джерела [5] для шин марки ИД-304 У-4.

3. Результуючі поправочні коефіцієнти визначаються як частка між розрахунковим і практичним пробігом, коефіцієнти для окремих випадків умов експлуатації призначаються на підставі літературних джерел, спостережень та рекомендацій виробника [14].

4. Інтенсивність зносу протекторного шару, величина зносу за цикл приймаються постійними і залежать безпосередньо від умов експлуатації шин.

5. Кількість циклів навантаження за одиницю пробігу приймається постійною для кожної моделі шини, відповідною до початкового статичного радіусу в навантаженому стані.

Визначимо результуючі коефіцієнти скорочення пробігу для застосовуваних на підприємстві шин. Як було зазначено вище, обчислення ведеться шляхом визначення частки від поділу реального пробігу на базовий середній:

$$k_{\text{ИД-304}} = \frac{47000}{80000} = 0,588;$$

$$k_{xzy} = \frac{123500}{164000} = 0,75;$$

$$k_{xdy} = \frac{220000}{234000} = 0,94.$$

На прикладі наведених обчислень бачимо, що найбільший коефіцієнт зниження пробігу мають шини марки ИД-304 У4, що встановлюються на автобетонозмішувачі КамАЗ. Ґрунтуючись на узагальненні досліджень, наведених у розділах 2.1 та 2.2, найбільший вплив на зниження ресурсу шин могли надати умови експлуатації, що явно сприяють інтенсивному зносу – застосування в умовах будівництва, наслідком якого стало зношування викришуванням. У ході спостережень було встановлено факт зниженої, в порівнянні із закордонними аналогами, стійкості до порізів і розривів.

Найменший коефіцієнт зниження пробігу показують шини моделі XDY-3 (і наварювані аналогічним протектором). У даному випадку можна відзначити сприятливий вплив експлуатації в умовах доріг з асфальтовим і на асфальтово-бетонним покриттям в задовільному стані. Крім того, провідні колеса зазнають значно меншого бічного відведення при русі по колу, що трохи знижує результуючі дотичні напруги в зоні контакту.

У ході порівняння теоретичного та реального пробігів шин моделі XZY-2, що застосовуються на керованих осях самоскидів, показали суттєвий коефіцієнт зниження ресурсу в умовах природного зносу. Можна припустити, що більш інтенсивний знос, в порівнянні з теоретичним, обумовлений частим коригуванням напрямку, недосконалістю узгодження керованих осей автомобіля.

Коефіцієнт k_1 враховує пробіг КТЗ в особливих умовах, під якими розуміються будівельні майданчики та кар'єрні розробки. Значення коефіцієнту нараховується у відповідності з часткою пробігу транспортного засобу по шляхах в особливих умовах від загальної здоланої відстані. Передумовою до впровадження коефіцієнту послужила графічна залежність 2.1.

Значення коефіцієнту k_2 запозичені з стандартної версії розрахункової методики та залишені незмінними.

Коефіцієнт коригування k_1 в залежності від умов експлуатації

Умови експлуатації		Співвідношення пробігів в особливих і загальних умовах						
		<0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	>0,6
Будівництво		0,95	0,9	0,85	0,8	0,7	0,6	0,5
Кар'єрні розробки	Пісок	0,9	0,87	0,84	0,81	0,77	0,74	0,7
	Щебінь	0,9	0,86	0,82	0,78	0,74	0,69	0,65
	Легкі скельні породи	0,85	0,8	0,76	0,72	0,68	0,64	0,6
	Важкі скельні породи	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5

Таблиця 4.2

Коефіцієнт коригування k_2 за сукупністю дорожньо- кліматичних умов

Кліматична зона	Коефіцієнт коригування залежно від типу дорожнього покриття в задовільному (незадовільному) технічному стані (k_{21})			Коефіцієнт коригування залежно від поздовжнього похилу дороги (k_{22})			Коефіцієнт коригування залежно від ступеня хімічного забруднення (k_{23})		
	асфальто- бетон	цементо- бетон	брущатка, колотий камінь	не більше 40 ‰	від 40 до 60 ‰	понад 60 ‰	I	II	III, IV
Північна	1,0 (0,96)	0,88 (0,80)	0,84 (0,76)	1,0	0,98	0,96	1,0	0,98	0,96
Центральна	1,0 (0,96)	0,88 (0,80)	0,84 (0,76)	1,0	0,98	0,96	1,0	0,98	0,96
Південна	0,95 (0,90)	0,79 (0,76)	0,76 (0,73)	1,0	0,98	0,96	1,0	0,97	0,95
Гірська	0,97 (0,93)	0,82 (0,78)	0,80 (0,76)	1,0	0,98	0,96	1,0	1,0	1,0

Практикою було доведено, що шини підвищеного ресурсу проявляють диференціацію інтенсивності зношування в залежності від позиції на КТЗ, та власної конструкції транспортного засобу. Відтак, шини, що встановлені на керовані вісі самоскидів, показали вищу інтенсивність зношування, ніж шини провідних

коліс при однаковій заявленій виробником базовій інтенсивності зношування, що суперечить теоретичним матеріалам, наведеним в 2.2.4.

Таблиця 4.3

Коефіцієнт коригування k_3 в залежності від позиції шини на КТЗ

Позиція шини, спосіб встановлення	Кількість осей		
	2	3	4
Керовані	1	1	0,9
Не керовані	1	1	1
Провідні поодинокі	0,95	0,97	-
Провідні подвоєні	0,98	1	1,15

Відомо, що швидкісний індекс є основним параметром, поряд з індексом вантажності, що обумовлює використання шини на конкретному транспортному засобі. Як свідчить практика, факти перевищення граничної швидкості мають місце серед водіїв бетонозмішувачів КамАЗ – даний зразок будівельної техніки не обладнаний обмежником швидкості.

Таблиця 4.4

Коефіцієнт коригування k_4 в залежності від швидкісного перевантаження шин

Швидкісне перевантаження, %	Ділянки маршруту			
	Прямолінійна	Поворот $r > 200\text{м}$	Поворот $r = 100 \dots 200\text{м}$	Поворот $r \leq 50\text{ м}$
<5	1	0,98	0,96	0,95
10	0,97	0,97	0,94	0,93
15	0,96	0,95	0,93	0,92
20	0,95	0,93	0,92	0,9

Таблиця 4.5

Коефіцієнт коригування k_5 в залежності від відхилення внутрішнього тиску від нормативних значень

Відхилення від нормального внутрішнього тиску						
-30%	-20%	-10%	0%	+10%	+20%	+30%
0,5	0,75	0,9	1	0,9	0,85	0,75

У деяких випадках, технічна служба підприємства здатна випустити в уваги такий важливий експлуатаційний параметр як внутрішній тиск в шині. Даний

коефіцієнт враховує можливість зниження внутрішнього тиску в шині під дією природних витоків, або його підвищення уразі перегріву шин, підвищення середньодобової температури. На значущості даного параметра наголошує фірма Michelin [18].

Таблиця 4.6

Коефіцієнт коригування k_6 в залежності від коефіцієнта використання вантажності k_b відносно оптимальної вантажності КТЗ

Колісні транспортні засоби	Значення коефіцієнта використання вантажності k_b (пасажировмісності $k_{пас}$)								
	до 0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	1
	Значення коефіцієнта k_4								
автомобілі вантажні бортові, причепи, сідельні тягачі, напівпричепи	1,03	1,03	1	1	1	0,98	0,98	0,97	0,97
Автомобілі-самоскиди	1,04	1,04	1,03	1,03	1	1	1	1	0,98
Автомобілі-бетонозмішувачі	1,03	1,03	1,02	1,02	1	1	1	0,98	0,96
Колісні транспортні засоби	Значення коефіцієнта використання вантажності k_b								
	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4	1,45
	Значення коефіцієнта k_7								
автомобілі вантажні бортові, причепи, сідельні тягачі, напівпричепи	0,96	0,94	0,93	0,92	0,9	0,89	0,87	0,86	0,85
автомобілі-самоскиди	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91	0,9	0,89	0,88
Автомобілі-бетонозмішувачі	0,95	0,93	0,92	0,9	0,88	-	-	-	-

Вивчаючи характеристики транспортних засобів підприємства (додаток А), можна бачити, що для автомобілів Volvo FM в оригінальній специфікації від виробника [15] вказується два значення вантажності – оптимальне, за якого економічні показники експлуатації знаходяться у найвигіднішому балансі з динамікою вичерпання ресурсу вузлів і агрегатів, та максимальне, за якого природний знос вузлів та агрегатів переходить до фази відмов із втратою працездатності. Окрім того, шасі та підвіска автомобіля має за розрахунковий параметр саме оптимальну вантажність, а за максимальної працює на межі вичерпання запасу міцності, тому гадаю доцільним передбачити можливість її

некоректної роботи за цієї умови і запровадити коефіцієнт коригування за використанням вантажності відносно рекомендованої оптимальної.

Таблиця 4.7

Коефіцієнт коригування k_8 в залежності від відношення пробігу в містах і населених пунктах до загального пробігу дорожньою мережею загального користування

Відношення пробігу вулично-дорожньою мережею загального користування в місті до загального пробігу, %	0	20	40	60	80	100
Значення коефіцієнта k_6	1,04	1,02	1,00	0,99	0,98	0,97

Окрім того, до розрахункової методики вирішено залучити коефіцієнт коригування у залежності від співвідношення пробігу у межах міста до загального, що дозволить врахувати інтенсифікацію зношування за рахунок прискорень та гальмувань.

4.2. Основні наукові результати і рекомендації

4.2.1. Рекомендації щодо організації шинного сервісу. Враховуючи вартість повного комплекту шин для сучасного вантажного автомобіля, близько 60 тис. грн., можна з упевненістю сказати, що грамотна організація шинного сервісу підприємством є не тільки однією з найважливіших умов ефективного використання пробігу шин, але також однією з найважливіших умов економічної ефективності роботи підприємства. Для її забезпечення діяльність технічної служби підприємства, в числі інших завдань, повинна так само регулювати експлуатацію шин, керуючись їх характеристиками та умовами їх нормального функціонування. У контексті даної роботи доцільно зупинитися на таких аспектах шинного сервісу, як перестановка і заміна шин.

Перестановка шин – операція, що виконується, як правило, під час ТО автомобіля, що полягає в закономірній зміні позиції шини. Дана процедура покликана, і насправді здатна, поліпшити рівномірність зношування шини і збалансувати інтенсивності зношування шин комплекту.

Керуючись результатами експерименту, можна сказати, що алгоритм перестановки має формуватися виходячи з міркувань застосовності шини та періоду її приробітку.

З міркувань застосовності можливості перестановки шин обмежені їх конструкцією. На сьогоднішній день розрізняють шини провідних і керованих коліс, а також універсальні шини. При цьому і конструктивно провідні, і керовані можна замінювати універсальними, але установка провідних і керованих шин не припустима на не відповідну їм позицію.

Згідно з даними НІІАТ, нерівномірність залишкової висоти протектора від шини до шини в тих комплектах, для яких не проводиться перестановка, може досягати 16...18%. Однак перестановка при кожному ТО підвищує інтенсивність зношування на 17...25%.

Існування явища приробітку шини до автомобіля було показано у 3.2.1. Так, якщо для нової шини в агресивних умовах експлуатації приробіток триває близько 8,5 тис. км, то для частково зношених, більш жорстких шин, що пройшли природну обкатку до своєї позиції, приробіток до нової може тривати до 12 тис. км. З цієї точки зору здійснення перестановки при кожному ТО, з періодичністю 20...25 тис. км вкрай не доцільна, оскільки шина подолає тільки 8 тис. км в режимі усталеної інтенсивності зношування. Перші ж 12 тис. км будуть подолані нею в режимі підвищеної інтенсивності зношування і приведуть до значного зносу протекторного шару.

З вищесказаного випливає, що перестановку шин слід проводити не частіше одного разу на 40...50 тис. км для вантажних автомобілів, тобто через одне технічне обслуговування. В якості додаткової міри підвищення рівномірності зношування великотоннажних шин, можна рекомендувати динамічне балансування коліс в зборі при кожному технічному обслуговуванні. За даними НІІАТ, вантажні шини з наявністю дисбалансу мають на 25% менший пробіг до повного зносу порівняно із динамічно збалансованими шинами.

Заміна шини – процедура, яка виконується в міру виникнення в ній необхідності, а саме при досягненні протектором шини критичного значення висоти,

або ж у випадку пошкодження шини та її непрацездатності. Заміна полягає у виведенні з експлуатації непрацездатної шини та встановлення на її місце працездатної.

Процедура заміни шин має більш жорсткі обмеження, ніж перестановка. Так, крім міркувань застосовності і приробітку вона обмежена міркуваннями безпеки – експлуатація на одній осі шин різної конструкції, різного малюнка протектора забороняється навіть правилами дорожнього руху. У цьому відношенні процедура спрощується у випадку природного зносу шин – при знятті з експлуатації комплекту шин осі або візка він піддається повній заміні, тобто чотирьох або восьми шин. Аналогічна операція виконується для шин керованих осей – заміна двох шин для тривісних автомобілів, двох на одній осі або чотирьох шин одночасно для чотиривісних.

У разі отримання шиною ушкодження, процес заміни ускладнюється. Перш за все, відсоток вироблення ресурсу, конструкція і малюнок протектора справляють істотний вплив на опір коченню шини, і з виробленням ресурсу опір коченню знижується. Отже, встановлення на одну вісь шин з різними характеристиками призводить до виникнення моменту сил, обумовленого різницею сил тертя в плямах контакту. На практиці дія даного моменту проявляється у вигляді відведення автомобіля від прямолінійного руху при нульовому положенні керма.

Узагальнюючи вищесказане, рекомендується формувати мінімальні шинокомплекти для заміни шин з природним зносом з міркувань забезпечення ними як мінімум однієї осі.

З практичної точки зору установка шин з різними характеристиками в подвоєну ошиновку призводить до явного передчасного зносу нової шини. Різниця радіусів кочення загрожує привести до прояву ефекту конусності подвоєної шини (3.2.3). Крім цього, нова шина сприйме більші, у порівнянні зі зношеною шиною, контактні навантаження.

Щоб уникнути недоцільного витрачання нових шин, на підприємстві рекомендується створити оборотний фонд, що формується за рахунок частково зношених шин із залишковим ресурсом на рівні 5%, завчасно виведених з постійної

експлуатації. Даний захід дозволить знизити ризик отримання пошкоджень шинами з граничним залишковим ресурсом за рахунок передчасного виведення з експлуатації, і забезпечить заміну частково зношеним шинам, що отримали не ремонтвані пошкодження.

4.2.2. Рекомендації щодо попередньої оцінки технічного стану транспортного засобу за виглядом та інтенсивністю зношування пневматичних шин. Технічний стан шин, характер та інтенсивність зношування давно розглядаються рядом науковців з експлуатації автомобільного транспорту як сукупність проявів несправностей автомобіля. Відтак, можна представити у вигляді таблиці сукупність найбільш характерних для вантажних автомобілів видів зносу, що були помічені в процесі проведення експерименту, та характерних для них несправностей автомобіля.

З наведеної таблиці можна бачити, що практично будь-яка несправність ходової частини та підвіски автомобіля може бути виявлена завдяки аналізу зношування шин. Головним діагностичним параметром в даному випадку виступає залишкова висота протектору. Тільки ретельний вимір цього параметру дозволить однозначно і безпомилково визначити характер зносу. Окрім того, якщо прийняти до уваги мету будь-якого діагностування – визначення несправності та запобігання її розвитку, можна досягти висновку, що вимірювання повинне мати ступінь точності до 0,05 мм для шин с підвищеним ресурсом і здійснюватися регулярно, щонайменш раз на 10 тис. км пробігу задля визначення нерівномірності на ранніх стадіях її розвитку.

Окрім того, візуальному розпізнанню піддаються не всі види аномального зносу. Так, якщо однобічний знос, що накопичувався упродовж значного пробігу легко визначається візуально, то конусність без систематичного промірювання висоти протектору шини визначити неможливо, хоча відомо, що подібний характер зносу може свідчити про таку значну ваду як прогин мосту.

Слід також зауважити, що відстеження динаміки зношування дозволяє визначити так само причини, здатні призвести до передчасного виходу з експлуатації самої шини, такі як, наприклад, дисбаланси коліс.

Залежність між виглядати зносу та ймовірними несправностями автомобіля

№	Вигляд картини зносу	Характерні причини, несправності
1	Виразений місцевий	Деформація гальмівного барабану або диску.
2	Місцевий в одному або деяких хаотично розташованих зонах	Дисбаланс.
3	Місцевий в деяких періодично розташованих зонах	Бічне биття колеса, недостатній момент затягнення колісних гвинтів, люфт підшипника маточини.
4	Хвилястий	Відмова, вичерпання ресурсу амортизаторів, неприпустимі значення люфтів підвіски
5	Ексцентричний	Радіальне биття колеса, некоректна посадка шини на колісний диск, нерівномірність гальмівного моменту на колесі, концентрація дисбалансу в одній точці, деформація колісного диску.
6	Односторонній знос	Для керованих коліс – відхилення від нормативних значень кутів поперечного розвалу внаслідок деформація важелів підвіски, люфту поворотних шворнів, деформації ресор. Для провідних та інших – прогин мостів.
7	Односторонній пилкоподібний знос	Для керованих коліс – відхилення від нормативних значень кутів поздовжнього сходження внаслідок деформації рульових тяг, люфтів рульових тяг, Для провідних та інших – непаралельність, перекид мостів.

З вищесказаного впливає очевидний висновок – залишкова висота протектора, закон її зміни в залежності від пробігу є значним і різнобічним діагностичним параметром, здатним вказати на несправності автомобіля, що схильні до розвитку, а так само здатними передчасно вивести з експлуатації саму шину.

4.2.3. Рекомендації щодо подальшого вдосконалення розрахункової методики. Виходячи з наведених в 4.2.1 і 4.2.2 міркувань, можна намітити наступні шляхи подальшого вдосконалення і розвитку розрахункової методики:

1. Уточнення значень коефіцієнтів коригування шляхом подальшого накопичення масиву даних та їх статистичної обробки.

2. Розробка окремої розрахункової гілки для визначення пробігу приробітку шин в різних експлуатаційних умовах. Дане вдосконалення дозволить оптимізувати алгоритми операцій по перестановці і заміні шин рухомого складу.

3. Розширення функціональних можливостей методики в бік оптимізації управління фондами запасних шин. Дане вдосконалення дозволить визначити оптимальний момент завчасного виведення з експлуатації шин з граничним зносом з точки зору ризику отримання пошкоджень, економічної ефективності створення фонду, його доцільного наповнення.

4. Створення цілісної методології управління експлуатацією шин.

ВИСНОВКИ

1. У ході роботи було проаналізовано зв'язки фізико-механічних властивостей шини, експлуатаційних факторів на прояв механізмів зносу і динаміку зношування автомобільних шин.

2. У ході проведення експерименту з відстеження динаміки зношування в реальних умовах експлуатації було накопичено дані, що обумовлюють вид залежності між залишковою висотою протектора шин різних моделей від пробігу в постійних умовах. Експериментальні дані дозволили підтвердити:

- нелінійність закону зношування автомобільної шини;
- прояв інтенсивності зношування в трьох фазах – подрібтки, усталеного зношування, критичного зношування;
- залежність інтенсивності зношування від умов експлуатації, дорожньо-кліматичних умов, конструкції транспортного засобу, динамічного і статичного перевантаження транспортних засобів.

3. У контексті роботи піддані перевірці контактні та експлуатаційні методики розрахунку ресурсу автомобільних шин шляхом зіставлення результату розрахунків з накопиченими експериментальними даними.

4. Встановлено незадовільну відповідність розрахункових пробігів до моменту списання пробігам шин в умовах реальної експлуатації. Виявлено, що контактні методики розрахунків представляють істотно занижені значення ресурсу. Це пояснюється тим, що вони, як правило, приймають за основу лінійний закон зношування. Крім того, контактні методи розрахунку вимагають знання конкретних фізико-механічних властивостей гум для кожної шини, що в свою чергу спричиняє необхідність лабораторних досліджень, що значно підвищить вартість і знизить ефективність планування. Зважаючи на це застосування контактних методик в умовах виробництва визнано не доцільним. Методика поправочних коефіцієнтів, застосовувана в даний час, носить недосконалість в базовому пробігу за моделями шин і потребує ряді удосконалень.

4. Виходячи з представлених міркувань, здійснена спроба удосконалювання методики поправочних коефіцієнтів у наступних напрямках:

- при коригуванні пробігу автомобільної шини за методом коригуючих коефіцієнтів прийняття як базового пробігу отриманого з офіційних джерел заводу-виготовлювача.

- розширення типології колісних транспортних засобів, зокрема в бік спеціалізованої будівельної техніки, експлуатованої на дорогах загального користування.

5. У роботі запропоновано ряд коефіцієнтів, а саме:

- умови експлуатації шин;
- положення шини на КТЗ в залежності від конструкції;
- динамічне перевантажені шини залежно від радіуса повороту;
- відхилення внутрішнього тиску від нормативного значення;
- використання вантажопідйомності щодо оптимальної (урахування перевантаження).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Работа автомобильной шины. Под ред. В.И. Кнороза. М, «Транспорт», 1976. 238 с. Авт.: В.И. Кнороз, Е.Б. Кленников, И.П. Петров, А.С. Шелухин, Ю.М. Юрьев.
2. Сакно О.П. Управління ресурсом шин засобів транспорту за рахунок удосконалення контролю зносу протектора: дисс. ... канд. техн. наук : 05.22.20 / Сакно О.П. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2013. –220 с.
3. Раймпель Й. Шасси автомобиля: Амортизаторы, шины и колёса/Пер. с нем. В.П. Агапова; Под ред. О.Д. Златовратского. – М.: Машиностроение, 1986. – 320 с.: ил.
4. Сахно В.П. Аналіз умов забезпечення працездатності автотранспортних засобів на основі удосконалення системи технічного обслуговування / Сахно В.П., Сакно О.П., Лисий О.В. // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені П. Василенка [«Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві»]. – Харків : ХНТУСГ, 2015. – Вип. 158. – С. 144-149. – Режим доступу: http://khntusg.com.ua/files/sbornik/vestnik_158/25.pdf
4. Гамбал М.Ю. Оптимизация потребности запасных частей большегрузных автосамосвалов на карьерах Севера, автореферат. Иркутск 2008.
5. Про затвердження Експлуатаційних норм середнього ресурсу пневматичних шин колісних транспортних засобів і спеціальних машин, виконаних на колісних шасі Наказ Міністерства транспорту та зв'язку України від 20 травня 2006 року N 488/
6. Матеріали Наукової конференції студентів академії за підсумками наукової роботі у 2009 році / Міністерство світи та науки України, Донецька академія автомобільного транспорту. Донецьк: Донецька академія автомобільного транспорту, 2010.-202арк.
7. Coulomb Ch.A. Theorie des machines simples. Memoires de Mathematique et de physique de l'Academie des sciences,t.10,1785. p. 161-331.

8. Tredgold T.A. Practical Treatise on Railroads and Carriages. E. Bliss & E. White, New York, 1825, 114 p.

9. Dupuit A.J.E.J. Sur le triage des voitures et sur le frottement de roulement. Annales des Ponts et Chaussées. 3, 1842.

10. Reynolds O. On Rolling Friction, Philos. Trans, of the Roy. Soc. of London. 1876, Vol. 166. P. 155-174.

11. Петров Н.П. Сопротивление поезда на железной дороге. СПб, 1889.

12. Петров Н.П. Влияние трения при передаче работы упругим ремнем. СПб. 1893.

13. Жуковский Н.Е. О скольжении ремня на шкивах. Сбор. Соч. Т.3, 1949.

14. Орлов А.В., Пинегин С.В. Экспериментальные исследования микроперемещений в районе контакта упругих тел и прочность поверхностного слоя. Изв. АН СССР, ОТН. Сер. Механика и машиностроение, №6, 1960.

15. Пинегин С.В., Орлов А.В. Сопротивление движению при некоторых видах свободного качения. Изв. АН СССР, ОТН. Сер. Механика и машиностроение, №3, 1961.

16. Конвисаров Д.В., Покровская А.А. Влияние радиусов кривизны цилиндрических тел на их сопротивление перекачиванию при различных нагрузках. Тр. Сибирск. физико-технического ин-та. Вып. 34, Томск, СФТИ, 1955. с. 62-79.

17. Tabor D. The mechanism of rolling friction. The philosophical magazine. London. V. 43, ser. 7 №345. 1952.

18. Tabor D. The mechanism of rolling friction. Part II. The elastic range. Proc. Roy. Soc. London. V. 229, ser. A. №1177, 1955.

19. Atack D., Tabor D. The friction of wood. Proceedings of the Royal society. London. V. 246, ser. A. №1247. 1958.

20. Greenwood J. A., Minshall H., Tabor D. Hysteresis Losses in Rolling and sliding friction. Proc. Roy. Soc. Ser. A. vol. 259, №1299, 1961. p. 480-507.

21. Flom D.G. Dynamic mechanical losses in rolling contacts. Rolling contact Phenomena, Proceedings of a symposium, Amsterdam - London-New York, 1962.

22. Flom D.G. Rolling friction of polymeric materials. I elastomers. Journal of applied physics, V.31, №2.1960.

23. Flom D.G. Rolling friction of polymeric materials. II thermoplastics. Journal of applied physics, V.32, №8.1961.

24. Tomlinson G.A. A molecular theory of friction. Phil.Mag., ser.7, 1929, Vol. 7, No 46, P. 905-939.

25. Дерягин Б.В., Кротова Н.А. Адгезия. М.-Л. Изд-во АН СССР, 1949. 244 с.

23. Carter F.W. On the action of a locomotive driving wheel // Proc. Roy. Soc. London A. 1926 Vol. 112. P. 151.

27. Poritsky, H. Stresses and deflections of cylindrical bodies in contact with application to contact of gears and of locomotive wheels // J. Appl. Mech., 1950, Vol.17, No 2, pp. 191-201.

28. Cain B.S. Discussion of the paper of Poritsky H.V. J. Appl. Mech., 1950, V. 17.

29. Глаголев Н.И. Сопротивление перекачиванию цилиндрических тел. ПММ. 1945. Т.9,№4.С.318-333.

30. Johnson K.L. Tangential tractions and microslip in rolling contact. Rolling Contact Phenomena, Ed.Bidwell, New York: Elsevier, 1962, P. 6-11.

31. Hertz H. Uber die Berührung fester elastischer Korper (On the contact of elastic solids) // J. reine und angewandte Mathematik, 1882. V.92, S. 156-171. [Английский перевод см.: Miscellaneous Papers by H. Hertz, eds. Jones and Schott.-London: Macmillan, 1896. P.38-45].

32. Fromm H. Berechnung des Schlupfes beim Rollen deformierbaren Scheiben // ZAMM. 1927. No7.P. 27-58.

33. Сакно О.П. Управління ресурсом шин засобів транспорту за рахунок удосконалення контролю зносу протектора: дис....канд. техн. наук: 05.22.20 / Сакно Ольга Петрівна. - Х., 2013. - 220 с.

Технічна характеристика рухомого складу



Рисунок – Загальний вигляд та завантаження Volvo FM 400 8x4

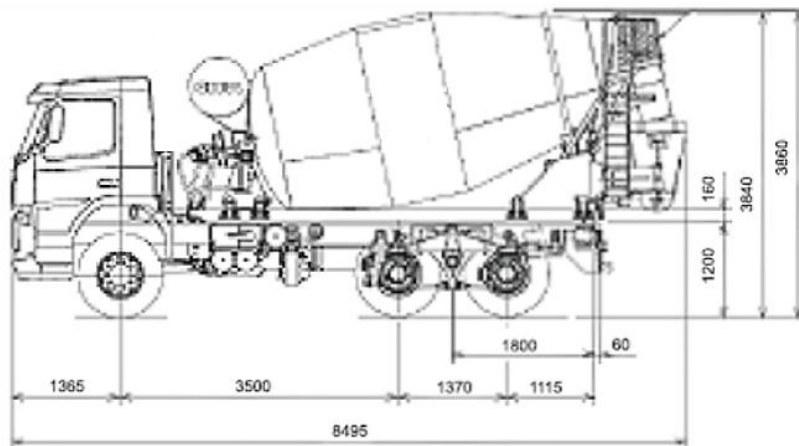
Технічні характеристики Volvo FM 400 8x4

Параметр	Значення
Модель	Volvo FM 400
Тип	Самоскид
Призначення	Перевезення розсипчастих атмосферостійких вантажів в умовах будівництва, міськими та регіональними маршрутами, а також у складі автопоїздів.
Колісна формула	4 керованих колеса, 4 провідних (подвійних) – 8x4
Вантажність, кг	Оптимальна – 26000 Максимальна – 32000
Габаритні розміри, мм	10000x2600x3200
Кузов	Schwarzmuller, 20 м ³
Споряджена маса, кг	15000
Повна маса автопоїзда, кг	100000
Місткість паливного баку, л	315
Максимальна швидкість, км/год	90, обмежена
Двигун	
Модель, екологічна норма, шумність	D13A, EURO3, >80Дб
Розташування, кількість циліндрів	Рядний, 6
Робочий обсяг, л	12,7
Номінальна потужність, кВт (к.с.)	294(400)
Номінальний обертовий момент, Нм	2000
Допоміжні системи	- Підігрів блоку циліндрів 220В, 1,5 кВт; - Передпусковий підігрів впускного колектора;

	- 1-циліндровий компресор, q=520л/хв;
Електрообладнання	
Генератор	80А
Акумуляторна батарея	2x225А·год
Трансмісія	
Зчеплення	Дводискове, сухе, 394 мм
Привід	Пневматичний
Модель, тип коробки передач	V2214, механічна
Подільник, демультіплікатор	Присутні
Кількість передач	14
Передатне число головної передачі	4,12
Додаткове обладнання	- Коробка відбору потужності (DIN-з'єднан-ня); - Насос гідравлічний VOAC F1-101
Рульовий механізм	
Розташування	Лівосторонній
Конструкція	Гвинтовий
Підсилювач	Гідравлічний, двохступінчастий
Гальмівні механізми	
Конструкція	Барабанні, із z - подібним розтискним кулаком
Привід	Пневматичний
Допоміжні системи	- Енергоакумулятори (задні вісі); - ABS; - Ретардер; - Моторне гальмо VOLVO (VEB) - Розподіл гальмівних зусиль у залежності від завантаження.
Передні мости і підвіска	
Мости	Суцільні, керовані, шкворневі
Модель підвіски	T-Ride2
Конструкція	Залежна
Тип	Ресорна, параболічна
Стабілізатор поперечної стійкості	Нормальної жорсткості
Амортизатори	Гідравлічні, подвійної дії
Максимальне технічне навантаження на вісь, т	8
Задні мости і підвіска	
Модель мостів	RT3210HV
Конструкція	Суцільні, провідні, із колісними редукторами
Конструкція підвіски	Ресорна, балансірна
Тип	Параболічна

Стабілізатор поперечної стійкості	Нормальної жорсткості
Амортизатори	Гідравлічні, подвійної дії
Максимальне технічне навантаження на вісь, т	16
Колеса і шини	
Конструкція диску	Сталевий, штампований, зварний
Розмірність шин	315/80R22,5
Шина запасного колеса	Аналогічна шинам керованих коліс
Додаткове обладнання, спорядження	
<ul style="list-style-type: none"> - Захист піддону двигуна і нижніх патрубків системи охолодження; - Захист фар; - Домкрат (вантажопідйомність 20 т); - Протівідкатний чобіт, 2 шт; - Повний набір інструментів; - Шланг для підкачки шин, 18 м; - Манометр для перевірки тиску в шинах; - Вогнегасник 5 кг. 	

Автобетонозмішувач VOLVO FM 400



Загальний вигляд та розмірна схема авто бетонозмішувача Volvo FM 400

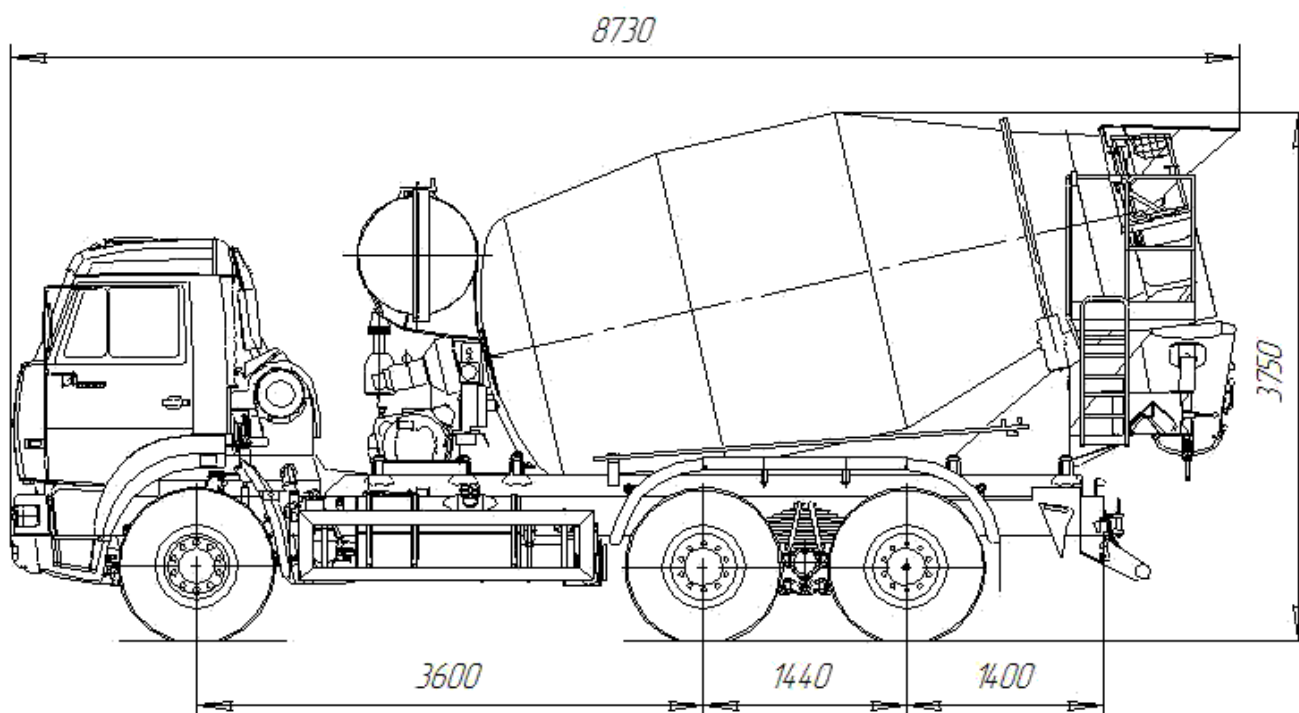
Технічні характеристики Volvo FM 400

Параметр	Значення
Модель	Volvo FM 400
Тип	Автобетонозмішувач
Призначення	Змішування, перевезення бетонів різноманітних категорій в умовах будівництва, міськими та регіональними маршрутами
Колісна формула	2 керованих колеса, 4 провідних (подвійних) – 6x4
Вантажність, кг	22000
Габаритні розміри, мм	8495x2600x3860
Бетонозмішувальне обладнання	Stetter, 8 м ³ /800л
Споряджена маса, кг	15000
Повна маса, кг	37000
Місткість паливного баку, л	340
Максимальна швидкість, км/год	90, обмежена
Двигун	
Модель, екологічна норма, шумність	D13A, EURO3, >80Дб
Розташування, кількість циліндрів	Рядний, 6
Робочий обсяг, л	12,7
Номінальна потужність, кВт (к.с.)	294(400)
Номінальний обертовий момент, Нм	2000
Допоміжні системи	<ul style="list-style-type: none"> - Підігрів блоку циліндрів 220В, 1,5 кВт; - Передпусковий підігрів впускного колектора; - Підігрів паливного фільтра; - 1-циліндровий компресор, q=520л/хв;
Електрообладнання	
Генератор	80А
Акумуляторна батарея	2x225А·год
Трансмісія	
Зчеплення	Дводискове, сухе, 394 мм
Привід	Пневматичний
Модель, тип коробки передач	V2214, механічна
Подільник, демультіплікатор	Присутні
Кількість передач	14
Передатне число головної передачі	4,12
Додаткове обладнання	<ul style="list-style-type: none"> - Коробка відбору потужності (DIN-з'єднання); - Насос гідравлічний VOAC F1-101

Рульовий механізм	
Розташування	Лівосторонній
Конструкція	Гвинтовий
Підсилювач	Гідравлічний, двохступінчастий
Гальмівні механізми	
Конструкція	Барабанні, із z - подібним розтискним кулаком
Привід	Пневматичний
Допоміжні системи	<ul style="list-style-type: none"> - Енергоакумулятори (задні вісі); - ABS; - Ретардер; - Моторне гальмо Volvo (VEB) - Розподіл гальмівних зусиль у залежності від завантаження.
Передні мости і підвіска	
Мости	Суцільні, керовані, шкворневі
Модель підвіски	T-Ride2
Конструкція	Залежна
Тип	Ресорна, параболічна
Стабілізатор поперечної стійкості	Нормальної жорсткості
Амортизатори	Гідравлічні, подвійної дії
Максимальне технічне навантаження на вісь, т	9
Задні мости і підвіска	
Модель мостів	RT3210HV
Конструкція	Суцільні, провідні, із колісними редукторами
Моделі підвіски	T-Ride2
Конструкція підвіски	Ресорна, балансірна
Тип	Параболічна
Стабілізатор поперечної стійкості	Нормальної жорсткості
Амортизатори	Гідравлічні, подвійної дії
Максимальне технічне навантаження на вісь, т	16
Колеса і шини	
Конструкція диску	Сталевий, штампований, зварний
Розмірність шин	Передні – 385/65R22,5 J Michelin XZY3 Задні – 315/80R22,5 K Michelin XDY3
Шина запасного колеса	Не передбачено
Додаткове обладнання, спорядження	
<ul style="list-style-type: none"> - Захист піддону двигуна і нижніх патрубків системи охолодження; - Захист фар; - Домкрат (вантажопідйомність 20 т); 	

- Протівідкатний чобіт, 2 шт;
- Повний набір інструментів;
- Шланг для підкачки шин, 18 м;
- Манометр для перевірки тиску в шинах;
- Вогнегасник 5 кг.

Автобетонозмішувач КамАЗ 6520-61



Загальний вигляд та розмірна схема автобетонозмішувача КамАЗ 6520-61

Характеристика КамАЗ 6520-61

Параметр	Значення
Модель	КамАЗ 6520-61
Тип	Автобетонозмішувач
Призначення	Змішування, перевезення бетонів різноманітних категорій в умовах будівництва, міськими та регіональними маршрутами.
Колісна формула	2 керованих колеса, 4 провідних (подвійних) – 6x4
Вантажність (при повному баку для води), т	17510
Габаритні розміри, мм	8730x2500x3750
Бетонозмішувальне обладнання	TIGARBO, 9м ³ /1000л
Споряджена маса, т	14500
Повна маса, т	33100
В тому числі на передню вісь, т	7500
На задній візок, т	25600

Характеристика шин Michelin XZY-2

Показник	Значення
Виробник	Michelin
Модель	XZY-2
Конструкція	Радіальна
Умови експлуатації	Комбіновані
Призначення	Універсальні
Специфічні якості	- Підвищена стійкість до ушкоджень; - Підвищена бокова жорсткість; - Посилений брекерний шар; - Посилені плечові зони.
Застосовність	Керовані та провідні вісі самоскидів Volvo FM 400
Розміри	
Повна розмірність	315/80 R 22,5
Вільний радіус, мм	538
Початкова висота протектору	18
Індекс навантаження (навантаження, кг)	156/150 (4000 - 3350)
Індекс швидкості (припустима швидкість, км/год)	L (120)

Характеристика Michelin XZY-3

Показник	Значення
Виробник	Michelin
Модель	XZY-3
Конструкція	Радіальна
Умови експлуатації	Комбіновані
Призначення	Універсальні
Специфічні якості	- Підвищена стійкість до ушкоджень; - Розширений протектор; - Посилений брекерний шар; - Посилені плечові зони.
Застосовність	Керовані вісі автобетонозмішувачів Volvo FM 400
Розміри	
Повна розмірність	385/65 R22,5
Вільний радіус, мм	524
Початкова висота протектору	18

Індекс навантаження (навантаження, кг)	165 (5150)
Індекс швидкості (припустима швидкість, км/год)	J (100)
Маса, кг	81,2

Характеристика MICHELIN XDY-3

Показник	Значення
Виробник	Michelin
Модель	XDY-3
Конструкція	Радіальна
Умови експлуатації	Комбіновані
Призначення	Для провідних мостів
Специфічні якості	- Підвищена стійкість до ушкоджень; - Посилений протектор; - Посилений брекерний шар; - Посилені плечові зони.
Застосовність	Провідні вісі автобетонозмішувачів Volvo FM 400
Розміри	
Повна розмірність	315/80R22,5
Вільний радіус, мм	549,5
Початкова висота протектору	25
Індекс навантаження (навантаження, кг)	157/154 (4125 - 3750)
Індекс швидкості (припустима швидкість, км/год)	J (100)
Маса, кг	77,3

Характеристика Continental HDC-1

Показник	Значення
Виробник	Continental
Модель	HDC-1
Конструкція	Радіальна
Умови експлуатації	Комбіновані
Призначення	Для провідних мостів
Специфічні якості	- Підвищена стійкість до ушкоджень; - Посилений протектор; - Посилений брекерний шар; - Адаптована до відновлення.

Застосовність	Провідні вісі автобетонозмішувачів Volvo FM 400
Розміри	
Повна розмірність	315/80R22,5
Вільний радіус, мм	549,5
Початкова висота протектору	—*
Індекс навантаження (навантаження, кг)	154/150 (3750 – 3350)
Індекс швидкості (припустима швидкість, км/год)	L (120)

* – використовуються лише у відновленому вигляді

Характеристика Goodyear RHD 315/80R22,5

Показник	Значення
Виробник	Goodyear
Модель	RHD G113
Конструкція	Радіальна
Умови експлуатації	Комбіновані
Призначення	Для провідних мостів
Специфічні якості	- Підвищена стійкість до ушкоджень; - Посилений протектор; - Посилений брекерний шар; - Адаптована до відновлення.
Застосовність	Провідні вісі автобетонозмішувачів Volvo FM 400
Розміри	
Повна розмірність	315/80R22,5
Вільний радіус, мм	549,5
Початкова висота протектору	—*
Індекс навантаження (навантаження, кг)	156/150 (4000 – 3350)
Індекс швидкості (припустима швидкість, км/год)	L (120)

* – використовуються лише у відновленому вигляді

Характеристика Bridgestone R297

Показник	Значення
Виробник	Bridgestone
Модель	R297
Конструкція	Радіальна
Умови експлуатації	Дорожні

Призначення	Для провідних мостів
Специфічні якості	- Підвищена стійкість до ушкоджень; - Посилений протектор; - Посилений брекерний шар; - Адаптована до відновлення.
Застосовність	Провідні вісі автобетонозмішувачів Volvo FM 400
Розміри	
Повна розмірність	315/80R22,5
Вільний радіус, мм	549,5
Початкова висота протектору	—*
Індекс навантаження (навантаження, кг)	156/150 (4000 – 3350)
Індекс швидкості (припустима швидкість, км/год)	L (120)

* – використовуються лише у відновленому вигляді

Характеристика ИД-304 У-4

Показник	Значення
Виробник	Омскшина, Belshina, КАМА
Модель	ИД-304 У-4
Конструкція	Радіальна
Умови експлуатації	Комбіновані
Призначення	Універсальна
Версія	Камерна
Норма шаровості	18
Застосовність	Провідні та керовані вісі автобетонозмішувачів КамАЗ 6520-61
Геометрія	
Повна розмірність	12,00 R 20
Зовнішній діаметр, мм.	1122
Ширина профілю, мм.	313
Статичний радіус, мм.	516
Початкова висота протектору	20
Індекс навантаження (навантаження, кг)	154/149 (3750 – 3250)
Індекс швидкості (припустима швидкість, км/год)	J (100)
Маса, кг	75,13