

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Вплив конструктивних характеристик автомобільних шин та новітніх технологій на керованість і стійкість руху автомобіля

Виконав: студент 6 курсу, групи МАмз-61
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Юрій АЛЕКСЄЄВ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Юрій БОБК

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Роман ХОРОШУН

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Зав. кафедри

Олег ЦЬОНЬ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)
Кафедра Кафедра автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олег ЦЬОНЬ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«04» листопада 2024 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Алексєєву Юрію Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Вплив конструктивних характеристик автомобільних шин та новітніх технологій на керованість і стійкість руху автомобіля

Керівник роботи Вовк Юрій Ярославович., к.т.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 04 » листопада 2024 року № 4/7-1057

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 грудня 2024

3. Вихідні дані до роботи Показники керованості та стійкості руху автомобіля.

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

1 Загально-технічний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ. 4 Науково-дослідний розділ. 5 Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Результати наукових досліджень – 2А1.

Загальна блок-схема програмного модуля – 1А1.

Гісторгами і теоретині криві на відмову розподілу наробітку шин легкових автомобілів літніх шин – 1А1.

Тест літніх шин – 1А1.

Результати роботи симуляційної моделі – 1А1.

Завершальне тестування та перевірка точності – 1А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н. доц. Ткаченко І.Г.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	ст. викл. Стручок В.С.		

7. Дата видачі завдання 04.11.2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	12.11.24р	
2	Технологічний розділ	18.11.24р	
3	Конструкторський розділ	25.11.24р	
4	Науково-дослідний розділ	02.12.24р	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	09.12.24р	
6	Оформлення графічної частини	16.12.24р	
7	Захист кваліфікаційної роботи магістра	28.12.24р	

Студент _____
(підпис)

Алексєєв Юрій Володимирович _____
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Вовк Юрій Ярославович _____
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи магістра на тему: «Вплив конструктивних характеристик автомобільних шин та новітніх технологій на керованість і стійкість руху автомобіля».

Робота виконана на кафедрі автомобілів ТНТУ ім. І. Пулюя. Керівник кваліфікаційної роботи магістра кандидат технічних наук, доцент кафедри Вовк Юрій Ярославович.

Пояснювальна записка складається з п'яти розділів і 67 сторінки формату А4 та 8 аркушів формату А1 графічної частини сторінок додатків.

Ключові слова: динаміка, стійкість, безпека руху, динаміка, шини.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	7
1.1 Шини та інформація про боковину.....	7
1.2 Контактна площа шини.....	12
1.3 Конструкція колеса та обода.....	13
1.4 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу магістра.....	14
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	16
2.1 Відведення автомобіля вбік через вплив шин.....	16
2.2 Нерівномірність жорсткості автомобільних шин.....	27
2.3 Вплив зносу протектора шин на стійкість руху транспортного засобу...	35
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ.....	40
3.1 Аналіз лабораторних установок.....	40
3.1.1 Лабораторна установка для дослідження характеристик відведення шин.....	40
3.1.2 Лабораторна установка для визначення коефіцієнтів опору бічному відведенню шин.....	42
3.1.3 Стенд для дослідження параметрів кутів відведення автомобіля.....	44
4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ.....	48
4.1 Уточнення концептуальних рішень.....	48
4.2 Скінченно-елементне моделювання.....	50
4.3 Вхідні параметри для моделювання.....	51
4.4 Результати роботи симуляційних моделей.....	52
4.5 Завершальне тестування та перевірка точності.....	55
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	59
5.1 Вимоги безпеки під час виконання шиномонтажних робіт.....	59
5.2 Стійкість об'єкту господарювання при надзвичайній ситуації.....	62
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	65
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	66
ДОДАТКИ	

ВСТУП

В сучасних умовах стрімкого розвитку автомобільної промисловості важливою складовою є забезпечення безпеки, ефективності та надійності транспортних засобів. Одним з основних факторів, які впливають на керованість та стійкість автомобіля, є конструктивні характеристики його шин. Шини – це єдина точка контакту автомобіля з дорогою, і тому їх конструкція та властивості значною мірою визначають поведінку автомобіля на різних типах покриття та за різних умов руху.

Застосування новітніх технологій у виробництві шин дозволяє суттєво підвищити їх функціональні характеристики, що, в свою чергу, позитивно впливає на динамічні показники автомобіля, його стійкість та керованість. До таких технологій належать інновації в матеріалах, методах обробки та дизайну протектора, які забезпечують кращий контроль над транспортним засобом, знижують ризик заносів та підвищують паливну ефективність.

Дана робота спрямована на дослідження впливу конструктивних характеристик шин та новітніх технологій на керованість та стійкість автомобіля. Увага приділяється аналізу впливу різних параметрів шин на динаміку руху автомобіля, а також оцінці ефективності застосування сучасних матеріалів і технологій у покращенні характеристик шин. Результати цього дослідження можуть бути корисними для подальшого вдосконалення конструкцій шин та підвищення безпеки дорожнього руху.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Шини та інформація про боковину

Пневматичні шини виконують ключову функцію в забезпеченні контакту між дорогою та транспортним засобом, будучи єдиним елементом, що передає сили взаємодії. Вони генерують необхідні зусилля для ефективного контролю автомобіля під час руху, тому їх можна вважати однією з найважливіших складових транспортної системи. На рисунку 1.1 наведено схематичний поперечний розріз шини, змонтованої на ободі, з детальними розмірними параметрами, які застосовуються для стандартних шин у відповідності до нормативних вимог.

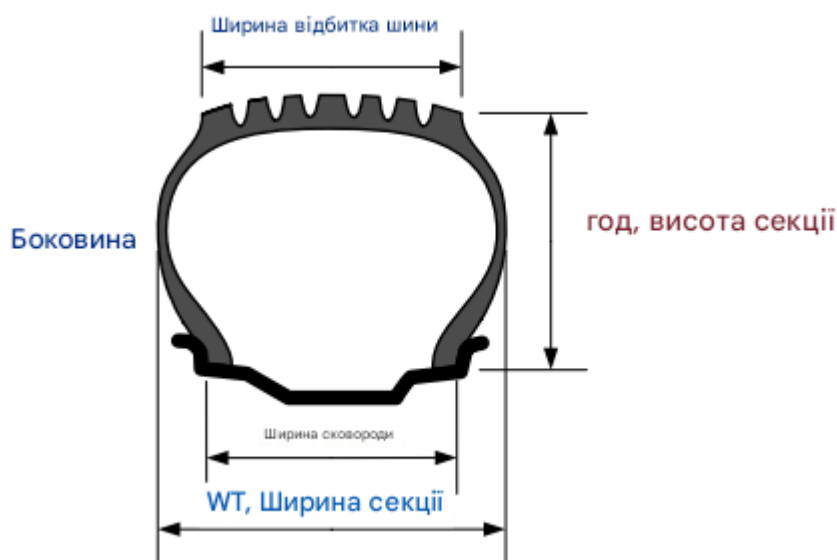


Рис. 1.1. Схематичний поперечний переріз шини на ободі, що відображає параметри висоти та ширини шини.

Висота профілю шини, також відома як висота шини або просто висота, h_T , — це параметр, який додається до радіуса обода для визначення загального радіуса колеса. Ширина профілю, або ширина шини, w_T , — це максимальна ширина шини, коли вона знаходиться у ненавантаженому стані.

На боковині шини обов'язково вказується важлива інформація щодо її характеристик. Рисунок 1.2 показує боковий вигляд шини з прикладом розташування інформаційних маркувань, нанесених на боковину шини.

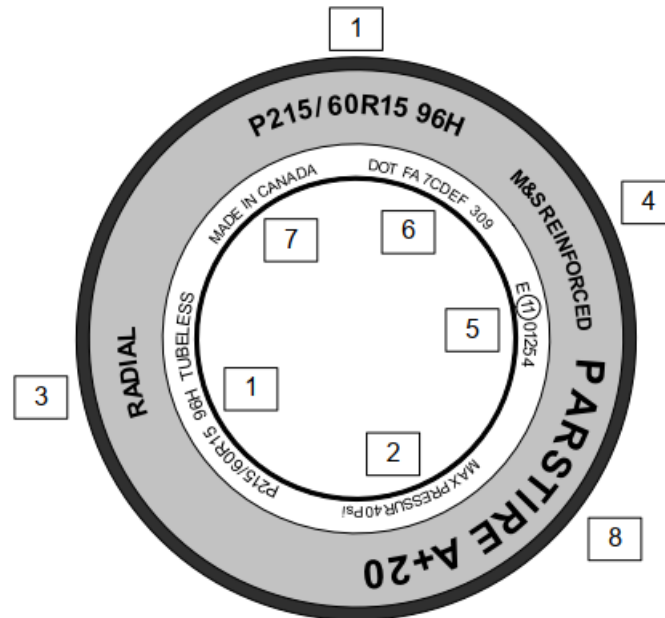


Рис. 1.2. Бічний вигляд шини з ключовими даними, зазначеними на її боковині.

Позначення, наведені на рисунку 1.2, мають наступне значення:

- 1 Номер розміру.
- 2 Гранично допустимий тиск повітря в шині.
- 3 Тип конструкції шини.
- 4 M&S означає шину, призначену для умов бруду та снігу.
- 5 E-Mark — європейський знак сертифікації та номер типового схвалення.
- 6 Ідентифікаційні коди (DOT).
- 7 Країна, де було виготовлено шину.
- 8 Назва виробника, торгова марка або комерційна назва продукту.

Найбільш значущим показником на боковині шини є номер розміру, позначений цифрою 1. Формат цього номеру можна побачити на рисунку 1.3, а детальне пояснення його складових наведено нижче.

Р Тип шини. Початкова літера вказує на категорію транспортного засобу, для якого призначена шина. Наприклад, літера *P* означає, що шина підходить для легкового автомобіля. Іншими можливими літерами є *ST*, що позначає спеціальні причепа, *T* — тимчасові шини, та *LT* — шини для легких вантажівок.

215 Ширина шини. Цей тризначний код визначає ширину ненавантаженої шини, виміряну від однієї боковини до іншої в [мм].

P 215 / 60 R 15 96 H

P - Легковий транспортний засіб.

215 - Ширина шини [мм].

60 - Відсоткове співвідношення висоти профілю до ширини [%].

R - Радіальна конструкція.

15 - Діаметр обода [дюйми].

96 - Показник максимально допустимого навантаження.

H - Індекс максимальної швидкості.

60 Відсоткове співвідношення профілю. Цей двозначний показник показує відсоткове співвідношення висоти профілю шини до її ширини. Це співвідношення позначається символом S_T .

$$S_T = \frac{h_T}{w_T} \cdot 100 \quad (1.1)$$

Відношення висоти профілю до ширини шини зазвичай варіюється в межах від 35 для гоночних автомобілів до 75 для шин, які використовуються на транспортних засобах утилітарного призначення.

R Тип конструкції шини. Літера R позначає радіальну конструкцію шини. Також можуть бути застосовані позначення B для шин з поясною або косоплетінною конструкцією та D для діагональних шин.

15 Діаметр обода. Це значення, виражене в [дюймах], позначає діаметр обода, на який встановлюється шина.

96 Індекс навантаження. Для багатьох шин після номера розміру наводиться маркування обслуговування, яке складається з двозначного індексу навантаження та літерного індексу швидкості. Індекс навантаження визначає максимальну вагу, яку може витримати шина.

Таблиця 1.1 містить найпоширеніші індекси навантаження та їх відповідну вантажопідйомність. Зазвичай, індекс навантаження актуальний для швидкостей нижче 210 км/год (приблизно 130 миль/год).

Таблиця 1.1 – Індекс максимальної вантажопідйомності шини.

Індекс	Максимальне навантаження	Індекс	Максимальне навантаження	Індекс	Максимальне навантаження
0	45кг	90	600 кг	111	1090 кг
...	...	91	615 кг	113	1120 кг
71	345 кг	92	630 кг	113	1150 кг
72	355 кг	93	650 кг	114	1180 кг
73	365 кг	94	670 кг	115	1215 кг
74	375 кг	95	690 кг	116	1250 кг
75	387 кг	96	710 кг	117	1285 кг
76	400 кг	97	730 кг	118	1320 кг
77	412 кг	98	750 кг	119	1360 кг
78	425 кг	99	775 кг	120	1400 кг
79	437 кг	100	800 кг	121	1450 кг
80	450 кг	101	825 кг	122	1500 кг
81	462 кг	102	850 кг	123	1550 кг
82	475 кг	103	875 кг	124	1600 кг
83	487 кг	104	900 кг	125	1650 кг
84	500 кг	105	925 кг	126	1700 кг
85	515 кг	106	950 кг	127	1750 кг
86	530 кг	107	975 кг	128	1800 кг
87	545 кг	108	1000 кг	...	...
88	560 кг	109	1030 кг	199	13600 кг
89	580 кг	110	1060 кг		

Таблиця 1.2 – Індекс максимальної швидкості шини.

Індекс	Максимальна швидкість	Індекс	Максимальна швидкість	Індекс	Максимальна швидкість
B	50 км/год.	L	120 км/год	U	200 км/год
C	60 км/год.	M	130 км/год	H	210 км/год
D	65 км/год.	N	140 км/год	V	240 км/год

E	70 км/год.	P	150 км/год	W	270 км/год
F	80 км/год.	Q	160 км/год	Y	300 км/год
G	90 км/год	R	170 км/год	Z	понад 240 км/год
J	100 км/год	S	180 км/год		
K	110 км/год	T	190 км/год		

Перегрів, спричинений неправильним рівнем тиску в шинах, часто стає причиною їхньої поломки. При недостатньому тиску в шині об'єм повітря не забезпечує необхідної підтримки ваги транспортного засобу, через що значна частина навантаження лягає безпосередньо на саму шину. Це спричиняє збільшення площі контакту з дорогою, що, у свою чергу, підвищує тертя і призводить до надмірного нагрівання. [4]

У надмірно накачаних шинах, навпаки, основна частина ваги транспортного засобу підтримується тиском повітря. Через це автомобіль стає жорсткішим та менш стабільним у керуванні, оскільки площа контакту з дорогою звужується, і до поверхні дороги торкається тільки центральна зона протектора.

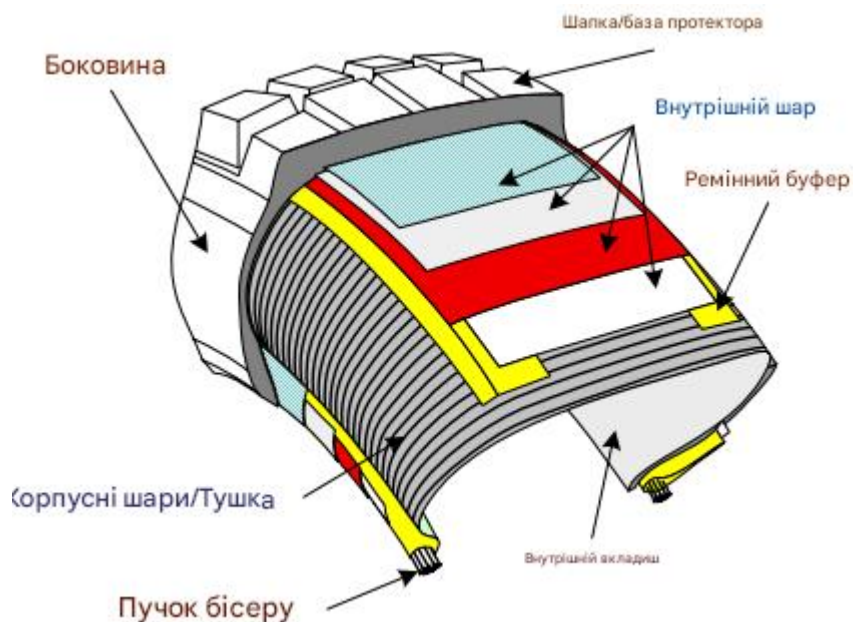


Рис. 1.3. Приклад внутрішньої конструкції радіальної шини з розташуванням основних компонентів.

Оптимальний тиск у шинах дозволяє підтримувати приблизно 95% ваги транспортного засобу за рахунок тиску повітря, тоді як решта 5% підтримуються боковими стінками шини.

1.2 Контактна площа шини

Зона контакту між поверхнею шини та дорогою називається її відбитком або контактною плямою, яка позначається як AP. У будь-якій точці цієї зони здійснюється передача нормальних і тертякових сил між шиною та дорожнім покриттям. Ефект дії цих контактних сил можна виразити у вигляді сукупної системи сил, що включає вектори сили та моменту, які діють у центрі відбитка.

Контактну зону шини також називають слідом шини або її контактною ділянкою. Спрощене зображення відбитка шини представлено на рисунку 1.4.

Площа контактної зони обернено пропорційна внутрішньому тиску в шині. Для позашляхової їзди у піщаних, болотистих або снігових умовах, а також для драг-рейсингу часто застосовується метод зниження тиску в шинах. Це сприяє збільшенню контактної площі, оскільки зниження тиску викликає деформацію шини, дозволяючи їй більшою поверхнею взаємодіяти з дорогою. Такий підхід покращує зчеплення в умовах низького коефіцієнта тертя.

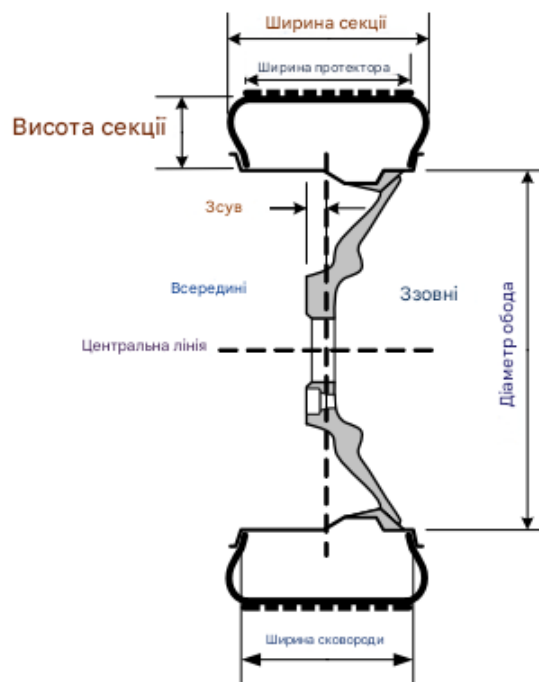


Рис. 1.4. Нерівномірне зношування передніх і задніх шин.

Деформація також дає можливість шині легше захоплювати невеликі перешкоди, адаптуючись до їхньої форми та утворюючи більше точок контакту. Водночас знижений тиск підвищує витрату палива, прискорює знос шин і призводить до підвищення їхньої температури.

У більшості транспортних засобів швидкість зношування шин на передній та задній осях відрізняється. З цієї причини рекомендується періодично змінювати шини місцями для вирівнювання малюнку зношування, що відомо як ротація шин.

Передні шини, особливо у передньопривідних автомобілях, піддаються швидшому зносу порівняно із задніми, що обумовлено конструктивними особливостями автомобіля.

1.3 Конструкція колеса та обода

Коли шина монтується на обід і накачується, ця конструкція стає колесом, що поєднує шину з ободом. Обід являє собою металеву циліндричну основу, на яку монтується шина. Більшість легкових автомобілів оснащені сталевими ободами, виготовленими шляхом зварювання диска з корпусом. Водночас значну популярність мають легкосплавні ободи, вироблені з легких металів, як-от алюміній та магній. На рисунку 1.5 показано колесо із зазначенням ключових розмірних характеристик.

Обід складається з двох основних елементів: фланця та павука. Фланець, або маточина, є кільцевою частиною, на яку встановлюється шина, а павук, або центральна частина, являє собою диск, з'єднаний із маточиною. Ширину обода іноді називають шириною панелі, її вимірюють між внутрішніми краями посадкових полиць фланця.

Фланець відіграє важливу роль у бічній підтримці шини. Він включає дві посадкові полиці, які забезпечують радіальну стабільність шини. Центральна частина обода між посадковими полицями називається западиною; вона має достатню глибину та ширину для зручності встановлення та зняття бортів шини з обода. Отвір під клапан або місце для розміщення клапана є частиною обода, призначеною для встановлення вентиля для накачування шини.

Існують дві основні конструкції ободів: 1) обід із заглибленим центром
2) широкий обід із заглибленим центром. Широкий обід із заглибленим центром може мати виступ.

Ободи з центральним заглибленням мають симетричну будову, з поглибленням, що розташоване між посадковими полицями. Це поглиблення забезпечує зручність під час монтажу та демонтажу шини. Посадкові полиці нахилені під кутом близько 5 градусів. Широкі ободи з центральним заглибленням мають більшу ширину порівняно з ободами і розроблені спеціально для шин із низьким профілем. Заглиблення на ободах відрізняється тим, що є менш глибоким, але ширшим. Сьогодні більшість легкових автомобілів обладнані ободами. Для запобігання зсуву борту шини ободи часто мають виступ, розташований позаду посадкових полиць.

Ширина обода, його діаметр та параметр вильоту зображені на рисунку 1.5. Виліт визначає відстань між внутрішньою площиною та центральною площиною обода. Обід може мати негативний, нульовий або позитивний виліт: позитивний виліт означає, що павук виходить за межі центральної площини у напрямку назовні.

Код фланця позначає профіль обода з боку шини і може мати різні значення. Найчастіше цей код йде після номінальної ширини обода, хоча можливі й інші комбінації.

1.4 Висновки та постановка завдання на кваліфікаційну роботу магістра

Дослідити механізми відведення автомобіля вбік, що виникають під впливом характеристик шин, та оцінити їхній вплив на стійкість транспортного засобу. Вивчити причини та наслідки нерівномірної жорсткості автомобільних шин, проаналізувати їхній вплив на керованість. Оцінити, як знос протектора шин впливає на стабільність руху автомобіля, зокрема в умовах складного маневрування. [1]

Розробити та вдосконалити лабораторні установки для дослідження характеристик шин, зокрема: установку для аналізу відведення шин; установку

для визначення коефіцієнтів опору бічному відведенню; стенд для дослідження параметрів кутів відведення автомобіля.

Уточнити концептуальні рішення щодо застосування шин у транспортних засобах з урахуванням сучасних вимог до безпеки та енергоефективності. Виконати скінченно-елементне моделювання з метою оцінки деформацій та навантажень у різних експлуатаційних умовах. Визначити вхідні параметри для моделювання, які забезпечують адекватне відтворення реальних умов експлуатації шин. Провести аналіз результатів симуляційних моделей для виявлення впливу основних параметрів на динаміку транспортного засобу. Виконати завершальне тестування розроблених моделей та перевірити їхню точність.

Розробити рекомендації з безпеки під час виконання шиномонтажних робіт. Проаналізувати стійкість об'єкта господарювання у разі надзвичайних ситуацій та запропонувати заходи з її підвищення.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Відведення автомобіля вбік через вплив шин

Шини автомобіля відіграють значну роль у формуванні поперечних сил, що виникають під час руху транспортного засобу. Однією з ключових характеристик, яка впливає на курсову стійкість та керованість автомобіля, є явище бічного відведення. Під цим терміном розуміється зміщення автомобіля вбік відносно напрямку його руху, яке зумовлене деформацією шин у процесі контакту з дорожнім покриттям.

Процес бічного відведення зумовлений тим, що під впливом поперечних сил шина зазнає деформацій, що викликає відхилення її вектору руху від напрямку, заданого положенням колеса. Це призводить до виникнення певного кута між віссю обертання колеса та фактичним напрямком його руху. У результаті цього автомобіль може мати тенденцію до відхилення від прямолінійного руху, що особливо помітно на високих швидкостях або під час проходження поворотів.

Важливо розуміти, що бічне відведення є складним явищем, яке залежить від низки факторів, включаючи конструкцію шини, тип гуми, ступінь її зношеності, а також тиск у шинах. Окрім цього, характер взаємодії шини з дорожнім покриттям також впливає на величину відведення, зокрема, тип поверхні та її шорсткість. [15]

Існує дві основні концепції трактування явища відведення колеса. У наукових джерелах, під відведенням розуміють відхилення траєкторії руху пружного колеса від площини його обертання на певний кут δ (рис. 2.1). В іншій групі досліджень під відведенням мається на увазі відхилення вектора швидкості V_x від поздовжньої осі колеса під кутом δ під час його кочення без ковзання в умовах дії бічних сил (рис. 2.2).

Я.М. Певзнер запропонував методику для чисельної характеристики бічного відведення пружного колеса, що виражається через взаємозв'язок між бічною силою Y та кутом відведення δ .

$$Y = K_y \delta$$

(2.1)

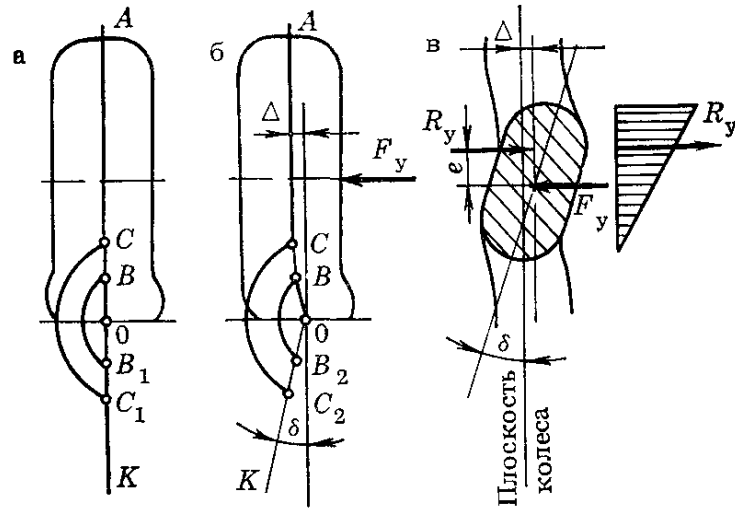


Рис. 2.1. Ілюстрація поперечного зміщення колеса.

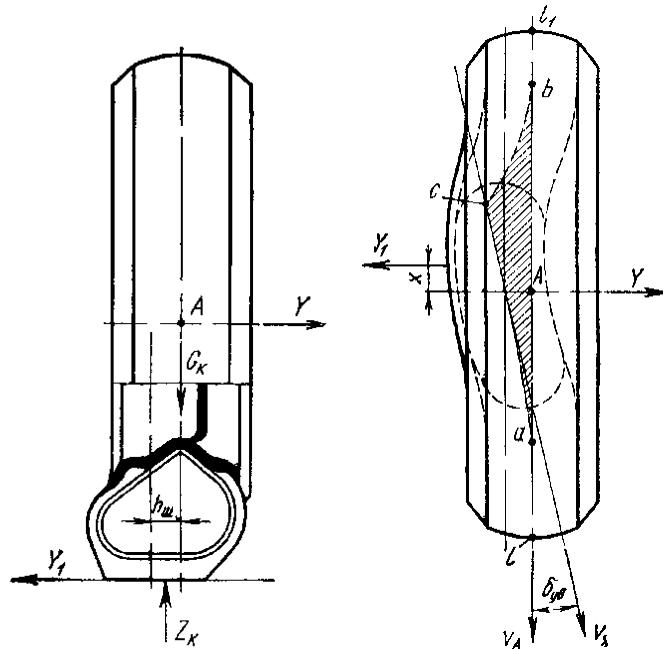


Рис. 2.2. Поперечне відхилення колеса.

Цей підхід належить до лінійних моделей, однак має низку суттєвих недоліків. Для проведення досліджень необхідно отримати широкий набір значень коефіцієнтів K_y , які відповідають кожному конкретному рівню нормального навантаження (залежність цих коефіцієнтів від різних параметрів описано далі). До того ж, для кожного значення K_y із початкового набору утворюється додаткова множина значень, що змінюються залежно від тягової сили, а також ще одна множина залежно від тиску в шинах тощо. Оскільки процес отримання настільки великої кількості характеристик є надзвичайно

трудомістким, дослідники зазвичай обмежуються лише мінімально необхідними значеннями K_y .

Дослідження явища бічного відведення пружного колеса здійснювалося у двох основних напрямках. Перший зосереджувався на аналізі динамічних і кінематичних характеристик неголономних систем із класичними неголономними зв'язками, що розроблялися в межах теорій І. Рокара, М.В. Келдиша та А.А. Хачатурова. Інший підхід мав більш прикладний характер і орієнтувався на експериментальні дослідження, в рамках яких вивчалися взаємозв'язки між поперечними силами та кутами відведення, що виникають під їх впливом.

Незважаючи на активний розвиток обох підходів, на сьогоднішній день неможливо однозначно визначити перевагу одного напрямку над іншим. Проте, можна зробити певні висновки, що відображені в таблиці 2.1.

Методи, що ґрунтуються на застосуванні рівнянь кінематичних зв'язків, є доцільними для використання в умовах нестабільного відведення, особливо

коли співвідношення параметрів є досить значним $\frac{\dot{\theta} \cdot l_B}{v}$.

Втім, зазначені теорії мають низку обмежень: вони базуються на припущенні малих кутів повороту коліс та відведення; вважають відсутнім ковзання у зоні контакту шини з дорогою; використовують коефіцієнти та деякі параметри характеристик шини, отримані для нерухомого колеса; передбачають, що кривизна середньої лінії шини у зоні контакту повністю збігається з кривизною траєкторії руху колеса. До того ж, ці підходи призводять до збільшення порядку диференціальних рівнянь, що описують рух автомобіля.

Експериментально підтверджено, що ковзання має місце при будь-якому значенні бічної сили, навіть коли вона майже дорівнює нулю, а також виявлено невідповідність між кривизною середньої лінії шини в зоні контакту та кривизною траєкторії руху колеса.

Визначенню залежностей $Y = f(\delta)$, що найбільш точно відображають процес відведення, присвячено значну кількість як теоретичних, так і практичних досліджень. У результаті цих досліджень було розроблено кілька

теорій, які описують кочення пневматичного колеса з урахуванням відведення. Однак усі ці теорії мають різний ступінь деталізації та повноти врахування специфіки процесу поперечного зміщення, що відбувається під час контакту шини з дорожньою поверхнею.

Таблиця 2.1. Основні підходи до дослідження поперечного відведення пружного колеса.

I напрямок	II напрямок	
дослідження кінематичних та динамічних характеристик неголономних систем із традиційними неголономними обмеженнями	аналіз взаємозв'язків та кореляцій між прикладеними поперечними силами та відповідними кутами відведення, які при цьому виникають	
	побудова моделей на основі емпіричних даних, здобутих шляхом проведення експериментів	розробка теоретичних моделей, що базуються на заміщенні реальної шини ідеалізованою пружною конструкцією
Недоліки		
базуються на допущенні про незначні кути повороту коліс та малі кути відведення; ґрунтуються на припущенні, що ковзання у зоні контакту колеса з дорожнім покриттям відсутнє; використовують коефіцієнти та певні параметри, визначені для нерухомого колеса; вважають, що кривизна середньої лінії шини у зоні контакту повністю відповідає кривизні траєкторії руху колеса.	Рівняння, які описують залежність між бічними силами та кутами відведення і були отримані шляхом заміни реальної шини на одну з відомих пружних моделей (математично обґрунтованих), часто виявляються або недостатньо точними, або надмірно складними для практичного застосування при аналізі керованості та стійкості транспортного засобу.	

Дослідження в цій галузі здійснюються у двох основних напрямках: перший спрямований на апроксимацію емпіричних даних, отриманих під час експериментальних випробувань, а другий — на побудову теоретичних моделей, що базуються на заміні фактичної шини пружною ідеалізацією. У математичних моделях, що описують динаміку автомобілів і автопоїздів, використовуються як лінійні, так і нелінійні залежності $Y = f(\delta)$, що дозволяє враховувати різноманітні особливості їхнього руху. Слід зауважити, що при аналізі стійкості та керованості з урахуванням нелінійних залежностей $Y = f(\delta)$ пріоритет часто надається підходам, що базуються на простих емпіричних та напівемпіричних моделях. Це особливо актуально для вивчення маневреності та стабільності руху автопоїздів, створених на базі вантажівок-тягачів та причепів іноземного виробництва, для яких бракує доступних експериментальних даних.

Рівняння, що встановлюють залежність між поперечними силами та кутами відведення, розроблені на основі заміщення реальної шини однією з наявних пружних моделей, хоча і математично обґрунтовані, часто виявляються або недостатньо точними, або надто складними для практичного використання при аналізі керованості та стабільності автомобіля. [2]

У своїх перших дослідженнях А.С. Литвинов запропонував наступну формулу для обчислення бічних сил рівняння (2.1) при умові, коли:

$$k_y = k_{y0} \varepsilon_\delta \quad (2.2)$$

$$\mu_\delta = 0,425.$$

$$\mu_\delta = 0,5.$$

Р. Смелей та В. Горн встановили залежність між опором відведенню та нормальним навантаженням, яку при фіксованому значенні тиску повітря в шині було виражено у такій формі:

$$k_y = k_{y0} C_c (A_G - B_G G_k) G_k \quad (2.3)$$

$$A_G = 0,714 \sqrt{\frac{B_m^2}{D_0^3}} \quad B_G = 2,2 \frac{B_m}{D_0^3 P_m} \quad (2.4)$$

$$k_y = k_{y0} \left[1 - \frac{4}{27} \left(\frac{k_{y0} \delta}{G_k \varphi} \right)^2 \right] \quad (2.5)$$

Вираз дозволяє оцінити, як параметри колеса, зокрема його розміри, конструкція, вертикальне навантаження та тиск повітря в шині, впливають на величину відведення. Такий підхід є коректним за умови, що тиск у шині знаходиться в межах...

$$P_{\text{ш}} \leq 4,77 \frac{G_k}{\sqrt{D_0^3 B_{\text{ш}}}} \quad (2.6)$$

При $P_{\text{ш}} \geq 4,77 \frac{G_k}{\sqrt{D_0^3 B_{\text{ш}}}}$ потрібно використовувати рівняння

$$k_y = k_{y0} C_c (A' P_{\text{ш}} - E') \quad (2.7)$$

Тоді

$$\begin{aligned} A' &= 0,095 B_{\text{ш}}^2; \\ E' &= 0,206 \frac{G_k}{\sqrt{D_0^3 B_{\text{ш}}}} \end{aligned} \quad (2.8)$$

У науковій праці І. Рокар пропонує математичну формулу, яка широко використовується для оцінки бічної сили. Ця формула стала важливим інструментом у дослідженнях, що стосуються керованості та стійкості транспортних засобів.

$$Y = \frac{k \delta}{\sqrt{1 + x^2 \delta^2}} \quad (2.9)$$

$$\text{де } x = \frac{k}{\varphi z};$$

У дослідженні Я.М. Певзнер представив своє визначення, яке стало основою для подальшого аналізу...

$$k_y = k_{y0} \left[1 - \frac{4}{27} \left(\frac{k_{y0} \delta}{R_N \varphi} \right)^2 \right] \quad (2.10)$$

При умові $k_{y0} \delta \leq 1,5 R_N \varphi$,

У науковій праці Д.А. Антонов запропонував визначення, яке слугувало основою для подальших досліджень у цій галузі...

$$Y = qk_{y0}\delta; \quad (2.11)$$

$$q = q_N q_T q_\phi q_\gamma q_{\approx} q_{\Gamma p} q_{\Gamma y} q_{\Gamma y}, \quad (2.12)$$

У разі використання автомобіля на дорогах із твердим покриттям та за умови дотримання номінального тиску повітря в шинах, допускається зробити припущення, що...

$$q_{\approx} = q_{\Gamma p} = q_{\Gamma y} = q_{\Gamma y} = q_\gamma = q_{\Gamma y} = 1. \quad (2.13)$$

Отримаємо

$$Y = q_N q_T q_\phi k_{y0}\delta, \quad (2.14)$$

У ході виконання розрахункового аналізу на основі ключових математичних залежностей $Y = f(\delta)$ було отримано результати, що дозволяють аналіз залежності бічної сили від кута відведення коліс свідчить, що застосування нелінійної теорії відведення забезпечує результати, які краще узгоджуються з експериментальними даними порівняно з використанням лінійної теорії. Водночас, за невеликих кутів відведення ($\delta = 4 - 5^\circ$ при $\phi = 0,6$ і $\delta = 2 - 2,5^\circ$ при $\phi = 0,2 - 0,3$ (Зміна цього співвідношення є незначною і може розглядатися як постійна величина, тобто $\frac{Y_\delta}{\delta} = k_y = \text{const}$), а залежність, отже, лінійною.

Найбільшу відповідність експериментальним даним демонструють залежності, запропоновані І. Рокаром і Д.А. Антоновим. Зокрема, модель Д.А. Антонова має перевагу завдяки можливості враховувати зміну відведення коліс у разі їх коливань, нахилів до опорної поверхні, а також під час крену кузова автомобіля. Проте використання цієї залежності ускладнюється через велику кількість коригувальних коефіцієнтів, що створює певні незручності в практичному застосуванні. Крім того, зі збільшенням кутів відведення похибка розрахункових значень суттєво зростає у порівнянні з експериментальними даними, що потребує додаткових уточнень і корекції.

У ситуаціях, коли на колесо впливають значні бічні та поздовжні сили, що спричиняють великі кути відведення, доцільно використовувати залежність,

яка $Y_{11} = \frac{k\delta}{\sqrt{1+x^2\delta^2}}$ оскільки в даній ситуації відхилення між розрахунковими результатами та експериментальними даними становить лише 13–15%, така залежність може вважатися достатньо точною для практичного використання.

Модель $Y_{11} = f(\delta)$, запропонована І. Рокаром, відзначається компактністю та високою зручністю у практичному застосуванні. Вона ефективно використовується для розрахунку параметрів явища відведення шин різних типорозмірів, що встановлюються на автомобілях, причепах і напівпричепах, які експлуатуються на дорогах із сучасним покриттям.

Використання будь-якої методики для розрахунку бічної сили вимагає визначення екстремального значення коефіцієнта опору бічному відведенню. Це значення може бути розраховане за формулою, запропонованою Д.А. Антоновим у роботі, що є цілком обґрунтованим підходом.

$$k_{y03} = 1000 \left(\frac{n_{cl}}{n_{cl} + 10} \right) DB^2 \sqrt{\frac{B}{H}} + \frac{6,2}{d^3 (n_{cl} + 8)} \left[\frac{DHB}{(D^2 - d^2)d} \right] P_{ш}, \quad (2.15)$$

М.В. Келдиш запропонував теорію, яка дозволяє для невеликих відхилень, коли ковзання незначне, встановити залежність між кутами відведення, бічними силами та стабілізуючими моментами під час несталого повороту. Цей підхід забезпечує можливість опису складних механічних явищ, що виникають у зоні контакту колеса з дорогою, за допомогою простих математичних моделей. [16]

Згідно з цією теорією, кривизна траєкторії точки контакту шини О (рис. 2.3) лінійно пов'язана з бічною деформацією шини (y), кутовою деформацією (φ) та кутом нахилу площини колеса до дорожньої поверхні (α). Бічна деформація описує зміну в точці О, тоді як кутова деформація характеризує відхилення площини колеса від дотичної до середньої лінії контактної поверхні в цій точці.

Дане положення математично виражається через наступне співвідношення:

$$\frac{1}{\rho} = c_1 y - c_2 \varphi - c_3 \alpha \quad (2.16)$$

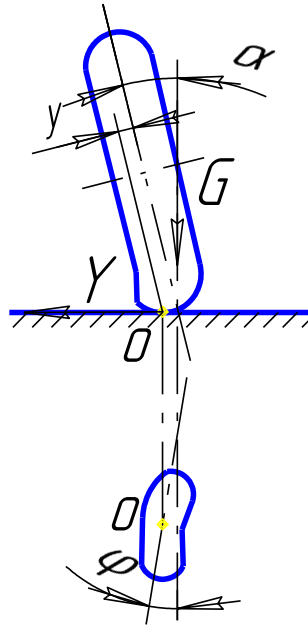


Рис. 2.3. Схема кочення шини автомобіля.

Водночас, присутність ряду констант у математичній моделі може зменшувати її точність, спричиняючи підвищення похибки у розрахунках.

Величина бічного відведення визначається сукупністю наступних чинників: геометричними параметрами та конструктивними особливостями колеса, рівнем тиску повітря в шині, значенням сил, що діють на колесо, швидкістю руху транспортного засобу, типом і станом дорожнього покриття, формою траєкторії переміщення центру колеса, а також характером прикладання сил і темпом їх змін.

Параметри колеса визначаються такими характеристиками, як висота і ширина профілю шини, її зовнішній діаметр, посадкового ободу та ширина ободу. Найбільший вплив на коефіцієнт опору відведення чинять розміри та форма профілю шини, що описується співвідношенням висоти до ширини. Важливу роль також відіграє внутрішня конструкція шини, причому цей вплив є особливо вираженим у випадку радіальних шин.

Рівень тиску повітря в шині має значний вплив на коефіцієнт опору відведення, причому його можна оперативно регулювати в умовах експлуатації автомобіля. Це дозволяє адаптувати параметри опору відведення залежно від необхідних умов руху.

У більшості випадків зі збільшенням тиску повітря в шині спостерігається спочатку зростання коефіцієнта опору, який досягає максимального значення, а потім поступово знижується (рис. 2.4). Для діагональних шин максимум цього коефіцієнта досягається за рівнем тиску, що значно перевищує рекомендовані заводські норми, тоді як для радіальних шин коефіцієнт опору знижується зі зростанням тиску (рис. 2.5).

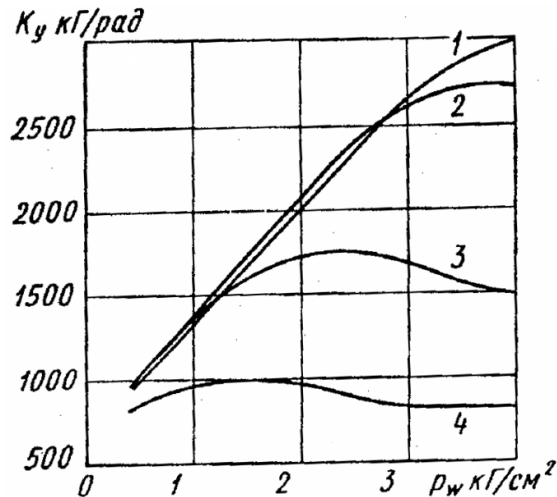


Рис. 2.4. Графік залежності коефіцієнта опору відведення шини розміру 6,40-13 від внутрішнього тиску повітря p_w за різних величин навантаження на колесо G_k .

1 — $G_k = 500$ кг; 2 — $G_k = 400$ кг; 3 — $G_k = 200$ кг; 4 — $G_k = 100$ кг

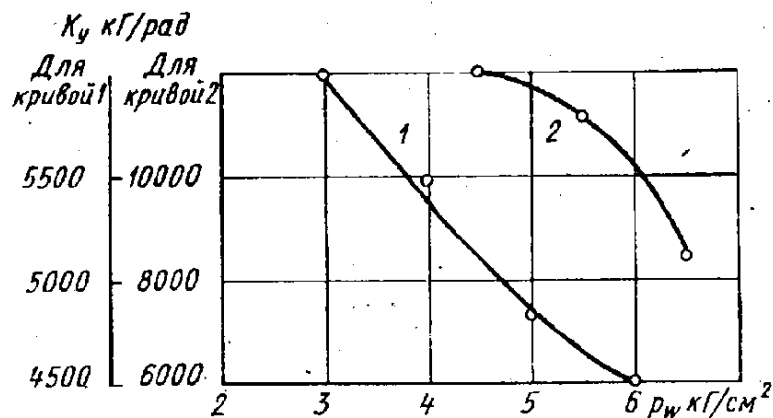


Рис. 2.5. Графік залежності коефіцієнта опору відведення різних типів шин від внутрішнього тиску повітря p_w .

1 — шина 260-508P, $G_k = 1200$ кг; 2 — шина 9,00-20 ЕНДХ

Нормальне навантаження на колесо впливає на коефіцієнт опору відведення таким чином: зі збільшенням навантаження від нульового значення

до певного оптимального рівня коефіцієнт поступово зростає, досягаючи свого максимуму. Однак при подальшому підвищенні навантаження коефіцієнт починає знижуватися, що вказує на наявність обмежень щодо ефективності використання шин за високих навантажень.

Наявність тягових або гальмівних сил на колесі можна оцінити за допомогою залежності, запропонованої Д.А. Антоновим. Згідно з цією моделлю, за наявності таких сил коефіцієнт опору відведення зменшується.

Окрему увагу слід приділити впливу нахилу колеса у вертикальній площині, тобто кута розвалу. У роботах зазначено, що бічна сила, яка виникає через кочення колеса з розвалом, є прямо пропорційною до кута розвалу і не залежить від бічних сил, що утворюються під час кочення колеса з відведенням. У свою чергу, кочення колеса з розвалом не спричиняє змін у бічних силах, пов'язаних із коченням колеса з відведенням. Це взаємне виключення можна математично описати наступним рівнянням:

$$Y = K_y \delta + K_\gamma \gamma \quad (2.17)$$

Більшість науковців дійшла висновку [12], що швидкість руху транспортного засобу в широкому діапазоні значень не справляє істотного впливу на коефіцієнт опору відведення. Результати дослідження, яке охоплювало великі швидкості сталого та несталого відведення шин, показали: якщо швидкість повороту колеса навколо вертикальної осі значно менша за швидкість його обертання, то коефіцієнт опору при несталому відведенні практично дорівнює коефіцієнту при сталому відведенні. [17]

Згідно з тими ж дослідженнями, для шин легкових автомобілів лінійна залежність бічної сили від кута відведення зберігається до значень кута 3–4°. При перевищенні цих значень залежність стає нелінійною, що зумовлено виникненням ковзання в зоні контакту шини з дорогою.

Значення коефіцієнтів опору відведення для шин однакового розміру та типу можуть суттєво відрізнятись. Такі відмінності обумовлюються рівнем зносу протектора, а також рецептурними і технологічними особливостями, які застосовуються під час їх виробництва.

2.2 Нерівномірність жорсткості автомобільних шин

Жорсткісна неоднорідність шин є важливим фактором, який впливає на експлуатаційні характеристики автомобіля, зокрема на керованість, стійкість і комфорт під час руху. Ця неоднорідність проявляється у нерівномірному розподілі жорсткості по поверхні шини, що може бути зумовлено різними причинами, такими як технологічні особливості виробництва, неоднорідність матеріалів або знос протектора.

Наявність жорсткісної неоднорідності призводить до коливань контактного тиску між шиною та дорожньою поверхнею, що впливає на рівень зчеплення, бічну стабільність і опір коченню. Крім того, ця особливість може спричиняти вібрації, які негативно позначаються на комфорті пасажирів і викликають додаткові навантаження на підвіску автомобіля.

Аналіз жорсткісної неоднорідності шин є важливим етапом при їх розробці та тестуванні, оскільки він дозволяє оптимізувати конструкцію шини, поліпшити її експлуатаційні властивості та підвищити безпеку руху.

Однією з ключових функцій пневматичної шини є зменшення впливу дорожніх збурень на автомобіль. Завдяки своїй еластичності шина здатна згладжувати дрібні нерівності дорожнього покриття та поглинати удари. Чим якісніше дорожнє покриття, тим меншими є нерівності, а отже, і сили, що впливають на транспортний засіб.

Однак навіть на дорогах із мінімальними нерівностями виникає ще одне значне джерело збурень — сама шина разом із колесом. Це обумовлено тим, що пневматична шина та металеві елементи колеса не є абсолютно однорідними конструкціями, що призводить до появи додаткових коливань і впливів на автомобіль. [10]

Неоднорідність шини під час її кочення проявляється у виникненні сил, які спричиняють коливання як колеса, так і автомобіля в цілому, навіть при русі по абсолютно рівній дорозі. Крім того, ці сили можуть відхиляти транспортний засіб від прямолінійної траєкторії руху. У сукупності з дорожніми нерівностями такі впливи значно погіршують стійкість автомобіля.

Примітно, що за кращих дорожніх умов негативний вплив неоднорідності шини на стійкість автомобіля стає більш відчутним. Внутрішня неоднорідність структури шини під дією зовнішніх навантажень створює зони концентрації напруг у матеріалі. Це може призводити до значного розкиду параметрів шини як під час випробувань, так і в процесі експлуатації, що негативно позначається на прогнозованості її поведінки.

Основний внесок у загальну неоднорідність колеса припадає на шину. Ця неоднорідність формується трьома основними типами: геометричною неоднорідністю, нерівномірним розподілом маси та варіаціями жорсткісних характеристик (розкидами у жорсткості). [5]

Геометрична і жорсткісна неоднорідності головним чином обумовлені характеристиками покриття. Водночас нерівномірний розподіл маси залежить не лише від покриття, але й від конструктивних елементів, таких як камера та ободова стрічка.

Сумарний вплив усіх видів неоднорідності проявляється у вигляді додаткових сил, що виникають під час кочення шини. Цей сукупний ефект, який оцінюється через величини додаткових сил, отримав назву силової неоднорідності (рис. 2.6).

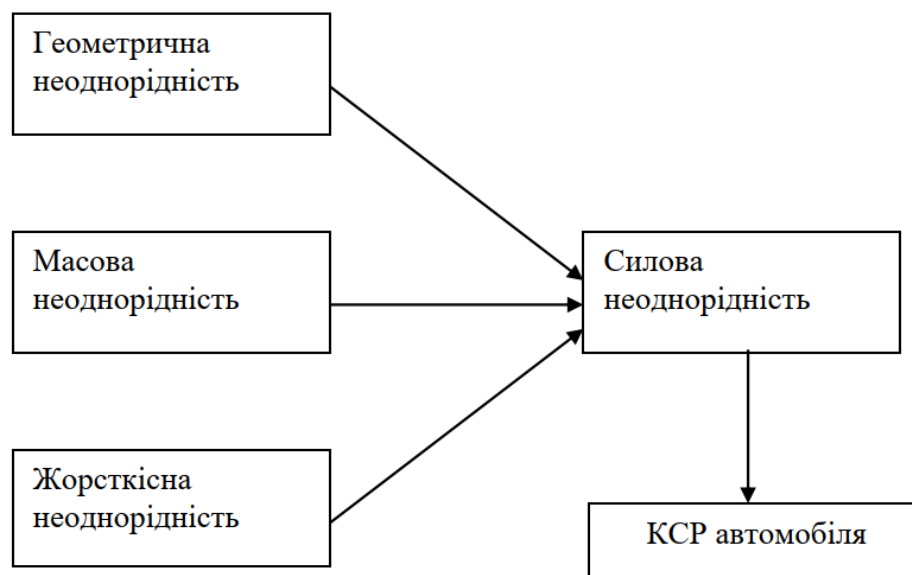


Рис. 2.6. Неоднорідності шин.

Неоднорідність шини та її окремі складові оцінюються кількісними показниками, які обираються залежно від мети аналізу та технічних можливостей використовуваного обладнання. Важливо зазначити, що

неоднорідність шин не є випадковим явищем — вона обумовлена особливостями конструкції та технологічними характеристиками процесу їх виробництва. [20]

Таким чином, показники неоднорідності виступають ключовими критеріями якості виготовлення шин, забезпечуючи можливість оцінки їх експлуатаційних характеристик та відповідності стандартам.

Детальне дослідження неоднорідності шин було проведено в роботах. Ці неоднорідності виявляються у вигляді додаткових сил, які виникають під час кочення колеса, і отримали назву "силова неоднорідність". На рис. 2.7 представлено графічну схему, яка ілюструє основні причини та компоненти, що формують силову неоднорідність.

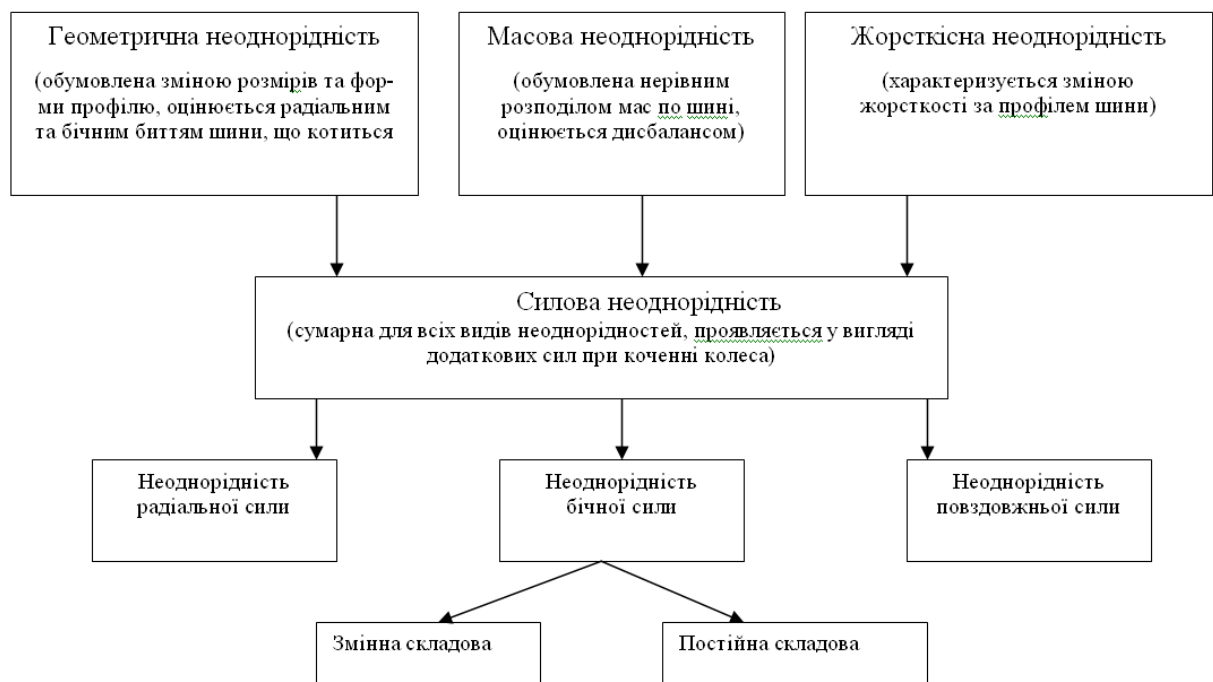


Рис. 2.7. Основні причини та компоненти, що формують силову неоднорідність шини.

Неоднорідність радіальної сили є причиною вертикальних коливань осі коліс і кузова автомобіля. Окрім цього, вона може спричиняти появу сил, які здатні відхиляти колесо від запланованого напрямку руху. Повздовжня неоднорідність також відіграє важливу роль у процесі кочення шини, оскільки у веденому режимі повздовжня сила прямо пропорційна силі опору кочення.

Щодо неоднорідності бічної сили, вона має особливу значущість у контексті аналізу курсової стійкості руху (КСР). Незважаючи на це, питання

впливу неоднорідності шин на курсову стійкість автомобіля все ще недостатньо досліджене, що потребує подальших наукових досліджень.

У дослідженні було встановлено, що більшість протестованих шин демонструють асиметрію відносно повздовжньої площини, яка формується під час їх виробництва. Це призводить до того, що при нульовому куті відведення, коли площина ободу колеса залишається паралельною площині барабана, бічна сила все ж не дорівнює нулю.

Виявлено, що кут відведення, при якому бічна сила дорівнює нулю, для більшості шин становить десяті частки градуса, а для окремих зразків може досягати майже 1° . Додатково зазначено, що під час експлуатації одного автомобіля можуть використовуватися шини, які демонструють розбіжності в характеристиках відведення до 30%.

Для шин з симетричними характеристиками залежність бічної сили від кута відведення $Y=f(\delta)$ має форму, показану на рис. 2.8, а. Проте у випадку наявності силової неоднорідності в шині ця характеристика зазнає змін, загальний вигляд яких наведено на рис. 2.8, б.

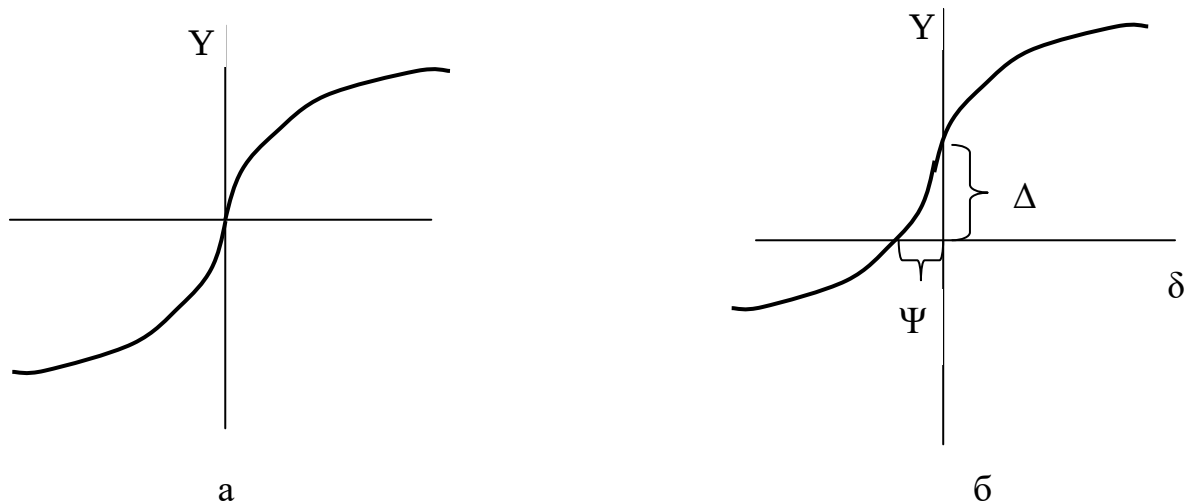


Рис. 2.8. Графік залежності бічної сили від кута відведення для шин із симетричними характеристиками (а) та для шин із виявленою неоднорідністю (б).

Як зазначено у роботах, виробники шин не розголошують інформацію про відмінності в характеристиках однотипних шин. Водночас результати експериментальних досліджень, проведених автором, демонструють, що такі

відмінності можуть суттєво впливати на поведінку шин і не можуть бути проігноровані при їх аналізі.

У роботі також підкреслюється недостатня кількість експериментальних даних для повного аналізу. Відомо, що на ранніх етапах виробництва шин зі сталевим радіальним кордом спостерігалися зміни бічної сили та стабілізуючого моменту вздовж периметра шини (рис. 2.9). При цьому характер змін відрізнявся залежно від напрямку обертання шини. [6] [7]

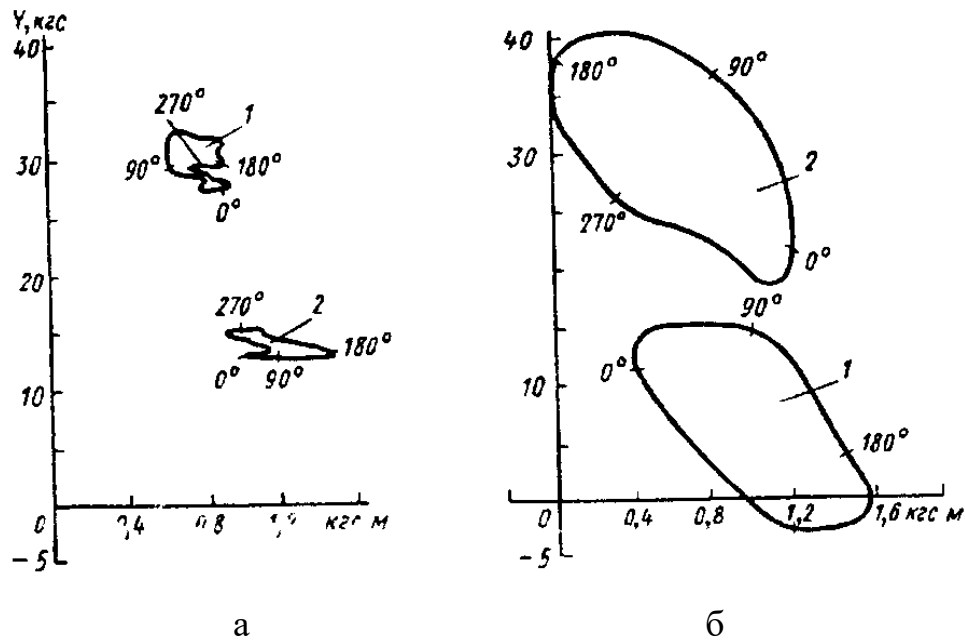


Рис. 2.9. Типові залежності зміни бічної сили (Y) та стабілізуючого моменту для шини з радіальним кордом під час руху по прямій:

а – незначні коливання; б – значні коливання; 1 – обертання колеса проти годинникової стрілки; 2 – обертання колеса за годинниковою стрілкою.

Для ободу розміром 12 дюймів із бічним биттям 2,5 мм та при невеликій швидкості руху на шину впливає циклічно змінна бічна сила величиною близько 180 Н (18 кгс). Ця сила є залежною від швидкості автомобіля і може розглядатися як наслідок бічного зміщення шини відносно дорожньої поверхні.

Параметри неоднорідності виступають важливими індикаторами якості виробництва шин. Вивчення статистичних характеристик цих параметрів дозволяє оцінити мінімальний рівень неоднорідності, досяжний в конкретних виробничих умовах, та встановити відповідні стандарти.

Геометрична неоднорідність характеризується зміною габаритних розмірів і форми профілю шини по її окружності. Для її оцінки використовують показники радіального та бічного биття накачанної шини (рис. 2.10). Биттям називають амплітуду зміни відповідного лінійного розміру протягом одного повного оберту шини. У випадку радіального биття це стосується варіацій радіуса екваторіального перетину шини, а для бічного биття — коливань відстані найбільш широкої частини шини від площини, паралельної до її екваторіальної площини.

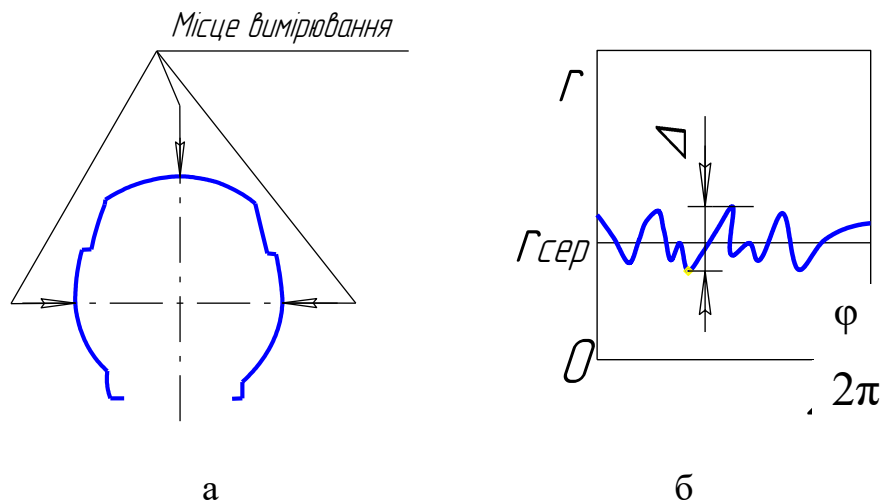


Рис. 2.10. Вимірювання биття накачанної шини:

а – точка проведення вимірювання; б – варіації вільного радіуса r протягом одного повного оберту колеса; Δ – амплітуда радіального биття.

Нерівномірність розподілу мас у будь-якій обертовій конструкції оцінюється її невідновженістю, яку кількісно характеризують величиною дисбалансу. Для шини загальний дисбаланс визначається як результат взаємного розташування та окремих дисбалансів її складових елементів: покриття, камери та обідної стрічки. При цьому основний внесок у дисбаланс зазвичай вносить покриття. [13]

Детально розглянуто вплив неоднорідності шини на динамічні характеристики, такі як коливання осі та кузова автомобіля. Ці явища мають негативний вплив на загальну стійкість руху транспортного засобу. Змінне радіальне навантаження спричиняє не лише вертикальні коливання, але й інші типи динамічних відхилень, які проявляються як у площині колеса, так і поза нею, зокрема викликаючи відхилення колеса від площини його кочення.

Однак, з точки зору аналізу курсової стійкості автомобіля, найбільш інформативним параметром є бічна сила, оскільки саме вона найкраще відображає взаємодію колеса з дорогою та її вплив на траєкторію руху.

Змінна складова бічної сили є важливим показником якості шини, який відображає рівень технологічного процесу та культуру виробництва. Цей параметр може бути використаний як контрольний під час заводських випробувань продукції. Значення коливань бічної сили регламентується стандартом. Однак, з точки зору досліджень курсової стійкості автомобіля, цей показник не має суттєвого значення.

Постійна складова бічної сили, навпаки, несе значну інформацію. Насамперед, середнє значення бічної сили при прямолінійному коченні колеса (без сходження та розвалу) не дорівнює нулю [48]. Більше того, величина цієї складової може істотно змінюватися і навіть змінювати знак при зміні напрямку обертання колеса. Постійну складову бічної сили умовно розділяють на два компоненти: перший (R_1) залишається незмінним при зміні напрямку обертання колеса, тоді як другий (R_2) змінює свій напрямок.

Таким чином, бічна сила, що виникає при коченні колеса в одному напрямку (F_1), та сила, що утворюється при коченні в протилежному напрямку (F_2), мають наступний вигляд:

$$F_1 = R_1 + R_2; F_2 = R_1 - R_2. \quad (2.18)$$

Тоді

$$R_1 = \frac{1}{2}(F_1 + F_2), R_2 = \frac{1}{2}(F_1 - F_2). \quad (2.19)$$

Величини R_1 і R_2 мають назви відповідно конічного і кутового ефекту. Конічний ефект (R_1) описує поведінку січеного конуса (рис. 2.11, а), який здатний рухатися прямолінійно лише за умови прикладення до нього бічної сили. При цьому напрямок цієї сили залишається незмінним навіть при зміні напрямку обертання колеса. Аналогічно веде себе колесо з нахилом, через що конічний ефект також називають.

Кутовий ефект (R_2) пов'язаний із явищем, відомим як "псевдовідведення" (рис. 2.11, б). Особливість цього ефекту полягає в тому, що при перевертанні

колеса, але зі збереженням напрямку його обертання, кіничний ефект змінює свій напрямок, тоді як кутовий ефект залишається незмінним.

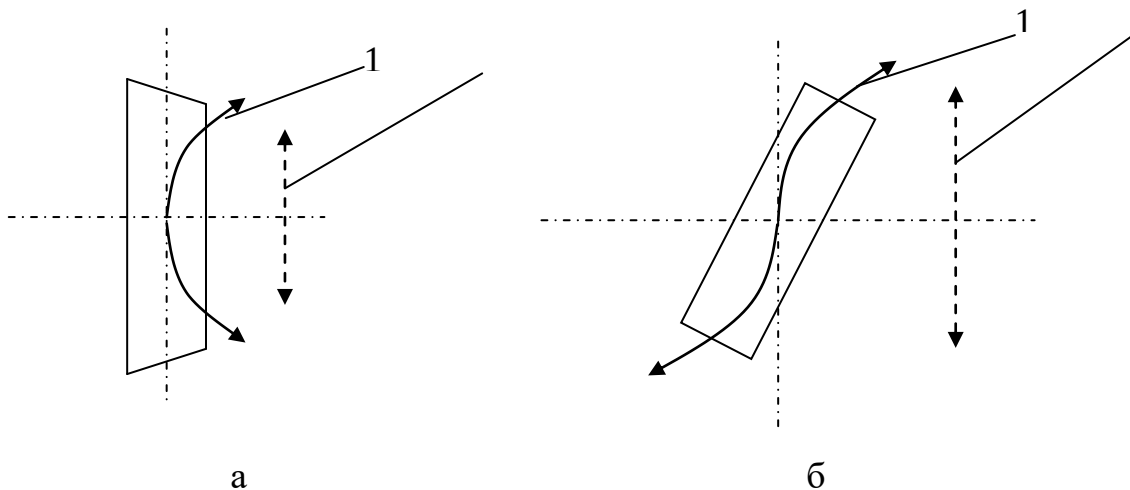


Рис. 2.11. Поведінка шини під час кочення за наявності кіничного (а) та кутового (б) ефектів:

1 – напрямок руху шини; 2 – напрямок її обертання.

Постійні складові бічної сили мають безпосередній вплив на траєкторію руху автомобіля. Якщо шини генерують постійні бічні сили та моменти, прямолінійний рух транспортного засобу можливий лише за умови їх компенсації силами та моментами, що виникають внаслідок повороту коліс відносно напрямку руху.

Для цього необхідно, щоб рульове колесо було постійно повернуте відносно нейтрального положення (відведення передньої осі, рис. 2.12, а). Крім того, повздовжня вісь автомобіля повинна утворювати певний кут з напрямком його руху (відведення автомобіля, рис. 2.12, б). У деяких випадках можливе одночасне поєднання обох явищ (рис. 2.12, в).

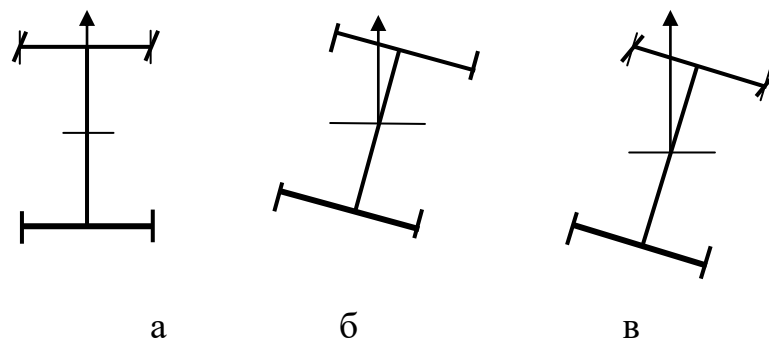


Рис. 2.12. Поведінка автомобіля під впливом постійних бічних сил, зумовлених неоднорідністю шин:

а – відведення передньої осі; б – відведення автомобіля; в – комбінований випадок (відведення передньої осі та автомобіля одночасно).

У разі виникнення відведення задні колеса не повторюватимуть сліди передніх, що ускладнює керування транспортним засобом, знижує ефективність зчеплення шин із дорогою та погіршує курсову стійкість руху автомобіля. [3]

Основними причинами виникнення неоднорідності є технологічні допуски, дефекти або порушення технологічного процесу під час виготовлення шин. Однак є виняток: кутовий ефект, який притаманний навіть ідеальним радіальним шинам. Механізм його утворення пов'язаний із деформаціями, що виникають у брекерному поясі під час входження чергової ділянки шини в контакт із дорогою. Розгинання брекерного поясу супроводжується виникненням розтягувальних і стискальних деформацій у його шарах. Оскільки брекерна структура має виражену анізотропність, лінійна деформація викликає зсуви в площині шару, що призводить до закручування всієї шарової конструкції та відхилення екваторіальної лінії. У результаті така шина прагне котитися під кутом до площини диска. Для забезпечення прямолінійного руху необхідно прикласти постійну бічну силу, яка і є проявом кутового ефекту.

Величина кутового ефекту стабільна для різних шин і залишається майже однаковою на всіх чотирьох колесах. Для компенсації цих бічних сил повздожня вісь автомобіля повинна відхилитися від напрямку руху на кут, що дорівнює співвідношенню кутового ефекту до коефіцієнта бічного відведення. Для легкових автомобілів із радіальними шинами цей кут становить приблизно $\left(\frac{1}{4}\right)^0$.

2.3 Вплив зносу протектора шин на стійкість руху транспортного засобу

Аналіз доступних наукових джерел свідчить про те, що цілеспрямованих досліджень, спрямованих на вивчення впливу зносу протектора на показники стійкості руху автомобіля, практично не проводилося. Водночас, у ряді робіт,

присвячених аналізу характеристик бічного відведення колеса, знос протектора розглядається як змінний фактор, що враховується під час моделювання або експериментів.

Це вказує на необхідність більш детального вивчення цієї тематики, оскільки стан протектора може мати значний вплив на здатність шин забезпечувати надійне зчеплення з дорогою, особливо в умовах складного дорожнього покриття чи за наявності опадів. Знос протектора також може впливати на курсову стійкість автомобіля, змінюючи розподіл бічних і поздовжніх сил, що діють на колеса. Подальші дослідження в цій галузі допоможуть краще зрозуміти механізми впливу та розробити рекомендації для підвищення безпеки руху.

Знос протектора значно впливає на величину коефіцієнта опору бічному відведенню шини. Виходячи з очевидної взаємозалежності між стійкістю автомобіля та опором бічному відведенню, було проведено серію експериментальних досліджень із використанням шин для вантажних автомобілів на універсальному барабанному стенді моделі 3302.

Результати цих досліджень показали, що зі зменшенням висоти рисунка протектора опір бічному відведенню поступово зростає (рис. 2.13). Для шин із повністю зношеним протектором цей показник виявився на 50–70% вищим, ніж у нових шин. Ця тенденція вказує на необхідність врахування стану протектора під час оцінки динамічних властивостей транспортного засобу та забезпечення його стійкості в експлуатаційних умовах.

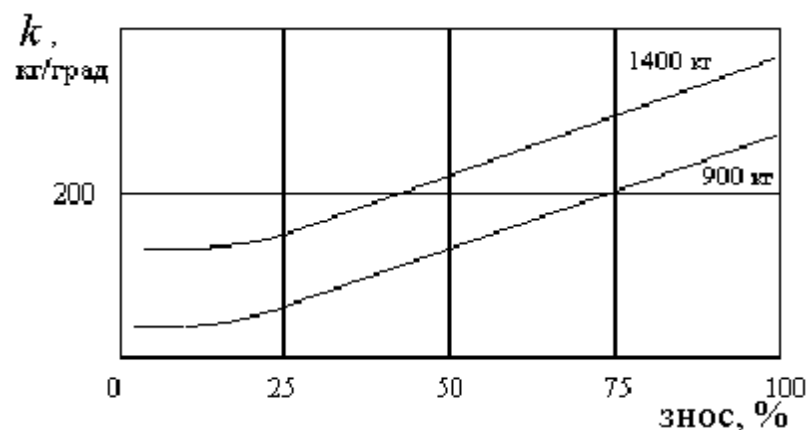


Рис. 2.13. Залежність коефіцієнта опору бічному відведенню від рівня зносу шин за різних значень навантаження.

Коефіцієнт опору бічному відведенню k для повністю зношених шин, за даними численних досліджень, сприяє поліпшенню стійкості автомобіля під час руху на сухих дорожніх покриттях. У монографії А.С. Литвинова наводяться дані, які свідчать про істотну залежність коефіцієнта опору бічному відведенню від висоти протектора. Згідно з дослідженнями, для шин типу 260–508 коефіцієнт опору бічному відведенню зростає на 40% при зменшенні глибини рисунка протектора з 20 мм до 5 мм (рис. 2.14).

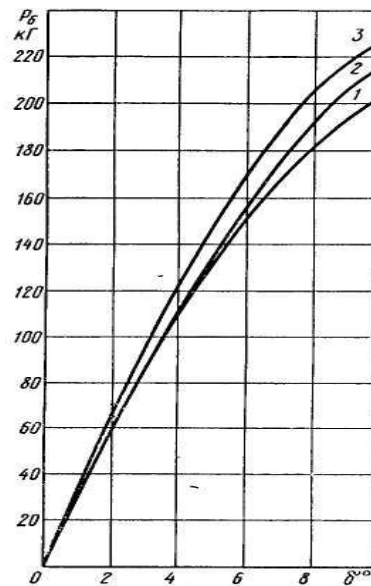


Рис. 2.14. Вплив зносу протектора шини на залежність бічної сили від кута відведення:

1 – після пробігу 500 км; 2 – після пробігу 3400 км; 3 – після пробігу 11900 км.

Стійкість автомобіля під час руху значною мірою визначається показниками повороткості, які залежать від відведення мостів. У роботі В.П. Волков наводить приклад, що наочно демонструє вплив зміни коефіцієнта опору бічному відведенню на здатність автомобіля до повороту.

Розглянуто легковий автомобіль із повною масою 2000 кг, колісною базою 3,2 м і розподілом ваги між осями: 49% припадає на передню вісь, а 51% — на задню. Для автомобіля з діагональними шинами на всіх колесах ($k = 38$ кН/рад) спостерігається надлишкова повороткість, при цьому критична швидкість становить 278 км/год. При використанні радіальних шин на всіх колесах ($k=48$ кН/рад) автомобіль також зберігає надлишкову повороткість, але критична швидкість збільшується до 312 км/год.

Цей приклад підтверджує, що зміна коефіцієнта опору бічному відведенню шин може суттєво впливати на поведінку автомобіля в поворотах, а також на його критичні характеристики стійкості.

У випадку використання радіальних шин на передніх колесах і діагональних на задніх, автомобіль демонструє надлишкову поворотність, причому критична швидкість становить 113 км/год, що є нижчою за його максимальну швидкість. Розрахунок цих даних було виконано на основі формули, запропонованої:

$$v_{кр} = 3,6 \sqrt{\frac{gL}{\frac{G_2}{k_2} - \frac{G_1}{k_1}}} \quad (2.20)$$

Забезпечення стійкості та керованості автомобіля за рахунок правильного вибору шин є однією з ключових вимог, викладених у Правилах дорожнього руху України. У них чітко зазначено, що експлуатація транспортних засобів забороняється в разі, якщо на передній осі встановлені радіальні шини, а на задній (задніх) — діагональні. Така комбінація шин може негативно впливати на динамічну стабільність і безпеку автомобіля під час руху.

Як було зазначено раніше, знос протектора суттєво впливає на коефіцієнт опору бічному відведенню. Однак чинні Правила дорожнього руху не встановлюють обмежень щодо використання шин із різним ступенем зносу на передній і задній осях автомобіля. Водночас очевидно, що навіть при встановленні нових ідентичних шин через певний період експлуатації можна виявити нерівномірність їхнього зношування на передній і задній осях. Це обумовлено тим, що на інтенсивність зносу впливають такі фактори, як навантаження на колеса, бічні сили, тангенціальні сили (тягова та гальмівна), а також рівень тиску повітря в шинах. Кількісні характеристики цих факторів для шин передньої та задньої осі, як правило, відрізняються.

Різний ступінь зносу протектора шин призводить до змін у коефіцієнті опору бічному відведенню окремих осей автомобіля, що, у свою чергу, впливає на його поворотність і динамічну поведінку. Визначення залежності між зміною глибини рисунка протектора та коефіцієнтом опору бічному відведенню, а також використання цієї залежності в математичних моделях для аналізу руху

автомобіля, є актуальним завданням. Його розв'язання дозволяє точніше прогнозувати умови забезпечення стабільності руху транспортного засобу.

Крім того, важливим залишається питання корекції поворотності автомобіля, яка змінюється внаслідок зносу шин. Оптимальне налаштування динамічних характеристик із урахуванням стану шин може суттєво підвищити безпеку та ефективність експлуатації транспортного засобу.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Аналіз лабораторних установок

У рамках цієї роботи розглянуто різні типи лабораторних установок, які застосовуються для вимірювання кутів відведення коліс. Зокрема, було проаналізовано такі установки:

Система для визначення основних характеристик відведення шин.

Лабораторне обладнання для оцінки коефіцієнтів опору бічному відведенню шин.

Стенд для експериментального дослідження кутів відведення автомобіля.

3.1.1 Лабораторна установка для дослідження характеристик відведення шин

Під час руху автомобіля по криволінійному маршруту на його колеса діють бічні сили, спрямовані назовні від центру повороту. Дія таких сил викликає деформацію покриття через її бічну еластичність, що змушує колесо відхилятися під певним кутом від площини його обертання. Цей кут отримав назву кута бічного відведення.

Властивості бічного відведення колеса характеризуються кутом відведення δ , який виникає під дією бічної сили F , та коефіцієнтом опору бічному відведенню K . Цей коефіцієнт визначається як відношення величини бічної сили до відповідного кута відведення, що вона викликає.

Для визначення коефіцієнта опору бічному відведенню використовують як дорожні випробування, так і спеціалізовані лабораторні установки, зокрема ті, що обладнані біговим барабаном. На рисунку 3.1. (вид зверху) представлено схему лабораторної установки з біговим барабаном, призначеної для вивчення характеристик відведення шин.

Під час проведення випробувань стенд із приводом 1 обертає біговий барабан 2 з визначеною кутовою швидкістю. Одночасно пристрій для закріплення колеса притискає його 3 до поверхні барабана із заданою силою.

При цьому діаметральна площина колеса відхиляється відносно діаметральної площини бігового барабана на певний кут, який у цьому випадку визначається як кут бічного відведення. [9]

Уздовж осі обертання колеса виникає бічна сила, величина якої фіксується датчиком сили 4. На основі отриманих даних про бічну силу та відомого кута відведення виконується розрахунок коефіцієнта опору бічному відведенню. Цей коефіцієнт, у межах експериментів на стенді, представленому на рисунку 3.1, може бути визначений у залежності від таких параметрів, як:

ширина профілю шини $B_{\text{ш}}$ (рисунок 3.2).

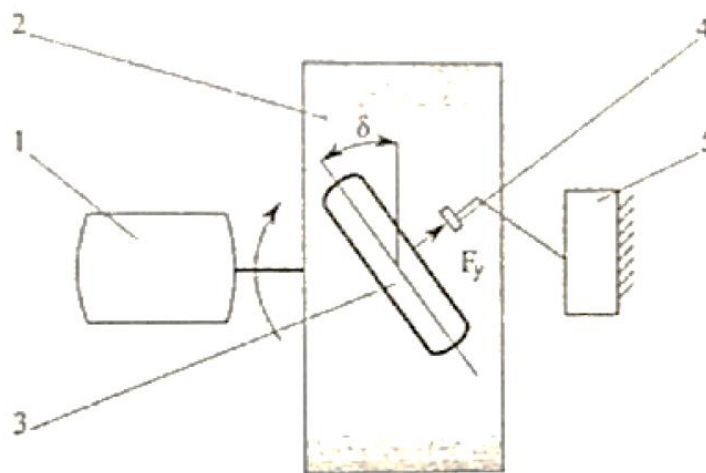


Рис. 3.1. Схематичне зображення стенда з біговим барабаном для дослідження характеристик відведення шин:

1 – приводний механізм стенда, 2 – біговий барабан, 3 – колесо з тестованою шиною, 4 – датчик для вимірювання сили, 5 – пристрій для закріплення колеса.

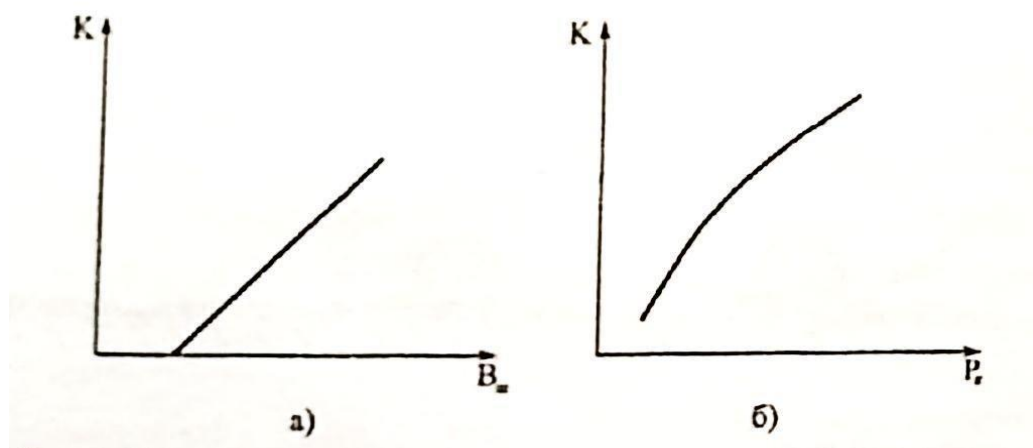


Рис. 3.2. Графік залежності коефіцієнта опору відведенню шин від ширини профілю (а) та від рівня тиску в шині (б).

3.1.2 Лабораторна установка для визначення коефіцієнтів опору бічному відведенню шин

Для дослідження коефіцієнтів опору бічному відведенню шин застосовують спеціалізовані лабораторні установки, які дозволяють моделювати умови руху та виконувати точні вимірювання. Одним із таких пристроїв є установка, схема якої представлена на рисунку 3.3.

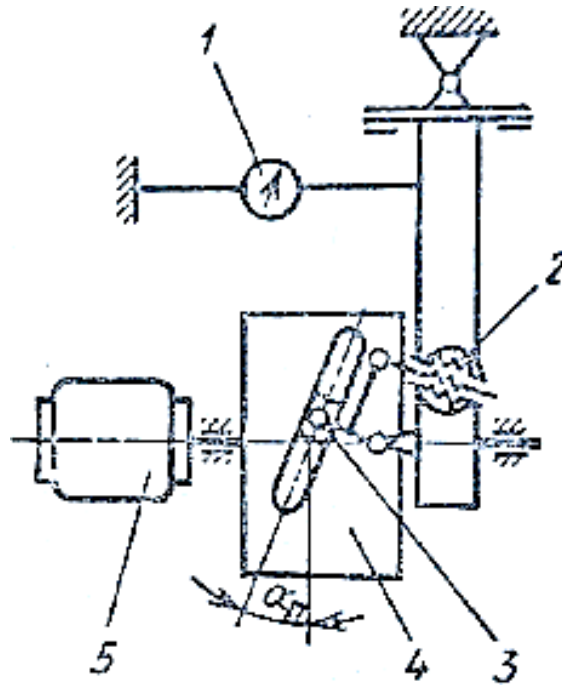


Рис. 3.3. Схематичне зображення лабораторної установки для визначення коефіцієнтів опору відведенню шин:

1 – захисний екран, 2 – гвинтовий механізм для регулювання, 3 – колесо з тестованою шиною, 4 – біговий барабан, 5 – приводний електродвигун.

Ця установка забезпечує можливість контролю та регулювання параметрів навантаження, кутів відведення та швидкості обертання колеса, що дозволяє отримувати точні характеристики шин у різних умовах експлуатації.

Перед початком випробувань кронштейн із використанням стопорного механізму закріплюється на рамі таким чином, щоб площини обертання коліс були строго паралельними напрямку руху автомобіля-буксирувальника. Коли транспортний засіб досягає заданої швидкості, підйомний механізм опускає засувку, яка, взаємодіючи з фіксатором, створює жорстке з'єднання між важелем і підйомним пристроєм.

Після цього підйомний механізм піднімає важіль із досліджуваною шиною на потрібну висоту. Потім активується пристрій для звільнення колеса, який розчіплює засувку з фіксатором. Колесо опускається на дорожню поверхню, відскакує від неї, і, продовжуючи обертатися, здійснює вільні вертикальні коливання, що поступово затухають. Дані коливання реєструються за допомогою датчика переміщень.

Випробування бічного відведення шин та коефіцієнта опору цьому відведенню проводяться як у лабораторних, так і в дорожніх умовах. Для автомобілів такі тести зазвичай виконуються в реальних дорожніх умовах, тоді як для окремих коліс – на спеціалізованих стендах. На стендових випробуваннях бічне відведення шин спричиняється дією бічної сили, яка прикладається до колеса шляхом його нахилу або повороту.

На стенді, схему якого наведено на рисунку 3.3, змінні кути відведення створюються за рахунок регулювання кута повороту площини обертання колеса відносно площини обертання барабана. Регулювання кута α_n здійснюється за допомогою гвинтового механізму (елемент 2). Бічна сила, що діє на колесо (елемент 3), вимірюється за допомогою динамометра (елемент 7). Привід барабана (елемент 4) забезпечується електродвигуном (елемент 5).

На деяких стендах досліджуване колесо встановлюють під різними кутами до поверхні бігового барабана та площини його обертання, що імітує умови експлуатації автомобіля з певними кутами розвалу та сходження коліс. Сили та моменти, які діють на колесо, реєструються тривимірними вимірювальними датчиками, що інтегруються у ступицю колеса.

У реальних дорожніх умовах відведення шин визначають із використанням одно- та багатоколісних динамометричних причіпних візків або безпосередньо на автомобілі. Конструкція візків передбачає встановлення на їхній рамі підрамника, оснащеного колесом, яке може бути розміщене під різними кутами. У двоколісних візках відведення моделюється за рахунок регулювання сходження коліс шляхом зміни довжини телескопічної поперечної тяги.

Результати проведеного аналізу свідчать, що існує значна кількість стендів, які забезпечують можливість оцінювати плавність ходу автомобіля ще

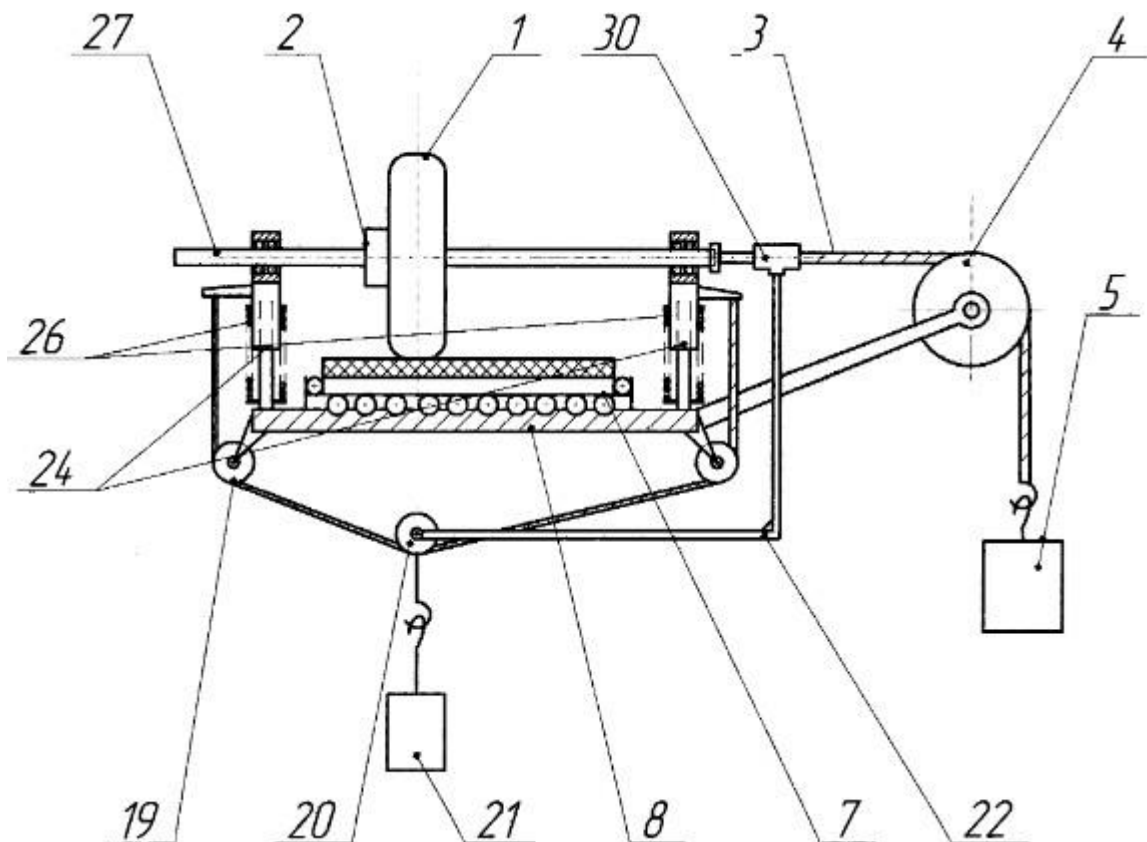
до початку дорожніх випробувань. Це дозволяє підвищувати якість цього експлуатаційного параметра ще на стадії проєктування, оптимізуючи динамічні характеристики транспортного засобу.

3.1.3 Стенд для дослідження параметрів кутів відведення автомобіля

Функціонування стенда організовано наступним чином:

На початку експерименту на рухомій платформі 7 встановлюється обраний зразок дорожнього покриття 25.

Досліджуване колесо 1 монтується на поверхню 25 рухомої платформи 7, розташованої з протилежного боку від бічного кронштейна 29. Колесо навантажується вертикальною силою, яку створює вантаж 21 із попередньо визначеною масою $m_{гр21}$ (рисунок 3.4). Для забезпечення рівномірного розподілу вертикального навантаження використовуються пружні опори 24 із встановленими на них пружинами 26 (рисунок 3.5).



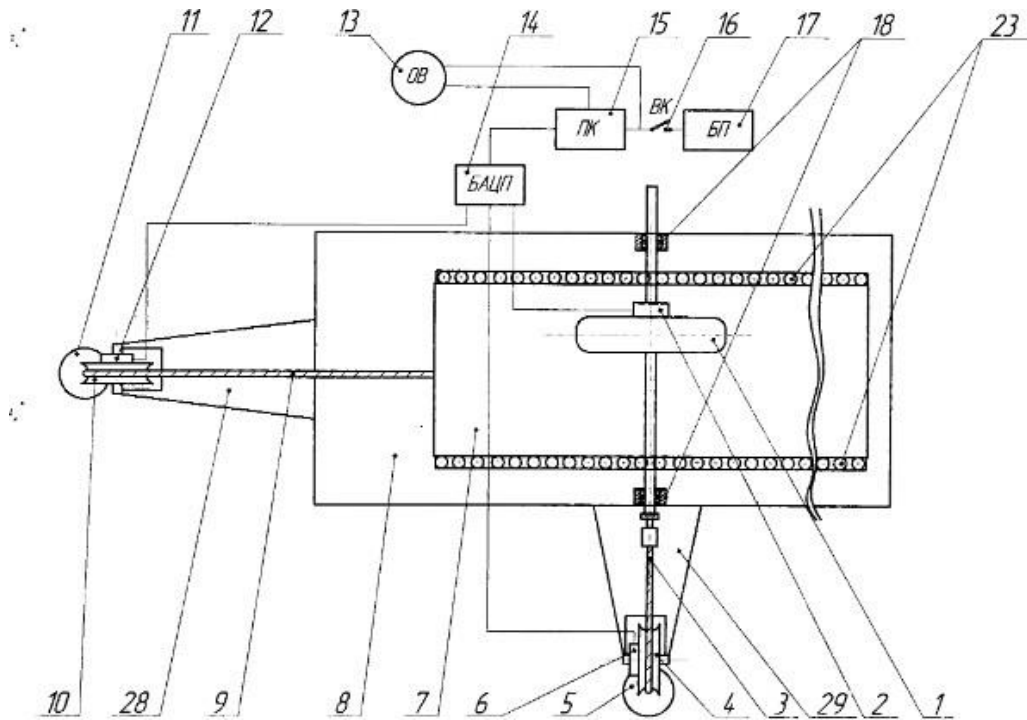


Рис. 3.4. Лабораторний стенд для визначення характеристик кутів відведення колеса:

1 – тестоване колесо, 2 – сенсор для вимірювання імпульсів обертання колеса, 3, 9 – тросові механізми, 4, 10, 19, 20 – блоки шківів, 5, 11, 21 – балансувальні вантажі, 6, 12 – сенсори для вимірювання імпульсів обертання шківів, 7 – рухома основа платформи, 8 – стаціонарна рама стенда, 13 – цифровий модуль для реєстрації часу, 14 – система перетворення аналогових сигналів у цифровий формат, 15 – комп'ютер для обробки даних, 16 – перемикач живлення електричної схеми, 17 – електричний блок живлення, 18 – опорні підшипники для пружних елементів осі колеса, 22 – поводок балансувального блоку, 23 – допоміжні кулькові елементи, 24 – пружні вузли опори осі колеса, 25 – зразок дорожнього покриття, 26 – пружинний механізм, 27 – центральна вісь колеса, 28 – поздовжній елемент кріплення, 29 – бічний кронштейн, 30 – з'єднувальна муфта для кріплення поводка.

Цей стенд дозволяє виконувати дослідження з високою точністю, моделюючи умови реального руху автомобіля, і забезпечує вимірювання параметрів бічних кутів відведення у різних експлуатаційних режимах.

Додатково колесо 1 піддається бічному навантаженню, яке створюється за допомогою троса 3, шківів 4 і вантажу 5 із підбраною масою $m_{гр5}$.

Балансувальний шків 20 із поводком 22 забезпечує вертикальне положення вантажу 5, узгоджене із середньою площиною колеса 1.

Після цього рухому платформу примусово переміщують по рамі 8 у крайнє праве положення. Завершальним етапом оператор активує блок живлення 17, підключаючи його до схеми управління за допомогою вимикача 16.

Експериментальні дослідження виконуються в наступній послідовності:

Поздовжнє переміщення платформи 7 забезпечується шляхом застосування вантажу 11 із ретельно підібраною масою $m_{гр11}$, що створює необхідне зусилля.

Обертання досліджуваного колеса 1 починається одночасно з запуском руху платформи 7, що моделює процес кочення колеса по фрагменту дорожнього покриття 25.

Під дією бічної сили процес кочення колеса в поздовжньому напрямку супроводжується його поступовим бічним зміщенням по поверхні платформи, яке проходить від одного краю платформи 7 до протилежного.

Завдяки інтеграції спеціально розроблених вузлів та додаткового обладнання, стенд надає можливість проводити дослідження, спрямовані на оцінку впливу різноманітних експлуатаційних факторів на характеристики бічного відведення тестованого еластичного колеса.

Стенд для дослідження характеристик бічного відведення еластичного колеса транспортного засобу складається з нерухомої металевої рами з горизонтальною робочою поверхнею, на якій закріплюється змінний елемент, що відтворює конкретний тип дорожнього покриття. Конструкція включає вузол для створення вертикального навантаження, а також систему вимірювання й реєстрації даних, оснащену сенсорами імпульсів і електронним секундоміром, з'єднаними з комп'ютером через аналогово-цифровий перетворювач.

Відмінною рисою цього стенда є наявність рухомої робочої платформи, яка встановлюється на нерухомій металевій рамі. На цій платформі також закріплюється змінний елемент, що імітує дорожнє покриття, яке досліджується.

Між рухомою платформою та нерухомою рамою в поздовжніх напрямних розташовані сталеві кульки, що виконують роль підшипників кочення. Переміщення платформи в горизонтальному напрямку забезпечується за допомогою вузла, який складається зі шківів, прикріпленого до поздовжнього кронштейна рами, і троса. Один кінець троса закріплений на змінному вантажі, інший перекинутий через шків і закріплений на платформі.

Для моделювання бічного зміщення осі колеса використовується спеціальний вузол, що включає бічний кронштейн нерухомої рами з шківом. Трос, перекинутий через цей шків, з одного боку прикріплений до змінного вантажу, а з іншого – до осі колеса. Така конструкція дозволяє імітувати кут бічного відведення під час обертання колеса, забезпечуючи високу точність експериментальних досліджень.

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Уточнення концептуальних рішень

На першому етапі концептуальні підходи до моделювання уточнюються та підлягають перевірці на основі початкових експериментальних даних, щоб гарантувати їхню відповідність реальним умовам. У разі виявлення значних розбіжностей у результатах тестувань необхідно провести відповідні коригування, перш ніж моделі можуть бути застосовані в подальших дослідженнях. Завершальна перевірка, заснована на аналізі деформацій, зафіксованих на випробувальному стенді, дозволить оцінити здатність запропонованих концепцій точно відтворювати необхідні деформаційні процеси.

Для реалізації випробувань на стенді слід ретельно підібрати відповідну модель шини. У цьому випадку було обрано Michelin Pilot Primacy 225/50 R17, оскільки для цієї шини доступна розширена база даних, яка дозволяє застосовувати її в моделюванні як з використанням FTire, так і RMOD-K 7.

Програмне забезпечення FTire (рис. 4.1), яке використовується для моделювання динаміки шин, має у своєму складі інструмент для аналізу чвертьавтомобільних моделей. Проте цей інструмент не забезпечує автоматичної генерації деформованої геометрії шини у форматі, сумісному з CAD-системами. Незважаючи на це, модель надає можливість ручного зчитування координат вузлів, які визначають структуру шини.

Для створення геометричної моделі поверхні шини необхідно розробити окрему програму, яка використовує інтерфейс STI для зчитування координат вузлів. Окрім цього, така програма повинна дозволяти керувати ключовими параметрами моделювання, серед яких вертикальне навантаження, бокові сили, швидкість обертання, кут розвалу тощо.

Сімейство моделей FTire включає три варіанти моделювання шин. Найдетальнішою є модель FETire, але вона наразі перебуває на етапі активного вдосконалення і поступається зрілістю моделі гнучкого кільця. Тому для даних

досліджень обрано саме модель гнучкого кільця через її більшу стабільність і готовність до використання.

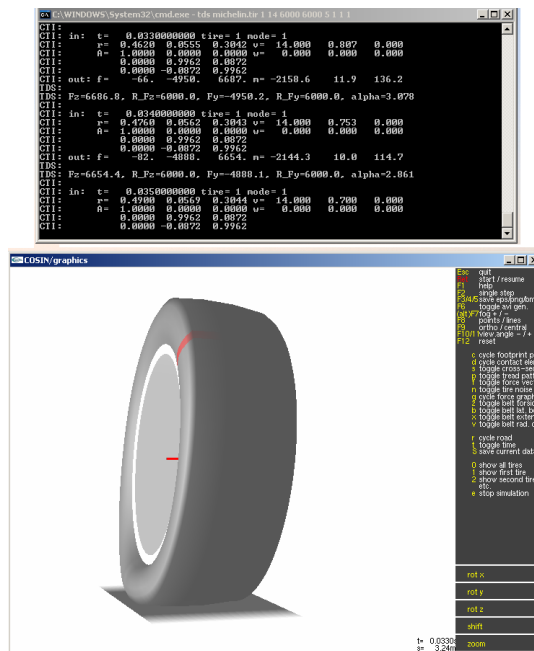


Рис. 4.1. Інструмент для моделювання шин на основі FFire.

Система моделювання шин RMOD-K (рис. 4.2) пропонує як спеціалізовані плагіни для інтеграції з популярними програмами багатотільного моделювання (MBS), так і автономне програмне забезпечення для симуляцій окремих шин. Це програмне забезпечення забезпечує можливість відтворення процесів деформації шини та генерує геометричні файли, які можна експортувати до CAD-систем для подальшого використання.

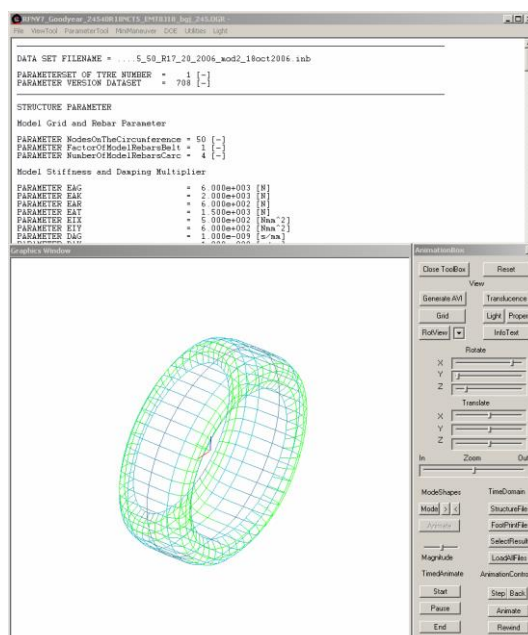


Рис. 4.2. Інструмент для моделювання шин RMOD-K.

У рамках системи RMOD-K реалізовано два підходи до моделювання шин: концепція жорсткого кільця та модель з гнучким поясом. Для проведення симуляцій було обрано модель з гнучким поясом, оскільки вона забезпечує найвищий рівень деталізації та точності серед представлених варіантів.

4.2 Скінченно-елементне моделювання

На початковій стадії розробки концепції для використання в середовищі ABAQUS було визначено, що обмеженість даних про матеріальні властивості створює значні труднощі для побудови точної моделі шини та достовірного моделювання її деформацій. [14]

Враховуючи перспективність цієї ідеї, було ухвалено рішення провести експериментальні дослідження. Програмний пакет ABAQUS пропонує готові приклади моделювання шин, які стали основою для створення демонстраційного прототипу (proof of concept) та оцінки можливості реалізації симуляцій деформацій.

Для відтворення умов, максимально наближених до реальних випробувань, на модель накладали вертикальні навантаження, а також вводили поздовжні та поперечні швидкісні параметри. Було здійснено симуляції в двох режимах: статичному (неявний метод) та динамічному (явний метод).

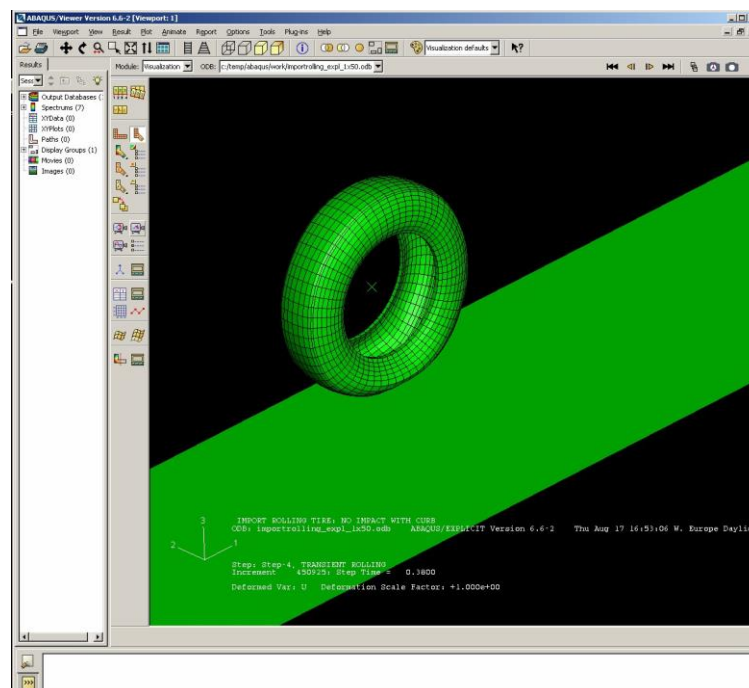


Рис. 4.3. Скінченно-елементний аналіз у середовищі ABAQUS.

Дані, отримані в результаті моделювання в ABAQUS, зберігаються у вигляді файлу бази даних результатів (ODB). Використовуючи інтегровану підтримку мови Python в ABAQUS, можливо розробити спеціалізований скрипт для вилучення координат вузлів поверхневої сітки в її деформованому стані. Це дозволяє створити геометричний файл, який точно описує процеси деформації шини.

4.3 Вхідні параметри для моделювання

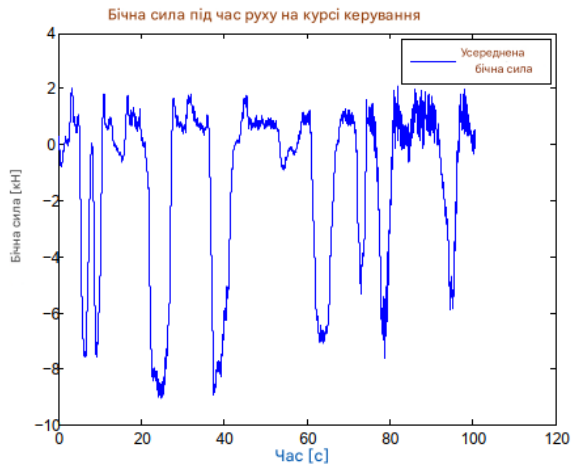
Перехід від традиційних методів випробувань автомобілів до використання симуляцій можливий лише за умови точного відтворення реальних умов експерименту у віртуальному середовищі.

Для оцінки деформації шин їх випробовують на тестовій трасі BMW. У ході тестування шини піддаються впливу максимальних бокових сил, які можуть виникати під час стандартних режимів експлуатації транспортного засобу.

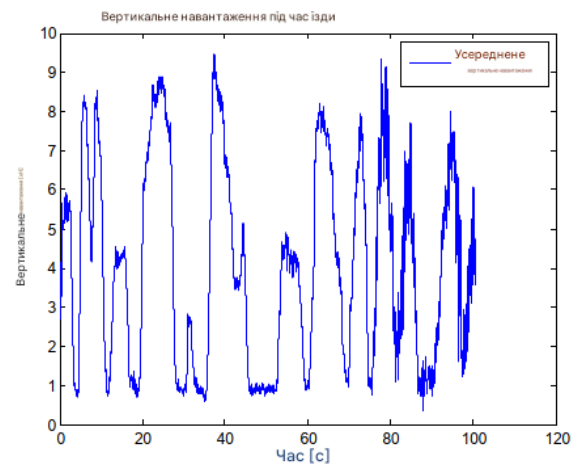
Аналіз даних, отриманих під час цих випробувань, дозволяє визначити величини сил, що діють на шини в умовах експлуатації. Зокрема, досліджувалися результати тестів, виконаних на автомобілі BMW із масою 2030,5 кг. Параметри, зафіксовані протягом трьох заїздів, були усереднені, а також очищені від впливу перехідних процесів. У результаті отримані дані відображені у вигляді графіків вертикальних і бокових навантажень, наведені на рисунку 4.4. [8]

Максимальні значення навантажень становили близько 9500 Н як для вертикальної, так і для бокової складової при боковому прискоренні близько 1g.

Попри те, що ці значення могли б бути використані як вхідні дані для моделювання, для забезпечення точності валідації прийнято рішення застосовувати дані, отримані під час випробувань шин на спеціальному стенді.



(а) Графік бічної сили.



(б) Графік вертикального навантаження.

Рис. 4.4. Результати вимірювань на трасі керованості.

4.4 Результати роботи симуляційних моделей

Для всіх симуляційних моделей характерне застосування формату хмарної геометрії (CGO), який слугує для представлення деформованої форми шини. Основна перевага цього підходу полягає у можливості безпосереднього імпортування даних у програмне забезпечення Catia V5. Формат CGO являє собою текстовий файл, де кожен рядок містить числові координати, що відповідають конкретним точкам на поверхні моделі шини.

У процесі розробки симуляційних моделей шин важливо забезпечити їхню відповідність реальним властивостям шини. Аналіз основних параметрів шини дозволяє оцінити, наскільки модель точно відтворює фізичні характеристики, що значно спрощує перевірку її достовірності.

Вертикальна жорсткість визначається як величина зусилля, необхідного для стискання шини у вертикальній площині. Цей параметр залежить як від особливостей конструкції шини, так і від рівня внутрішнього тиску повітря.

На рисунку 4.5. можна спостерігати, що вертикальна жорсткість, яку демонструють моделі RMOD-K та FTire (визначається нахилом кривих), перевищує виміряні значення. Згідно з експериментальними даними, радіальна деформація становить приблизно 27-28 мм, тоді як у симуляційних моделях цей показник виявився меншим і становить близько 24-25 мм.

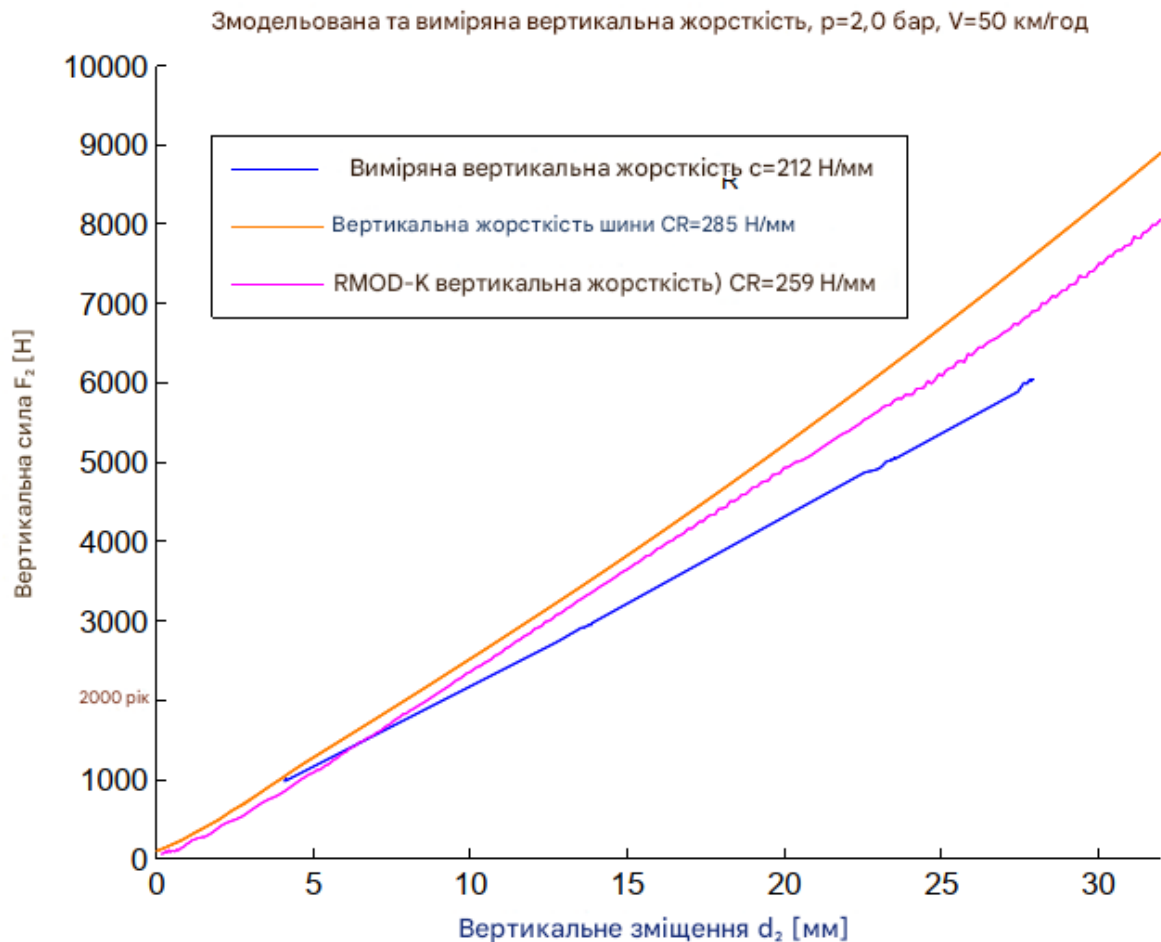


Рис. 4.5. Перевірка вертикального навантаження.

Аналіз кривих, що відображають залежність бічної сили від кутів проковзування, дозволяє оцінити, як ці параметри змінюються для різних моделей симуляції. Від моделі очікується, що початкова жорсткість при повороті (нахил початкової частини кривої) та пікові значення бічної сили будуть узгоджуватись із реальними даними. [18]

Бічна жорсткість відображає ступінь деформації шини в поперечному напрямку під впливом бічних сил. У моделях FTire та RMOD-K цей параметр може бути легко змодельований. Однак експериментального вимірювання бічної жорсткості не проводили. Проведення таких порівнянь дозволило б забезпечити додаткову перевірку точності моделей.

Поздовжнє проковзування визначає, як формується зчеплення шини в поздовжньому напрямку під час розгону або гальмування.

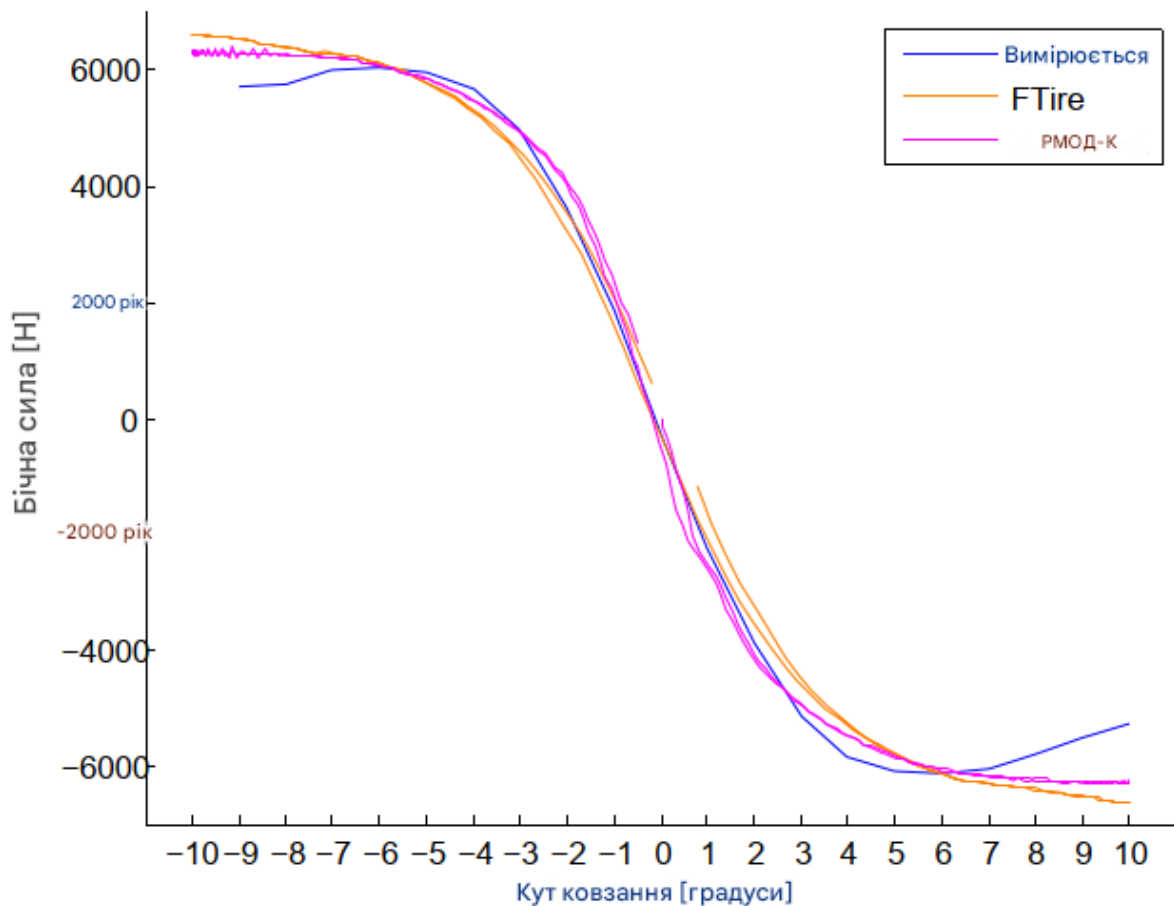


Рис. 4.6. Оцінка бічного проковзування.

Для досягнення високої точності симуляцій необхідно, щоб профіль моделі шини максимально відповідав реальному. Це особливо важливо при графічному порівнянні деформацій. [19]

Початковий контур шини в її недеформованому стані. Отримані дані використовуються для коригування контуру моделей симуляції. У рамках цієї роботи симуляційні моделі були налаштовані таким чином, щоб забезпечити максимальну відповідність реальним характеристикам, що підтверджує якість моделювання.

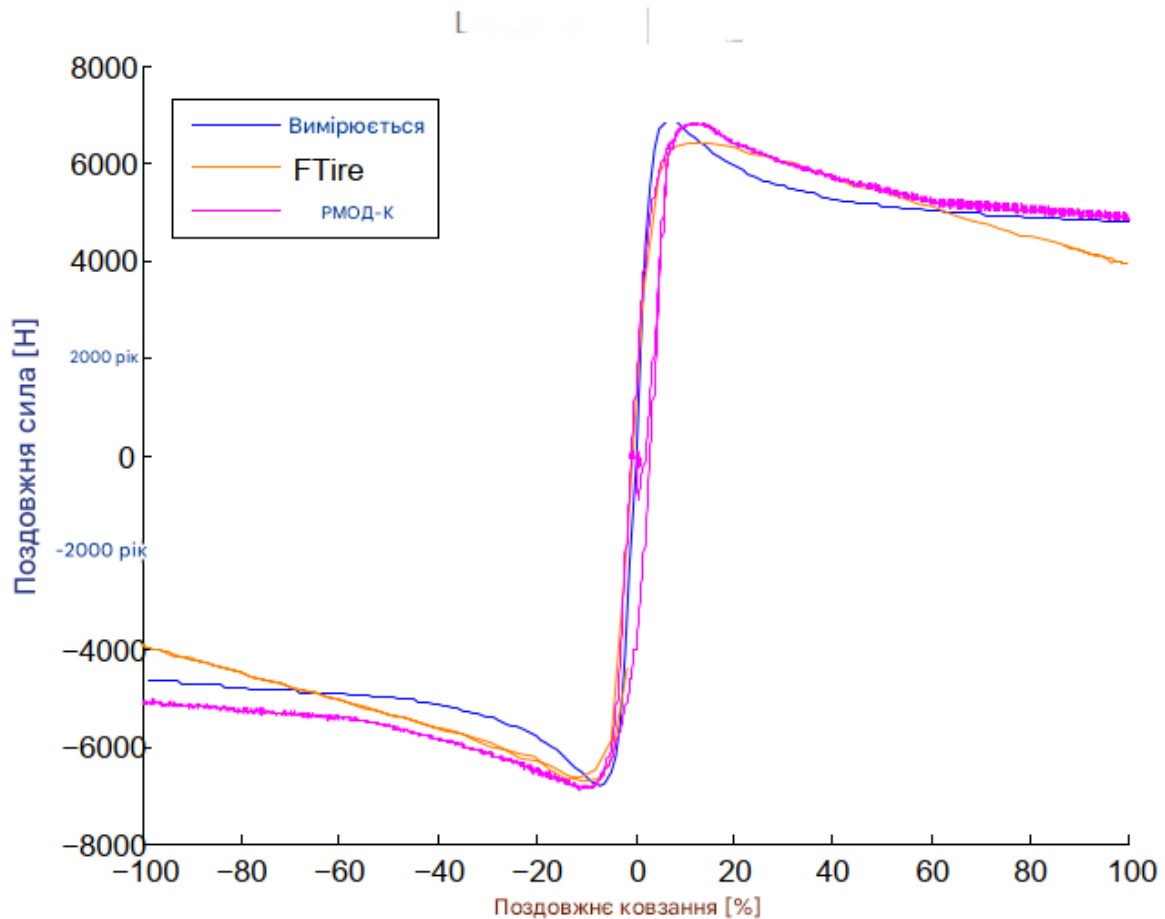


Рис. 4.7. Перевірка поздовжнього проковзування

4.5 Завершальне тестування та перевірка точності

У процесі експериментальних вимірювань шин на стенді швидкість обертання встановлюється на рівні 50 км/год без додаткового кута розвалу. Початковий тиск у шині становить 2,0 бар, проте з прогріванням шини він незначно зростає. Передбачається, що це підвищення тиску не матиме суттєвого впливу на отримані результати.

На першому етапі випробування вертикальне навантаження поступово підвищується від нуля до заданого значення $F_Z = 6000$ Н, після чого воно утримується на цьому рівні протягом всього тесту.

Для створення бічних сил шина повертається під різними кутами відносно напрямку руху плоскої стрічки стенда. Ці кути відповідають куту проковзування α , який змінюється поступово, зростаючи на 1 градус до +10

градусів, потім зменшуючись до -10 градусів, а після цього повертається до початкового положення.

Кут проковзування у 10 градусів ілюструє ситуацію, коли напрямок обертання шини відхиляється на 10 градусів від напрямку руху автомобіля. Такий сценарій може виникнути в реальних умовах, наприклад, під час проходження повороту, коли водій змушений збільшувати кут повороту керма, щоб шина відповідала кривизні дороги. [12]

Отримані значення бічної сили для кожного з кутів проковзування надалі використовуються як вхідні дані для моделювання.

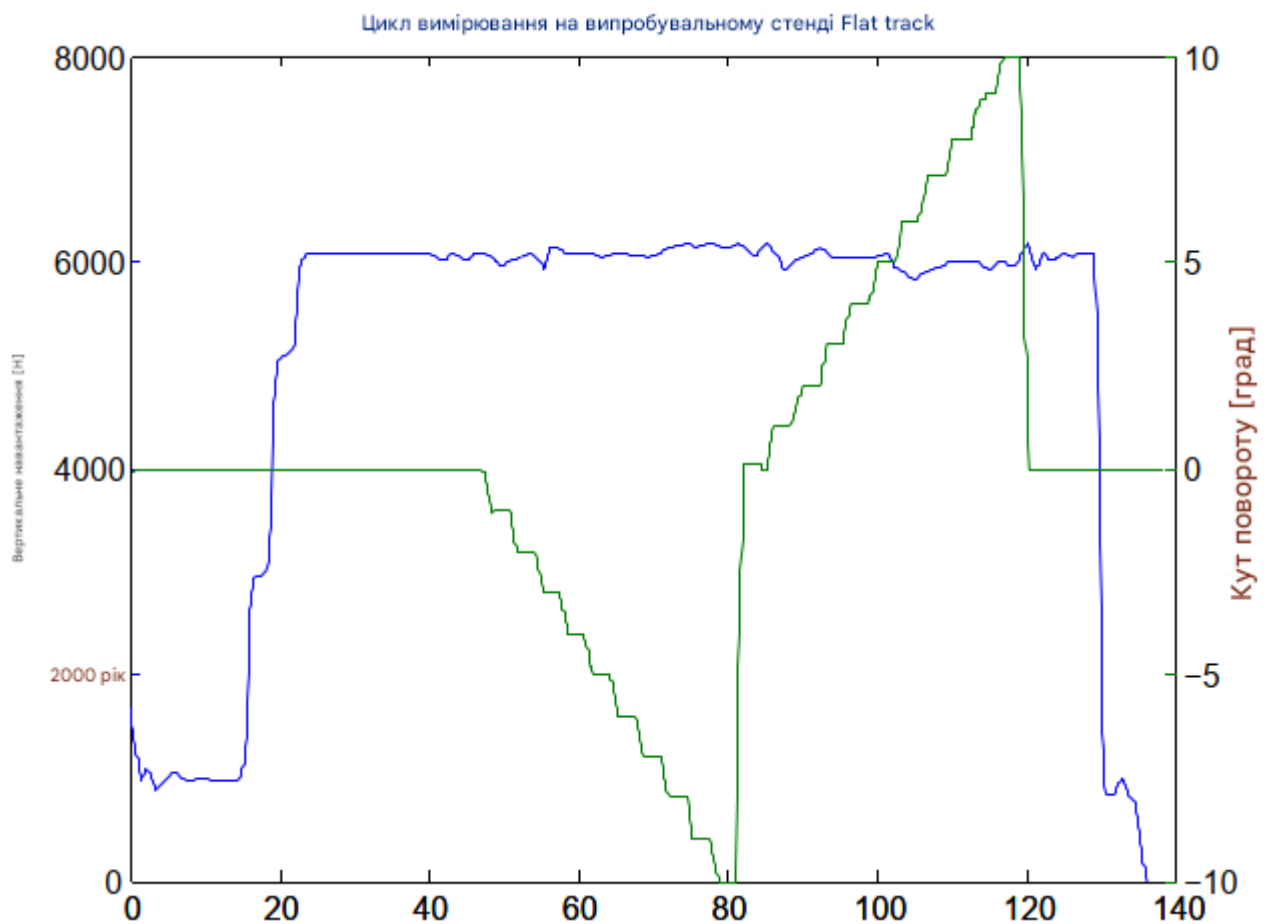


Рис. 4.8. Процес вимірювання на випробувальному стенді.

В ході випробувань на стенді для вимірювання деформацій боковини шини використовується оптична система ARAMIS, яка працює безконтактно та розроблена компанією GOM7. Отримані дані зберігаються у вигляді геометричних моделей у форматі STL8, що детально відображають деформацію шини для кожного режиму навантаження.

Для проведення вимірювань на поверхню шини та обода наносять спеціальний малюнок за допомогою фарби, який забезпечує можливість відстеження змін. Проте у зоні протектора цей малюнок швидко стирається, через що вимірювання в області стрічки шини виявляються неможливими.

Оскільки система дозволяє проводити вимірювання лише із зовнішньої сторони колеса, випробування виконувалися як для позитивних, так і для негативних кутів проковзування. За умови, що шина є симетричною, а характер її деформацій не залежить від сторони спостереження (тобто деформація зовнішньої боковини при позитивних кутах проковзування відповідає деформації внутрішньої боковини при негативних кутах), отримані дані дзеркально відображаються для створення цілісної моделі деформацій шини.

Геометричні поверхні STL розташовуються таким чином, що маточина випробувального стенда відповідає нульовій точці в радіальному напрямку (xz), а одна з точок на спицях обода визначається як початок координат у поперечному напрямку (y).

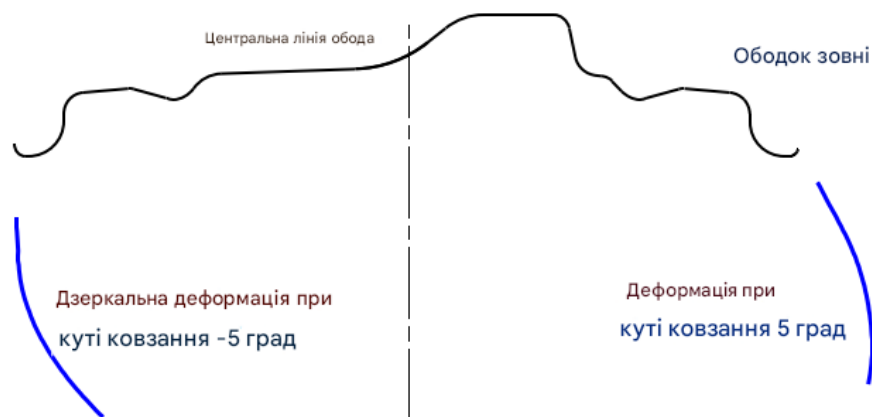


Рис. 4.9. Віддзеркалені деформації.

Для оцінки деформацій застосовується два підходи: графічний аналіз у вигляді 2D креслень, виконаних у Catia V5 для кожного зазначеного перерізу (див. рисунок 4.10.), та побудова діаграм, які відображають чисельні значення деформацій. Діаграми дозволяють швидко отримати загальне уявлення про характер деформацій, тоді як креслення забезпечують більш точний і детальний аналіз кожного окремого перерізу. [11]

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Вимоги безпеки під час виконання шиномонтажних робіт

Під час виконання шиномонтажних робіт можуть мати місце такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

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

Вимоги безпеки під час виконання шиномонтажних робіт

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

Перед зняттям колеса необхідно перевірити положення замкового кільця, ослабити затягнення гайок, автомобіль вивісити на спеціальному підйомнику або за допомогою іншого підйомного механізму. В останньому випадку під колеса, які не піднімаються, необхідно поставити спеціальні упори (колодки), а під вивішену частину автомобіля — спеціальні підставки (козелки).

Перед відкручуванням гайок кріплення здвоєних бездискових коліс для їх зняття необхідно впевнитися, що на внутрішньому колесі покриття не зійшла з ободу. У разі виявлення будь-яких відхилень в умовах організації необхідно знімати обидва колеса разом, а на лінії перед відкручуванням гайок необхідно повністю випустити повітря із обох камер.

Операції зі зняття, переміщення та встановлення коліс вантажного автомобіля, автобуса, причепа, напівпричепа масою понад 20 кг повинні бути механізовані (використовувати спеціальні візки, гайковерти тощо).

Перед демонтажем шини (з диска колеса) повітря із камери повинно бути повністю випущене. Демонтаж шини повинен виконуватися на спеціальному стенді або за допомогою зйомного пристрою. Монтаж та демонтаж шин на лінії необхідно проводити монтажним інструментом.

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

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

Ободи і їх елементи не допускаються до монтажу при виявленні на них деформацій, тріщин, гострих кромek і задирок, іржі у місцях контакту з шиною, розроблення кріпильних отворів більше за допустимі розміри.

Накачування та підкачування знятих з транспортних засобів шин в умовах підприємства повинні виконуватись монтувальником шин тільки в запобіжних клітках (пристроях) або з використанням інших запобіжних пристроїв, що перешкоджають вильоту кілець та травмуванню працівників при розриві шини.

Під час накачування шин у дорожніх умовах необхідно використовувати переносні запобіжні пристрої, запобіжну вилку відповідної довжини та міцності або покласти колесо замковим кільцем униз.

Довжина шланга для накачування шин не повинна бути більша відстані від місця його приєднання на магістралі стиснутого повітря або повітророздавальної колонки до середини запобіжної клітки (пристрою).

Запобіжні клітки (пристрої) повинні розташовуватися в безпосередній близькості від магістралі стиснутого повітря (повітророздавальної колонки).

Кран на магістралі стиснутого повітря повинен закриватися (відкриватися) спеціальним «ключем-маркою».

Накачування шин слід вести у два етапи: спочатку до тиску 0,05 МПа (0,5 кг/см²) з перевіркою положення замкового кільця, а потім, переконавшись, що кромка кільця знаходиться під бортом шини, — до максимального тиску, встановленого інструкцією.

У разі виявлення неправильного положення замкового кільця необхідно випустити повітря із шини, що накачується, поправити положення кільця, а

потім повторити раніше вказані операції. При повторному неправильному положенні замкового кільця його необхідно замінити.

Підкачування шин без демонтажу слід проводити, якщо тиск повітря в них знизився не більше як на 40% від норми і є упевненість, що правильність монтажу не порушена.

Перед накачуванням шин на розбірних ободах з болтовим з'єднанням необхідно переконатися, що всі гайки затягнені однаково відповідно до документації з технічного обслуговування автомобілів. Не допускаються до експлуатації ободи, у яких немає хоч би однієї гайки.

На ділянці накачування шин повинен бути установлений дозатор тиску повітря або манометр, що дозволяють регулювати величину тиску для різних шин, а також вивішується таблиця робочих тисків у шинах транспортних засобів, які експлуатуються на підприємстві.

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

Для огляду внутрішньої поверхні шини необхідно застосовувати спредер.

Для виїмки з шини сторонніх предметів необхідно користуватися кліщами, а не викруткою, шилом або ножом.

Під час огляду шин необхідно працювати в рукавицях.

Під час роботи з пневматичним стаціонарним підйомником для переміщення шин великого розміру необхідна обов'язкова фіксація піднятої шини стопорним пристроєм.

Не допускається:

при демонтажі шини вибивати диск кувалдою (молотком);

зняття одного зі здвоєних коліс з автомобіля без застосування домкрата, шляхом наїзду другого здвоєного колеса на предмет, що виступає;

при накачуванні шини повітрям поправляти її положення на диску постукуванням;

монтувати шини на диски коліс, що не відповідають розміру шин, і якщо вони мають задирки та пошкодження, які перешкоджають монтажу;

під час накачування шини або, коли шина знаходиться під тиском, поправляти положення бортового та замкового кілець, бити по замковому кільцю молотком, кувалдою або іншими предметами;

накачувати шину більше норми, установлені заводом-виготовлювачем;

перекочувати вручну колеса, диски та шини масою понад 20 кг;

застосовувати при монтажі шини замкові та бортові кільця, що не відповідають даній моделі.

5.2 Стійкість об'єкту господарювання при надзвичайній ситуації

Головну небезпеку для наземних об'єктів становлять ударна хвиля, світлове (теплове) випромінювання, вторинні уражаючі фактори і радіоактивне зараження місцевості. Проте іноді доводиться враховувати і вплив проникаючої радіації та електромагнітного імпульсу.

Критеріями оцінки фізичної стійкості об'єкта прийняті:

при впливі ударної хвилі – надлишкові тиски, при яких елементи виробничого комплексу не руйнуються або одержують такі ушкодження чи руйнування (слабкі і середні), при яких вони можуть бути відновлені в короткі терміни;

при впливі світлового випромінювання – максимальні значення світлових імпульсів, при яких не відбувається загоряння матеріалів, сировини, устаткування, будинків і споруд;

при впливі вторинних факторів – надлишкові тиски, при яких руйнування і пошкодження не призводять до аварій, пожеж, вибухів, затоплень, небезпечного зараження місцевості й атмосфери, тобто не призводять до ураження людей і виходу з ладу засобів виробництва.

Оцінка стійкості об'єкта включає визначення:

видів уражаючих факторів, вплив яких можливий на об'єкт, та їх параметрів;

впливу ударної хвилі на елементи об'єкта;

можливості виникнення пожеж;

впливу вторинних вражаючих факторів.

Після цього робиться висновок відносно стійкості об'єкта в цілому.

Дія ударної хвилі на об'єкт характеризується складним комплексом навантажень: надлишковим тиском, тиском відбиття, тиском швидкісного напору, тиском затікання, навантаження від сейсмовибухових хвиль і т.д. Значення їх залежить в основному від виду і потужності вибуху, відстані до об'єкта, конструкції і розмірів елементів об'єкта, орієнтації щодо епіцентру вибуху, місця розташування будинків і споруджень у загальній забудові об'єкта й окремих елементів виробництва в приміщеннях будинків, рельєфу місцевості і деяких інших факторів. Врахувати їх у сукупності для кожного елемента об'єкта, як правило, неможливо. Тому можливість елементів опиратися дії ударної хвилі характеризують тільки надлишковим тиском у її фронті, вважаючи, що масштаби руйнувань не залежать від потужності і висоти найбільш ймовірних ядерних вибухів. Для визначення ступеня руйнувань чи ушкоджень:

вивчають вихідні дані і розраховують параметри ударної хвилі на відповідних відстанях; [21]

для розрахованих значень надлишкових тисків оцінюють ступінь руйнування розглянутих елементів;

оцінюють можливість виникнення вторинних вражаючих факторів;

з огляду на ступінь руйнувань найслабших елементів об'єкта, визначають ступінь руйнування об'єкта в цілому.

Вихідними даними для оцінки фізичної стійкості є: конструктивні особливості елемента, його форма, вага, габарити, характеристики міцності.

Оцінка ступеня руйнувань будинків і споруд, сховищ і ПРУ, енергетичного устаткування і мереж, верстатного і технологічного устаткування, вимірювальної апаратури, засобів зв'язку й оповіщення, транспортних та інших засобів може здійснюватися або методом порівняння наявних довідкових даних для розглянутого виду чи аналогічного йому елемента, або методом розрахунку впливу ударних навантажень і сил зсуву на елемент.

Для порівняльної оцінки необхідно мати відповідні таблиці можливих руйнувань елементів об'єкта в залежності від надлишкового тиску у фронті ударної хвилі: будинків, споруд, транспорту, устаткування, енергетичних споруд і мереж.

Метод розрахунку передбачає визначення динамічних навантажень, створюваних надлишковим тиском у фронті ударної хвилі, і реакції елемента на ці навантаження. Вихідними даними при використанні цього методу є: надлишковий тиск у фронті ударної хвилі і характер його зміни в часі (протягом фази стиску), тривалість фази стиску і швидкість руху фронту ударної хвилі.

Можливість виникнення осередків займання і горіння встановлюють за даними займистості матеріалів; при цьому необхідно враховувати вплив вторинних факторів ураження, обумовлених ударною хвилею (руйнування печей, газопроводів, розриви і пробиття електропроводки, кабелів тощо).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Загально-технічний розділ цей розділ забезпечує основу для подальших досліджень, описуючи базові характеристики шин, їх контактну площу та конструкцію коліс.

У технологічному розділі розглядаються ключові фактори, що впливають на експлуатаційні характеристики шин, такі як відведення автомобіля вбік, нерівномірність жорсткості та вплив зносу протектора на стійкість транспортного засобу. Ці теми мають вагоме практичне значення, особливо для розуміння динамічних характеристик автомобіля.

Увага приділяється розробці лабораторного обладнання для дослідження характеристик шин. Розглядаються три основні установки, що дозволяють проводити випробування на різних рівнях: аналіз відведення шин, опору бічному відведенню та параметрів кутів відведення автомобіля. Це свідчить про глибину інженерного підходу у вирішенні поставлених завдань. Науково-дослідний розділ є одним з найважливіших, оскільки він охоплює уточнення концептуальних рішень, використання скінченно-елементного моделювання, визначення вхідних параметрів для симуляцій і аналіз отриманих результатів. Проведення симуляційних досліджень свідчить про сучасний підхід до аналізу і розробки технічних систем. Завершальне тестування підкреслює націленість роботи на отримання практичних результатів.

Розділ Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях демонструє відповідальність автора у забезпеченні безпечних умов праці під час виконання шиномонтажних робіт, а також стійкість об'єкта господарювання при надзвичайних ситуаціях. Це вказує на інтеграцію безпеки у загальну концепцію роботи. Робота має комплексний і багаторівневий характер, що охоплює як теоретичні, так і практичні аспекти. Зміст добре структурований і дозволяє чітко простежити логіку дослідження від аналізу базових характеристик до розробки та тестування моделей. Особлива увага приділяється інноваційним методам, таким як скінченно-елементне моделювання, що робить роботу актуальною і важливою для галузі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. О.Л. Ляшук, М.Г. Левкович, Д.В. Міронов, В.О. Тесля. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт» галузі знань 27 «Транспорт». – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2023. – 60 с.
2. Підручник з будови автомобіля. Видання третє. Виправлене й доповнене – Моноліт 2021 – 288 с.
3. Сукач М.К. Технічний сервіс машин. Навч. пос.. Гриф МОНМСУ - Ліра-К, 2017 – 288 с.
4. Коробочка О.М. Основи розрахунків, проектування і експлуатації технологічного обладнання для автомобільного транспорту: Навч. посібник / Коробочка О.М., Скорняков Е.С., Сасов О.О. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2007 – 252 с.
5. Кукурудзяк, Ю. Ю. Технічна експлуатація автомобілів. Організація технологічних процесів ТО і ПР навчальний посібник / Ю. Ю. Кукурудзяк, В. В. Біліченко. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 198 с.
6. Methodology of Force Parameters Justification of the Controlled Steering Wheel Suspension. B. Sokil, O. Lyashuk, M. Sokil, Y. Vovk, I. Lebid, I. Hevko, M. Levkovych, R. Khoroshun, A. Matviyishyn. - COMMUNICATIONS, 2022. - Vol. 24, № 3, P. 247-258. (Scopus).
7. Sakhno, V.P., Yashchenko, D.M., Marchuk, R.M., Marchuk, N.M., Lyashuk, O.L.. Research of a truck train movement when driving semi-trailer by slow downing wheels of one axis pin on the mode. International Journal of Automotive and Mechanical Engineering Open Access Volume 17, Issue 1, 1 January 2020, Pages 7749-7757 <https://www.scopus>.
8. Information Technologies Use in the Study of Functional Properties of Wheeled Vehicles. Lyashuk O., Stashkiv M., Lytvynenko Iaroslav, Sakhno V., Khoroshun R. CEUR Workshop Proceedings. 3rd International Workshop on Information Technologies: Theoretical and Applied Problems, ITTAP 2023. Ternopil 22 November 2023 до 24 November 2023. 3628, с. 370-381. <https://www.scopus>.
9. Міронов Д.В., Ляшук О.Л., Гевко І.Б., Гупка А.Б., Слободян Л.М.,

Гевко Б.Р., Хорошун Р.В. Розробка моделі узагальненого діагностичного показника технічного стану ходової частини автомобіля з використанням математичних методів теорії планування експерименту. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. – № 2 (21). Луцьк: 2023. - С. 135 – 144.

10. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень на СТО та АТП : Навчальний посібник / укладачі : Гевко І.Б., Ляшук О.Л., Луциків І.В., Плекан У.М., Клендій В.М. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 276 с.

11. Comprehensive Assessment Of Technical Condition Of Vehicles During Operation Based On Harrington's Desirability Function. Aulin V., Rogovskii I., Lyashuk O., Titova L., Hrynkiw A., Mironov D., Volianskyi M., Rogatynskyi R., Solomka O., Lysenko S. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Technology Center. Ukraine. Том 1. Випуск 3(127), 2024. с. 37-46.

12. Rogatynskyi, R., Lyashuk, O., NevkoI., Horoshyn, R., & Shevchuk, V. (2023). Модель руху автомобіля по криволінійній трасі. Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, 28, 115-122. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20784643.28.2023.11>

13. Ляшук О. Л., Рогатинський Р. М., Гевко І. Б., Хорошун Р. В., Кашканова Г. Г., Антонюк О. П. Модель проходження повороту автомобілем . Вісник машинобудування та транспорту, ВНТУ.- No2(18) 2023.- С. 91-97.

14. Синтез підвіски автотранспортних засобів/ І.Б. Гевко, О.Л. Ляшук, Р.М. Рогатинський, А.Й. Матвіїшин, Р.В. Хорошун/ Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. -№ 8(39)_I, 2023.-С. 153-164.

15. Liashuk O., Nevko I., Hud V., Khoroshun R., Nevko B., Matviishyn A., Sipravska M. Stands for car suspension research. Bulletin of Lviv National Environmental University. Agroengineering Research, No. 26 (2022). С 93-103.

16. Канарчук В. Є. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів. Книга 1 :теоретичні основи. Технологія: підручник / В. Є. Канарчук, О. А. Лудченко, А. Д. Чигиринець – К. : "Вища школа", 1994. – 342 с.

17. Автомобілі. Теорія : навч. посіб. / В.П. Сахно, В.І. Сирота, В.М. Поляков, В. Г. Головань, О.В. Лисий; Військ. акад. - Одеса: Військ. акад., 2017. - 412 с.

18. Кисликов В.Ф., Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. — 8-те вид. - К.: Либідь, 2018. — 400 с.
19. Кисликов В.Ф. Лущик В.В. Будова й експлуатація автомобілів. – К.: Либідь, 2016. – 400 с. 5. Ю.А.
20. В.В. Аулін, О.Л. Ляшук, А.В. Гриньків, С.В. Лисенко, Д.В. Міронов, Л.М. Слободян, Р.М. Рогатинський Оптимальний комплекс операцій технічного обслуговування і ремонту для підвищення надійності вузлів, систем та агрегатів мобільних машин Збірник наукових праць. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. Випуск № 8(39)_II. - Кропивницький. - 2023. - С. 175-189.
21. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / укл.: Стручок В. С. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.