

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ

**ДИПЛОМНА РОБОТА**

Освітнього ступеня «Магістр»

на тему: “ Дослідження експлуатаційних характеристик шин в умовах станції технічного обслуговування”

Виконав: студент 6 курсу групи Ат-61  
Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”  
(шифр і назва)

Олександр ГУМЕНЮК

\_\_\_\_\_ (ім'я та прізвище)

Керівник: Ігор ДУФАНЕЦЬ

\_\_\_\_\_ (ім'я та прізвище)

Дубляни 2023

УДК 629.114.3

Гуменюк Олександр Андрійович. Дослідження експлуатаційних характеристик шин в умовах станції технічного обслуговування. Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2023. 88 с.

Табл. 8; рис. 32; бібліогр. джерел 22.

У роботі були проаналізовані конструктивні особливості пневматичних шин і вивчена витрата палива шин. Для визначення динамічного і кінематичного (реального) радіуса колеса були встановлені аналітичні залежності.

Ці методи були проаналізовані для вивчення радіуса пружного колеса на основі різних значень внутрішнього тиску, механічних властивостей шини та коефіцієнта опору коченню колеса за допомогою пневматичної шини. Апаратні і програмні модулі на базі чіпа Elm327 і програми Torque Pro записують параметри руху автомобіля і дані про роботу його системи.

В результаті впровадження запропонованих в даному проекті заходів з удосконалення діяльності шиноремонтної майстерні, за розрахунками економічного сектору, отримано економічний ефект у розмірі 24835,85 грн. на рік. Термін окупності капітальних вкладень становить 3,1 року.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1	
СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	10
1.1 Аналіз потоків енергії пального системами та вузлами вантажних автомобілів.....	10
1.2 Матеріали, будова та конструктивні особливості автомобільних шин.....	15
1.3 Експлуатаційні характеристики шин.....	21
1.4 Огляд методик дослідження експлуатаційних властивостей шин.....	30
Висновки за розділом.....	37
РОЗДІЛ 2	
ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ОПОРУ КОЧЕННЯ ЕЛАСТИЧНОГО КОЛЕСА.....	38
2.1 Фізичний зміст опору коченню колеса автомобіля.....	38
2.2 Вільний, статичний, динамічний та кінематичний радіуси колеса з пневматичною шиною.....	41
2.3 Розрахунок коефіцієнта опору коченню колеса.....	44
Висновки за розділом.....	46
РОЗДІЛ 3	
МЕТОДИКИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ДОРОЖНІХ ВИПРОБУВАНЬ.....	47
3.1 Програма експериментальних досліджень.....	47
3.2 Методика визначення вільного, статичного, динамічного та кінематичного радіуса колеса.....	47
3.3 Методика дослідження механічних властивостей шин легких вантажних автомобілів.....	51
3.4 Методика дослідження коефіцієнта опору коченню.....	52
3.5 Обладнання для визначення параметрів руху автомобіля.....	55
Висновки за розділом.....	58
РОЗДІЛ 4	
РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	59
4.1 Результати досліджень статичного та динамічного радіуса колеса.....	59
4.2 Результати досліджень статичної жорсткості шини.....	63
4.3 Результати дослідження коефіцієнта опору коченню колеса методом вибігу.....	65
Висновки за розділом.....	71

РОЗДІЛ 5	
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	73
5.1 Моделювання травмонебезпечних ситуацій на виробництві.....	73
5.2 Вимоги з техніки безпеки під час ремонту та технічного обслуговування автомобілів.....	77
Висновки за розділом.....	80
РОЗДІЛ 6 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПРОЕКТУ...	81
6.1 Економічна ефективність та техніко-економічні показники проекту.....	81
Висновки за розділом.....	83
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	84
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	86

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Перші конструкції пасажирських автомобілів були оснащені колесами без шин. У 1895 році було доведено, що пневматичні автомобільні шини можуть зменшити удари та вібрації, а в 1898 році автомобіль "Jamais Contente" був оснащений шинами Michelin.

Найбільший розвиток автомобілебудування отримало в 20 столітті, що було викликано стрімким цивілізаційним прогресом, особливо після Другої світової війни. Спроектовані транспортні засоби характеризувалися високим енергоспоживанням. З метою зменшення цього фактору були впроваджені інновації в конструкціях автомобілів, що також сприяло змінам в конструкціях шин та змінам в гумових сумішах. Метою цих змін було обмеження коефіцієнта опору коченню транспортних засобів. Значення коефіцієнта опору коченню є змінним і залежить від умов експлуатації.

У міському циклі на опір коченню припадає 46,6% загального опору руху.

Коли транспортний засіб рухається зі швидкістю близько 90 км/год, значення коефіцієнта опору коченню знижується до 37,5%, тоді як при постійній швидкості 120 км/год. значення становить близько 25%. При русі по затвердлій поверхні опір коченню:

- збільшується зі збільшенням швидкості,
- збільшується зі збільшенням прогину шини, який є вищим, коли тиск в шині нижчий,
- збільшується під час передачі високого крутного моменту, оскільки збільшуються колові деформації шини збільшуються. Це стосується автомобілів з потужними двигунами,
- зменшується зі зносом протектора.

У статті розглядаються питання зміни опору коченню як функції впливу методів дослідження на величину отриманого коефіцієнта опору коченню транспортного засобу.

**Мета і задачі дослідження.** Дослідити основні експлуатаційні та властивості пневматичних автомобільних шин для встановлення показників, що впливають на їх паливну ефективність.

Для досягнення завдання необхідно вирішити наступні завдання:

1. Проаналізувати будову, призначення та конструктивні характеристики пневматичних автомобільних шин.
2. Здійснити огляд основних методик дослідження механічних, експлуатаційних та економічних властивостей шин.
3. Провести теоретичний аналіз та встановити кореляційні залежності між тягово-зчіпними, механічними та паливо-економічними характеристиками шин.
4. Запропонувати доступну методику дослідження паливо-економічних характеристик шин, коефіцієнта опору коченню, методом вибігу з використанням телематичного обладнання.
5. Здійснити оцінку економічної ефективності та техніко-економічні показники проекту переоснащення дільниці СТО.

**Об'єкти дослідження.** Пневматичні автомобільні шини різних виробників, вибіг автомобіля.

**Предмет дослідження.** Кореляційні залежності між тягово-зчіпними, механічними та паливо-економічними характеристиками шин.

**Методи дослідження.** В роботі використано загальнонаукові методи досліджень:

- емпіричний метод, який включає аналіз даних, спостережень та вимірювання;
- теоретичні методи аналізу теоретичного обґрунтування, розрахунків, а також розробки теоретичних моделей, аналізу даних з метою розуміння закономірностей та виявлення тенденцій;
- комп'ютерне моделювання з використанням комп'ютерних програм для побудови складних моделей та симуляції явищ або процесів;
- експериментальні методи, побудовані на проведенні контрольованих

експериментів для встановлення причинно-наслідкових зв'язків.

**Наукова новизна отриманих результатів** полягає в наступному:

- Запропоновано високоефективну методику дослідження коефіцієнта опору кочення шин з використанням телематичного обладнання.

## РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 1.1 Аналіз потоків енергії пального системами та вузлами вантажних автомобілів

На сьогоднішній день в Україні діє міжнародна класифікація транспортних засобів затверджена комітетом з внутрішнього транспорту Європейської економічної комісії ООН (КВТ ЄЕК ООН) [11]. У відповідності до якої виділяють наступні основні категорії транспортних засобів:

- категорія *L* – мотоциклісні засоби;
- категорія *M* – механічні транспортні засоби призначені для перевезення пасажирів та їх багажу, що мають більше як чотири колеса;
- категорія *N* – механічні транспортні засоби, призначені для перевезення вантажів;
- категорія *O* – це причіпні транспортні засоби для перевезення вантажів або людей, а також можуть бути використані як житлові приміщення:

До категорії *N* відноситься клас  $N_1$  (табл. 1.1) – транспортні засоби, призначений для перевезення вантажів, маса якого не перевищує 3,5 тонни.

Таблиця 1.1 – Класифікація транспортних засобів відповідно до КВТ ЄЕК ООН

№ п/п	Автотранспортний засіб	Категорія транспортного засобу	Повна маса, кг
1	Вантажні автомобілі	$N_1$	<3500
2		$N_2$	3500...12000
3		$N_3$	>12000
1	Причепи та напівпричепи	$O_1$	<750
2		$O_2$	750...3500
3		$O_3$	3500...10000
4		$O_4$	>10000

Поява міжнародних програм зі сприяння економії пального спонукала виробників транспортних засобів глибше вивчити різні фактори, що



впливають на споживання пального в автомобілях. Загальновідомо, що найбільші втрати потенційної енергії палива в паливному баку (близько 60%) припадають на перетворення теплової енергії в механічну роботу в двигуні.

Залежно від умов експлуатації транспортного засобу (міські чи сільські) витрата палива змінюється наступним чином.

Залежно від умов експлуатації автомобіля, наприклад, замського циклу, споживання палива змінюється за інтенсивністю (рис. 1.1).

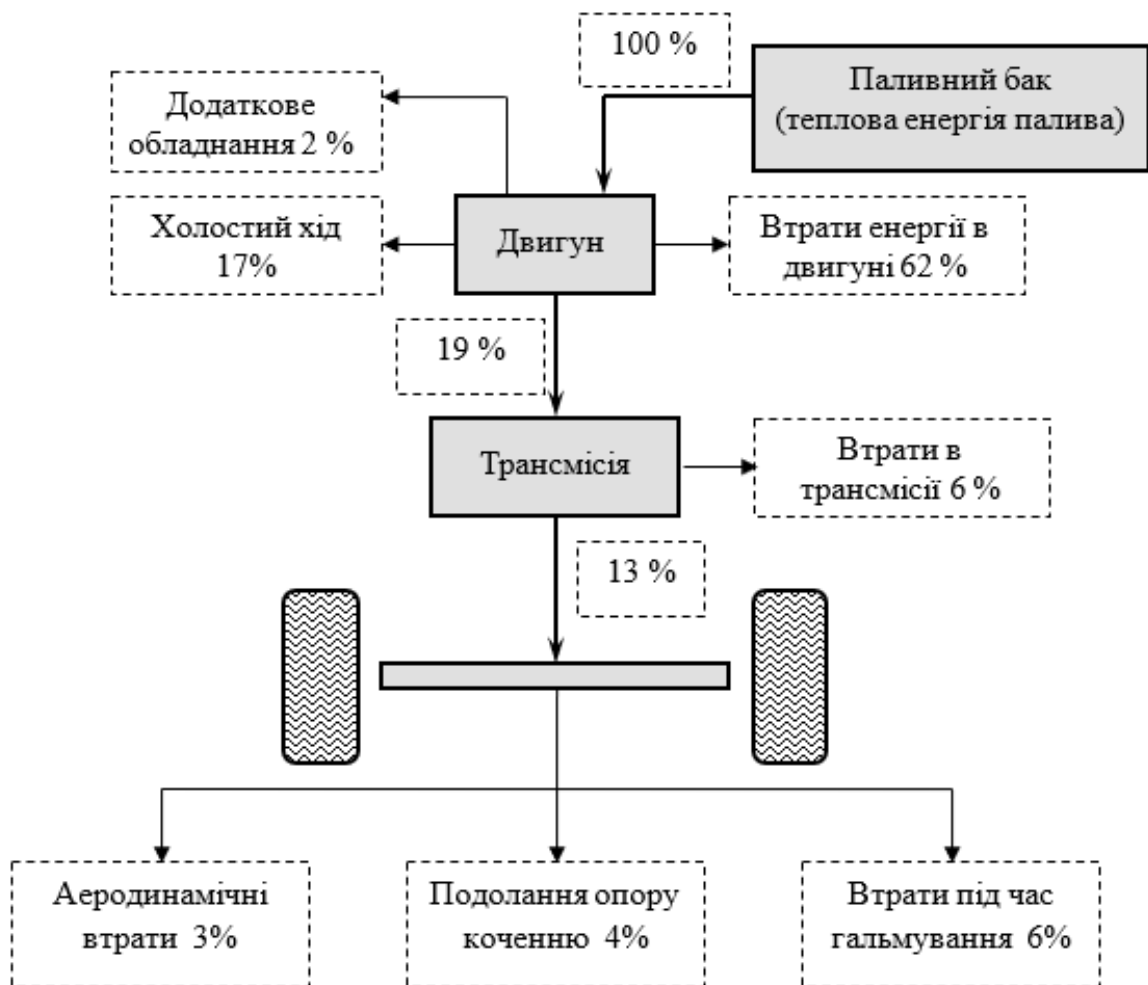


Рисунок 1.1 – Використання енергії пального автомобілем у міському циклі

Як видно з рисунку 1.1, лише близько 15% енергії палива передається на ведучі колеса у вигляді крутного моменту. При роботі автомобіля за цим циклом відбувається значна кількість зупинок і холостих обертів, які призводять до додаткових витрат палива на 10-20%, а на подолання сил опору коченню витрачається близько 4% загальної енергії [3], [11], [15].

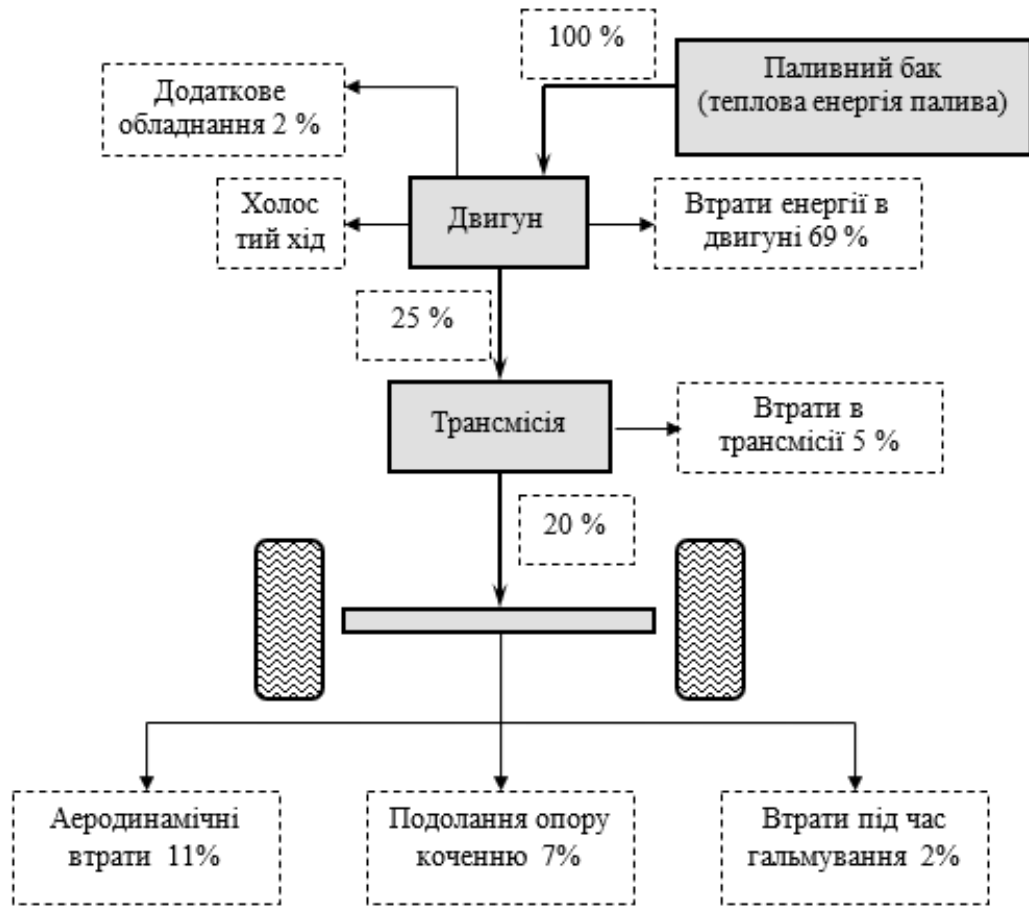


Рисунок 1.2. – Використання енергії пального автомобілем у замиському циклі

У приміському циклі (рис. 1.2) робота двигуна набагато ефективніша завдяки високій швидкості руху та відсутності холостого ходу, гальмування і розгону. В результаті близько 20% енергії згоряння палива передається на ведучі колеса у вигляді механічної роботи (крутного моменту). Однак втрати енергії в цьому режимі значно зростають (до 11%) через збільшення аеродинамічного опору автомобіля та витрати енергії на подолання сил опору коченню коліс автомобіля. На це припадає близько 4,7% загальної енергії палива і 15,35% механічної роботи (крутного моменту). Це свідчить про те, що підвищений опір коченню еластичних коліс призводить до більшої витрати палива.

Під час руху автомобіля від 20 до 50 відсотків енергії, що виробляється двигуном, витрачається на подолання сил опору коченню. За даними інженерів і розробників шин, зменшення опору коченню автомобільних шин

на 10% може знизити витрату палива на 3%. Вчені довели, що 1-5% втрат палива припадає на аеродинамічне тертя і 9,10% - на тертя дороги. Решта 85-95% припадає на внутрішнє тертя та гістерезис матеріалу.

Питаннями, в яких інженери не досягли значного прогресу в поліпшенні паливної економічності транспортних засобів, є аеродинамічні втрати і ступінь тертя двигуна об дорогу, необхідний для забезпечення керованості і безпеки транспортного засобу. Тому дослідники зосереджуються на рішеннях щодо зменшення втрат на гістерезис через дроблення під час руху автомобіля та на розробці матеріалів для шин, які зменшують сили опору коченню.

Вирішується проблема паливної ефективності транспортних засобів та факторів, що впливають на втрати на гістерезис, а отже, на зменшення опору коченню.

Робочий тиск. Найбільш впливовим фактором, що змінює опір коченню, є тиск в шинах. При вищому тиску повітря шина стає жорсткішою, ближчою до ідеального кола і опір коченню колеса зменшується. Водночас шина стає жорсткішою і менш прогинається, але занадто високий тиск в шинах призводить до погіршення керованості та якості їзди. Тому тиск в шинах не повинен перевищувати рекомендований виробником.

Навантаження Коефіцієнт опору зчеплення з дорожнім покриттям збільшується пропорційно навантаженню. Регулювання цього коефіцієнта опору залежить більше від ваги автомобіля, ніж від параметрів шини [7].

Кут розвалу. Цей кут виникає між площиною шини і напрямком руху автомобіля і називається кутом сходження або кутом ковзання. Чим більший кут розвалу, тим більший опір коченню. Збільшення кута нахилу передніх коліс до осьової лінії автомобіля покращує стабільність руху, але збільшує опір коченню. Опір коченню за рахунок кута розвалу можна зменшити лише в певних межах і за умови правильного налаштування коліс.

Швидкість. Від 0 до 80 км/год опір коченню збільшується приблизно на 10%, але на більш високих швидкостях опір коченню шини значно зростає.

Температурна стійкість. Опір коченню шини є найнижчим, коли шина знаходиться в тепловій рівновазі. Це означає, що тепло, яке утворюється внаслідок внутрішнього тертя, компенсується ефектом охолодження шини за рахунок потоку повітря. Оскільки шині потрібен час, щоб досягти ефективної термічної стабільності, опір коченню може зменшитися до 30%. Однак, більшість поїздок на автомобілі відбуваються кожні 20 хвилин, що є недостатнім часом для досягнення шинами температурної рівноваги.

Глибина протектора. Опір коченню зменшується в міру зношування шини. Це явище можна пояснити зменшенням кількості деформованого матеріалу шини, що призводить до зниження втрат на гістерезис. Негативні фактори, що виникають в результаті зносу шини, не дозволяють опору коченню зменшуватися в цьому напрямку.

Крутний момент. Опір коченню шини зменшується при високих крутних моментах, тому опір коченню зменшується при високих прискореннях і сповільненнях. Цей фактор можна застосувати і до вантажівок. Наприклад, якщо двовісна вантажівка має повний привід, тобто обидві осі передають крутний момент, шини матимуть менший опір коченню. Однак у більш складних конструкціях перевага зниження опору коченню повинна бути збалансована з втратами на тертя.

Вплив на дорогу. Однією з причин збільшення опору коченню є деформація дорожнього покриття. Транспортні засоби чинять тиск, згинаючи дорожнє покриття донизу. Це означає, що еластичні шини постійно долають невеликі підйоми. Деформація дорожнього покриття для автомагістралей становить приблизно 0,7 мм, 1 мм для холодного асфальту і 25 мм для гарячого асфальту.

Через широке розмаїття факторів, що спричиняють гістерезис, найефективнішим способом покращення паливної ефективності шин є підвищення тиску в шинах та вдосконалення конструкції і матеріалів шин.

Пневматичні шини як система приводу транспортного засобу мають широкий спектр позитивних характеристик завдяки високій еластичності та

гнучкості гуми. Шини взаємодіють з дорожнім покриттям і зазнають значних деформацій під дією постійних навантажень. Крім того, шини передають і поглинають динамічні навантаження, забезпечують достатнє зчеплення з дорогою, керованість і ефективне гальмування, поглинають дрібні нерівності дорожнього покриття і гасять вібрації.

Однак еластичні шини несуть значні енергетичні витрати через постійну деформацію і подальше відновлення шини. Гума є в'язко-пружним матеріалом; її еластичні властивості дозволяють їй відновлювати свою форму, а в'язкі властивості дозволяють зберігати тепло в матеріалі. Певний відсоток накопиченої енергії відновлюється, але решта перетворюється на тепло, спричиняючи втрати енергії через гістерезис. [12]

### **Матеріали, будова та конструктивні особливості автомобільних шин**

У процесі виробництва шин хіміки та дизайнери є ключем до секретів формули шини. Їхні навички полягають, зокрема, у правильному виборі, формулюванні та розподілі компонентів у гумовій суміші протектора. Вони спираються на професійний досвід і комп'ютери. Склад гумової суміші надійного виробника шин є таємницею, але близько 20 ключових інгредієнтів добре відомі. Секрет полягає в правильній комбінації, враховуючи сферу застосування шини. [3]

Як відомо, автомобільна шина містить наступні складові :

- Натуральний каучук 14 %.
- Синтетичний каучук 27 %. - S, ZnO 3 %.
- Сталь 10 %.
- Текстиль 4 %.
- Пом'якшуючі масла 10 %.
- Інші нафтохімічні складові 4 %.
- Сажа 28 %.

Допоміжна речовина, що входить до складу шини. Основними матеріалами для виготовлення автомобільних коліс є гума і шнури з

натурального і синтетичного каучуку. Тканина шнура може бути виготовлена з металевої пряжі (металевий шнур), полімерної та волокнистої пряжі. Він складається з гумової рами, шару відбійного молотка, протектора і бічних частин.

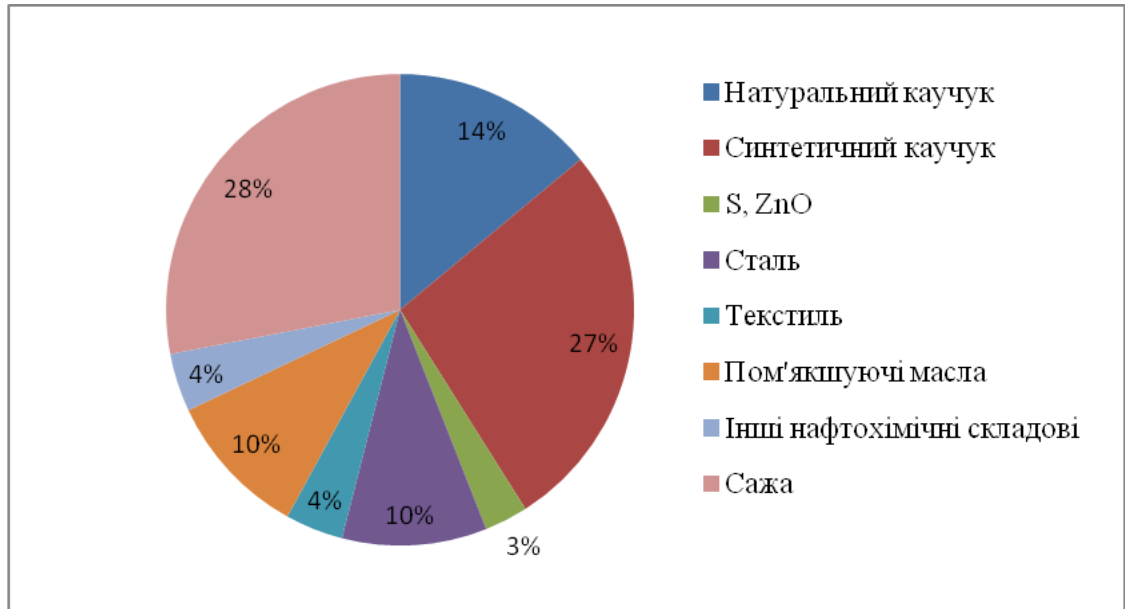


Рисунок 1.3 – Хімічний склад автомобільної шини

Протектор необхідний для забезпечення прийняттого коефіцієнта зчеплення і захисту кузова від пошкоджень. Малюнок протектора залежить від призначення шини. Шини позашляховика мають більш глибокий малюнок протектора. Малюнок протектора і конструкція дорожньої шини визначаються необхідністю відведення води і бруду з канавки протектора і зниження шуму кочення. Однак основна роль протектора шини відводиться тільки дощу, бруду, снігу і т.д. у несприятливих умовах, таких як дека, не вдається забезпечити надійний контакт між колесом і дорожнім покриттям. однак при цьому правильно спроектовані канавки і металіники, проте, протектор шини може ефективно відводити воду тільки від точки дотику до певної швидкості, після чого рідина може бути повністю фізично віддалена від точки дотику, автомобіль втрачає зчеплення з дорогою і, як наслідок, втрачає керуваність. Цей ефект відомий як аквапланування. [3], [7]

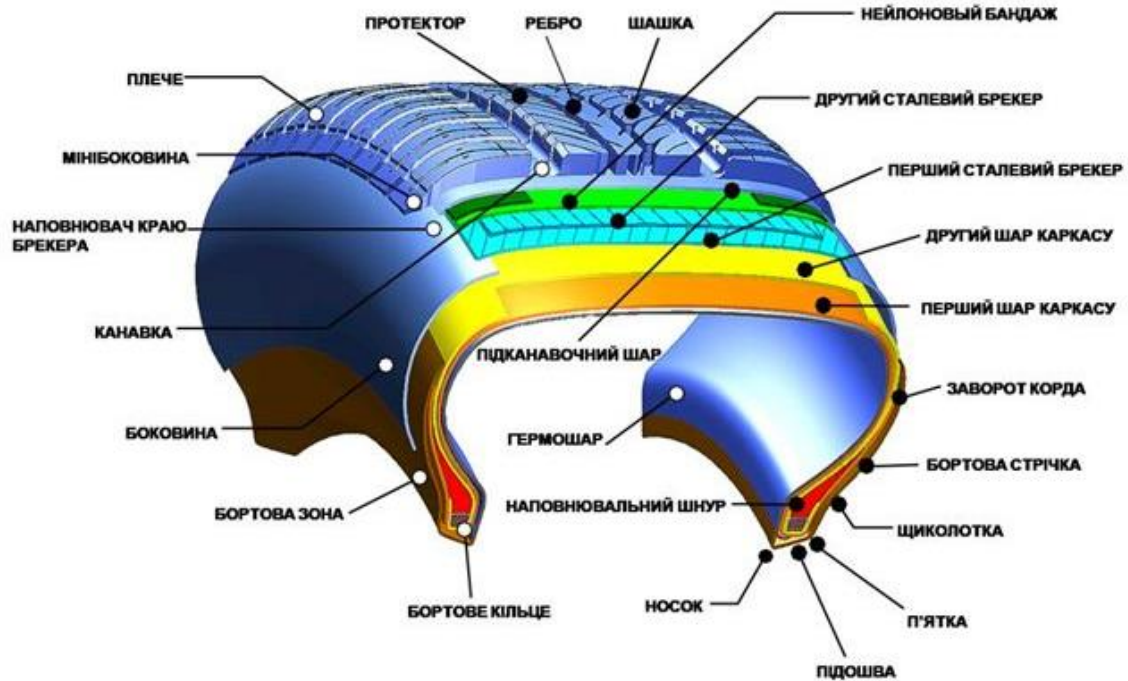


Рисунок 1.4 – Будова пневматичної шини

Залежно від напрямку розміщення кордових армуючих елементів (металевих дротів, капронових ниток) розрізняють два типи: радіальні та діагональні конструкції. Останні часто називають шинами з діагональним каркасом, але незабаром їх витіснила радіальна конструкція. У цьому типі шин нитки розташовані в каркасі радіально від боковини, тобто на найкоротшій відстані вздовж шини.

Оскільки радіальні нитки не можуть нести кругові навантаження і зберігати курсову стійкість через напрямок, в якому вони прокладені, радіальні шини додатково армуються шаруватим поясом з тканинних кордів і сталевих дротів під протектором. Така конструкція шини з гнучкими тканинними кордами на боковинах і поясом зі сталевих дротів на протекторі дозволяє розділити функції боковин і протектора. Тому радіальні шини мають більш гнучкі боковини, ніж діагональні, що значно підвищує комфорт водіння. Шинні ремені гарантують, що протектор залишається стабільним на дорожньому покритті, навіть якщо шина відхиляється вбік під час проходження поворотів. Шини з ґрунтозацепами роблять пляму контакту прямокутною, що дає менший знос протектора. Радіальні шини генерують

менше тепла і тому ефективніше працюють на високих швидкостях. На рисунку 1.5 показані відмінності між діагональними та радіальними шинами. [3], [7]



Діагональні шини

Радіальні шини



Рисунок 1.5. – Діагональні та радіальні шини

До основних переваг радіальних шин відносять:

- повне розділення функцій боковини та ділянки протектора;
  - покращена вертикальна гнучкість, що забезпечує кращий комфорт водіння;
  - протектор забезпечує стабільний контакт протектора з дорогою.
  - підвищена зносостійкість і термін експлуатації шини;
- знижене накопичення тепла можливість експлуатації на високих швидкостях.



Існує думка, що на сухих дорогах протекторні шини мають нижчий коефіцієнт зчеплення, ніж шини без протектора, оскільки вони мають меншу площу контактної поверхні. Це пов'язано з тим, що при відсутності зчеплення сила тертя не залежить від площі точки дотику. Гоночні автомобілі на сухих дорогах зменшують знос, зменшуючи тиск на колеса, а в багатьох країнах використовуються пористі, м'які матеріали, що забезпечують краще зчеплення, існують закони, що встановлюють мінімальну висоту протектора дорожніх транспортних засобів, і багато дорожніх шин мають показники зносу..



Рисунок 1.6 – Типи сезонних шин

Основна відмінність між зимовими та літніми шинами полягає у складі гуми. Зимові шини містять більше натурального каучуку і відрізняються високою еластичністю в холодну погоду (нижче  $+7^{\circ}\text{C}$ ). Зимові шини виготовлені з морозостійкої гумової суміші, яка зберігає високу еластичність навіть при низьких температурах і покращує зчеплення на зледенілій поверхні дороги. Чим м'якша гума, тим краще зчеплення з дорожнім покриттям. З іншого боку, літні шини мають гумову суміш, оптимізовану для використання при температурі вище  $+7^{\circ}\text{C}$ , і використовують більш тверду гуму для протектора, яка менш ефективна в холодну погоду.

Гума виготовляється з різноманітної сировини, але її основними компонентами є каучук і кремнезем. Велика кількість каучуку підвищує гнучкість і еластичність гуми, що збільшує поверхню контакту з ґрунтом і

покращує зчеплення на снігу та льоду. Наступним за важливістю компонентом шини є діоксид кремнію, який створює міцну основу і структуру для матеріалу протектора і запобігає передчасному зносу. Кремнезем - це дуже твердий природний матеріал, який розподілений по всій основі протектора і діє як тисячі крихітних шипів.

Зимові шини характеризуються глибоким протектором, який дозволяє снігу накопичуватися в порожнинах протектора і, як не дивно, сам сніг, що накопичується між протекторами, значно покращує зчеплення на засніженій дорозі. Літні шини мають меншу глибину протектора, але протектор все одно спроектований таким чином, щоб швидко відводити вологу.

Тиск в шинах є одним з ключових показників, що впливають на паливну ефективність будь-якого автомобіля. Зниження тиску повітря збільшує зону деформації шини в плямі контакту і значно підвищує опір коченню. Підвищений опір коченню означає, що двигун повинен споживати більше палива для підтримки стандартного режиму руху автомобіля. [3], [7], [13]

### ТИСК У ШИНАХ ТА ЗОНА КОНТАКТУ



Рисунок 1.7. Пляма контакту шини з поверхнею в залежності від тиску в ній.

За низького тиску повітря більші навантаження припадають на краї шини, тобто на плечову зону, що призводить до підвищеного зносу цієї частини протектора.

За високого тиску повітря більше навантаження припадає на центр протектора. У цьому випадку центр шини починає зношуватися швидше, ніж бічні блоки протектора.

На високих швидкостях низький тиск повітря небезпечний тим, що погіршує керованість (швидкість проходження поворотів знижується, автомобіль різко ковзає вбік і виникає неприємний скрип). Існує ризик, що задня вісь розгойдується разом з бічним профілем шини, що призводить до непередбачуваного заносу автомобіля.

### **1.3 Експлуатаційні характеристики шин**

Тиск в шинах важливий для комфортного і, головне, безпечного водіння і впливає на наступні показники

Динаміка розгону - в потужних автомобілях важко помітити погіршення динаміки, але у відносно малопотужних авто тиск в шинах, нижчий за рекомендований заводом-виробником, може прискорити розгін на 0,5-1 секунду до декількох сотень кілометрів.

Гальмівна динаміка - центр шини не притискається до дорожнього покриття з необхідною силою, що призводить до нерівномірного тиску в плямі контакту. Гальмівний момент розподіляється неправильно, що ускладнює водієві створення необхідного тиску в гальмівному контурі. При гальмуванні на порозі блокування коліс (низький тиск) система ABS спрацьовує раніше. Це збільшує гальмівний шлях.

Пробуксовка колеса супроводжується значними втратами енергії через тертя шини об дорожнє покриття і руйнування опорної поверхні, що призводить до збільшення витрати палива. Тому в теоретичних розрахунках і аналізах експлуатаційних характеристик транспортних засобів прийнято

вважати, що за нормальних умов руху сили дотичних реакцій ведучих коліс не повинні перевищувати сили зчеплення шини з дорожнім покриттям. [6]

На дорогах з твердим покриттям коефіцієнт зчеплення залежить головним чином від тертя ковзання між шиною та дорожнім покриттям. Коли тверда поверхня мокра, коефіцієнт зчеплення швидко падає, оскільки тертя між шиною і дорожнім покриттям зменшується через утворення плівки з частинок ґрунту і води

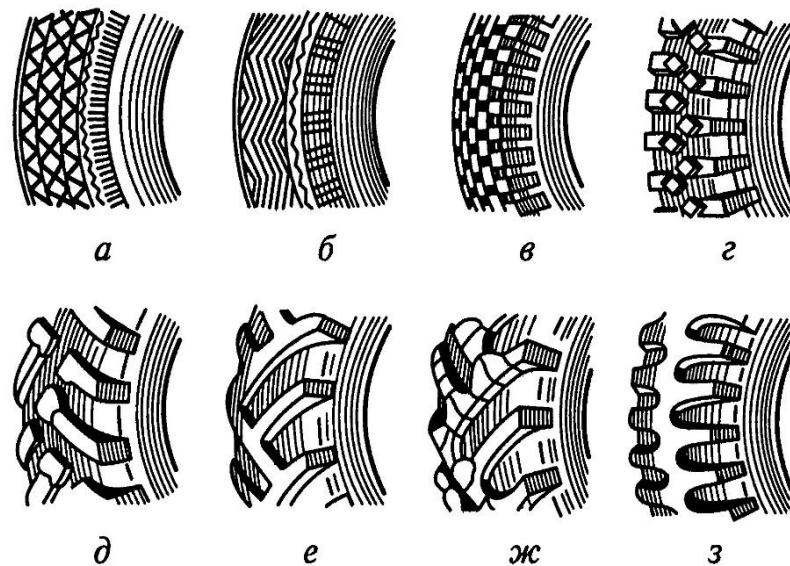


Рисунок 1.8. Малюнки протектора шин: а, б – дорожній; в, г – універсальний; д-з – підвищеної прохідності

Легкові шини мають дрібніший рисунок протектора і краще зчеплення з твердими поверхнями. Вантажні шини мають більший рисунок протектора і ширші та глибші канавки. Такі шини краще зчіплюються з поверхнею та покращують прохідність автомобіля на бездоріжжі. У міру зношування ґрунтозацепів під час експлуатації зчеплення шини з дорожнім покриттям погіршується. Шини з повністю зношеним малюнком протектора мають найнижчий коефіцієнт зчеплення. Тому керувати транспортними засобами, обладнаними такими шинами, заборонено. Відсутність зчеплення з дорогою є причиною багатьох дорожньо-транспортних пригод. [6], [7]

Він повинен бути не менше 0,4 для забезпечення безпеки дорожнього руху.

На коефіцієнт зчеплення впливає внутрішній тиск в шині. Зі збільшенням тиску повітря коефіцієнт адгезії спочатку збільшується, а потім зменшується. Зі збільшенням швидкості руху коефіцієнт зчеплення спочатку збільшується, а потім зменшується. При збільшенні вертикального навантаження на колесо коефіцієнт зчеплення дещо знижується. Коефіцієнт зчеплення має важливий вплив на безпеку руху. Якщо його значення недостатньо високе, на дорозі трапляється багато аварій та інцидентів. Дослідження показують, що це є причиною 15% всіх дорожньо-транспортних пригод і близько 70% в несприятливі періоди року. Дослідження показали, що коефіцієнт зчеплення повинен бути не менше 0,4 для забезпечення безпечного водіння.

Більшість робіт Б.Л. Бучина в галузі дослідження руху на поворотах пов'язана з аналізом загального руху колісних транспортних засобів. Цей аналіз враховує базу, ширину, ширину колії та кількість осей, тобто загальну теорію руху колісних транспортних засобів. Однак фізичні процеси, що відбуваються при коченні окремих коліс і явища, що відбуваються в контакті коліс з основою, мало вивчені, оскільки вони мають значний вплив на рух коліс, а отже, і на характеристики колісної машини в цілому.

М.В. Келдиш розглядав рух колеса на кривих, що мають кут нахилу  $\epsilon$  по відношенню до поверхні дороги та кут повороту центральної лінії контакту відносно площини колеса. З урахуванням різних припущень було встановлено, що рух колеса по криволінійній траєкторії включає в себе дію бічних сил і суму моментів, що діють на дорожнє покриття і вертикальну площину.

Пізніше В.І. Кнороз експериментально показав, що залежності, отримані в роботі М.В. Келдиша, не повністю відображають фізичну природу явищ, що відбуваються під час кочення колеса, і є занадто загальними. [2], [7]

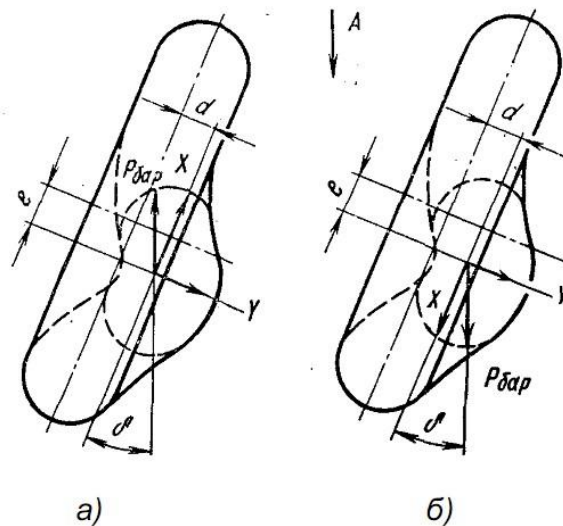
В даній роботі розглядається нелінійна залежність відгуку від експериментально знайдених параметрів кочення:

$$y(x) = D \sin[B \arctan(Bx - E(Bx - \arctan(Bx)))], \quad (1.1)$$

де  $b$ -коефіцієнт жорсткості,  $c$ -коефіцієнт форми,  $D$ -максимальне значення функції, а  $E$  - коефіцієнт кривизни.

Й. Вонга у цьому дослідженні визначив залежність вертикальної реакції  $F_z$  від вертикального зміщення  $z_q$  при різних умовах крену коліс. М. А. Левін продемонстрував різницю між коефіцієнтом сухого тертя та тертям ковзання на низькій швидкості за наявності в'язкопружних елементів у конструкції деки, включаючи такі фактори, як ймовірність наявності принаймні двох зон ковзання. [2]

У роботі Л. Г. Лобаса та В. Г. Вербицького враховувався позовжний кут нахилу штифта (рис. 1.9), це визначає момент стабілізації важеля стабілізації, але передбачається, що момент стабілізації шини (момент п'яти) має лінійну залежність від кута відкату.



а) ведуче колесо; б) гальмівне колесо;  $A$  – напрямок швидкості  
контактної поверхні барабана

Рисунок 1.9 – Схема виникнення стабілізуючих моментів шини

У М. А. Левін і Н. А. Фуфаєва підхід до вивчення проблеми крену коліс вже був викладений раніше у їх роботах. Тут завдання теорії кочення полягає в тому, щоб знайти 6 компонентів узагальненої реакції зчеплення, розподілену силу і момент в області контакту, беручи до уваги деформаційні і фрикційні властивості шини, а опорна поверхня колеса залежить від фазової змінної. В даному випадку модель коліс з шинами являє собою серію тонких жорстких

дисків, закріплених на загальному валу, з деформується периферійним пристроєм. Деформована окружність кожного диска складається з ряду безмасових стрижнів, розташованих в радіальному напрямку, які з'єднані з кінцями безмасовими натягнутими нитками. [2]

Стабілізувальні моменти шин описуються як нелінійна залежність від кута відведення  $\delta$ :

$$M_{ст} = \sigma_1 \cdot \delta^1 - \sigma_2 \cdot \delta^3 + \sigma_3 \cdot \delta^5, \quad (1.2)$$

де  $\sigma_{(1, 2, 3)}$  – приведені характеристики осі.

Твердження про те, що момент стабілізації шини сильно впливає на стійкість автомобіля, було підтверджено в недавніх дослідженнях. Наприклад, у роботі Макарова були враховані моделі автомобілів, в яких вже враховувалася природна вібрація керованих коліс.

За результатами аналізу визначається можливість вибору шини з певним крутним моментом п'яти і (або) регулювання розвалу коліс, що забезпечує курсову стійкість руху.:

- При використанні зазначеної моделі автомобіля обидва ці фактори можуть істотно вплинути на характеристики курсової стійкості його руху і стати регулюючими параметрами;

- Момент п'яти володіє більш сильним стабілізуючим ефектом, який проявляється в ефективному демпфуванні самовібрації керованого модуля.

Кочення пружного колеса, навантаженого бічними (бічними) силами, має свої особливості, оскільки шина еластична не тільки в радіальному, але і в поперечному напрямку. Під дією бічних сил транспортний засіб може рухатися в напрямку руху. Якщо дорога не слизька і зчеплення шин досить велике, частина шини, найближча до дороги, залишиться прикріпленою до дороги, що призведе до вигину і деформації секції шини, що призведе до зміщення колеса на певну відстань під дією бічних сил (рис. 1.10). Цей крен називається уводом колеса, а кут, при якому вектор швидкості в центрі колеса утворюється в цій площині є кутом входу.

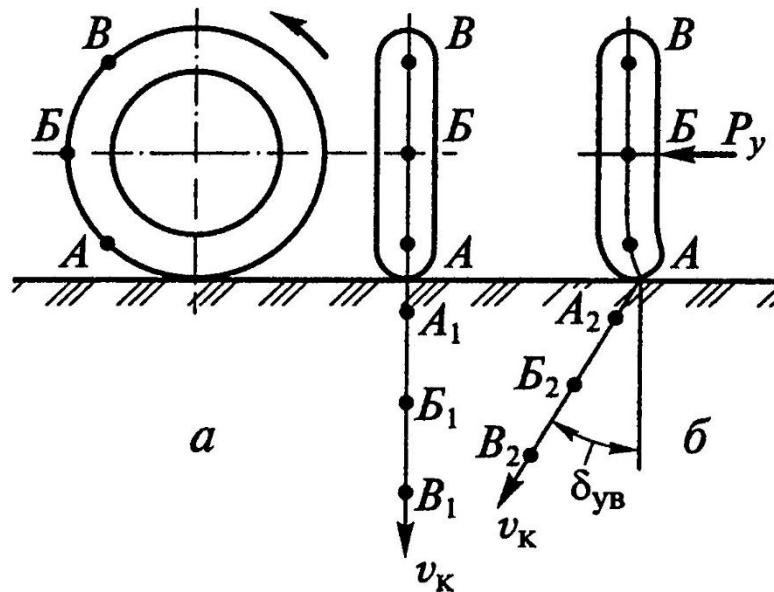


Рисунок 1.10 - Увід колеса

Кут уводу колеса залежить від прикладеної до нього поперечної сили.

При відсутності бічного ковзання шини  $\delta_{yв} = 4...6^\circ$ , при повному ковзанні шини вбік при  $P_y = P_{сц}$  ( $\delta_{yв} = 12... 15^\circ$ ).

де  $K_{yв}$  – коефіцієнт опору уводу колеса.

Коефіцієнт  $K_{yв}$  залежить від розміру та конструкції шини, тиску в шинах та вертикального навантаження на колесо. Таким чином, зі збільшенням розміру шини і тиску повітря в ній коефіцієнт опору впуску збільшується. Зі збільшенням вертикального навантаження колеса вона спочатку збільшується, а потім зменшується.

Значення цього коефіцієнта для вантажних і автобусних шин становить 30-100 н/рад, а для шин легкових автомобілів  $\sim 15-40$  Н/рад. Бічне зміщення колеса багато в чому залежить від значення коефіцієнта вхідного опору. Чим нижче цей коефіцієнт, тим швидше почнеться бічне ковзання.

Це також може бути викликано установкою ведучого колеса під кутом щодо напрямку руху (підйом) і вертикального напрямку (Розвал). При невеликому куті входу (до  $4-6^\circ$ ) коефіцієнт сальто можна вважати постійним.

У міру збільшення швидкості автомобіля збільшується і кут в'їзду. На певній швидкості, яка називається критичною, автомобіль починає рухатися



криволінійно, його рухомі колеса знаходяться в нейтральному положенні, але майже ідентичні [3], [5], [10].

Шини деформуються не тільки в радіальному, але й у поперечному напрямку, що збільшує внутрішнє тертя шини. Крім того, при великих кутах повороту, ламелі протектора сильно ковзають по дорожньому покриттю: Для повороту колеса з биттям  $6-7^\circ$  потрібно в кілька разів більше зусиль, ніж для повороту колеса без биття.

Биття колеса призводить до биття осі та розбігу автомобіля, що суттєво впливає на керованість. Характерні параметри коліс транспортних засобів були вивчені та досліджені за допомогою певних методів.

Як зазначалося вище, гума виконує роль амортизатора. Гума є в'язкопружним матеріалом і має властивості як в'язкої рідини, так і еластичного твердого тіла. Коли гуму деформують, а потім відпускають, вона не відразу повертається до початкової форми. На це потрібен певний час. Ця затримка називається гістерезисом. Слово "гістерезис" походить від грецького слова, що означає нестачу або дефіцит.

Іншими словами, це ще один недолік шини, який є позитивним фактором. Гістерезис відповідає не тільки за керованість, але й за демпфірування. Коли шина котиться по дорожньому покриттю, гума разом з тангенціальним рухом вдаряється об нерівності дорожнього покриття і пристосовується до форми нерівностей. Через гістерезис шина не відразу повертається до початкової форми після переїзду через нерівність. Ця асиметрична деформація шини навколо нерівностей призводить до того, що тангенціальна складова сили діє в напрямку, протилежному напрямку ковзання. Таким чином, гістерезис створює зчеплення між шиною та дорожнім покриттям.

Гістерезис або зчеплення залежить від температури. Ось чому зимові та літні шини відрізняються. При низьких температурах гума стає твердішою і крихкішою. З підвищенням температури рухливість полімеру збільшується. Ця рухливість дозволяє гумі адаптуватися до форми нерівностей дорожнього

покриття. Поведінка гуми стає більш в'язкою, а гістерезис збільшується. Коли температура продовжує зростати, підвищена рухливість дозволяє гумі швидко повертатися до своєї початкової форми при проходженні нерівностей дороги, зменшуючи гістерезис і асиметричну деформацію, яка створює зчеплення з дорогою. Гістерезис гумової суміші зимових шин найвищий за низьких температур, а літніх - за високих. [3], [5]

На гістерезис також впливає частота прикладання сили. Наприклад, сила прикладається, коли шина наїжджає на нерівність дорожнього покриття. У порівнянні з температурою, частота має протилежний вплив на гуму. При низьких частотах гума деформується повільно, сила прикладається і відпускається, і гума встигає деформуватися. На високих частотах гума не встигає повернутися до своєї початкової форми, коли сила знімається, і гумовий матеріал поводить жорстко. Гістерезис є найвищим з цих двох показників. Частота, з якою протектор шини стикається з нерівностями дорожнього покриття, визначається швидкістю ковзання, поділеною на відстань між нерівностями (швидкість ковзання - це різниця між швидкістю автомобіля і швидкістю кочення колеса). Тому текстура дорожнього покриття має важливе значення для частоти. Відстань може варіюватися від 1 мкм до 1 см.

Крім формування зчеплення за рахунок шорсткості дорожнього покриття, існує ще один механізм - молекулярна адгезія, яка створює зчеплення в місці контакту між шиною і дорожнім покриттям. Адгезія опосередковується міжмолекулярними зв'язками (ван-дер-ваальсовими зв'язками) між гумою і дорожнім покриттям; зв'язок між двома поверхнями утворюється, розтягується і розривається. Тертя виникає, коли дорожнє покриття і гума перебувають у відносному русі. Для зчеплення гуми з дорожнім покриттям гума повинна знаходитися в безпосередньому контакті з дорожнім покриттям. Волога відокремлює гуму від дорожнього покриття, і міжмолекулярні зв'язки не утворюються. Гістерезис також важливий для створення зчеплення через адгезію.

Як зазначалося вище, тертя не залежить від плями контакту. Через мікроскопічну шорсткість поверхні існує різниця між видимою площею контакту та фактичною площею контакту. Якщо об'єкт на рисунку 1 стоїть, видима площа контакту менша, ніж коли об'єкт лежить. Однак фактична площа майже однакова. Через шорсткість поверхні лише невелика частина видимої площі фактично контактує з поверхнею контакту. Через вищий контактний тиск, коли об'єкт стоїть, точок контакту буде більше і вони будуть більшими, тому фактична площа контакту буде майже такою ж самою [5], [7].

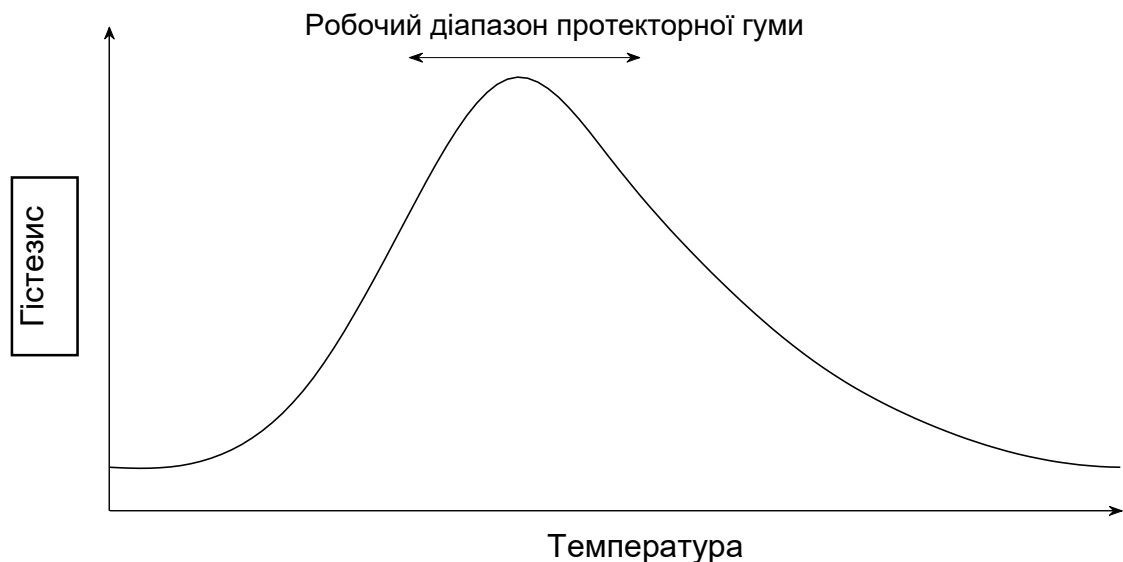


Рисунок 1.11 - Температурна залежність гістерезису

Температура, при якій гістерезис максимальний, різна для різних гумових сумішей. Шини для зимового використання мають максимальний гістерезис при нижчій температурі, ніж шини для літнього використання.

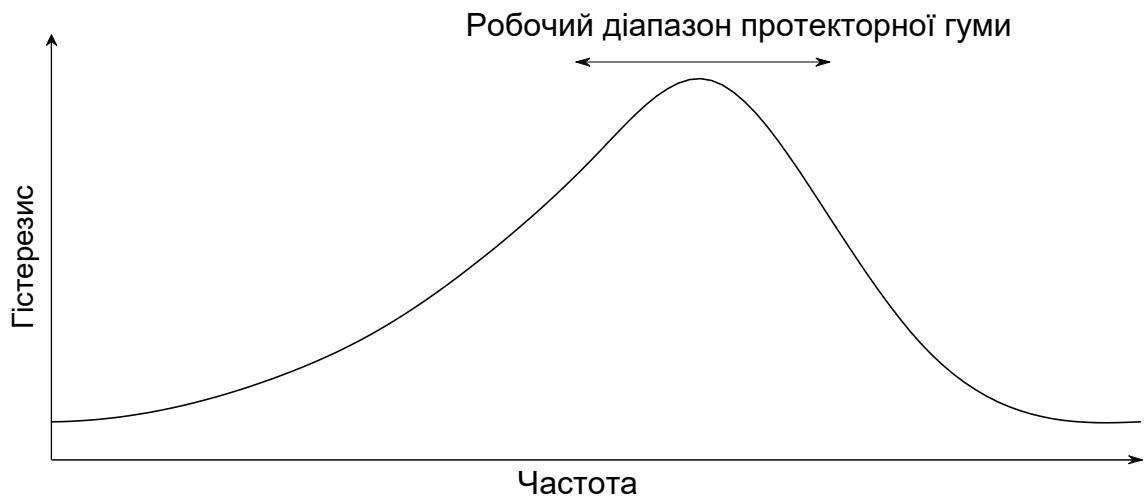


Рисунок 1.12. Залежність гістерезису від частоти.

Частота, з якою прикладається сила, впливає на гуму протилежним чином порівняно з параметром температури. Оптимальний діапазон для генерації зчеплення – це місце, де гістерезис максимальний.

#### 1.4 Огляд методик дослідження експлуатаційних властивостей шин

Стенд для контролю технічного стану шин містить у собі два колісних модулі, систему для орієнтування автомобіля при заїзді на стенд, пульт керування стендом, дзеркало, пневматичний компресор, для нагнітання стислого повітря в пневмоциліндр.

Система для орієнтування автомобіля виконана з сталевих труб та елементів прокатних виробів. Ця система має реборди і колісвідбійники.

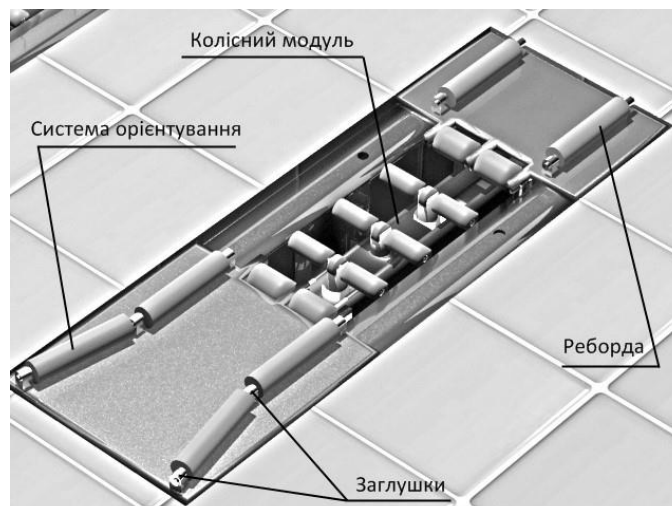


Рисунок 1.13 – Структура стенду

Колісний модуль містить в собі наступні основні елементи (рис. 1.13): раму 7; дві сталеві плити 5 і 6, що закінчуються осями з роликами 8; сталевого важеля 3; пневматичний циліндр 2; датчик 1; важелі з роликами 4.

Стенд працює наступним чином. Автомобіль заїжджає на стенд для контролювання тиску в шинах передньої вісі, водій дивиться у дзеркало, і коли потрібно зупиняється. Механік регулює тиск стислого повітря, завдяки манометру і крану на пульті керування. Це необхідно для підстроювання до різних моделей і типу автомобілів з різним діаметром коліс. Стисле повітря поступає з компресора крізь пневматичний шланг починає діяти з певним тиском на поверхню пневматичного поршня, важіль підіймається угору і завдяки трьом важелям, починає діяти на шину автомобіля. Месдоза, яка у даному випадку виявляється динамометричним давачем, стискається і рідина передається до вимірювача рівня крізь гнучкий шланг [10], [14].

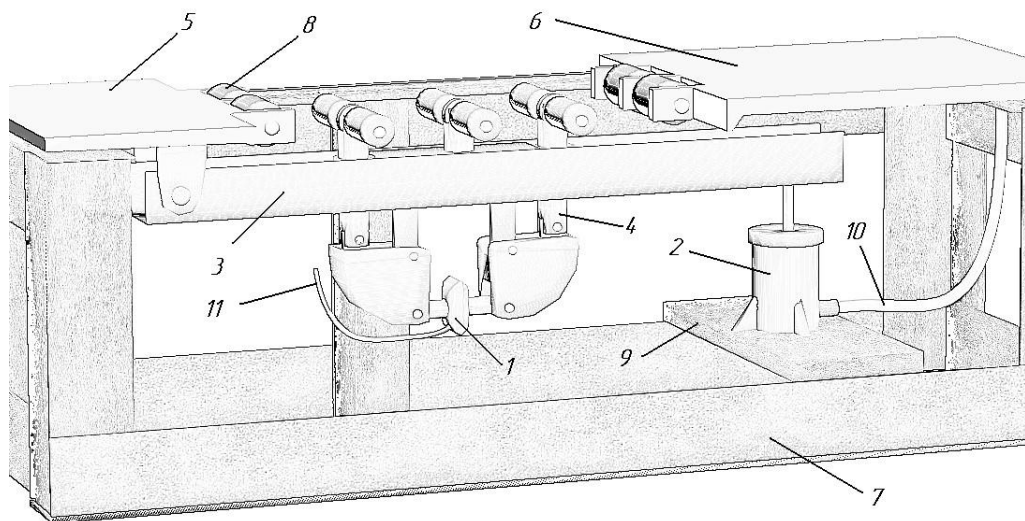


Рисунок 1.14 – Загальний вигляд стенду для контролю стану шин

Для вивчення характеристик шин легкових автомобілів з обертовими колесами були розроблені і виготовлені спеціальні стенди, схема яких наведена на рис. 1.15. Для визначення характеристик шини на цьому стенді використовувався метод вільної вібрації системи, в якій пружний елемент є пневматичним. Основними компонентами підставки є: стрічкові пластикові конвеєри, призначені для імітації площини відліку; радіальний напрямок,

необхідний для колеса; незручне обладнання, що викликає порушення балансу вібраційної системи.

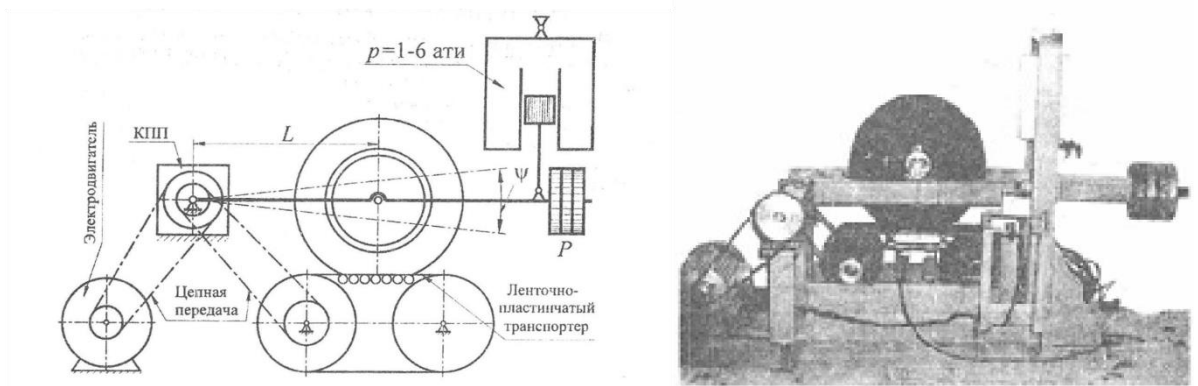


Рисунок 1.15 - Схема і конструкція стенду для визначення вібраційних характеристик шин.

Основною частиною вібраційної системи стенду є маятник з колісним вузлом. Для отримання різних частот коливань момент інерції маятника варіюється шляхом зміни кількості вантажів, прикріплених до стрижня маятника. На описаному стенді визначали радіальну жорсткість і коефіцієнт руйнування шини при радіальних коливаннях обертового колеса в залежності від швидкості накачування, тиску повітря в шині, радіального навантаження і частоти коливань.

Випробувальний стенд використовує метод вільних коливань системи з пневматичним елементом в якості пружного елемента для визначення властивостей шини. Основними компонентами випробувального стенду є: пластиковий стрічковий конвеєр, призначений для імітації опорної зони, пневматичний навантажувальний пристрій для створення необхідного радіального навантаження на шину, маятник зі стрижнями для регулювання навантаження і дестабілізації вібраційної системи, блок приводу акустичної системи. Однак не існує математичної моделі, яка могла б пояснити, як змінюється конструкція шини та умови керування під час руху транспортного засобу.

Покращення можуть бути досягнуті за рахунок використання багатовісних систем приводу і збільшення свободи ходу колеса під час випробування. Існує ряд методик визначення параметрів колеса. Вони поділяються на стендові та дорожні випробування (рис. 1.16).

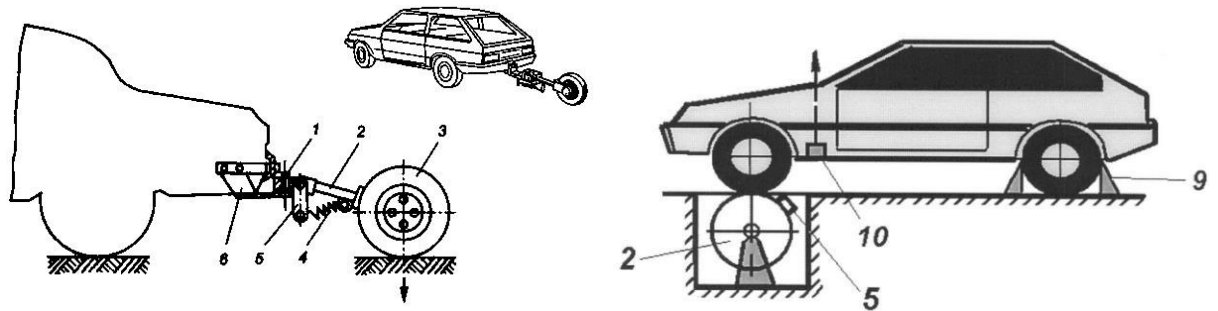


Рисунок 1.16 - Дорожні і стендові випробування автомобільного колеса

Дорожні випробування найкраще відтворюють реальні умови водіння, але їх точність невисока. Стабільні умови випробувань відтворюються на стенді, використовуються точні прилади та вимірювальні прилади, але під час таких випробувань дуже складно, а в деяких випадках неможливо відтворити робочі умови реальних рухів. Таким чином, дорожні випробування доповнюють стендові випробування і навпаки.

Перед випробуванням визначається вага автомобіля і опір коченню, а також коефіцієнт зчеплення шин. Безпосередньо перед початком випробувань всі агрегати автомобіля повинні бути прогріті за 0,5–1 годину їзди, а температура охолоджуючого середовища і масла повинна підтримуватися в встановлених межах протягом всього періоду випробувань. температура +5–+25 при температурі °C швидкість вітру не повинна перевищувати 3 м / с.

Автомобіль тест, характеристики швидкість вимірює такі показники, як, швидкісні характеристики: час розгону на ділянках треку протяжністю 400 і 1000 метрів, час розгону до максимальної швидкості і умовна максимальна швидкість.

Швидкість транспортного засобу вимірюється тахогенератором або датчиком удару, встановленим безпосередньо на колесах транспортного

засобу або на "п'ятому" вимірювальному колесі. Швидкісні характеристики визначаються на ділянках дороги довжиною 13-15 км. Ділянка дороги зі змінним поздовжнім профілем повинна включати 500-700 м підйомів і спусків з ухилами 4-5%.

При визначенні характеристик розгону та уповільнення транспортний засіб повинен бути розігнаний до максимальної швидкості на ділянці довжиною 2000 м. Максимальну швидкість слід визначати з повним баком палива та на вищій передачі. Умовна максимальна швидкість визначається як середня швидкість останніх 400 м на ділянці довжиною 2000 м при розгоні з місця. Характеристики розгону та уповільнення використовуються для визначення часу розгону на ділянках 400 м і 1000 м, а також часу розгону до заданої швидкості.

Мінімальна швидкість сталого руху визначається як відстань між двома послідовними ділянками по 100 м кожна з відстанню 200-300 м між ними. Стала швидкість повинна бути встановлена до того, як транспортний засіб в'їде на першу ділянку. На проміжній ділянці швидкість слід збільшити до 20-25 км/год за допомогою швидкого збільшення подачі палива. Перед входом у другу секцію швидкість знову знижується. Лінійне прискорення автомобіля вимірюється акселерометром.

Для визначення тягового зусилля вимірюється крутний момент на осях ведучої осі. Крутний момент змушує вісь згинатися. Кут вигину пропорційний прикладеному крутному моменту. Ця деформація кручення вимірюється за допомогою тензорезисторів. [13], [14].

Для запису параметрів, що аналізуються під час дорожніх і стендових випробувань, використовуються петлеві осцилографи і самописці. Найбільш поширені логгери доступні в 1, 3 і 9-канальних версіях.

Розглянемо методики визначення параметрів колеса автомобіля.

Перший метод полягає у випробуванні колеса на стенді з біговими барабанами (рис. 1.17).



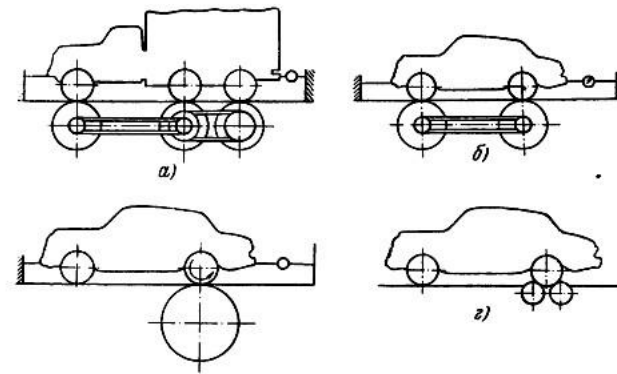


Рисунок 1.17 - Випробування на стенді з біговими барабанами

Колеса встановлені на вилках і притискаються до робочого барабана, щоб прикласти навантаження. Колеса приводяться в рух електродвигуном. Гальмівний момент, що прикладається до валу робочого барабана, створюється гальмівним генератором, вихід якого з'єднаний з моментною муфтою. Другий принцип заснований на вимірюванні магнітної провідності чіпа, встановленого на торсіонному стержні. Це дозволяє реєструвати відносне кутове зміщення торсіонної штанги під час кручення і визначати відношення сили зчеплення до ваги колеса за допомогою статичного радіусу і відстані від осі колеса до точки прикладання динамометра.

Недоліками цього методу є те, що контактні поверхні колеса і барабана спотворюються при контакті колеса з барабаном, що ускладнює визначення коефіцієнта опору коченню, коефіцієнта зчеплення колеса і коефіцієнта проковзування колеса, оскільки величина скручування повинна бути зафіксована миттєво і точно. Цей метод також унеможлиблює точне визначення кута биття колеса на барабані, оскільки опорна поверхня деформується від еліптичної до бобовидної форми.

Другий метод визначення полягає в тому, щоб дати транспортному засобу "вільний хід" з заданою початковою швидкістю до повної зупинки. Деякі інститути, зокрема Бюро стандартів США, намагалися визначити коефіцієнт  $f$ , дозволяючи автомобілю вільно котитися з підйому до повної зупинки. Якщо швидкість на схилі підтримується постійною, легко визначити загальне тертя, а отже, коефіцієнт опору коченню і коефіцієнт зчеплення коліс на відомому схилі. Однак дуже складно вибрати такий нахил і визначити

оптимальне дорожнє покриття, оскільки зчеплення може залежати не тільки від погоди, але і від якості дорожнього покриття. Коефіцієнт опору керованості коліс визначається величиною вільних коливань до повної зупинки автомобіля при заданій початковій швидкості. Якщо швидкість на схилі постійна, легко визначити коефіцієнт ковзання коліс, але в цьому випадку його неможливо визначити, оскільки колеса продовжують рухатися. Недоліком цього методу визначення коефіцієнта ковзання коліс є те, що швидкість коліс повинна бути постійною, що неможливо на початку дослідження.

Третій метод полягає в моделюванні досліджуваного колеса на каретці динамометра, встановленої на рейці. У цьому випадку опір коченню сталевому колесу по рейці мінімальний, а зчеплення колеса з дорожнім покриттям оптимальне. Кут повороту колеса можна визначити на прозорій опорній поверхні при рівномірному русі колеса.

Четвертий метод визначення опору коченню і коефіцієнта зчеплення полягає у випробуванні за допомогою динамометричного візка з гумовими шинами, встановленого між трактором і транспортним засобом. Візок оснащений динамометром, який реєструє силу тяги, зчеплення та зусилля на кермі. Цей метод має значні переваги над іншими методами, оскільки дозволяє проводити випробування на різних дорожніх покриттях, але не є достатньо точним [9], [10], [13],

Для експериментів, використовується така конструкція динамометричного возика (рис. 1.18). Важільні млини 2 кріпляться до рами автомобіля, яка фіксується амортизатором 3. У центрі знаходиться колесо 4, до якого прикріплений гальмівний трос. Показання динамометра передаються по дротах слідчим в автомобілі за допомогою електричного замка. Одиниця виміру прикріплена на 1 кінці до підрамника, що складається з вертикальних і

горизонтальних вимірювачів зусилля, що фіксують кронштейнів і стрижнів.

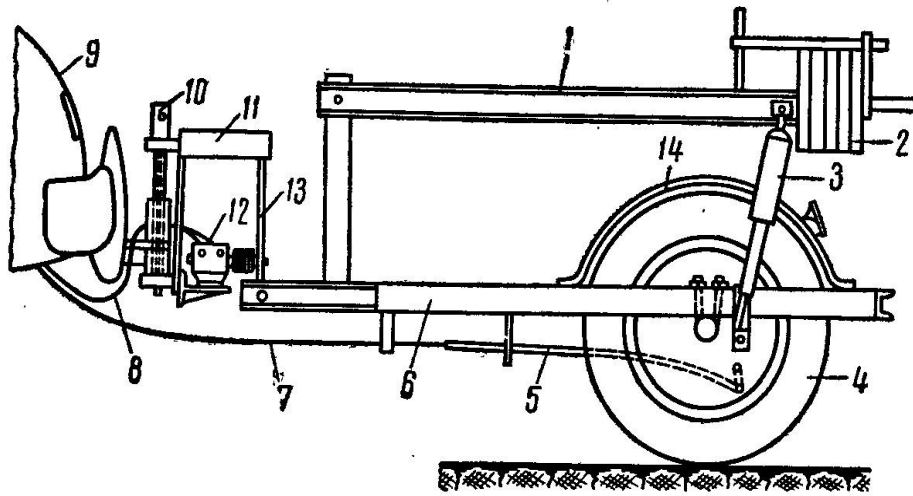


Рисунок 1.18 - Схема динамометричного возика

За допомогою такої каретки або чогось подібного можна визначити параметри коліс автомобіля.

### Висновки за розділом

1. Пневматичні шини як система приводу транспортного засобу мають широкий спектр позитивних властивостей завдяки високій еластичності та гнучкості гуми. Шини взаємодіють з дорожнім покриттям і значно деформуються під дією постійного навантаження, поглинаючи динамічні навантаження і забезпечуючи зчеплення, гальмування та керованість. Водночас шини мають здатність поглинати значну кількість енергії через явище гістерезису. На витрату палива шини впливають багато факторів, включаючи робочий тиск, діаметр обода, висоту протектора, вдосконалений дизайн, конструкцію та склад матеріалів шини.

2. На сьогоднішній день виробники шин досягли коефіцієнтів опору коченню від 0,062 до 0,0147. Зниження опору коченню шини на 10% може зменшити споживання палива на 12%.

## РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ОПОРУ КОЧЕННЯ ЕЛАСТИЧНОГО КОЛЕСА

### 2.1. Фізичний зміст опору коченню колеса автомобіля

Під час кочення колеса шина деформується під дією різних сил, що постійно змінюються, викликаючи багаторазові пружні деформації її компонентів. Ці деформації супроводжуються значними втратами енергії, що призводить до значного нагрівання шини та зміни її основних властивостей.

Втрати при коченні шини в основному обумовлені втратами на внутрішнє тертя в гумі та корді, величина яких залежить від властивостей і деформації цих матеріалів. З метою мінімізації вищезазначених втрат пропонується наступна класифікація механізмів втрат в пневматичних шинах.

ч/ч	Тип втрат	Схема типу втрат	Головні чинники, які викликають гістерезисні втрати
1	Втрати на радіальну деформацію шини		Нормальне навантаження
2	Втрати на кутову деформацію шини		Крутний момент; гальмівний момент; нормальне навантаження.
3	Втрати на деформацію у боковому напрямку		Бокова сила; нормальне навантаження.
4	Втрати в шині під час деформування в тангенціальному напрямку		Крутний момент. нормальне навантаження.
5	Втрати на зменшення тиску повітря в шині		Крутний момент; нормальне навантаження.
6	Втрати на зношення шини (відривання частинок шини від основи протектора)		Крутний момент; нормальне навантаження.

Рисунок 2.1 – Класифікація втрат в пневматичних шинах

У реальних умовах шина піддається декільком взаємопов'язаним деформаціям одночасно: зміна однієї з них призводить до зміни інших. Однак для спрощення аналізу і визначення характеристик втрат бажано розглядати деформації шини незалежно і окремо, використовуючи принцип суперпозиції.

Втрати внаслідок радіальної деформації шини. При однаковому навантаженні потужність, що витрачається на радіальну деформацію шини, значною мірою залежить від тиску повітря. При зниженні тиску повітря абсолютна і відносна деформація шини збільшується, а частка навантаження, що сприймається каркасом, зростає. Втрати на гістерезис шини поступово зростають, і шина нагрівається під час обертання колеса. Температура шини пропорційна втратам на гістерезис, за інших рівних умов. Для мінімізації втрат необхідно підтримувати постійне співвідношення між навантаженням, тиском повітря і вертикальною деформацією шини [6], [7], [22].

Втрати через кутову деформацію шини. Під час руху, прискорення або гальмування шини коліс піддаються кутовій деформації, що змінюється в часі, яка впливає на зчепні та експлуатаційні характеристики автомобіля. Шини коліс зазнають деформаційних моментів під дією пружних сил, чинять опір зовнішнім крутним моментам і спричиняють втрати енергії через крутильні коливання та прогин шини. Кутова деформація шини (колова еластичність шини) гасить змінне зчеплення, усуває резонансні явища, що виникають в трансмісії, і допомагає запобігти додатковому зсуву ґрунту під час заносу.

Втрати на бічну деформацію Бічну деформацію  $P$  (радіальної) шини можна розглядати як суму деформації боковини та протектора. Коли прикладається бічне навантаження, стінка шини зміщується на певну величину. На величину деформації протектора впливає глибина малюнка протектора, навантаження, що прикладається до шини, і модуль зсуву гуми протектора. Поперечна жорсткість шини не є постійною і зростає зі збільшенням бічної сили. Тангенціальні втрати шини. Потужність, що витрачається на тангенціальну деформацію шини, є результатом крутного моменту. Тангенціальні втрати викликані стисненням, відносним зміщенням

рисунка протектора і деформацією канавок протектора. Коли шина стискається (форма плями контакту змінюється), частина роботи втрачається через тертя на опорних поверхнях, що контактують з матеріалом шини. Частина роботи перетворюється на тепло і розсіюється. Інша частина зберігається як енергія пружної деформації. У зоні відновлення енергія пружних деформацій перетворюється на кінетичну енергію шини.

Втрати через дефляцію шини. Основне навантаження на шину (60-70%) припадає на повітря. Коли тиск в шині падає, навантаження на каркас зростає. Втрата тиску в шині відбувається через дифузію повітря в матеріалі шини і витоку між шиною і ободом, як описано в другому законі Фіка. Інтенсивність цих процесів в пневматичних шинах обумовлена експлуатаційними факторами, що впливають на роботу системи приводу колеса, поверхнею землі. Падіння тиску повітря швидко знижує робочі характеристики шини. Якщо ці фактори не відповідають оптимальним параметрам, збільшується радіальний прогин шини, спотворюється форма профілю, збільшується деформація каркаса, що призводить до перегріву шини, зниження міцності матеріалу, з якого виготовлена шина, збільшення тертя і підвищеного зносу.

Втрати від зносу шини. Ступінь зносу шини виражається як зменшення висоти ґрунтової подушки по відношенню до величини зносу. На знос шини впливає ряд контрольованих (конструкція і технологія), частково контрольованих і неконтрольованих факторів (дорожнє покриття і кліматичні умови). Загальна потужність для відриву частинок шини витрачається на знос, який відбувається на шорстких поверхнях з відносно високим коефіцієнтом тертя, знос при коченні, який відбувається на гладких поверхнях з відносно високим коефіцієнтом тертя, втомний знос, що виникає в результаті багаторазової деформації гуми на дрібних нерівностях опорної поверхні, знос зони контакту, який може відбуватися в реальних умовах, і термічний знос, який відбувається при високих температурах [5], [7].

## 2.2 Вільний, статичний, динамічний та кінематичний радіуси колеса з пневматичною шиною

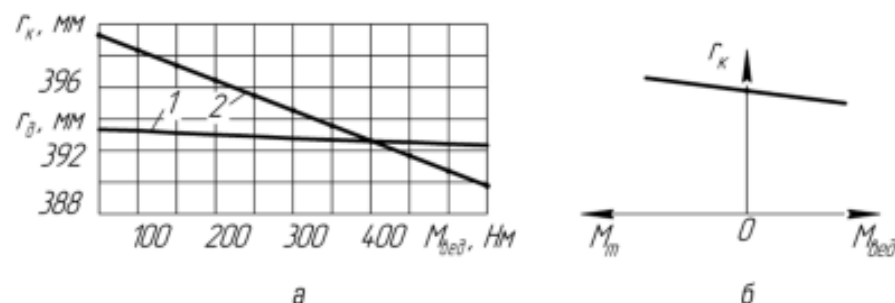
У зв'язку з великим різноманіттям видів деформації пневматичної шини її радіус не має одного певного значення, як у колеса з жорстким ободом.

Розрізняють такі радіуси кочення колеса з пневматичною шиною: вільний  $r_0$ , статичний  $r_{cv}$  динамічний  $r_a$  та кінематичний  $r_k$ .

Вільний радіус - це найбільший радіус бігової доріжки колеса, вільного від зовнішнього навантаження. Він дорівнює відстані від поверхні бігової доріжки до осі колеса.

Статичний радіус являє собою відстань від осі нерухомого колеса, навантаженого нормальним навантаженням, до площини його опори. Значення статичного радіуса при максимальному навантаженні регламентовані стандартом для кожної шини.

Статичний і динамічний радіуси зменшуються зі збільшенням нормального навантаження і зі зменшенням тиску повітря в шині. Залежність динамічного радіуса від навантаження моментом, отримана експериментально Є.А. Чудаковим, показана на рис. 2.2. З малюнка видно, що зі збільшенням моменту  $M_{вед}$ , переданого колесом, його динамічний радіус зменшується. Це пояснюється тим, що відстань по вертикалі між віссю колеса і його опорною поверхнею зменшується внаслідок деформації скручування боковини шини.



а - зміна динамічного та кінематичного радіусів колеса залежно від ведучого моменту: б - зміна кінематичного радіуса колеса під дією ведучого та гальмівного моментів

Рисунок 2.2 - Залежності, отримані Є.А. Чудаковим

Величина динамічного радіуса залежить також від глибини колії під час руху деформованим ґрунтом або ґрунтом. Що більша глибина колії, то менший динамічний радіус. Динамічний радіус колеса є плечем прикладання дотичної реакції ґрунту, що штовхає ведуче колесо. Тому динамічний радіус називають ще силовим.

Кінематичний радіус або радіус кочення колеса - це поділений на  $2\pi$  дійсний шлях колеса пройдений за один оберт. Ще кінематичний радіус визначають як радіус такого фіктивного колеса з жорстким ободом, що за відсутності пробуксовування та прослизання має однакову з дійсним колесом кутову швидкість обертання та поступальну швидкість:

$$r_k = S_k / 2\pi = V_k / \omega_k \quad (2.1)$$

де  $V_k$  - поступальна швидкість кочення колеса;  $\omega_k$  - кутова швидкість обертання колеса;  $S_k$  - шлях колеса за один оберт з урахуванням буксування або ковзання.

З виразу випливає, що за повного буксування колеса ( $V_k = 0$ ) радіус  $r_k = 0$ , а за повного ковзання ( $\omega_k = 0$ ) кінематичний радіус дорівнює  $0$ .

На рис. (2.2) представлено отриману Є.А. Чудаковим залежність зміни кінематичного радіуса колеса від дії на нього крутильного моменту  $M_{\text{вед}}$ . З малюнка випливає, що величина зміни динамічного і кінематичного радіусів залежно від дії моменту різна. Більш крута залежність кінематичного радіуса колеса порівняно із залежністю динамічного радіуса може бути пояснена дією на нього двох чинників. По-перше, кінематичний радіус зменшується на ту саму величину, на яку зменшується динамічний радіус від дії ведучого моменту. По-друге, прикладений до шини ведучий або гальмівний момент спричиняє деформацію стиснення або розтягування набігаючої частини шини. Процеси, що супроводжують ці деформації, легко простежити, якщо уявити колесо у вигляді циліндричної пружної спіралі з рівномірною навивкою витків. Як показано на рис. 2.3, під дією ведучого моменту набігаюча частина шини (передньої) стискається, внаслідок чого загальний периметр окружності протектора шини зменшується, шлях колеса  $S_k$  за один оберт стає меншим.



Що більша деформація стиснення шини в набігаючій частині, то більше зниження шляху  $S_k$ , що відповідно до пропорційно зменшенню кінематичного радіуса  $r_k$ .

Під час дії гальмівного моменту відбувається зворотне явище. До опорної поверхні підходять розтягнуті елементи шини.

Периметр шини і шлях колеса  $S_k$ , прохідний за один його оберт, зростають у міру збільшення гальмівного моменту. Тому кінематичний радіус збільшується. [21], [22]

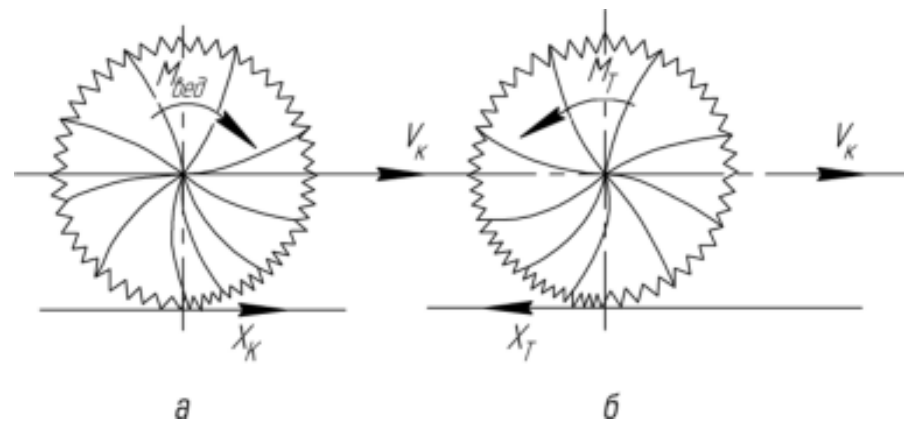


Рисунок 2.3 - Схема деформації шини від дії моментів  $M_{вед}$  (а) і  $M_т$  (б)

На рис. 2.3. (б) показано залежність зміни радіуса колеса від дії на нього крутильного активного  $M_{вед}$  і гальмівного  $M_т$  моментів за стійкого зчеплення колеса з опорною поверхнею. Є.А. Чудаков запропонував таку формулу для визначення радіуса колеса:

$$r_k = r_{k0} - \lambda_r M_{вед} \quad (2.2)$$

де  $r_{k0}$  – радіус кочення колеса за вільного режиму кочення, коли ведучий момент і момент опору коченню дорівнюють між собою;  $\lambda_r$  – коефіцієнт тангенціальної еластичності шини, що залежить від її типу та конструкції, який знаходять за результатами експериментів.

Під час інженерних розрахунків як динамічний і кінематичний радіуси зазвичай використовують наведений у стандарті статичний радіус цієї шини за встановленого тиску повітря і максимального навантаження на неї. Приймають, що колесо рухається поверхнею, яка не мнеться.

Під час руху колією статичний радіус – це відстань від осі колеса до дна колії. Однак під час руху колеса по колії точка прикладання рівнодійної елементарних реакцій ґрунту, що утворює крутний момент (ведучий або опору), перебуватиме вище дна колії та нижче поверхні ґрунту.

Динамічний радіус у цьому разі залежить від глибини колії: що вона глибша, то більшою є різниця між статичним і динамічним радіусами коліс, то більшою є похибка розрахунків від допущення  $z_d = z_{ст}$ . [7], [22].

### 2.3 Розрахунок коефіцієнта опору коченню колеса

Опір коченню виникає внаслідок внутрішнього тертя шини, поверхневого тертя шини об дорожнє покриття та втрати енергії через утворення колії (на деформованому дорожньому покритті). Коли колесо котиться, деформація 20 компонентів шини викликає тертя між ними, а тепло, що виділяється, розсіюється, що призводить до втрати енергії. Коли колесо котиться, деформація збільшується в передній частині шини і зменшується в задній. Втрати на тертя в шині незворотні, і енергія, використана для деформації шини, не відновлюється повністю, коли шина повертається до своєї початкової форми..

Розглянемо співвідношення сил і моментів під час кочення колеса:

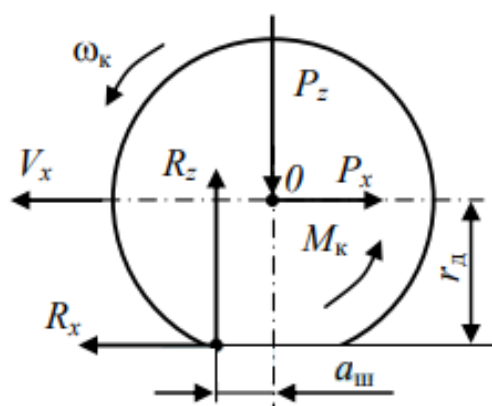


Рисунок 2.4 – Опір коченню колеса, що котиться без проковзування  
Момент опору кочення:

$$M_f = a_{ш} R_z \quad (2.3)$$

$$\frac{M_f}{r_d} = \frac{a_{ш}}{r_d} = R_z \quad (2.4)$$

$$P_f = R_z f \quad (2.5)$$

Де  $P_f = M_f / r_d$  – сила опору коченню (сила, яку необхідно прикласти до осі колеса по горизонталі для подолання моменту опору коченню).

Сила опору коченню  $P_f$  досягає найбільшого значення при русі по горизонтальній дорозі.

У цьому випадку  $P_f = fG$ ,

де  $G$  – вага автомобіля,  $N$ ;  $f$  – коефіцієнт опору коченню.

При русі вгору і вниз сила опору коченню зменшується в порівнянні з  $P_f$  на горизонтальній дорозі. У цьому випадку руху опір коченню дорівнює  $P_f = f G \cos \alpha$ , де  $\alpha$  – кут піднесення.

Отже, коефіцієнт опору коченню  $f$  чисельно дорівнює відношенню сили, що викликає плавний крен колеса, до нормальної реакції дороги.

$$f = \frac{P_l}{N} \quad (2.6)$$

Коефіцієнт опору коченню сильно впливає на втрати енергії при русі автомобіля. Це залежить від багатьох конструктивних і експлуатаційних факторів і визначається експериментально. Для різних доріг з нормальним тиском в шинах середнє значення становить 0,01-0,1.

На коефіцієнт опору коченню впливає безліч різних факторів. Перш за все, швидкість пересування. При зміні швидкості руху в грудні в діапазоні 0-50 км/год коефіцієнт опору коченню можна вважати постійним, так як він змінюється. Зі збільшенням швидкості руху коефіцієнт опору коченню значно збільшується через збільшення втрат енергії тертя в шині. У цих умовах він може бути приблизно розрахований за формулою:  $f = (115+v)/10000$ , де  $v$  – швидкість автомобіля, км/год.

Тип і стан дорожнього покриття сильно впливають на коефіцієнт опору коченню, так само як і наявність нерівностей, тип шини (малюнок протектора, знос, конструкція рами, якість матеріалу шини), глибина рейки, що утворюється при Крені, і стан ґрунту.

Загалом, тільки коефіцієнт опору коченню колеса, що характеризує втрати потужності, можна описати формулою.:  $f = a_{ш} / r_d$ , а з урахуванням кінематичних втрат:

$$f = f_c + f_k = a_{ш}/r_d + M_k(r_d + r_k)/(R_z r_d r_k) \quad (2.7)$$

Враховуючи, що тиск повітря в шині впливає на значення коефіцієнта кочення, питомий тиск повітря в шині рекомендується для кожного типу дороги з мінімальним коефіцієнтом опору коченню.

Коефіцієнт опору коченню залежить від навантаження на колесо. Наприклад, зі збільшенням вертикального навантаження коліс на деформовану дорогу коефіцієнт опору коченню значно збільшується, але мало змінюється на дорогах з твердим покриттям.

Необхідно враховувати величину крутного моменту, що передається через колесо під час руху. При передачі крутного моменту через колеса коефіцієнт опору коченню збільшується за рахунок втрати пробуксовки шини в точці дотику з дорогою. Коефіцієнт опору коченню ведучих коліс на 10-15% вище, ніж у ведучих коліс.

Оскільки коефіцієнт опору коченню має значний вплив на економію палива автомобіля, і навіть невелике зниження може призвести до значної економії палива, дизайнери та дослідники працюють над створенням таких шин та розробкою дорожніх покриттів, що забезпечують мінімальний коефіцієнт опору коченню. [2], [7], [19], [21]

### **Висновки за розділом**

1. Представити розрахункову модель зміни динамічних і кінематичних параметрів колеса при його взаємодії з опорою. Встановити аналітичні залежності для визначення динамічного та кінематичного радіусів колеса.
2. Дослідити залежність коефіцієнта опору коченню від навантаження на колесо, механічних властивостей, кутової швидкості обертання та внутрішнього тиску в шині..

## **РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКИ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ДОРОЖНІХ ВИПРОБУВАНЬ**

### **3.1 Програма експериментальних досліджень**

В ході дослідження необхідно вирішити ряд завдань для визначення факторів впливу параметрів коліс на покращення паливної економічності та експлуатаційних показників (індекс навантаження, коефіцієнт опору коченню)вантажних автомобілів категорії N1.

Для цього необхідно

- Дослідити механічні властивості коліс автомобілів категорії N1 та їх вплив на витрату палива;
- визначити статичні ,динамічні та кінематичні (фактичні) радіуси коліс для радіальних навантажень;
- створити програмно-апаратні модулі на базі діагностичного сканера Elm327;
- Визначити жорсткість пневматичних шин до статичних навантажень;
- проводити дорожні випробування; визначати коефіцієнт опору коченню коліс (метод вибігу); аналізувати витрату палива автомобіля.

### **3.2 Методика визначення вільного, статичного, динамічного та кінематичного радіуса колеса.**

Наразі виробники пропонують на ринку широкий асортимент шин, кожна з яких має різні експлуатаційні характеристики та споживчі якості. Наприклад, опір коченню шин може відрізнятись до 40%, що еквівалентно 5. .6% додаткової витрати палива.

Ця різниця обумовлена енергоефективністю шини, яка вказується виробником і маркується відповідним чином (від класу А до класу F). Вплив паливної ефективності оцінюється у двох аспектах: економія коштів

(приблизно 300 євро на 40 000 км пробігу) та зменшення викидів CO<sub>2</sub> (рис. 3.1) [2], [9], [13].

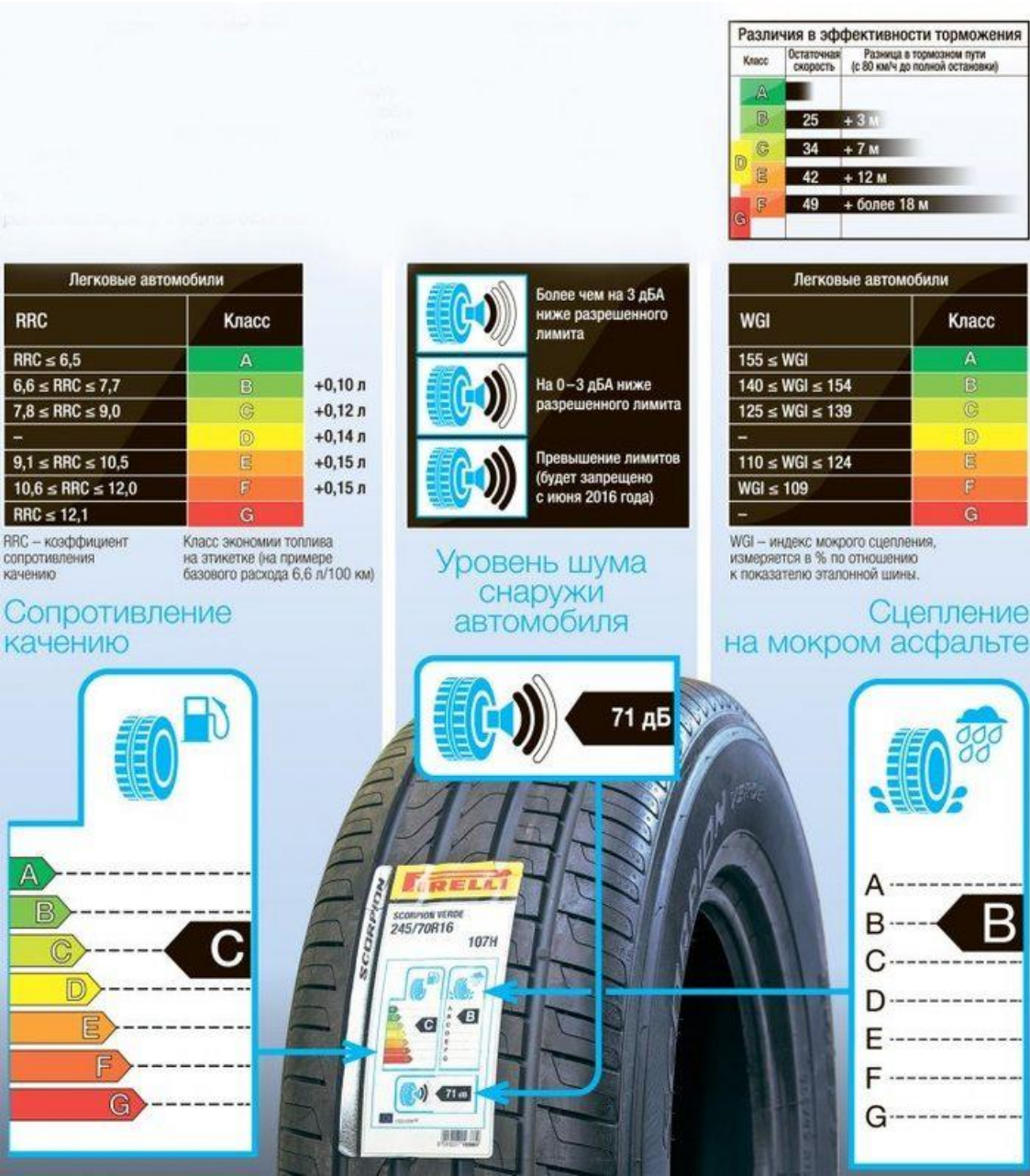


Рисунок 3.1 – Позначення експлуатаційних характеристик шин

Ретельний підхід до вибору шин для вантажних автомобілів, які є високопродуктивними транспортними засобами для перевезення вантажів, може допомогти зменшити витрати пального та викиди CO<sub>2</sub>, а також відповідати заявленим експлуатаційним характеристикам під час великих навантажень. У дослідженні параметрів шин використовувалися автомобілі з характеристиками, наведеними в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики легких вантажних автомобілів категорії  $N_1$

<b>Volkswagen Crafter (Фольцваген Крафтер) 2.0 TDI 2015 р.</b>	
Довжина x Ширина x Висота	6 940 x 1 993 x 2 705 мм
Колія передніх/задніх коліс	1 710/1 710 мм
Колісна база	4 325 мм
Допустима повна маса	3 000 кг
Споряджена маса	2 020 кг
Допустиме навантаження: передня/задня вісь	1 800 / 2 100 кг
<b>Двигун</b>	
Тип двигуна	Дизельний
Об'єм двигуна	1 968 см <sup>3</sup>
Потужність двигуна	140 к.с.
Оберти, макс.	3 600 об/хв
Максимальний крутний момент	340 Н•м
<b>Шини</b>	
Передня вісь	205/75 R16
Задня вісь	205/75 R16
Тиск в передніх шинах (повне завантаження) :	3.7 бар
Тиск в задніх шинах (повне завантаження) :	4.4 бар
<b>Ford Transit 6 (V347/8) 2.2 TDC 2009 р.в.</b>	
Довжина x Ширина x Висота	4 863 x 2 084 x 2 070 мм
Колія передніх/задніх коліс	1 950 / 1 950 мм
Колісна база	2 933 мм
Допустима повна маса	3 000 кг
Споряджена маса	1 633 кг
Допустиме навантаження: передня/задня вісь	1 367 / 1 450 кг
<b>Двигун</b>	
Тип двигуна	Дизельний
Об'єм двигуна	2 196 см <sup>3</sup>
Потужність двигуна	115 к.с.
Оберти, макс.	3 500 об/хв
Максимальний крутний момент	300 Н•м
<b>Шини</b>	
Передня вісь	195/75 R15
Задня вісь	195/75 R15
Тиск в передніх шинах (повне завантаження) :	3.7 бар
Тиск в задніх шинах (повне завантаження) :	4.2 бар

<b>FORD Transit 2.2 TDCi MT FWD 350 LWB</b>	
Довжина x Ширина x Висота	5 680 x 1 974 x 2 381 мм
Колія передніх/задніх коліс	1 732/1 742 мм
Колісна база	3300 мм
Допустима повна маса	3500 кг
Споряджена маса	1839
Допустиме навантаження: передня/задня вісь	1750/2250 кг
<b>Двигун</b>	
Тип двигуна	Дизельний
Об'єм двигуна	2198 см <sup>3</sup>
Потужність двигуна	115 к.с.
Оберти, макс.	3500 об/хв
Максимальний крутний момент	300 Н•м
<b>Шини</b>	
Передня вісь	195/70 R15
Задня вісь	195/70 R15
Тиск в передніх шинах (повне завантаження) :	3.7 бар
Тиск в задніх шинах (повне завантаження) :	4.3 бар

Геометричні параметри та механічні властивості колеса є важливими показниками його здатності витримувати високі навантаження під час транспортування. При високих навантаженнях змінюються значення еластичного радіуса колеса та істинного радіуса кочення.

Вільний радіус  $r_{ув}$  (половина діаметра шини без навантаження). Вільний радіус визначається шляхом вимірювання діаметра шини при номінальному внутрішньому тиску;

Статичний радіус  $r_{уст}$  (відстань від центру осі обертання нерухомого колеса до поверхні дороги при дії радіальних сил). Ця величина може бути визначена шляхом вимірювання або розрахована за рівняннями [7], [21]:

$$r_{н\delta} = 0,5d + \Delta\lambda_{\delta} B, \quad (3.1)$$

де  $d$  – діаметр шини в ободі, мм;

$\lambda_{зм}$  – коефіцієнт, що враховує деформування шини радіальною силою.

Даний коефіцієнт виведений експериментальним шляхом й становить 0,8 - 0,9;



$\Delta$  – відношення шини до ширини, мм.

Динамічний радіус кочення  $r_{шд}$  - (відстань від центру осі обертання ведучих коліс до поверхні дороги). Цей радіус визначається експериментально шляхом кочення автомобіля. Автомобіль ставлять на випробувальний трек на рівній і сухій поверхні. За допомогою штангенциркуля на протекторах передніх і задніх шин водоемульсійною фарбою наносяться лінії однакової висоти. Потім автомобіль проїжджає по випробувальному треку, поки колеса не зроблять 10 обертів і на кожній з передніх і задніх шин не з'являться по 10 слідів фарби. Потім вимірюється відстань  $n_k$ , пройдена автомобілем  $S$  між 1 і 10 відбитками фарби, для кожних 10 обертів коліс. Вимірювання проводяться при різних значеннях внутрішнього тиску [1], [14], [19].

Кінематичний радіус - радіус руху, тобто фактичний радіус кочення коліс  $r_{шк}$  (визначається відношенням швидкості транспортного засобу до кутової швидкості коліс).

### 3.3 Методика дослідження механічних властивостей шин легких вантажних автомобілів

На основі аналітичних рівнянь, отримано залежність зміни радіуса колеса від радіальної сили, а різниця між статичним і вільним радіусами відображає деформацію шини:

$$r_{шд} = r_a - h_z = r_a - \frac{R_z}{C_{ш}}, \quad (3.2)$$

де  $h_z$  – зминання шини в радіальному напрямі, м;

$R_z$  - реакція опори відповідної осі автомобіля, Н;

$C_{ш}$  - жорсткість шини, Н/м.

Нормальні реакції опори визначають аналітично з розрахунку ваги, що припадає на одне колесо фургона:

$$R_z = G_0/2, \quad (3.3)$$

де  $G_0$  – розрахункова сила ваги автомобіля, що припадає на кожну з осей, Н. Тоді жорсткість шини в радіальному напрямі визначається:

$$C_{\phi} = \frac{R_z}{r_a - r_{\text{н\ddot{o}}}}, \quad (3.4)$$

Механічні властивості шин залежать від їхнього матеріалу, конструкції та внутрішнього тиску.

Вільний радіус колеса вимірювався для кожної моделі фургона при номінальному тиску в шинах, рекомендованому виробником транспортного засобу. Потім за допомогою штангенциркуля вимірювали відстань від центру маточини до поверхні випробувального майданчика (рис. 3.2). Для різних значень внутрішнього тиску.



Рисунок 3.2 – Визначення статичного радіуса колеса

### 3.4 Методика дослідження коефіцієнта опору коченню

Паливна ефективність шини визначається коефіцієнтом опору коченню, який використовується для класифікації шин. Найпоширеніші шини на ринку сьогодні відносяться до класу С (за класифікацією ЄС А-Г). Наступний за

поширеністю клас - клас В. Випробування також показують, наскільки різні шини відрізняються за різними показниками, включаючи безпеку на дорозі. Експлуатаційні витрати - ще одна причина для детального вивчення шин, оскільки різниця в гальмівному шляху деяких шин може перевищувати 20 метрів. На опір коченню припадає 20% втрат крутного моменту, що генерується двигуном.

У зоні контакту між шиною та опорою автомобіль взаємодіє з дорожнім покриттям через пляму контакту. Коли автомобіль знаходиться в стані спокою, загальна сила реакції опори на дорожнє покриття, представлена еквівалентом, рухається по тій же осі, що і центр колеса. Коли колесо котиться під дією крутного моменту, сумарна сила реакції поверхні зміщується відносно центру колеса, оскільки шина стискається на певну величину.

Для визначення абсолютного значення коефіцієнта опору коченню шини проводять вимірювання в лабораторії за допомогою стандартних методів, але вони досить дорогі. Один з методів вимірювання опору коченню - це випробування автомобіля під час руху (вибіг). Інший метод полягає у використанні тягового пристрою, оснащеного динамометром. У цьому випадку транспортний засіб переміщують з певною поздовжньою силою  $P_x$  і розраховують її значення:

$$P_x = \frac{a}{r} Z, \quad (3.5)$$

де  $a$  - зміщення сумарної рівнодійної реакції опори.

Аналітичним шляхом момент і силу опору коченню ( $P_x = f \cdot Z$ ) розраховують:

$$M_k = P_k r = f Z r, \quad (3.7)$$

Оскільки поздовжня сила тяги  $P_x$  відображається динамометром, то силу опору коченню розраховують:

$$P_x = f_1 Z_1 + f_2 Z_2, \quad (3.8)$$

де  $f_{1,2}$  КОК передніх і задніх коліс.

Враховуючи технологічний розвиток та широке використання інформаційних систем, дослідження коефіцієнтів опору коченню за допомогою коливань транспортного засобу стало набагато доступнішим. Відповідно до запропонованої методики, фургон розганяється до заданого значення швидкості і після проходження контрольної точки входить в рух кочення; оскільки опір повітря незначний на швидкостях до 60 км/год, для подолання опору кочення використовується інерційна енергія транспортного засобу. Сучасне телеметричне обладнання дозволяє з достатньою точністю вимірювати швидкість, відстань і час проходження транспортним засобом ділянки шляху. Відповідно до запропонованих в літературі залежностей, значення коефіцієнта опору коченню  $f$  можна отримати з рівнянь 3.9 та 3.10:

$$f = \frac{1,05 \left( \frac{V}{3,6} \right)^2}{2gS}, \quad (3.9)$$

де  $S$  – експериментально встановлена довжина ділянки вибігу автомобіля, м;

$V$  – контрольна швидкість автомобіля.

Для отримання більш точних значень коефіцієнта опору коченню коефіцієнт опору коченню розраховують різними способами і уточнюють шляхом усереднення отриманих даних. Альтернативні методи розрахунку коефіцієнта опору коченню:

$$f = f_0 \left( 1 + \frac{V^2 a}{20000} \right) \quad (3.10)$$

Для випробувань було обрано відремонтоване асфальтове покриття. Тестова ділянка була розташована на вулиці Галицькій у північній частині Львова. За допомогою діагностичного сканера ELM 327 та програмного забезпечення, підключеного до навігаційної системи, здійснювався рух автомобіля та фіксувалися його характеристики і режим руху. Рух здійснювався при різних значеннях тиску в шинах і контрольованих швидкостях 10, 15 і 20 км/год [1], [9], [15].

### 3.5 Обладнання для визначення параметрів руху автомобіля

Під бортовою системою діагностики автомобіля розуміється його інтегрована здатність контролювати роботу і стан найважливіших систем автомобіля. Перше покоління діагностичних систем OBD-I, а пізніше OBD-II було запроваджено SAE для моніторингу роботи двигуна: Система OBD-II має стандартний діагностичний роз'єм і використовує стандартні протоколи електричної сигналізації та передачі даних; OBD-II використовує один з п'яти протоколів передачі даних для отримання діагностичної інформації за допомогою одного сканера: SAEJ1860PWM, SAEJ1860VPW, ISO 15775-4/SAE J2485CAN, ISO9441-2, ISO14235-4KWP2005.

Діагностичний сканер зв'язується з ECM автомобіля і забезпечує доступ до приблизно 300 діагностичних індикаторів. Крім діагностичних кодів несправностей, через роз'єм для передачі даних можна отримати доступ до системних даних автомобіля за стандартом OBD-II. Це дозволяє передавати дані систем автомобіля в режимі реального часу, а також зберігати їх у вигляді зібраних даних (LOG-файлів). За допомогою чіпа Elm-327 можна зберігати такі дані, як частота обертання колінчастого валу двигуна, миттєва середня витрата палива, споживання енергії, прискорення автомобіля, пройдена відстань, температура рідини, викиди двигуна, витрати газу тощо.

Синхронізувавши чіп Elm-327 з пристроєм на базі Android, його можна використовувати як трекер для онлайн-моніторингу та дистанційної діагностики. Апаратно-програмні модулі отримують дані від електронного блоку управління та бортового комп'ютера автомобіля [1], [9].

Наявність модулів передачі радіосигналів GPS та GSM дозволяє здійснювати відстеження та візуалізацію з прив'язкою до електронних карт, таких як OpenStreetMaps, VisicomMap, Google Maps та Google Earth. Пристрої для відстеження транспортних засобів можуть використовувати програмні функції, підключення до Інтернету і геолокацію для збору, зберігання і передачі даних користувачеві.

Для запису параметрів руху автомобіля використовувалося діагностичне програмне забезпечення Torque Pro, синхронізоване зі сканером Elm-327, інтернетом і системою супутникової навігації GPS (рис. 3.3 і 3.4).



Рисунок 3.3 – Діагностичний сканер Elm-327

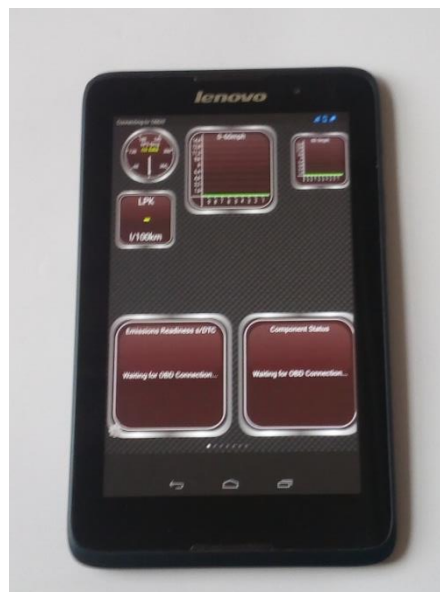


Рисунок 3.4 – Обладнання для реєстрації параметрів руху  
автомобіля

Щоб увімкнути вибрані профілі для кожного транспортного засобу в журналах і завданнях, виберіть "Журнали і завантаження" в меню конфігурації

і виберіть необхідну кількість параметрів, що зберігаються. Для відображення пересування транспортних засобів на карті, виберіть "Перегляд карти" в контекстному меню. Контрольні мітки зберігають вибрані параметри системи транспортного засобу, які можна використовувати для поточного відображення і для збереження в архіві подорожі. При необхідності програма дозволяє побачити залежності між параметром на осі X та іншим параметром на осі Y у вигляді графіка.

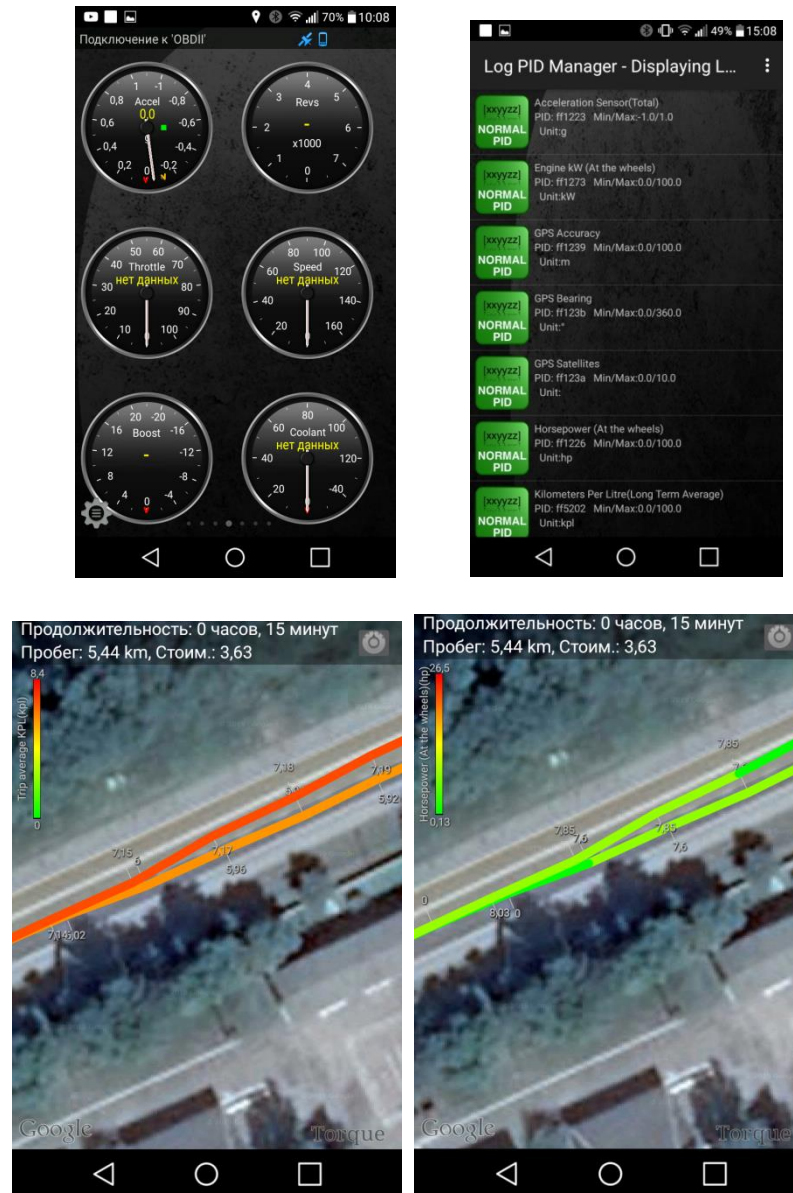


Рисунок 3.5 – Програма для реєстрації параметрів руху автомобіля

Кожен проїзд автомобіля фіксувався трекером за допомогою сканера Elm-327, а відповідний LOG-файл з параметрами руху зберігався на накопичувачі.

## **Висновки за розділом**

1. Проаналізовано методи дослідження радіуса пружного колеса при різних значеннях внутрішнього тиску в колесі з накачаними шинами, механічних властивостей шини та коефіцієнта опору коченню

2. Розроблено програмно-апаратні модулі на базі мікросхеми Elm-327 та програмного забезпечення Torque Pro, проведено реєстрацію даних про кінематичні параметри транспортного засобу та роботу системи.



## РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 4.1 Результати досліджень статичного та динамічного радіуса колеса

Шини для легких комерційних автомобілів повинні витримувати високі навантаження, зберігаючи при цьому комфорт їзди та шумові характеристики. Витрата палива, що визначається опором коченню, та екологічна ефективність шин також є дуже важливими сьогодні, і все більше виробників та споживачів звертають увагу на ці якості. Однак ці характеристики можуть бути оптимізовані лише в рамках ключових експлуатаційних характеристик, таких як керуваність, гальмування, зчеплення на сухій, мокрій та засніженій дорозі.

Іншою важливою характеристикою шин є їхня здатність витримувати високі навантаження, що виникають під час вантажних перевезень. Під впливом високих навантажень на вісь шини змінюють свої геометричні розміри в дуже широкому діапазоні. Це призводить до збільшення деформації шини, погіршення експлуатаційних характеристик і терміну служби. У цьому дослідженні були виміряні наступні моделі шин, рекомендовані виробниками транспортних засобів.

- ✓ Volkswagen Crafter (Фольцваген Крафтер) 2.0 TDI 2015 р. з шинами **Michelin Agilis Alpin 205/75 R16C 110/108R**;
- ✓ Ford Transit 6 (V347/8) 2.2 TDC 2009 р.в.. з шинами **Continental ContiWinterContact TS 760 175/55 R15 106/104T**
- ✓ FORD Transit 2.2 TDCi MT FWD 350 LWB з шинами **Matador Van Nordicca 195/70 R15C 104/102R**

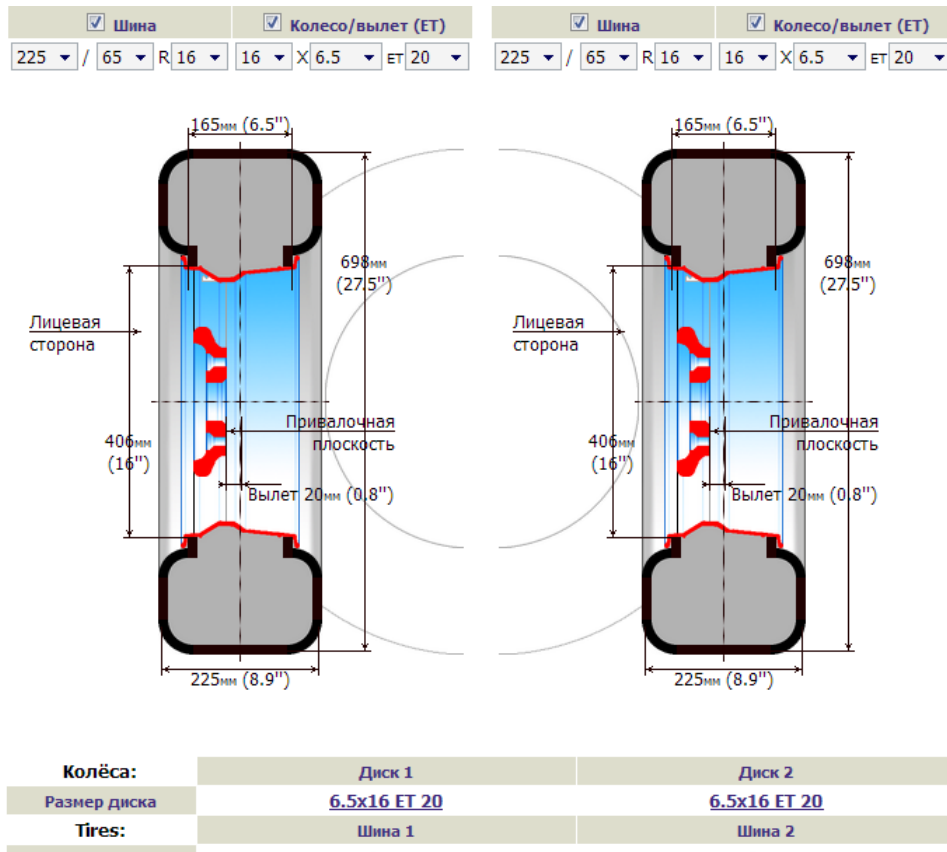


Рисунок 4.1 – Розрахунок вільного радіуса колеса з використанням програмного забезпечення для підбору параметрів шин

Рекомендований виробниками внутрішній тиск у шинах передньої осі вказаних автомобілів становить 3,7 бар. Вимірювання вільного (рис 4.1) і статичного радіуса проводились для шин тільки передньої осі, розподіл спорядженої маси по осях у відсотковому співвідношенні прийнято 61/39, результати наведено у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Результати замірів вільного і статичного радіуса колеса

№ п/п	Внутрішній тиск у шині, МПа	Радіус ненавантаженого колеса $r_0$ , мм	Радіальне навантаження на колесо передньої осі $R_z$ , Н	Статичний радіус навантаженого колеса $r_{cm}$ , мм
1	2	3	4	5
<b>Volkswagen Crafter (Фольцваген Крафтер) 2.0 TDI 2015 р. з шинами Michelin Agilis Alpin 205/75 R16C 110/108R</b>				
1	0,38	350	5985	333
2	0,36	350	5985	332
3	0,34	348	5985	328

продовження таблиці 4.1

4	0,32	348	5985	326
5	0,3	348	5985	325
<b>Ford Transit 6 (V347/8) 2.2 TDC 2009 р.в.. з шинами Continental ContiWinterContact TS 760 175/55 R15 106/104T</b>				
1	0,38	344	5690	327
2	0,36	343	5690	325
3	0,34	343	5690	323
4	0,32	342	5690	319
5	0,3	342	5690	315
<b>FORD Transit 2.2 TDCi MT FWD 350 LWB з шинами Matador Van Nordicca 195/70 R15C 104/102R</b>				
1	0,38	327	5520	309
2	0,36	326	5520	305
3	0,34	322	5520	301
4	0,32	319	5520	296
5	0,3	317	5520	292

Аналізуючи отримані під час вимірювань дані (табл. 4.1) можна стверджувати, що механічна жорсткість шин передбачувано зростає зі збільшенням внутрішнього тиску. Найкращу стійкість до змінання демонструють шини Michelin Agilis Alpin 205/75 R16C 110/108R з найвищим індексом навантаження - 110/108R, при цьому вільний радіус становить 350 мм, а за навантаження 5985 Н – зменшується до 333 мм. Найнижчі характеристики демонструє шина Matador Van Nordicca 195/70 R15C 104/102R за навантаження 5520 Н та внутрішнього тиску 0,3 МПа деформується на 29 мм від свого початкового значення.

Стабільність експлуатаційних характеристик автомобіля-це його здатність підтримувати зв'язок між шиною і дорогою, вона повинна бути досить міцною, щоб витримувати серйозні навантаження. Тим не менш, шина повинна поглинати деякі удари і вібрації від ударів по дорозі і не повинна бути

занадто жорсткою. Оскільки тяговий момент не прикладається до колеса під час випробування (крен автомобіля), відрегулюйте значення динамічного радіуса колеса, відповідне його фактичному радіусу крену. За допомогою таких даних ви можете отримати точні дані про пройдену транспортним засобом відстані і фактичної швидкості в порівнянні з показаннями спідометра. Використовуйте шини різних типів і тиск в них. Динамічний (фактичний радіус кочення) радіус зміни колеса при навантаженні на шину, внутрішньому тиску і конструктивних особливостях.

Таблиця 4.2 – Результати дослідження динамічного радіуса (дійсного радіуса кочення) колеса

№ п/п	Внутрішній тиск шини, МПа	Передня вісь автомобіля		
		Шлях пройдений колесом $S_k$ , м	К-сть обертів колеса $n_k$	Динамічний радіус колеса $r_d$ , мм
<b>Volkswagen Crafter (Фольцваген Крафтер) 2.0 TDI 2015 р. з шинами Michelin Agilis Alpin 205/75 R16C 110/108R</b>				
1	0,38	20,86	10	332
2	0,36	20,68	10	329
3	0,34	20,64	10	329
4	0,32	20,54	10	327
5	0,3	20,52	10	327
<b>Ford Transit 6 (V347/8) 2.2 TDC 2009 р.в. з шинами Continental ContiWinterContact TS 760 175/55 R15 106/104T</b>				
1	0,38	20,43	10	325
2	0,36	20,4	10	325
3	0,34	20,31	10	323
4	0,32	19,22	10	306
5	0,3	19,03	10	303

<b>FORD Transit 2.2 TDCi MT FWD 350 LWB з шинами Matador Van Nordicca 195/70 R15C 104/102R</b>				
1	0,38	19,35	10	308
2	0,36	19,23	10	306
3	0,34	19,18	10	305
4	0,32	19,18	10	305
5	0,3	18,96	10	302

Аналізуючи дані наведені у таблицях 4.1 та 4.2 можна стверджувати, що статичний та динамічний колеса кожного із досліджуваних автомобілів є приблизно рівними ( $r_d = r_{cm}$ ), або меншим за загальним сумарним відношенням приблизно на 1,5%.

#### **4.2 Результати досліджень статичної жорсткості шини**

Здатність шини протистояти деформації є одним з важливих параметрів, що визначаються її жорсткістю. Для отримання даних про поведінку колеса в напруженому стані під дією радіальних статичних сил проводиться стендове дослідження, при якому шина навантажується і вимірюється її деформація. Статична жорсткість завантаженої шини визначається її пружними властивостями (середнє значення при навантаженні і розвантаженні). Лабораторні вимірювання більш точні з точки зору властивостей матеріалу, але якщо ви безпосередньо вимірюєте деформацію транспортного засобу, поведінка коліс відтворюється практично в реальних умовах. Дані про дослідження статичної жорсткості шин представлені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Статична жорсткість пневматичної шини

№ п/п	Внутрішній тиск у шині, МПа	Радіус ненавантаженого колеса $r_0$ , мм	Радіальне навантаження на колесо передньої осі $R_z$ , Н	Статичний радіус навантаженого колеса $r_{cm}$ , мм	Радіальна жорсткість шини $C_{ш}$ , Н/мм
1	2	3	4	5	
<b>Volkswagen Crafter (Фольцваген Крафтер) 2.0 TDI 2015 р. з шинами Michelin Agilis Alpin 205/75 R16C 110/108R</b>					
1	0,38	350	5985	333	352,06
2	0,36	350	5985	332	332,50
3	0,34	348	5985	328	299,25
4	0,32	348	5985	326	272,05
5	0,3	348	5985	325	260,22
<b>Ford Transit 6 (V347/8) 2.2 TDC 2009 р.в. з шинами Continental ContiWinterContact TS 760 175/55 R15 106/104T</b>					
1	0,38	344	5690	327	334,71
2	0,36	343	5690	325	316,11
3	0,34	343	5690	323	284,50
4	0,32	342	5690	319	247,39
5	0,3	342	5690	315	210,74
<b>FORD Transit 2.2 TDCi MT FWD 350 LWB з шинами Matador Van Nordicca 195/70 R15C 104/102R</b>					
1	0,38	327	5520	309	306,67
2	0,36	326	5520	305	262,86
3	0,34	322	5520	301	262,86
4	0,32	319	5520	296	240,00
5	0,3	317	5520	292	220,80

Як видно з результатів наведених у таблиці 4.3 радіальна жорсткість  $C_{ш}$  збільшується відповідно до зростання індексів навантаження, які зазначають виробники у маркуванні шин на боковині. Найвищими показниками статичної жорсткості володіють шини Michelin Agilis Alpin 205/75 R16C 110/108R  $C_{ш} = 352,06...260,22$  Н/мм, наступними за жорсткістю є шини Continental

ContiWinterContact TS 760 175/55 R15 106/104T  $C_{in} = 334,71 \dots 210,74$  Н/мм,  
 Matador Van Nordicca 195/70 R15C 104/102R  $C_{in} = 306,67 \dots 220,80$  Н/мм.

### **4.3 Результати досліджень коефіцієнта опору коченню колеса методом вибігу**

Фізичний зміст і механізм явища зчеплення шини з дорогою засновані на гістерезисних властивостях гуми, її здатності повільно відновлювати первісну форму після навантаження. В результаті ремінь протектора покриває нерівності дороги і стійкий до ковзання. Через гістерезис молекулярний зв'язок посилюється, що неминуче призводить до великих втрат енергії, тому збільшення сили зв'язку значно збільшує опір коченню колеса. Резистори зчеплення і кочення володіють гістерезисними властивостями, що втрачають енергію, але механізм їх застосування трохи відрізняється.

Навантаження на шину під час обертання деформує шину як в області, так і в товщині області контакту. Змінання конструкції шини по периметру точки контакту створює опір коченню і втрати енергії. Таким чином, мінімізація деформації шин і підвищення контактного зчеплення є проблемою для вчених і розробників шин.

Кількість енергії, що витрачається на постійну деформацію шини:

( $E = V h A F_r$ , де  $V$ -об'єм деформованої гуми,  $H$ -гістерезис гуми, амплітуда деформації і  $f_r$ -частота розтягування). Зім'яті шини завжди дають значення  $f - 0,006, 0,015$  (тобто 6-15 кг / т).

Деформація шини в зоні зчеплення відбувається з частотою 103 1009 Гц, а деформація шини через обертання становить 1 16 Гц в секунду, тобто 16 Гц при швидкості 95 100 км/ч. використання вуглецевих компонентів у виробництві шин значно знизило вібрацію на низьких частотах в області контакту і знизило опір коченню на 20%. Це забезпечує хороші характеристики шин як по зчепленню, так і по опору коченню. Опір коченню шини варіюється в дуже широкому діапазоні і залежить від багатьох

конструктивних і експлуатаційних параметрів шини, а також від типу дорожнього покриття.

У цій магістерській роботі аналітична модель використовується для розрахунку коефіцієнта опору коченню шин на основі вимірювання биття при різних робочих параметрах автомобіля. (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 – Результати досліджень вибігу автомобіля та коефіцієнта опору коченню шин

№ п/п	Внутрішній тиск у шині, МПа	Контрольна швидкість автомобіля $V_a$ , км/год	Відстань вибігу $S$ , м	Розрахункове значення коефіцієнта опору коченню $f$
<b>Volkswagen Crafter (Фольцваген Крафтер) 2.0 TDI 2015 р. з шинами Michelin Agilis Alpin 205/75 R16C 110/108R</b>				
1	0,37	10	38,15	0,01082
		15	78,16	0,01189
		20	146,25	0,01129
2	0,33	10	35,8	0,01153
		15	74,12	0,01254
		20	142,03	0,01163
3	0,29	10	30,97	0,01333
		15	73,7	0,01261
		20	132,21	0,01249
<b>Ford Transit 6 (V347/8) 2.2 TDC 2009 р.в.. з шинами Continental ContiWinterContact TS 760 175/55 R15 106/104T</b>				
1	0,37	10	37,65	0,01097
		15	77,14	0,01204
		20	144,35	0,01144
2	0,33	10	35,33	0,01169
		15	73,16	0,01270
		20	140,18	0,01178
3	0,29	10	30,57	0,01351
		15	72,74	0,01277
		20	130,49	0,01266

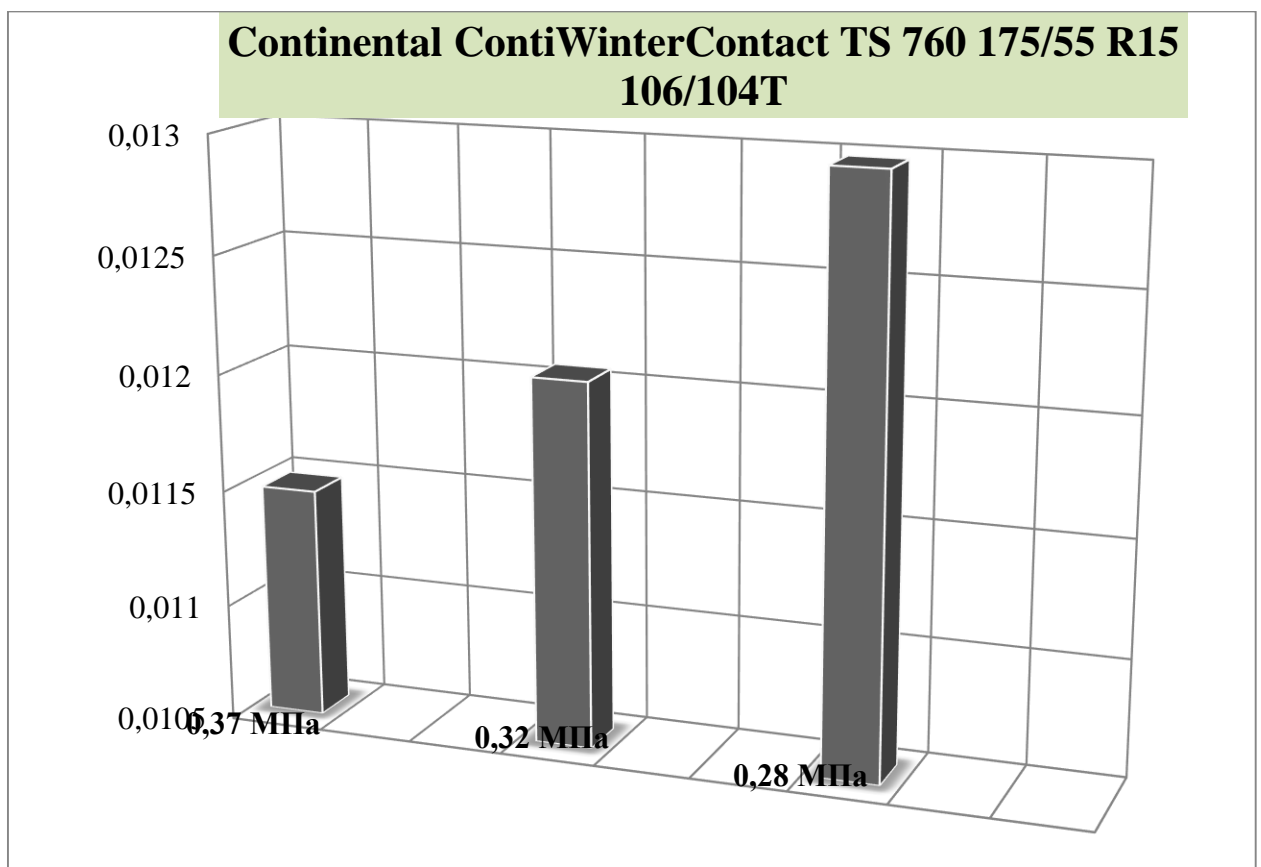
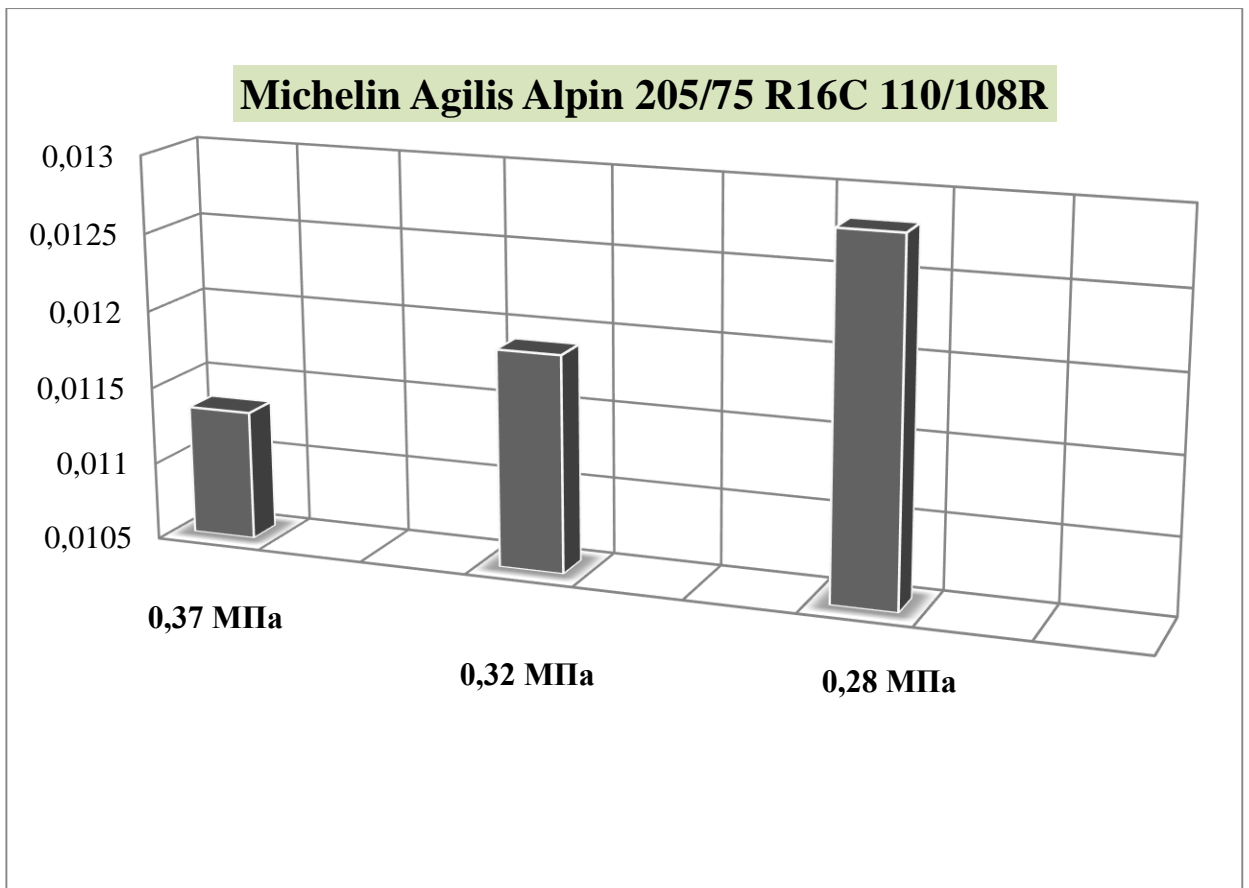


<b>FORD Transit 2.2 TDCi MT FWD 350 LWB з шинами Matador Van Nordicca 195/70 R15C 104/102R</b>				
1	0,37	10	36,44	0,01133
		15	75,82	0,01225
		20	132,10	0,01250
2	0,33	10	34,73	0,01189
		15	71,90	0,01292
		20	124,00	0,01332
3	0,29	10	30,57	0,01351
		15	71,73	0,01295
		20	124,43	0,01327

Згідно отриманих даних випробувань та проведених розрахунків найнижче значення коефіцієнта опору коченню притаманне шині Michelin Agilis Alpin 205/75 R16C 110/108R. Найменше дослідне значення коефіцієнта опору коченню  $f = 0,01082$  за внутрішнього тиску 0,37 МПа та швидкості руху автомобіля 10 км/год. Найбільше значення коефіцієнта опору коченню для даної шини  $f = 0,01333$  спостерігалось за внутрішнього тиску 0,29 МПа та швидкості руху автомобіля 10 км/год.

Найгірші показники коефіцієнта опору коченню для Matador Van Nordicca 195/70 R15C 104/102R, середнє значення  $f = 0,01266$ .

Зміна значень коефіцієнта опору коченню для кожної моделі шин відображено на рисунку 4.2. Гістограми відображають значення КОК для різних значень тиску в шині та швидкості вибігу автомобілів.



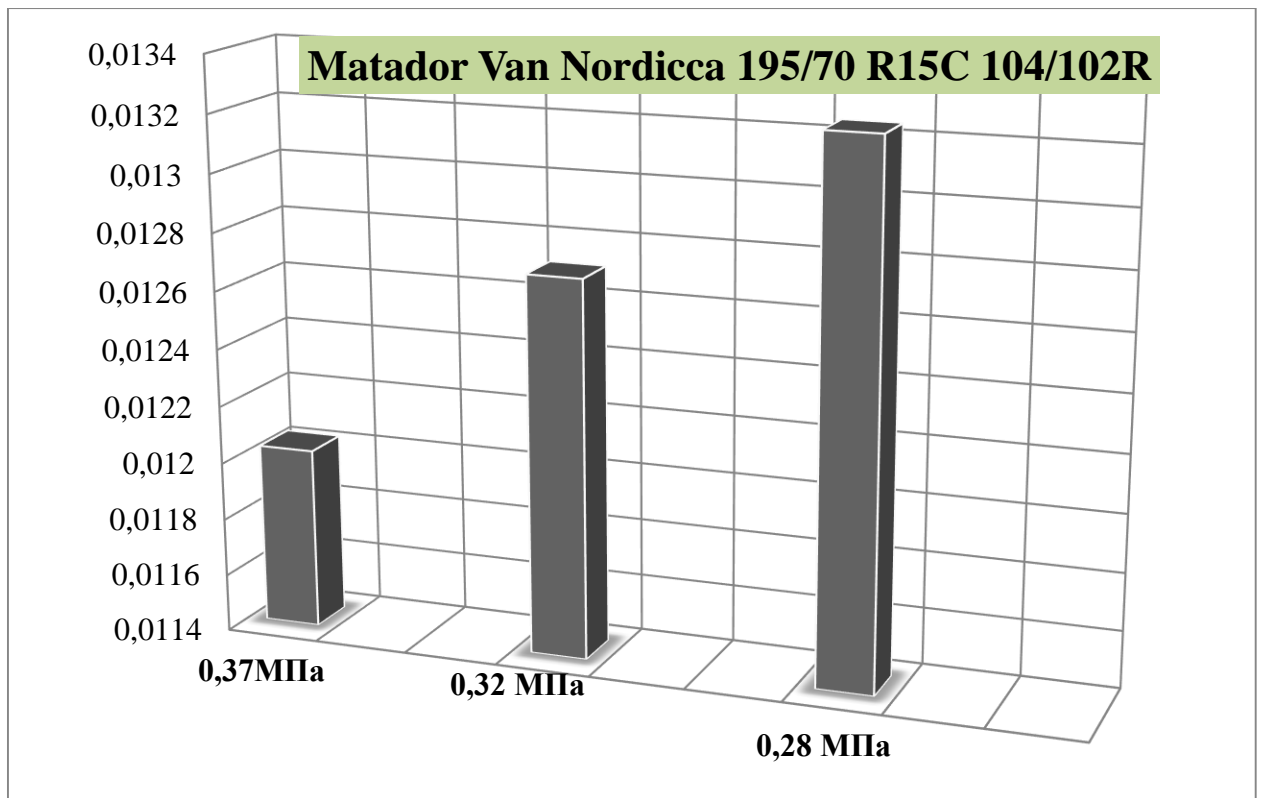


Рисунок 4.2 – Значення коефіцієнта опору коченню  $f$  залежно від експлуатаційних параметрів автомобілів

Для отримання більш точних і надійних вихідних даних для визначення опору коченню і паливної економичності використовувалися апаратні і програмні модулі, що зчитують дані в реальному часі з автомобільних електронних блоків управління, датчиків і датчиків за допомогою діагностичного сканера elm-327. Однією з функцій Програми TorquePro є можливість зчитувати і запам'ятовувати характеристики системи автомобіля на певній частоті. У меню програми Виберіть грудень зчитування даних, який може становити 0,1 секунди, і програма запише індикатор системи діагностики автомобіля. При необхідності ви можете вказати частоту обертання двигуна, споживану потужність, витрата палива, пробіг, тимчасову швидкість і т.д. Виберіть параметри і індикатори зчитування. Всі ці індикатори зберігаються у файлі формату "csv" або " kml". Перший тип файлу дозволяє отримати докладний список показників ефективності системи автомобіля за певний грудень сканування. Це дозволяє використовувати об'ємну послідовність для дуже точного визначення руху транспортного засобу на



E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD
1	GPS Spee	Horizont	Altitude	Bearing	Engine K	GPS Accu	GPS Sate	Horsepow	Kilomete	Litres Pe	Torque	(ft Trip aver	Trip aver	Trip aver	Trip Dist	Trip dist	Trip Time	Trip time	Trip time	Voltage	Fuel flow	Miles Pe	CO <sub>2</sub> , in g	CO <sub>2</sub> , in g	Miles Per
2	0	20	128,4	0	-	20	-	5	-	7,14737	13,9909	-	2,06172	48,5023	5,82406	0,00578	29,8668	6	6,389	0	14,9	23,6104	20,1903	-	1,99405
3	0	20	158	0	-	20	-	5	-	7,14737	13,9909	-	2,06172	48,5023	5,82406	0,00578	29,8668	7	6,474	0,843	15	24,347	20,1903	-	0
4	0	20	210,4	0	-	20	0	6	-	7,14647	13,9926	-	1,87587	53,3074	5,29908	0,00578	29,8668	9	6,794	2,518	15	74,3438	20,1878	-	0,63328
5	0	20	215,7	0	1,3905	20	0	6	1,86469	7,14575	13,994	7,53917	1,80994	55,2493	5,11283	0,00692	29,8668	10	7,808	2,518	15	61,4607	20,1857	-	3,06408
6	0	20	222,9	0	3,69105	20	0	7	4,94978	7,14506	13,9954	22,0681	1,70776	56,4716	5,00216	0,00842	29,8694	11	8,837	2,518	15	67,7404	20,1838	-	6,25508
7	0	20	225,5	0	3,69105	20	0	7	4,94978	7,14451	13,9965	22,0681	1,82288	54,8572	5,14937	0,01086	29,8719	12	9,749	2,518	15	63,0512	20,1822	-	8,21367
8	0	20	225,5	0	2,84483	20	0	7	3,81499	7,14412	13,9972	12,8934	1,95759	51,0821	5,52992	0,01502	29,876	13	10,834	2,518	15	48,1816	20,1811	-	11,7257
9	0	20	227,3	0	2,84483	20	0	7	3,81499	7,14377	13,9979	12,8934	2,09932	47,6334	5,93029	0,0174	29,8784	14	11,801	2,518	14,9	49,451	20,1801	-	10,4726
10	0	20	229	0	2,84483	20	0	8	3,81499	7,14335	13,9987	12,8934	2,18828	45,697	6,18159	0,02067	29,8817	15	12,797	2,518	15	52,6516	20,179	-	9,83601
11	0	20	230,3	0	1,14818	20	0	8	1,53974	7,14291	13,9996	5,01345	2,256	44,3253	6,37288	0,02433	29,8854	16	13,78	2,518	15	54,9948	20,1777	-	10,273
12	0	20	229,8	0	1,14818	20	0	8	1,53974	7,14249	14,0004	5,01345	3,24204	43,0277	6,56508	0,0275	29,8885	17	14,816	2,518	15	51,3945	20,1765	-	10,9926
13	0	20	229,3	0	1,14818	20	0	8	1,53974	7,14213	14,0011	5,01345	2,41215	41,456	6,81397	0,0306	29,8916	18	15,665	2,518	15	48,5178	20,1755	-	11,6444
14	0	10	229,4	0	1,14818	10	0	8	1,53974	7,14177	14,0018	5,01345	2,49208	40,1263	7,03976	0,03373	29,8948	19	16,743	2,518	15	51,3305	20,1745	-	10,0892
15	0	10	229,7	341,45	-	10	341,45	9	-	7,14133	14,0027	-	2,53696	39,4165	7,16655	0,03727	29,8983	20	17,823	2,518	15	53,3177	20,1733	-	9,71314
16	0	10	230,2	341,45	-	10	341,45	9	-	7,14096	14,0034	-	2,60111	38,4444	7,34776	0,04018	29,9012	21	18,846	2,518	15	32,445	20,1722	-	15,9619
17	0	10	230,8	14,42	-	10	14,42	9	-	7,14088	14,0036	-	2,76044	36,2254	7,79784	0,04212	29,9032	22	19,849	2,518	15	26,0518	20,172	-	16,2646
18	0	10	231,3	17,68	-	10	17,68	9	-	7,14067	14,004	-	2,86352	34,9213	8,08905	0,04421	29,9052	23	20,876	2,518	14,9	25,0866	20,1714	-	13,137
19	0	10	232	21,4	-	10	21,4	9	-	7,14022	14,0049	-	2,88418	34,6711	8,14741	0,04578	29,9068	24	21,824	2,518	15	24,2946	20,1701	-	7,75155
20	0	10	232,9	25,76	-	10	25,76	9	-	7,13963	14,006	-	2,85569	35,0171	8,06692	0,04679	29,9078	25	22,8	2,518	15	23,6424	20,1684	-	5,97404
21	3,87462	10	233,8	10,18	-	10	10,18	9	-	7,13895	14,0074	-	2,80381	35,665	7,92037	0,04679	29,9078	26	23,378	2,98	14,9	28,5849	20,1665	-	0
22	3,0908	10	234,5	5,98	-	10	5,98	9	-	7,13891	14,0074	-	2,79921	35,7237	7,90736	0,04679	29,9078	27	23,378	3,884	14,9	60,1614	20,1664	-	0
23	2,32366	10	235,1	294,19	0,08122	10	294,19	9	0,10892	7,1381	14,009	0,42979	2,71546	36,8255	7,67078	0,04679	29,9078	28	24,229	4,093	14,9	58,1306	20,1641	-	0,8099
24	3,78012	10	235,6	272,16	2,11399	10	272,16	9	2,8349	7,1374	14,0104	12,902	2,66529	37,5186	7,52906	0,04832	29,9093	29	25,128	4,093	15	57,4602	20,1621	-	3,27741
25	3,7653	10	236,3	303,82	1,60334	10	303,82	9	2,15011	7,13674	14,0117	9,65985	2,63227	37,9893	7,43579	0,05042	29,9114	30	26,207	4,093	15	62,1603	20,1603	-	4,5444
26	3,9228	10	238,1	323,95	1,60334	10	323,95	9	2,15011	7,13623	14,0127	9,65985	2,63696	37,9217	7,44904	0,05286	29,9139	31	27,128	4,093	15	59,7989	20,1588	-	7,87308
27	5,80545	10	239,9	18,73	1,02783	10	18,73	9	1,37834	7,13582	14,0135	5,11955	2,66599	37,5087	7,53104	0,05614	29,9172	32	28,309	4,093	15	45,9891	20,1577	-	10,2372
28	8,68686	10	241,3	5,23	1,02783	10	5,23	9	1,37834	7,13536	14,0144	5,11955	2,68375	37,2606	7,5812	0,05789	29,9189	33	29,209	4,093	15	50,6972	20,1564	-	9,28654
29	9,40953	10	242	357,34	1,11157	10	357,34	9	1,49064	7,13536	14,0144	5,27196	2,68375	37,2606	7,5812	0,06135	29,9224	34	30,093	4,093	15	50,8042	20,1564	-	10,1937
30	9,19273	10	243	341,77	1,11157	10	341,77	9	1,49064	7,13494	14,0152	5,27196	2,70808	36,9257	7,64996	0,06503	29,9261	35	31,299	4,093	15	28,0913	20,1552	-	18,4356
31	8,94628	10	243,8	343,91	1,11157	10	343,91	9	1,49064	7,13485	14,0154	5,27196	2,80745	35,6187	7,93066	0,06631	29,9273	36	32,179	4,093	15	32,552	20,1549	-	14,4631
32	9,02226	10	245,4	352,26	-	10	352,26	9	-	7,13449	14,0161	-	2,83975	35,2136	8,0219	0,07021	29,9312	37	33,253	4,093	14,9	37,1756	20,1539	-	11,3978

Рисунок 4.4 – «CSV» файл, що відображає роботу систем автомобіля під час руху

Крім того, запропонований метод відстеження руху транспортного засобу в режимі реального часу дозволяє проводити віддалену діагностику транспортного засобу і є відносно простою альтернативою дорогим онлайн-сервісів.

## Висновки за розділом

1. Найвищу деформаційну стійкість отримано під час випробування шин Michelin Agilis Alpin 205/75 R16C 110/108R з найвищим індексом навантаження - 110/108R. При цьому вільний радіус становить близько 350 мм, а під навантаженням 5990Н – 333 мм. Найнижчі механічні характеристики демонструє шина Matador Van Nordicca 195/70 R15C 104/102R за навантаження 5505Н і тиску 0,3 МПа в наслідок чого деформується 29 мм від початкового радіуса.

2. Статична (радіальна) жорсткість шин  $C_{ui}$  збільшується відповідно до зростання індексів навантаження. Встановлено, що у шини Michelin Agilis

Alpin 205/75 R16C 110/108R жорсткість шини змінюється у діапазоні 352,06...260,22 Н/мм; Continental ContiWinterContact TS 760 175/55 R15 106/104T  $C_{uw} = 334,71 - 210,74$  Н/мм; Matador Van Nordicca 195/70 R15C 104/102R  $C_{uw} = 306,67 - 220,80$  Н/мм.

3. Найнижче значення коефіцієнта опору коченню, а відповідно й найкраща паливна економічність шини  $f = 0,01082$  за внутрішнього тиску 0,37 МПа та швидкості руху автомобіля 10 км/год демонструє шина Michelin Agilis Alpin 205/75 R16C 110/108R. Найгірші показники коефіцієнта опору коченню для шини Matador Van Nordicca 195/70 R15C 104/102R з середнім значенням  $f = 0,012662$ .

## РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1. Моделювання травмонебезпечних ситуацій на виробництві

В умовах постійної інтенсифікації виробничих процесів, підвищення продуктивності та матеріального зиску життя та здоров'я людини залишається найвищою цінністю. Однак в умовах інтенсивного виробництва зростає загроза виникнення загрозливих життю людини ситуацій, аварій. Надзвичайні події виробничого та невиробничого є подіями випадковими, але їх виникнення є закономірним в разі недотримання вимог з техніки безпеки та охорони праці. Виникнення аварійних ситуацій та виробничого травматизму відбувається лише за сприятливих передумов - початкових подій, що мають чітку логічну послідовність. Робота у небезпечних умовах використання предметів та засобів підвищеної небезпеки недотримання правил пожежної, трудової дисципліни, вимог з охорони праці, особистої гігієни ведуть до непередбачуваних наслідків [15], [18].

Поява небезпечної або позаштатної ситуації відбувається у випадках коли для цього настають сприятливі умови, тобто передумови - "початкові події", які можуть відбуватись та розвиватись до певного рівня. Під час взаємодії системи «людина↔машина» дуже часто виникають ситуації небезпечного характеру. Тому дуже важливо вчасно та якісно оцінити небезпечні чинники та фактори та можливість їх впливу на аварійність і травматизму.

Навіть дуже малоймовірні або небезпечні чинники необхідно враховувати та відзначити їх як небезпечні умови «НУ» поведінка працівника яка виходить за межі встановлених норм та приписів трудової поведінки відзначають як небезпечна дія «НД» За сприятливих умов - небезпечних обставин «НО» виникає можливість появи небезпечної, або аварійної ситуації. За ступенем небезпеки виділяють аварії «А» або ж виробничі травми «Т», а поява небезпечної ситуації описується логіко-імітаційною моделлю. Така

схема відображає поєднання, черговість та взаємозв'язок випадкових подій, що описуються певними статистичними залежностями. Дуже часто сукупність випадкових статистично залежних подій мають одночасну розгалужену багатофакторну структуру.

Тому під час проведення технічної експертизи, або контролю за станом об'єктів необхідно якнайдетальніше врахувати небезпечні фактори, джерела умови й дії та врахувати їх поєднання та взаємозв'язок кожної «НУ» і можливі наслідки розвитку «НС». Ретельний підхід до вивчення та заходів щодо усунення «НУ» і чинників дозволяє уникнути появи та наслідків надзвичайних ситуацій. [8].

Надзвичайні ситуації на виробництвах, промислових об'єктах, транспортному господарстві мають масовий характер та дуже важкі наслідки.

До основних видів надзвичайних ситуації відносять

- пожежі, вибухи, руйнування споруд, тощо;
- транспортні автопригоди та автокатастрофи,
- вихід з ладу, або руйнування обладнання,
- руйнування енерго-, та електросистем забезпечення виробництва та населення.

До основних причин та передумов виникнення надзвичайних ситуацій та аварій відносять:

- помилки під час проектування розробка конструкцій, обладнання що швидко переходить у аварійний стан, неузгодженість проектних рішень з вимогами пожежної безпеки, безпеки й охорони праці;

- недотримання будівельних та санітарних норм під час проектування, будівництва об'єктів, а також монтажу технічних систем забезпечення;

- недотримання технологій та технологічного процесу виробництва без врахування усіх можливих супровідних чи побічних явищ і реакцій;

- недостатній контроль за станом об'єкта в цілому, так і окремих технологічних процесів;



- незадовільний стан, або правил експлуатації технологічного обладнання, машин, механізмів допоміжної оснастки, внутрішньовиробничого транспорту;

- недотримання правил перевезення та зберігання небезпечних речовин (за переліком ADR);

- зношеність обладнання та механізмів, часті його поломки й похибки, що потребує постійного несанкціонованого втручання ;

- техногенні аварії та стихійні лиха;

- недотримання правил техніки-, та пожежної безпеки халатне ставлення до виконання трудових обов'язків;

Україна, завдяки своєму вигідному географічному розташуванню має значну кількість транспортних шляхів, зокрема, автомобільних шляхів в державі - 174 тис. км, а протяжність залізних шляхів становить близько 23 тис. км. Через значну зношеність шляхопроводів, застарілу транспортну інфраструктуру та організацію дорожнього руху на транспорті відбувається велика кількість надзвичайних ситуацій. Крім того, останнього часу в Україні значно зросла кількість транспортних засобів, що призводить до підвищеної інтенсивності руху.

Небезпечні ситуації, які виникають на транспорті відбуваються дуже часто й практично завжди закінчуються жертвами та шкодою здоров'ю людини, що є гострою соціальною проблемою. Однак найбільш вагомими причинами дорожньо-транспортних пригод є недотримання або ж грубі порушення правил дорожнього руху, керування автомобілями у нетверезому стані, відсутність розмітки, дорожніх знаків, світлофорів. Значні проблеми існують з організацією руху пішоходів, в Україні дуже мала кількість підземних та надземних переходів, особливо на швидкісних шляхах сполучення.

Під час виконання шиномонтажних робіт на ремонтних дільницях існують такі ж загрози що й на виробництвах, як було описано вище. Вивчення небезпечних умов та ситуацій, що можуть виникати під час технічного

обслуговування автомобілів, доцільно здійснювати за допомогою логіко-імітаційної моделі наведеною у таблиці 5.1 [16].

Таблиця 5.1 - Логіко-імітаційна модель дослідження виникнення надзвичайних ситуацій автопідприємствах

Вид робіт	Виробнича безпека			Можливі наслідки	Заходи запобігання небезпечній ситуації
	Небезпечна умова (НУ)	Небезпечна дія (НД)	Небезпечна ситуація (НС)		
Монтаж-демонтаж пневматичних шин	Монтаж шин на автомобіль здійснюється вручну  НУ	Можливе випадкове намотування одягу на обертові елементи балансувального верстата НД <sub>1</sub>  Можливе падіння металевого диска НД <sub>2</sub>	Можлива розгерметизація елементів пневмосистеми, взаємодія колеса з органами працівника	Травма, аварія	Автомобіль повинен бути міцно закріпленний на підйомнику перед монтажем – демонтажем шин, користуватись справним інструментом
<p style="text-align: center;"> <pre> graph LR     NU[НУ] --&gt; ND1[НД1]     ND1 --&gt; NS[НС]     ND2[НД2] --&gt; NS     NS --&gt; T[Т] </pre> </p> <p style="text-align: center;">Модель процесу</p>					
Виконання розбирально-складальних операцій	Неналежний технічний стан інструменту НУ	Зривання ключа з граней кріпильних елементів НД	Удар кистю руки об елементи стенду НС	Травма	Використання справного інструменту
<p style="text-align: center;"> <pre> graph LR     NU[НУ] --&gt; ND[НД]     ND --&gt; NS[НС]     NS --&gt; T[Т] </pre> </p> <p style="text-align: center;">Модель процесу</p>					

## 5.2 Вимоги з техніки безпеки під час ремонту та технічного обслуговування автомобілів

Основні вимоги з охорони праці під час шиномонтажних робіт

*Загальні вимоги.* До проведення робіт допускаються лише ті особи, які не мають протипоказань та пройшли відповідне навчання протягом 3...14 робочих змін (визначається підприємством).

Допуск до робіт з електро- та пневмоінструментом працівник допускається лише після підготовчих навчань, перевірки знань, а також одержання дозволу від керівництва, а за умови робіт з електроінструментом високих класів небезпеки повинні мати відповідну групу допуску (не нижче). Працівники в обов'язковому порядку повинні пройти медичний огляд й отримати довідку відповідної форми, знати й дотримуватись вимог з безпеки праці на підприємстві. Перевірка знань щодо охорони праці, трудової дисципліни організації роботи повинна проводитись не рідше одного разу в 12 місяців. Працівник в обов'язковому порядку повинен дуже детально повинен знати будову обладнання на якому працює, технологічні налаштування, інструкції та вимоги з електро- і пожежної безпеки. Працівник в обов'язковому порядку повинен знати організацію системи пожежної безпеки та оповіщення. Знати де знаходяться засоби пожежогасіння та уміти користуватися вказаними засобами. Мати докладне й чітке розуміння небезпечних виробничих факторів та способів їх усунення, знати, як правильно використовувати засоби індивідуального та колективного захисту [8]. Працівник в обов'язковому порядку використовувати спецодяг, дотримувати правил внутрішнього трудового розпорядку, перевіряти справність обладнання та наявність засобів захисту. Перевіряти надійність кріплення підіймачів та якість фіксації автомобілів на них, перед початком робіт обов'язковому порядку випускають повітря з колеса, робота під тиском суворо забороняється (рис. 5.1).

**Підкачування шин без демонтажу дозволяється, якщо тиск знизився не більше ніж на 20 % від норми і є можливість, що правильність монтажу не порушено. Не перекачуйте шину понад установочний тиск!**

Перед демонтажем необхідно зняти з колеса кильце

Стежте, щоб замкове кільцевидне ушкодження у вулканізативній камері не потрапило на вулицю

Перед монтажем перевірте справність і частоту обода бортового та замкового кільця, а також шини

**ПОРЯДОК НАКАЧУВАННЯ ШИНИ**

1. Демонтувати диск до 0,05 МПа, попередньо полегшив замкове кільце, а потім до атмосферного тиску.
2. При неправильному положенні замкового кільця кильце може випустити повітря, викликаючи пошкодження кильця та насадушку шини.
3. Таблиця 1
4. Манометр
5. Інструкція установи
6. Накачування колеса

**ПРИСТРОЮВАННЯ (СТЕНДИ) ДЛЯ МОНТАЖУ І ДЕМОНТАЖУ ШИН ПОВИННІ МАТИ ЗАХИСНІ ЗАГОРОДЖЕННЯ**

Шину на обід намагають із великим натиском

**ЗАКОДИ БЕЗПЕКИ ПРИ РОБОТІ З ВУЛКАНИЗАТОРОМ**

Відривайте камеру зі струбаним піллям після повного охолодження відкачаного диска (через 10 – 15 хв)

Не доторкайтесь до робочої плати. Не залишайте вулканізатор без нагляду. Стойте за справністю заземлення.

**ДОЗВОЛЯЄТЬСЯ ПРИ НАКАЧУВАННІ УКЛАДАТИ КОЛЕСО ЗАМКОВИМ КИЛЬЦЕМ УНИЗ АБО ВИКОРИСТОВУВАТИ ІНШІ ЗАПОБІЖНІ ЗАСОБИ**

**ПАМ'ЯТАЙТЕ! ЗАМКОВЕ КИЛЬЦЕ МОЖЕ НАНЕСТИ ТЯЖКЕ ПОРАНЕННЯ**

Гайки кріплення коліс вантажних автомобілів дозволяється затягувати лише гайквертом

Переміщувати колеса та шини масою понад 20 кг дозволяється тільки на спеціальних візках

**ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ:**

- Вибивати диск кулаком
- При накачуванні використовувати пневматичні шинні постачувачі

При накачуванні дотримуватися положення кильця

**ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ МОНТУВАТИ НА АВТОМОБІЛЬ ШИНИ НЕВІДПОВІДНИХ ТИПІВ І РОЗМІРІВ**

**ДОТРИМУЙТЕСЬ ПРАВИЛ РУЧНОГО ДЕМОНТАЖУ ШИН ДИСКОВИХ РОЗБІРНИХ КОЛІС**

Лопатка з вилючним (зігнутим) захватом

Пряма лопатка

1. Плоскою лопаткою відіскнути борт поперек шини
2. У разі вставити зігнуту лопатку і, повернувшись, укласти обід, відіскнути борт поперек
3. Вставити плоску лопатку в лоз кільця і відіскнути його, утримуючи зігнуту лопаткою. Зняти борт поперек з пелюці обода
4. Правильно лопаткою відіскнути замкове кільце з канавки обода
5. Трохи відіскати замкове кільце зігнутою лопаткою
6. Вставити пряму лопатку під замкове кільце
7. Підтримуючи замкове кільце рукою, відіскнути його прямою лопаткою.
8. Перевернути колесо, витягти диск із шини

**ДЛЯ ВИТЯГУВАННЯ ІЗ ШИНИ СТОРОННІХ ПРЕДМЕТІВ ВИКОРИСТОВУЙТЕ ТІЛЬКИ КІЩІ. РОБИТИ ЦЕ НОЖЕМ, ШИЛОМ, ВИКРУТКОЮ ЗАБОРОНЯЄТЬСЯ**

Рисунок 5.1 – Інформаційний стенд щодо дотримання безпеки праці під час шино монтажних робіт

*Під час проведення робіт.* Роботи проводять у спеціальних зонах, які оснащені відповідним обладнанням, інструментом та додатковими пристосуваннями. Забороняються проводити монтаж і встановлення шин змінених за розмірами, індексом навантаження швидкості, кріпленням, що не відповідають вимогам для даної моделі автомобіля. Монтаж і демонтаж шин великогабаритних автомобілів проводять лише з використанням спеціалізованих пристроїв та за наявності спеціальних огорожень й захисних екранів. Монтаж і демонтаж шини проводять лише на спеціалізованих стендах, а перед встановленням пневматичної шини пересвідчитись у справності металевого обода, бортового кільця, перевірити роботоздатність вентиля та якість посадки шини. Виконати монтаж замкового кільця за допомогою ударного інструменту, після цього пересвідчитися у його повній посадці в канавці обода.

Установка спарених коліс проводиться відповідно до маркування шин, (лицева сторона, ліва, права напрям обертання, тощо) зберігаючи при цьому поєднання і співвісність вікон й отворів ободів

Не допускається демонтаж шин, які знаходяться під тиском переключувати вручну великогабаритні колеса, монтувати їх за відсутності елементів, або пошкодження різьбових з'єднань, перевіряти зусилля їх затяжки. Накачування декотрих видів коліс проводять у декілька етапів. Спочатку колесо накачують до тиску 0,06 – 0,08 МПа перевіряють надійність посадки бортового й замкового кільця. Після цього шину накачують до тиску що відповідає 80-ти % від номінального значення з перевіркою її герметичності й положення на ободі, аж тоді накачують до рекомендовано значення.

*Після закінчення робіт.* Вимикають обладнання, прибирають інструмент, прибирають робоче місце. Спецодяг та засоби індивідуального захисту розміщують у спеціально відведене місце. Повідомити керівництву про виявлені в процесі роботи несправності та недоліки, несправність обладнання, мереж, засобів захисту.

*В аварійних ситуаціях.* Необхідно невідкладно призупинити роботи, провести евакуацію людей з небезпечної ділянки, чи місця, за необхідності викликати службу екстреної допомоги. За можливості усунути можливі причини небезпечної ситуації (вимкнути електричне живлення, подачу повітря, тощо), в обов'язковому порядку повідомити керівника організації, або відповідального за проведення робіт.

Під час пожежі вимкнути електричне живлення вимкнути обладнання, увімкнути систему оповіщення та викликати пожежну службу, за можливості провести гасіння наявними в організації засобами. Після чого негайно повідомити керівника організації, або відповідального за проведення робіт.

Під час нещасних випадків з потерпілими вживають заходів щодо усунення дії небезпечних чинників (електрострум, висока температура, важкі предмети), надати першу медичну допомогу, викликати службу швидкої допомоги.

### **Висновки за розділом**

1. У розділі наведено основні вимоги та заходи щодо покращення безпечних умов праці на автотранспортних підприємствах. Проаналізовано небезпечні умови, дії та ситуації та на цій основі розроблено логіко-імітаційну модель появи та запобігання аварійності на підприємствах.

## РОЗДІЛ 6 РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ТЕХНІЧНО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПРОЕКТУ

### 6.1 Економічна ефективність та техніко-економічні показники проекту

Капітальні вкладення будівельних робіт при частковій перебудові приміщення або проведенні поточного ремонту приміщення:

$$k_{\text{буд}} = V_{\text{б.}} \cdot k_{\text{п}}, \text{ грн.},$$

$$k_{\text{буд}} = 571050 \cdot 0,05 = 28552,50 \text{ грн.}, \quad (6.1)$$

де  $k_{\text{п}}$  – коефіцієнт, який враховує часткову реконструкцію приміщення (будівлі), при капітальній перебудові внутрішніх стін, дверних та віконних прорізів приймаємо до 0,7; а при виконанні поточного ремонту до 0,15.

$V_{\text{б.с}}$  – вартість будівель та споруд, грн..

Капітальні вкладення нового, введеного у дію обладнання, з урахуванням витрат на доставку та монтаж:

$$k_{\text{обл.н}} = V_{\text{обл.н}}, \text{ грн.},$$

$$k_{\text{обл.н}} = 49279,50 \text{ грн} \quad (6.2)$$

де  $V_{\text{обл.н}}$  – вартість нового, введеного в дію обладнання, грн.

Загальна сума капітальних вкладень:

$$k = (k_{\text{буд}} + k_{\text{обл.н}}) \cdot k_{\text{інш}}, \text{ грн.},$$

$$k = (28552,50 + 49279,50) \cdot 1,01 = 78610,32 \text{ грн.}, \quad (6.3)$$

де  $k_{\text{інш}}$  – коефіцієнт, який враховує інші витрати.

Економія витрат:

Коефіцієнт, який враховує доплати, премії та відрахування на соціальні заходи:

$$k_{\text{дод}} = \frac{ВOP + Вc.з.}{OЗП}$$

$$k_{\text{дод}} = \frac{247846,34 + 54526,197}{98186,06} = 3,867 \quad (6.4)$$

Економія по фонду заробітної плати:

$$\PhiЗП = C_{\text{сер}} \cdot \Phi_{\text{р.ч.}} \cdot N_{\text{р.р.}} \cdot (k_{\text{п.п}} - 1) \cdot k_{\text{дод}}, \text{ грн.},$$

$$\PhiЗП = 50,432 \cdot 1589,76 \cdot 1,11 \cdot (1,10 - 1) \cdot 3,867 = 34413,99 \text{ грн.}, \quad (6.5)$$

де  $k_{п.п}$  – коефіцієнт, який враховує підвищення продуктивності праці:

$$k_{п.п} = 1,05 \div 1,10 \quad (6.6)$$

Загальна сума економії:

$$E_{заг} = \PhiЗП + E_{МВ}, \text{ грн.}$$

$$E_{заг} = 34413,99 + 2213,41 = 36627,40 \text{ грн.} \quad (6.7)$$

Річний економічний ефект:

$$E_{річ} = E_{заг} - (E_n \cdot k), \text{ грн.},$$

$$E_{річ} = 36627,40 - (0,15 \cdot 78610,32) = 24835,85 \text{ грн.}, \quad (6.8)$$

Де  $E_n$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень:  $E_n = 0,15$

Термін окупності капітальних вкладень:

$$T_{ок} = \frac{K}{E_{річ}} \text{ (роки)}$$

$$T_{ок} = \frac{78610,32}{24835,85} = 3,1 \text{ (років)} \quad (6.9)$$

Фондовіддача:

$$\Phi_B = \frac{Д}{\Phi_{осн}} = \frac{759570,05}{856731,22} = 0,89 \quad (6.10)$$

Фондоємність:

$$\Phi_{\epsilon} = \frac{\Phi_{осн}}{Д} = \frac{856731,22}{759570,05} = 1,13 \quad (6.11)$$

Продуктивність праці у грошовому виразі:

$$ППр.р = \frac{Д}{Nr.p} = \frac{759570,05}{1,11} = 684297,34 \text{ грн.} \quad (6.12)$$

Середньомісячна заробітна плата ремонтного робітника:

$$ЗПс.м = \frac{\PhiЗП_{заг}}{Nr.p \cdot 12} = \frac{173833,15}{1,11 \cdot 12} = 13050,54 \text{ грн} \quad (6.13)$$



Таблиця 6.1 – Розрахунок економічної ефективності проекту

Показники проекту	Умовні позначення	Одиниці вимірювання	Числові значення
1. Продуктивність праці ремонтного робітника у грошовому виразі	$ПП_{р.р}$	грн.	684297,34
2. Середньомісячна заробітна плата ремонтного робітника	$ЗП_{с.м.}$	грн	13050,54
3. Собівартість продукції	$S_{пр}$	грн./1000	142,34
4. Планово-розрахункова ціна	$Ц_{пл.р}$	грн./1000	192,16
5. Фондовіддача	$\Phi_v$	-	0,89
6. Фондоємність	$\Phi_\epsilon$	-	1,13
7. Річний економічний ефект	$E_p$	грн	24835,85
8. Термін окупності капітальних вкладень	$T_{ок}$	років	3,1

### Висновки за розділом

1. В результаті реалізації заходів, запропонованих в даному проекті щодо поліпшення діяльності шиномонтажних майстерень, річний економічний ефект, за розрахунками економічного сектора, склав 24 835,85 грн. на рік, термін окупності отриманих капітальних вкладень - 3,1 року.

Аналізуючи результати розрахунків і позитивний вплив впровадження, можна зробити висновок, що проектувана секція підвищує продуктивність праці персоналу, покращує умови праці, санітарно-гігієнічні умови, розумну роботу і відпочинок в будівлі секції, що в кінцевому підсумку призводить до підвищення якості виконуваної роботи. на цій ділянці, скорочуючи виробничі витрати і час, що витрачається на поточну роботу.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Пневматичні шини як штовхачі для транспортних засобів мають широкий спектр позитивних властивостей завдяки високій еластичності та гнучкості гуми. Водночас шини мають здатність поглинати значну кількість енергії завдяки явищу гістерезису. На паливну ефективність шин впливає низка факторів, серед яких тиск в шинах, діаметр обода, висота профілю, вдосконалений дизайн шини та покращена структура і склад матеріалу.

2. На сьогоднішній день виробники шин досягли значення опору коченню 0,062...0.0147. Зниження опору коченню шини на 10% зменшує витрату палива на 1-2%.

3. Встановлено аналітичні залежності для визначення динамічного та кінематичного (фактичного) радіусів коліс. Досліджено залежність коефіцієнта опору коченню від величини навантаження на палубу, механічних властивостей, швидкості повороту та тиску в шинах кабіни.

4. Радіус колеса, механічні властивості шин і коефіцієнт опору коченню коліс аналізували при різному внутрішньому тиску з використанням пневматичних шин. Апаратно-програмні модулі на базі мікросхеми Elm327 та програмного забезпечення Torque Pro реєструють параметри руху автомобіля та системні дані.

5. Найвищу деформаційну стійкість отримано під час випробування шин Michelin Agilis Alpin 205/75 R16C 110/108R з найвищим індексом навантаження - 110/108R. При цьому вільний радіус становить близько 350 мм, а під навантаженням 5990Н – 333 мм. Найнижчі механічні характеристики демонструє шина Matador Van Nordicca 195/70 R15C 104/102R за навантаження 5505Н і тиску 0,3 МПа в наслідок чого деформується 29 мм від початкового радіуса.

6. Статична (радіальна) жорсткість шин  $C_{ш}$  збільшується відповідно до зростання індексів навантаження. Встановлено, що у шини Michelin Agilis Alpin 205/75 R16C 110/108R жорсткість шини змінюється у діапазоні 352,06...260,22 Н/мм; Continental ContiWinterContact TS 760 175/55 R15

106/104T  $C_{u1} = 334,71 - 210,74$  Н/мм; Matador Van Nordicca 195/70 R15C  
104/102R  $C_{u1} = 306,67 - 220,80$  Н/мм.

7. Найнижче значення коефіцієнта опору коченню, а відповідно й найкраща паливна економічність шини  $f = 0,01082$  за внутрішнього тиску 0,37 МПа та швидкості руху автомобіля 10 км/год демонструє шина Michelin Agilis Alpin 205/75 R16C 110/108R. Найгірші показники коефіцієнта опору коченню для шини Matador Van Nordicca 195/70 R15C 104/102Rз середнім значенням  $f = 0,012662$ .

8. В результаті реалізації заходів, запропонованих в даному проекті щодо поліпшення діяльності шиномонтажних майстерень, річний економічний ефект, за розрахунками економічного сектора, склав 24 835,85 грн. на рік, термін окупності отриманих капітальних вкладень - 3,1 року.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автомобільний транспорт в Україні. Нормативна база: АТІКА, 2004. 504 с.
2. Белевцова Н. Л., Вербицький В. Г., Хребет В. Г., Тарасюк В. С. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Житомир: Науковий журнал, 2016. С. 48 – 55.
3. Боровських Ю.І., Буралев Ю. В., Морозов К. А. Будова автомобіля. Київ: Вища школа, 1991. 303 с.
4. Боярко І. М., Гриценко Л. Л. Інвестиційний аналіз. Центр учбової літератури, 2011. 400 с.
5. Вербицький В. Г., Костенко А. В., Єфименко А. М., Кулієв Р. А., Воловненко О. Г., Макійов М. М. Вплив поздовжньої сили на передній осі легкового автомобіля на множину стаціонарних рухів. Вісник східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2011. С. 275 – 280.
6. Водяник І. І. Експлуатаційні властивості тракторів і автомобілів. Урожай, 1994. 224 с.
7. Волков В. П., Вільський Г. Б. Теорія руху автомобіля: підручник. Суми : Університетська книга, 2010. 320 с.
8. Гандзюк, М. П., Желібо Є. П., Халімовський М. О. Основи охорони праці. Каравела, 2006. 392 с.
9. Гащук П.М Автомобіль: теорія колісного рушія: навчальний посібник. Київ: Кондор, 2018. 328 с.
10. ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання. [Чинний від 2011-07-01]. Вид. офіц. Держспоживстандарт України, 2011. 28с. (Національний стандарт України).
11. ДСТУ UN/ECE R 13-09:2002. Єдині технічні приписи щодо офіційного схвалення типу транспортних засобів категорій М N та О стосовно гальмування: Правила ЄЕК ООН № 13. [Чинний від 2008-01-14].

Женева : Європейська Економічна Комісія Організації Об'єднаних націй, 2008. 276 с.

12. ДСТУ UN/ECE R 30-02:2005. Єдині технічні приписи щодо офіційного затвердження пневматичних шин для дорожніх транспортних засобів і їхніх причепів Правила ЄЕК ООН № 30.

13. Зеркалов Д. В. Безпека руху автомобільного транспорту. Основа: Довідник, 2002. 360 с.

14. Кавецький В. В., Козловський В. О., Причепка І. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень. Вінниця : ВНТУ, 2013. 113 с.

15. Кищун В. А. Безпека дорожнього руху та автотранспортне право: конспект лекцій для студентів спеціальності "Автомобілі та автомобільне господарство" усіх форм навчання. Луцьк: РВВ ЛДТУ, 2006. 155с.

16. Наказ Міністерства транспорту України "Про затвердження Експлуатаційних норм середнього ресурсу пневматичних шин колісних транспортних засобів, використаних на колісних шасі": від 20.05.2006 р. № 489. URL: <http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=z0695-06>

17. Наказ Міністерства транспорту України "Про правила надання послуг з технічного обслуговування і ремонту автомобільних транспортних засобів": від 11.11.2002 р. № 792. URL: <http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=z0122-03>.

18. Пістун І. П. Безпека життєдіяльності: підручник для студентів с.-г. вузів. Львів : Світ, 1995. 288 с.

19. Сахно В. П., Вербицький В. Г., Костенко А. В., Белєвцова Н. Л., Єфименко А. М. Вплив стабілізуючого моменту шин на курсову стійкість руху автомобіля. Вісник Національного транспортного університету. 2010. Розд. 21, ч. 1. С. 180 – 183.

20. Солтус А. П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля: Навчальний посібник для ВНЗ. Арістей, 2010. 155 с.

21. Шевчук Р. С. Експлуатаційні показники тракторів і автомобілів: практикум з розрахунку показників. Львів: Львівський національний аграрний університет, 2018. 173 с.

22. Шевчук Р. С. Трактори і автомобілі: основи теорії (питання, завдання та відповіді): навчальний посібник. Львів: Львівський національний аграрний університет, 2016. 236 с. Депоновано у Державній науково-технічній бібліотеці України 16.12.2016, №18. РІД/Ук-2016 (з оприлюдненням). URL: <http://gntb.gov.ua>.