

Вінницький національний технічний університет  
Факультет машинобудування та транспорту  
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

**Підвищення ефективності експлуатації автомобілів структурної одиниці «Вінницькі міські електромережі» публічного акціонерного товариства «Вінницяобленерго»  
удосконаленням технології підбору шин здвоєних коліс автотransпортних засобів**

Графічна частина

до магістерської кваліфікаційної роботи  
зі спеціальності 274 – Автомобільний транспорт  
08-29.МКР.009.00.000

Керівник роботи к.т.н., доцент

Кашканов А.А.

Розробив студент гр. 1АТ-17м

Івацко В.П.

Вінниця ВНТУ 2019

## **Мета і завдання дослідження.**

**Мета роботи** – розробка заходів з підвищення ефективності експлуатації автомобілів структурної одиниці «Вінницькі міські електромережі» публічного акціонерного товариства «Вінницяобленерго» на основі удосконалення технології підбору шин здвоєних коліс автотранспортних засобів.

**Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі завдання:**

- дослідити завантаженість здвоєних шин задніх ведучих мостів автомобілів;
- дослідити стійкість автомобіля при нерівномірності динамічних радіусів коліс різних бортів;
- розробити експрес-методику вияву якості виготовлення та ідентичності розмірів шин;
- створити рекомендації по технології проведення комплектації шин ведучих здвоєних коліс;
- розробити питання з безпеки життєдіяльності та цивільної оборони;
- розрахувати економічну ефективність запропонованих рішень.

**Об'єкт дослідження** – процеси впливу комплектації та технічного стану здвоєних шин задніх ведучих мостів автомобілів на ефективність їх експлуатації.

**Предмет дослідження** – методи поліпшення експлуатаційних показників автомобілів шляхом вдосконалення експлуатаційних заходів, спрямованих на підвищення надійності шин і стабільності їх параметрів.

### **Наукова новизна одержаних результатів**

Виявлені, систематизовані, узагальнені і формалізовані основні чинники, що впливають на ефективність експлуатації автомобілів; встановлені закономірності раціонального підбору шин здвоєних коліс ведучих мостів, які визначають рівень працездатності автомобілів в період експлуатації.

### **Практичне значення одержаних результатів**

Використання основних результатів магістерської кваліфікаційної роботи дозволяє:

- оцінити завантаженість здвоєних шин задніх ведучих мостів автомобілів;
- оцінити стійкість автомобіля при нерівномірності динамічних радіусів коліс різних бортів;
- виявити якість виготовлення та ідентичність розмірів шин;
- покращити технологію та якість ТО і ПР автомобілів, що підвищує їх безпеку та ефективність роботи в експлуатації.

## Експлуатаційні властивості та категорії якості автотранспортних засобів

| Властивості АТЗ  | Категорія якості АТЗ  | Ефект, забезпечений АТЗ   |
|--|---|---|
| Переміщення фізичних об'єктів  | Вантажопідйомність  | Транспортна робота. Заміна альтернативних транспортних засобів                                |
| Матеріаломісткість конструкції машини  | Використання власної маси   | Зниження собівартості транспортної роботи   |
| Зміна кількості руху   | Динамічність:<br>швидкість<br>прохідність<br>прискорення-уповільнення<br>шлях гальмування | Транспортна продуктивність. Заміна альтернативних транспортних засобів                        |
| Зміна напрямку руху згідно з заданим сигналом                                | Керованість   | Забезпечення заданого курсу та швидкості руху   |
| Зміна свого положення за часом   | Маневреність  | Виконання транспортної роботи в складних дорожніх умовах                                      |
| Зберігання свого положення в просторі незалежно від умов руху                | Стійкість   | Виконання транспортної роботи в складних дорожніх умовах. Нешкідливість для людей та вантажів |
| Рух по нерівній поверхні у заданому діапазоні коливань                       | Плавність руху  | Те саме. Швидкість  |
| Використання енергії паливних речовин  | Паливна економічність   | Автономність руху. Собівартість транспортної роботи   |
| Відсутність потенційно небезпечних геометричних форм та матеріалів           | Пасивна безпека   | Нешкідливість для людей в екстремальних умовах руху   |
| Виконання транспортної роботи без шкідливого впливу на навколишнє середовище | Екологічність   | Нешкідливість для навколишнього середовища  |

За деякими даними вартість комплектів шин на автомобіль складає від 9 до 27% його первинної вартості, а витрати на них досягають 30% від загальної вартості всіх експлуатаційних матеріалів. З цього можна зрозуміти, що навіть незначне підвищення терміну служби шин дає значний економічний ефект.

На термін служби шини великий вплив чинить технічний стан транспортного засобу, особливо його передньої підвіски, оскільки в процесі експлуатації через знос в шарнірах і деформації елементів підвіски відбувається неконтрольовані зміни кутів установки керованих коліс, що приводить до підвищеного зносу шин, збільшення витрати палива, погіршує стійкість і керованість транспортного засобу.

## Показники експлуатаційних властивостей автомобілів, залежні від надійності шин і стабільності їх параметрів

### Годинна продуктивність рухомого складу у тоннах та тонно-кілометрах

$$P_{\text{ГОА}} = \frac{q\gamma_{\text{сТ}}\beta v_{\text{Т}}}{l_{\text{ГЕ}} + t_{\text{np}}\beta v_{\text{Т}}} \delta, \quad \text{т/ГОД}; \quad W_{\text{ГОА}} = \frac{q\gamma_{\text{сТ}}\beta v_{\text{Т}} l_{\text{ГЕ}}}{l_{\text{ГЕ}} + v_{\text{Т}}\beta t_{\text{np}}} \delta, \quad \text{ткм/ГОД},$$

$\delta = 1 - \frac{l_{\text{Н}}}{v_{\text{Т}} T_{\text{Н}}}$  - коефіцієнт, що враховує витрати часу на нульовий пробіг автомобіля;

$q$  - вантажопідйомність автомобіля, т;

$\gamma_{\text{сТ}}$  - коефіцієнт використання вантажопідйомності;

$t_{\text{np}}$  - час простою при навантаженні-розвантаженні, год.

$v_{\text{Т}}$  - технічна швидкість автомобіля, км/год;

$T_{\text{Н}}, l_{\text{Н}}$  - час перебування в наряді, год. та заг. пробіг за цей час, км;

$\beta$  - коефіцієнт використання пробігу;

$l_{\text{ГЕ}}$  - відстань їздки з вантажем, км.

### Критична по відведенню швидкість руху

$$V_{\text{крит}} = \sqrt{\frac{gL}{\frac{G_{\text{II}}}{K_{\text{критII}}} - \frac{G_{\text{I}}}{K_{\text{критI}}}}}$$

$G_{\text{I}}, G_{\text{II}}$  - статичне навантаження на передню і задню осі автомобіля;

$K_{\text{критI}}, K_{\text{критII}}$  - коефіцієнти опору бічному відведенню передньої і задньої осей автомобіля.

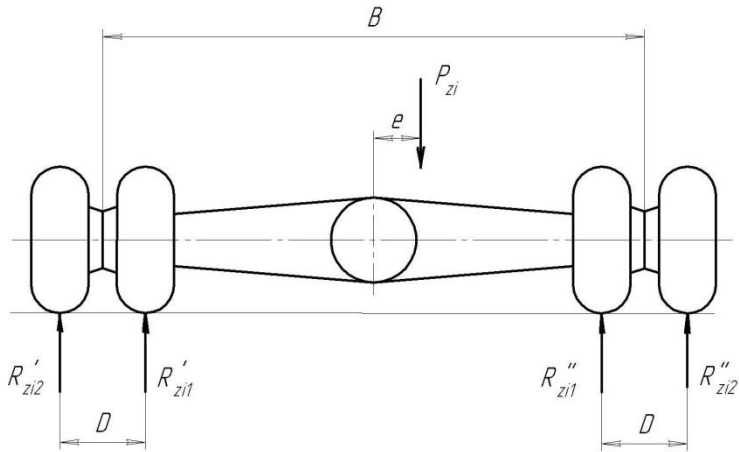
### Розподіл кількості ДТП за видами технічних несправностей транспортних засобів

| Несправність                  | Кількість ДТП, % |
|-------------------------------|------------------|
| Робочої гальмової системи     | 31,8             |
| Гальмової системи причепа     | 4,3              |
| Рульового управління          | 13,6             |
| Зовнішніх світлових приладів  | 20,2             |
| Знос рисунка протектора       | 14,3             |
| Від'єднання колеса            | 4,0              |
| Невідповідність шин моделі ТЗ | 1,6              |
| Зчіпного пристрою             | 1,5              |
| Інші                          | 20,7             |

Одним з шляхів поліпшення експлуатаційних показників автомобілів і автомобільного транспорту в цілому є вдосконалення експлуатаційних заходів, спрямованих на підвищення надійності шин і стабільності їх параметрів.

## Методика оцінювання розподілу вертикальних реакцій дороги між колесами автомобілів

Схема навантаження ведучого моста автомобіля зі здвоєними колесами у вертикальній площині



Рівняння рівноваги моста у вертикальній площині при відсутності бокових сил

$$\begin{cases} P_{zi} - R'_{zi1} - R'_{zi2} - R''_{zi1} - R''_{zi2} = 0 \\ R'_{zi2} \left( \frac{B+D}{2} + \ell \right) + R'_{zi1} \left( \frac{B-D}{2} + \ell \right) - R''_{zi1} \left( \frac{B-D}{2} - \ell \right) - R''_{zi2} \left( \frac{B+D}{2} - \ell \right) = 0 \end{cases}$$

Система рівнянь має чотири невідомих вертикальних реакції дороги. Для рішення поставленої задачі було використано імовірнісний метод для визначення вертикальних реакцій на колесах багатовісних автомобілів.

Розглядається можливі чотири варіанта навантаження

- навантажені тільки два зовнішні колеса обох бортів (на решті коліс вертикальні реакції дорівнюють нулю);
- навантажені тільки два внутрішні колеса обох бортів;
- навантажені ліве зовнішнє і праве внутрішнє колеса;
- навантажені ліве внутрішнє і праве зовнішнє колеса.

Вертикальні реакції на здвоєних колесах ведучого моста при різних варіантах навантаження

| Варіант навантаження | $R'_{zi2}$   | $R'_{zi1}$   | $R''_{zi1}$  | $R''_{zi2}$  |
|----------------------|--|--|--|--|
| 1                    | $P_{zi} \left( \frac{1}{2} - \frac{\ell}{B+D} \right)$             | 0  | 0  | $P_{zi} \left( \frac{1}{2} + \frac{\ell}{B+D} \right)$             |
| 2                    | 0  | $P_{zi} \left( \frac{1}{2} - \frac{\ell}{B-D} \right)$                 | $P_{zi} \left( \frac{1}{2} + \frac{\ell}{B-D} \right)$                 | 0  |
| 3                    | $P_{zi} \left( \frac{1}{2} - \frac{D/2 + \ell}{B} \right)$         | 0  | $P_{zi} \left( \frac{1}{2} + \frac{D/2 + \ell}{B} \right)$             | 0  |
| 4                    | 0  | $P_{zi} \left( \frac{1}{2} + \frac{D/2 - \ell}{B} \right)$             | 0  | $P_{zi} \left( \frac{1}{2} - \frac{D/2 - \ell}{B} \right)$         |
| $R_{z,max}$          | $P_{zi} \left( \frac{1}{2} - \frac{\ell}{B+D} \right)$             | $P_{zi} \left( \frac{1}{2} + \frac{D/2 - \ell}{B} \right)$             | $P_{zi} \left( \frac{1}{2} + \frac{D/2 + \ell}{B} \right)$             | $P_{zi} \left( \frac{1}{2} + \frac{\ell}{B+D} \right)$             |
| $\bar{R}_z$          | $P_{zi} \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} - \frac{\ell}{B+D} \right)$ | $P_{zi} \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} + \frac{D/2 - \ell}{B} \right)$ | $P_{zi} \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} + \frac{D/2 + \ell}{B} \right)$ | $P_{zi} \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} + \frac{\ell}{B+D} \right)$ |
| $\sigma_{R_z}$       | $P_{zi} \frac{1}{6} \left( \frac{1}{2} - \frac{\ell}{B+D} \right)$ | $P_{zi} \frac{1}{6} \left( \frac{1}{2} + \frac{D/2 - \ell}{B} \right)$ | $P_{zi} \frac{1}{6} \left( \frac{1}{2} + \frac{D/2 + \ell}{B} \right)$ | $P_{zi} \frac{1}{6} \left( \frac{1}{2} + \frac{\ell}{B+D} \right)$ |

## Показники нерівномірності навантаження здвоєних коліс вертикальними реакціями

$$\bar{q}_{zi1} = \frac{2R_{zi1}}{P_{zi}} \quad \text{середній коефіцієнт навантаження внутрішнього колеса}$$

$$\sigma_{q_{zi1}} = \frac{2\sigma_{R_{zi1}}}{P_{zi}} \quad \text{середньоквадратичне відхилення коефіцієнта навантаження внутрішнього колеса}$$

$$\bar{q}_{zi2} = \frac{2\bar{R}_{zi2}}{P_{zi}} \quad \text{середній коефіцієнт навантаження зовнішнього колеса}$$

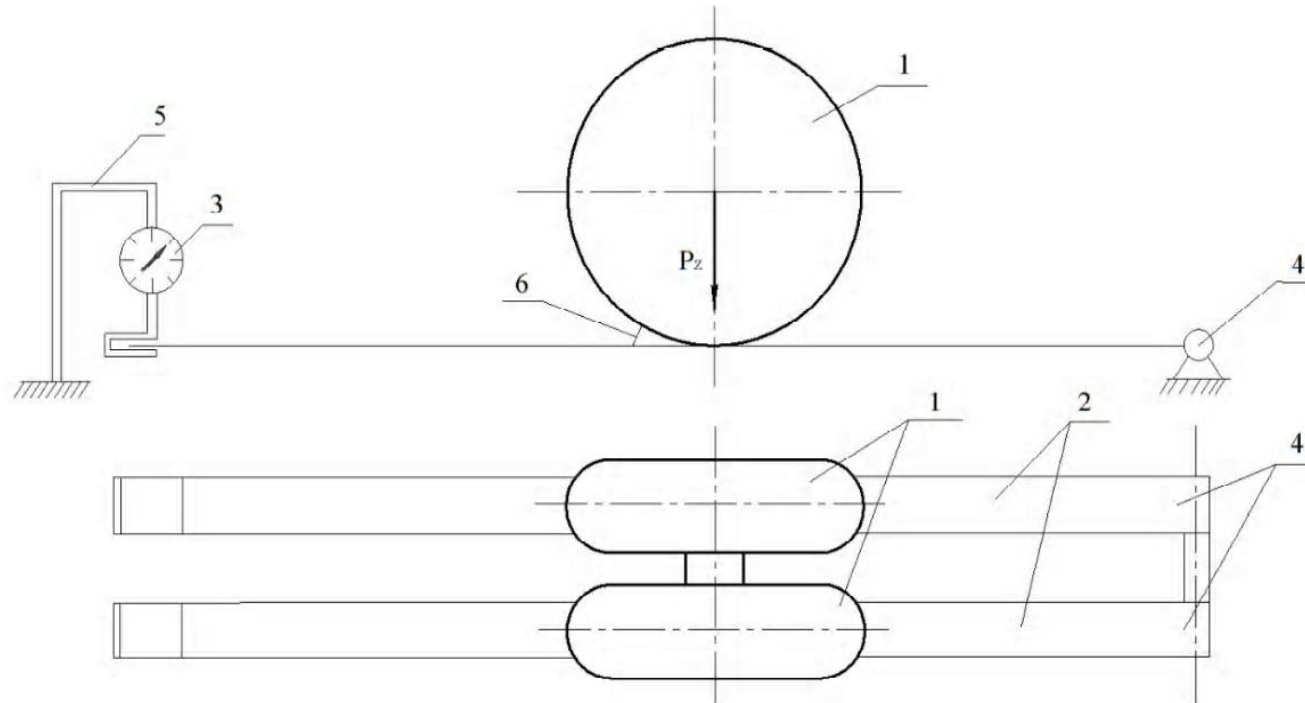
$$\sigma_{q_{zi2}} = \frac{2\sigma_{R_{zi2}}}{P_{zi}} \quad \text{середньоквадратичне відхилення коефіцієнта навантаження зовнішнього колеса}$$

$$q_{zi2} = \frac{2R_{zi2}}{P_{zi}} = 1 - q_{zi1} \quad \text{коефіцієнт навантаження зовнішнього колеса, відповідний конкретній реалізації}$$

$$q_{zi1} = \frac{2R_{zi1}}{P_{zi}} \quad \text{коефіцієнт навантаження внутрішнього колеса, відповідний конкретній реалізації навантаження}$$

Математичне очікування вертикального навантаження на внутрішні колеса буде вище за аналогічні характеристики для зовнішніх коліс. Це обумовлено деформацією балок ведучих мостів, що особливо повинно проявлятися при максимальному завантаженні автомобіля

## Стенд для експериментального дослідження розподілу вертикального навантаження між шинами здвоєних коліс



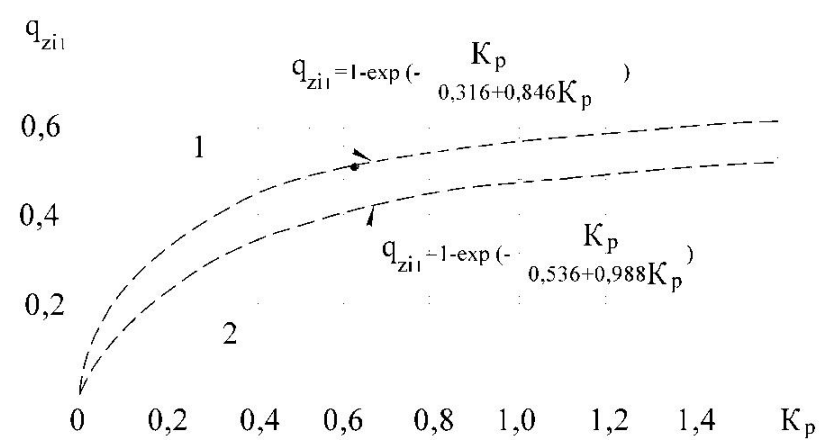
- 1 – здвоєні колеса;
- 2 – лижі;
- 3 – динамометр;
- 4 – шарнір;
- 5 – опора;
- 6 – упор коліс.

Лижі 2 за допомогою шарнірів 4 (підшипникових вузлів) одним кінцем сполучені з опорою. Другими кінцями лижі 2 сполучені з динамометрами 3, встановленими на опорі 5. При проведенні досліджень автомобіль наїжджає здвоєними колесами на лижі 2 до упорів 6. Положення упору 6 вибрано так, щоб передавальне число важелів складало  $U_{\text{рич}} = 0,334$ . Тому показання динамометрів складало величину рівну 0,334 від дійсного навантаження на колесо. Для вимірів використовувалися два динамометри з межами вимірів до 2 кН і ціною ділень 0,02 кН. При збільшеному навантаженні автомобіля використовувалися два динамометри з межами вимірів до 5 кН і ціною ділень 0,05 кН.



## Результати експериментальної оцінки нерівномірності розподілу вертикальних реакцій між здвоєними колесами автомобіля

Залежність коефіцієнта вертикального навантаження на внутрішнє колесо від співвідношення внутрішніх тисків повітря в шинах



Залежність, що зв'язує розподіл вертикальних реакцій між парою здвоєних коліс

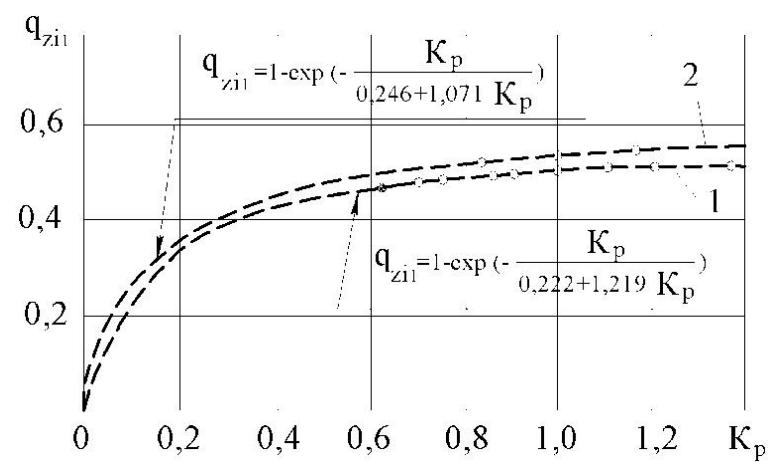
$$q_{zi1} = 1 - \exp\left(-\frac{K_p}{B + C \cdot K_p}\right).$$

Користуючись імовірнісними методами

$$q_{zi1} = \frac{\bar{R}_{zi1}}{P_{zi}} = \left(0,5 + \frac{D}{2B}\right),$$

Мінімальна похибка 3,4%, максимальна – 8,46–9,98%.

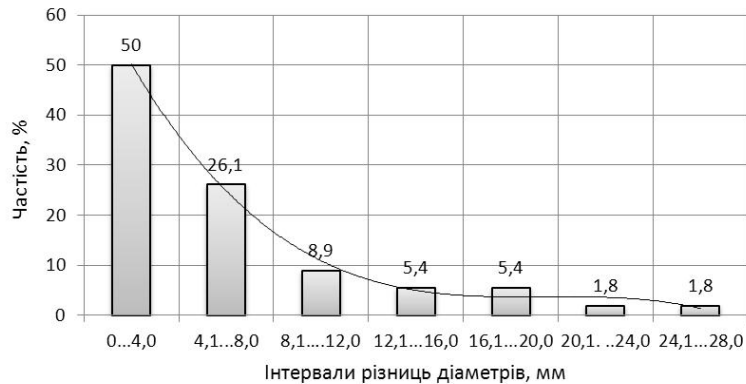
Залежність коефіцієнта вертикального навантаження на внутрішнє колесо від співвідношення внутрішніх тисків в шинах



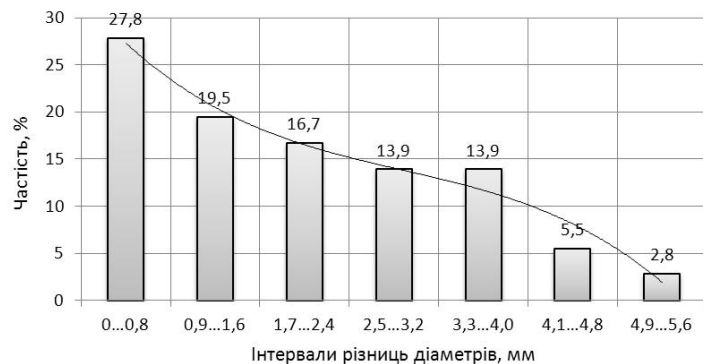
При малих навантаженнях на ведучий міст деформація останнього не чинить впливу на рівномірність навантаження шин здвоєних коліс. Із зростанням навантаження на міст збільшуються його деформації, що призводить до появи нерівномірності навантаження шин здвоєних коліс.

## Результати визначення гранично допустимого співвідношення динамічних радіусів ведучих коліс лівих і правих бортів за умовою стійкості автомобіля

Емпірична крива розподілу різниці статистичних діаметрів здвоєних шин автомобілів ЗІЛ



Розподіл різниці статистичних діаметрів здвоєних шин автомобілів ГАЗель



Підсумковий вираз для обмеження допуску на величину динамічного радіусу колеса

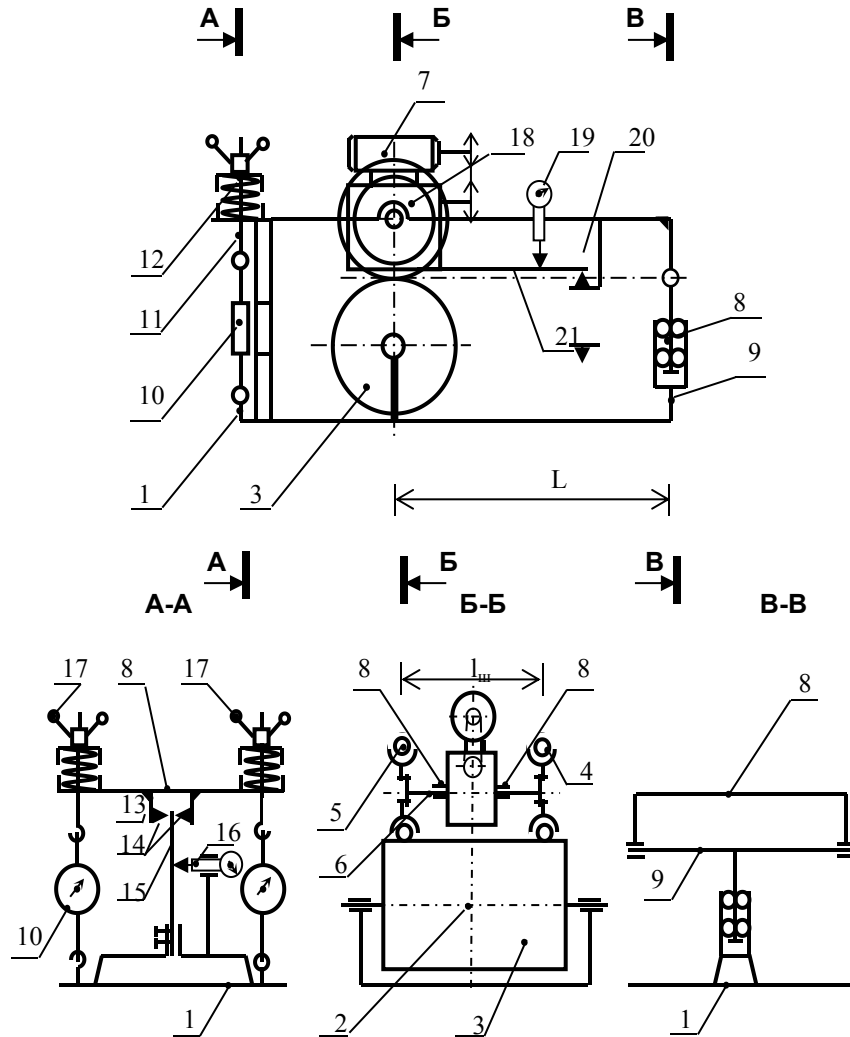
$$\frac{\Delta r_{\dot{a}}}{r_{\dot{a}}} < \frac{4 \cdot L^2 \cdot A_{\phi}}{B \cdot m \cdot \left( \frac{1}{K_{y_1}} + \frac{1}{K_{y_2}} \right) \cdot V^2}$$

Із збільшенням максимальної швидкості руху автомобіля необхідно зменшувати допуск на діаметр шин

Нерівномірність динамічних радіусів коліс в числі інших чинників визначається різномірністю шин, тобто різномірністю їх вільних радіусів. Вказана різномірність виражається як в різниці їх зовнішніх діаметрів, так і у відхиленні від круглоти (некруглоти). Хоча вказані відхилення і обмежуються вимогами стандартів на виготовлення, відхилень зовнішнього діаметру шин, що допускаються, може виявитися досить для появи ризикання автомобіля.

Результати статистичних досліджень показали, що у автомобілів ЗІЛ різниця діаметрів досягає 28 мм., а у автомобілів ГАЗель - 6 мм. Таку різницю статичних діаметрів по рекомендованому допуску на залишкову глибину протектора об'єктивно встановити неможливо. Ця обставина ще раз підтверджує необхідність розробки обґрунтованого показника, по якому можна було б виконувати комплектацію шин в умовах експлуатації.

## СТЕНД ДЛЯ ПІДБОРУ ШИН ЗДВОЄНИХ КОЛІС



1 - рама; 2 - вал; 3 - цілісний барабан; 4-5 - еталонна і випробовувана шини; 6 - вал; 7 - приводний електродвигун; 8 - поворотна рамка; 9 - Т- подібний кронштейн; 10 - динамометр; 11 - тяга; 12 - пружина; 13 - кронштейн; 14 - призматичні упори; 15 - смугова динамометрична пружина; 16 - індикатор переміщень; 17 - гвинтовий навантажувач; 18 - черв'ячний редуктор; 19 - індикатор; 20 - призматичні упори; 21 - смугова динамометрична пружина; 22 - ланцюговий привід

Стенд контролю розмірів здвоєних шин раму (1) на якій встановлена бігова доріжка у вигляді цілісного барабана (3) на валу (2), по якому перекочується еталонна (4) і випробовувана (5) шини. Обидві шини за допомогою дисків встановлено жорстко на веденому валу черв'ячного редуктора (18) з можливістю звільнення від тангенціального зв'язку. Причому черв'ячний редуктор встановлений балансірно в опорах поворотної рамки (8) і кінематично пов'язаний ланцюговим приводом (22) з приводним електродвигуном (7). Реактивний момент приводу стенду сприймає закріплена на черв'ячному редукторі смугова динамометрична пружина (21) що взаємодіє з призматичними упорами (20) на поворотній рамці.

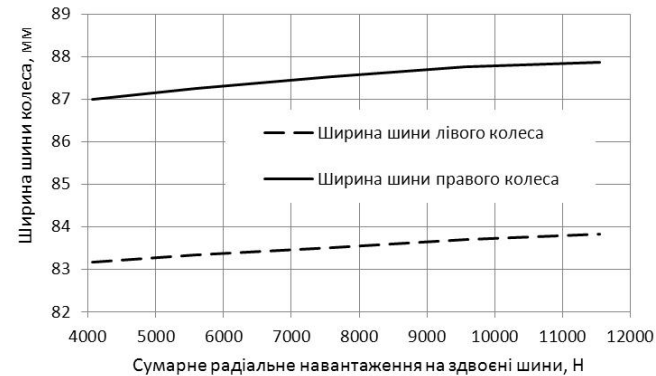
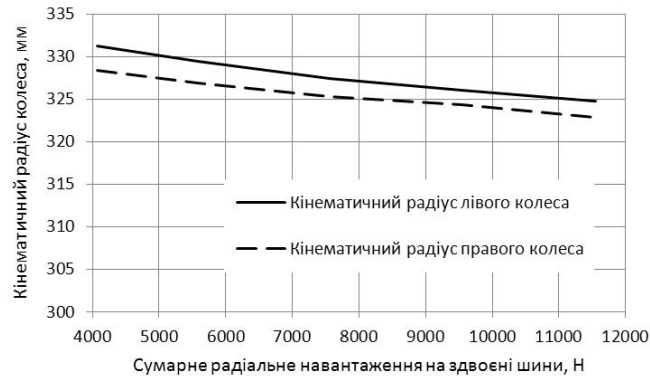
Деформація цієї смугової динамометричної (тензометричної) пружини може реєструватися або за показами індикатора переміщень 19 візуально, або за показами електричних приладів з використанням тензодатчиків, наклеєних на пружину.

Одна з автомобільних шин, встановлена на стенді, береться за еталонну, відносно кінематичного радіусу якої виконується комплектування шин в групи.

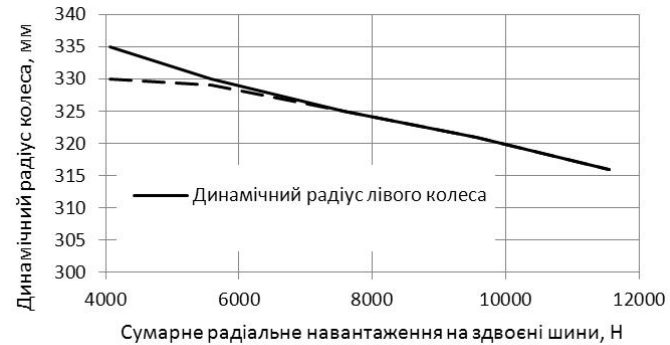
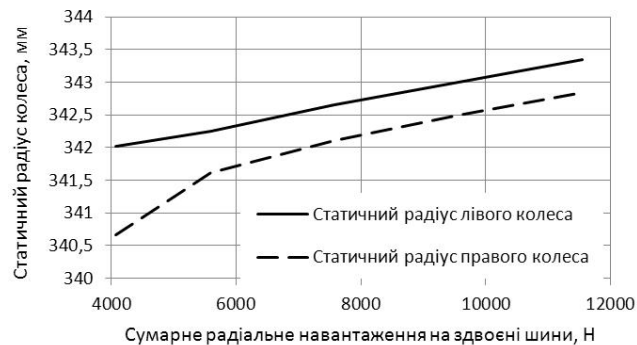
У разі потреби проведення тягових випробувань і визначення механічних параметрів шин вал барабана через муфту з'єднується з порошковим гальмом марки ПТ-40М.

## Результати експериментів з формування пропозицій щодо удосконалення технології підбору шин здвоєних коліс автотранспортних засобів

**Зміна параметрів колеса залежно від сумарного радіального навантаження при розімкнених колесах**



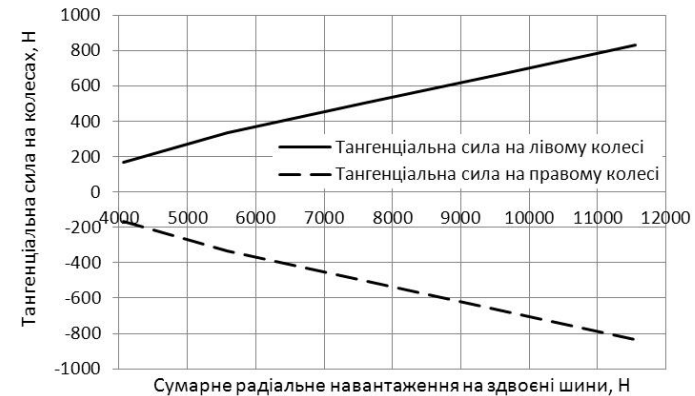
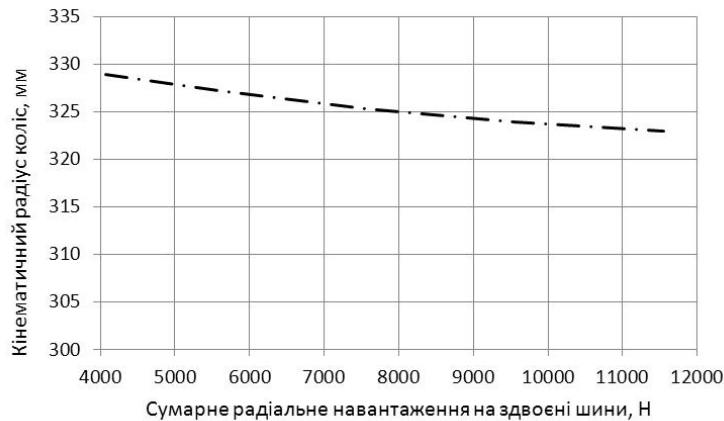
**Зміна радіусів колеса залежно від сумарного радіального навантаження при замкнених колесах**



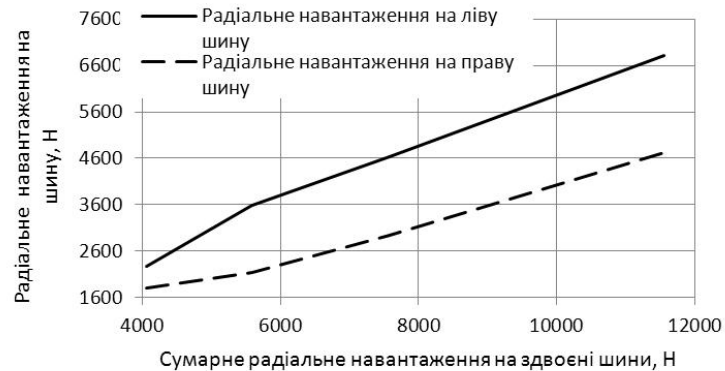
Експеримент проводиться при ступінчастому навантаженні коліс, що відповідає власній вазі автомобіля, 25%, 50%, 75% і 100% завантаження автомобіля

## Результати експериментів з формування пропозицій щодо удосконалення технології підбору шин здвоєних коліс автотранспортних засобів (продовження)

### Зміна параметрів залежно від сумарного радіального навантаження при замкнутих колесах



### Розподіл сумарного радіального навантаження на колеса по шинах (здвоєним)



### В результаті експериментальних досліджень визначено:

- відмінність статичних радіусів здвоєних коліс призводить до нерівномірного радіального навантаження коліс;
- вказана різниця зі збільшенням радіального навантаження зменшується;
- тиск повітря в шинах у міру збільшення радіального навантаження збільшується.

## Рекомендації по технології проведення комплектації шин ведучих здвоєних коліс

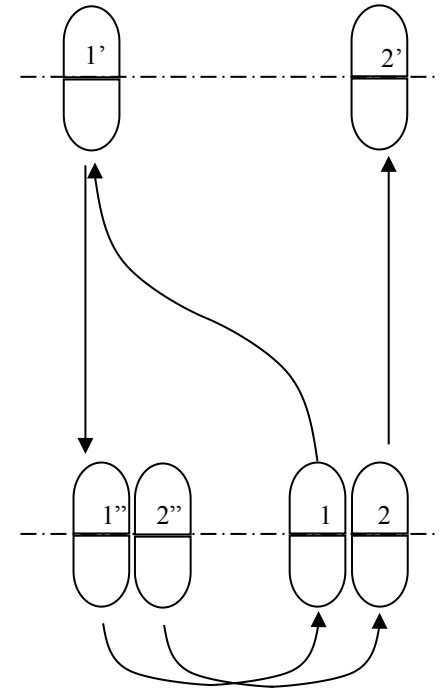
Для здійснення вхідного контролю необхідно здійснити наступні операції.

1. Випробовувані шини, змонтовані на диски, пропонується піддавати пневматичній дії із ступінчастим (через кожні 15 хвилин) підвищенням і наступним пониженням тиску і виміром зовнішнього діаметру спецтангенциркулем на кожному однойменному ступені тиску повітря. По різниці або збігу зовнішніх діаметрів на кожному ступені підвищення або пониження тиску судять про міру кінематичної відповідності або невідповідності шин.
2. Шину можна вважати якісною, якщо через 15 хвилин після маніпуляцій накачуванням і стравленням повітря відсутні мінімально залишкові збільшення діаметру - гістерезис. Чим менше величина гістерезису, тим якісніше шина.
3. Отриманими при обмірах розмірами шин можна скористатися для комплектації.

За відсутності в автогосподарстві розробленого і приведеного вище стенду для комплектації здвоєних шин, для великовантажних автомобілів рекомендується нижченаведені дії.

1. Увесь комплект шин має бути одного сезонного призначення і однотипний за формою протектора.
2. Загальновідомо, що тангенціальна жорсткість шин залежить від міри їх зносу. У зв'язку з цим доцільно для попередньої комплектації шин в пари формувати три групи зі зносом: до 15% (група А); до 40% (група В) і більше 40% (група С).
3. Комплектація шин з груп А, В, С повинна виконуватись по різниці середніх їх діаметрів, кожен з яких заміряний в трьох поперечних площинах через 120° при номінальному тиску в них. Відхилення зовнішніх діаметрів здвоюваних шин не повинні перевищувати в групі А - 0,25%, в групі В - 0,20%, і в групі С - 0,15%.
4. В процесі експлуатації здвоєні шини не повинні розпаровуватись. При цьому рекомендується після пробігу 10000 км робити перестановку шин за приведеною схемою

Рекомендована схема перестановки шин



## ВИСНОВКИ

У даній магістерській кваліфікаційній роботі було виконано наукові дослідження, направлені на розробку заходів з підвищення ефективності експлуатації автомобілів структурної одиниці «Вінницькі міські електромережі» публічного акціонерного товариства «Вінницяобленерго» на основі удосконалення технології підбору шин здвоєних коліс автотранспортних засобів. Зокрема було зроблено:

- досліджено завантаженість здвоєних шин задніх ведучих мостів автомобілів;
- досліджено стійкість автомобіля при нерівномірності динамічних радіусів коліс різних бортів;
- розроблено експрес-методику вияву якості виготовлення та ідентичності розмірів шин;
- створено рекомендації по технології проведення комплектації шин ведучих здвоєних коліс;
- розроблено питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях;
- розраховано економічну ефективність запропонованих рішень.

Використання основних результатів магістерської кваліфікаційної роботи дозволяє:

- оцінити завантаженість здвоєних шин задніх ведучих мостів автомобілів;
- оцінити стійкість автомобіля при нерівномірності динамічних радіусів коліс різних бортів;
- виявити якість виготовлення та ідентичність розмірів шин;
- покращити технологію та якість ТО і ПР автомобілів, що підвищує їх безпеку та ефективність роботи в експлуатації.

Розрахунки показали, що впровадження результатів виконаних наукових досліджень із удосконалення технології підбору шин здвоєних коліс автотранспортних засобів економічно виправдане.