

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Управління ресурсом шин на основі використання системи моніторингу транспортних засобів

Рівень вищої освіти бакалавр
Галузь знань 27 «Транспорт»
Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»
Освітня програма Автомобільний транспорт

Шифр КРБАТ 2522121. 000 ПЗ

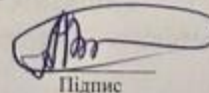
Виконав студент 3-го курсу
група АТс 22-2
Шифр



Підпис

Ніколь СЛЫЦИНА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

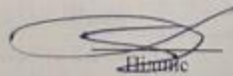
Керівник старший викладач
Науковий ступінь, звання



Підпис

Анатолій ВИЧАВКА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер



Підпис

Олег БАБАК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри ТАМ
Назва



Підпис

Олександр ДИХА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Дата 16.06.25

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет *інженерії, транспорту та архітектури*
Кафедра *трибології, автомобілів та матеріалознавства*
Рівень вищої освіти *перший бакалаврський*
Галузь знань *27 Транспорт*
Спеціальність *274 Автомобільний транспорт*
Освітня програма *Автомобільний транспорт*

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ТАМ



Диха О.В.

20.02 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Сльциній Ніколь Сергійівній

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи: Управління ресурсом шин на основі використання системи моніторингу транспортних засобів

керівник роботи: Вичавка Анатолій Анатолійович, старший викладач каф. ТАМ.

Затверджено наказом університету від 07.02.2025 р. № 23 (Д 26)

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 16.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Матеріали курсових проектів, робіт, практики.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1) Аналіз факторів що впливають на ресурс автомобільних шин.

2) Системи контролю тиску в шинах.

3) Аналіз ефективності практичного застосування системи «TPMS».

4) Висновки, рекомендації.

5. Перелік графічного матеріалу (презентація):

Розробити презентацію у вигляді слайдів з розкриттям питань відповідно до мети роботи.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної

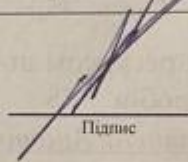
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 21.04 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

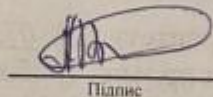
№ з/п	Назва розділу кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примі
1	Аналіз факторів що впливають на ресурс автомобільних шин	4.05.25	вик
2	Системи контролю тиску в шинах	16.05.25	вик
3	Аналіз ефективності практичного застосування системи «TPMS»	26.05.25	вик
4	Висновки, рекомендації	10.06.25	вик
5	Оформлення пояснювальної записки	12.06.25	вик
6	Допуск до захисту	14.06.25	вик
7	Захист дипломної роботи	16.06.25	

Студент


Підпис

Ніколь ЄЛЬЦИНА

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Анатолій ВИЧАВКА

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
Розділ 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	11
1.1 Аналіз науково-дослідницьких робіт за темою дослідження.....	11
1.2 Виявлення та класифікація основних груп чинників, що впливають на термін служби та інтенсивність зносу шин.....	30
1.2.1 Тиск повітря в шині.....	30
1.2.2 Навантаження на шину.....	34
1.2.3 Швидкість руху.....	36
1.2.4 Технічний стан.....	37
1.2.5 Неоднорідність коліс і дисбаланс.....	38
1.2.6 Дорожні та кліматичні.....	39
1.3 Існуючі системи контролю тиску шин на підприємстві.....	41
1.4 Системи моніторингу тиску в	42
1.4.1 Види систем моніторингу тиску в шинах.....	44
1.5 Аналіз шин і рухомого складу на підприємстві.....	48
1.5.1 Характеристика досліджуваного рухомого складу.....	48
1.6 Методи оцінки інтенсивності зносу шин.....	50
1.7 Мета, завдання та загальна методика.....	54
Розділ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕОРІЇ ПЛАНУВАННЯ БАГАТОФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ.....	58
2.1 Визначення факторів для врахування в регресійній моделі та їхній вплив на інтенсивність зносу шин.....	58
2.2 Інтерпретування моделі процесу інтенсивності зносу шин у вигляді "чорної скриньки".....	60

ДРМТВА 2522121.000. ПЗ				
Зм	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Ельцина		
Перевір.		Вичавка		
Реценз.				
Н.		Бадак		
Затверд.		Диха		
Управління ресурсом шин на основі використання системи моніторингу транспортних засобів			Літ.	Арк.
				5
			Акрцшів	137
<i>ХНУ група АТс 22-2</i>				

2.3	Методика планування багатофакторного експерименту	62
2.4	Вибір рівняння.....	65
2.5	Побудова матриці планування експерименту.....	66
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОДАННЯ.....		69
3.1	Оцінка точності методу вимірювання інтенсивності зносу.....	69
3.2	Проведення експерименту.....	71
3.3	Множинний регресійний аналіз результатів.....	77
3.4	Оцінювання адекватності моделей	80
Розділ 4 Результати дослідження. Оцінка ефективності.....		91
4.1	Інтерпретація результатів дослідження.....	93
4.2	Моделювання ресурсу шин залежно від рівня варіювання факторів.....	94
4.3	Економічний ефект від використання системи моніторингу.....	98
4.4	Оцінювання ефективності інвестицій на впровадження системи моніторингу.....	101
4.5	Оцінка екологічного ефекту від впровадження системи.....	108
ВИСНОВОК.....		116
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		117
ДОДАТКИ.....		119

ДРМТВА 2522121.000. ПЗ

Зм	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	Лім.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Ельцина				6	137
Перевір.		Вичавка					
Реценз.							
Н.		Бабак					
Затверд.		Диха					

Управління ресурсом шин на основі використання системи моніторингу транспортних засобів

ХНУ група АТс 22-2

ВСТУП

Актуальність дослідження.

На сьогоднішній день автомобільний транспорт залишається найпоширенішим і найзатребуванішим способом перевезення вантажів і пасажирів як в Україні, так і в усьому світі. Згідно з даними Державної служби статистики за 2024 рік [42], обсяг вантажоперевезень автомобільним транспортом склав 5041 млн тонн, що становить 67,5% від загального обсягу перевезень усіма видами транспорту в країні. Аналогічна ситуація спостерігається і з пасажирськими перевезеннями — 13 166 млн осіб, або 68,9%.

Ураховуючи масштаб автомобільних перевезень та їхню значущість для економіки і соціальної сфери, підвищення ефективності функціонування автомобільного транспорту є надзвичайно актуальним завданням. Як зазначено в джерелі [53], на ефективність автомобільного транспорту впливають не лише організаційні аспекти перевезень чи технічний стан автопарку, а й експлуатаційні характеристики шин, зокрема їхній ресурс та термін служби. Це цілком логічно, адже шини є одними з найдорожчих елементів конструкції автомобіля, а витрати на їх обслуговування і відновлення поступають лише витратам на паливо.

Скоротити ці витрати можна шляхом підвищення довговічності шин, яка, у свою чергу, залежить від низки чинників. Їх умовно поділяють на дві групи: керовані та некеровані. До керованих належать ті, на які можливо впливати для продовження ресурсу шин: тиск у шинах, балансування (статичне і динамічне), стан підвіски, навантаження, швидкість руху, а також стиль водіння. Некеровані ж — це дорожні умови, клімат і загальна ситуація на маршруті.

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Незважаючи на те, що більшість керованих чинників перебувають під наглядом технічної служби автотранспортного підприємства, контроль тиску в шинах часто ігнорується або проводиться недостатньо ретельно. У результаті, за даними досліджень, у 60–90% випадків експлуатації шин мають тиск, що не відповідає нормативному. Це призводить до втрати 6–15% ресурсу шин і 1,5–6,0% пального.

Постановка проблеми.

Однією з причин недостатньої уваги до контролю тиску в шинах є відсутність обов'язкових нормативних документів, що регламентують постійний моніторинг цього показника. Також немає чітко визначених рекомендацій щодо методів контролю. На відміну від України, в багатьох західних країнах ця проблема вже давно вирішена.

Зокрема, у США ще в листопаді 2000 року було ухвалено закон **The TREAD Act** (Transportation Recall Enhancement, Accountability, and Documentation), відповідно до якого всі транспортні засоби повинні бути оснащені системами сповіщення про критично низький тиск у шинах. Згодом це положення було закріплене у федеральному стандарті **FMVSS №138**, розробленому Національною адміністрацією безпеки дорожнього руху (NHTSA).

Міжнародний стандарт **ISO/DFIS 21750**, оприлюднений у березні 2006 року, також підтримує ключові положення американського нормативу. У Європейському Союзі, починаючи з 2012 року, відповідно до **Правил ЄЕК ООН №64**, усі нові автомобілі обов'язково оснащуються системами моніторингу тиску в шинах.

Крім підвищення безпеки руху, контроль тиску має позитивний вплив на довкілля: зменшується витрата пального, що, у свою чергу, знижує кількість шкідливих викидів в атмосферу. Також скорочується утворення небезпечного

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гумового пилу, який накопичується на узбіччях доріг. Згідно з даними [53], ґрунт на придорожніх смугах містить до 2% частинок зносу шин.

Дослідження цього ж автора свідчать, що під час експлуатаційного зносу шин у навколишнє середовище вивільняється значна кількість шкідливих речовин, зокрема канцерогенних поліароматичних вуглеводнів (як-от бензапірен), N-нітрозамінів та інших токсичних домішок, які додаються у гуму для покращення її міцності та еластичності.

Усе вищезазначене свідчить про високу актуальність теми дисертаційного дослідження, присвяченого управлінню ресурсом шин на основі використання систем моніторингу транспортних засобів.

Мета дослідження полягає у зменшенні експлуатаційних витрат і скороченні викидів шкідливих речовин за рахунок розроблення системи управління ресурсом шин, яка базується на використанні технологій моніторингу транспортних засобів.

Наукова новизна полягає у створенні методу керування ресурсом шин шляхом аналізу даних систем моніторингу, що відстежують керовані фактори впливу на стан шин, зокрема на міжмуніципальних і міжрегіональних маршрутах, адаптованих до умов експлуатації в місті Хмельницький [57].

Практична значущість роботи полягає у впровадженні підходу до врахування впливу керованих чинників на ресурс шин в умовах експлуатації південної частини Хмельниччини. Побудовані регресійні моделі для кожного з розглянутих маршрутів дозволяють прогнозувати залишкову глибину протектора залежно від таких експлуатаційних параметрів, як тиск у шині та навантаження на неї.

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Запропоновані моделі та методика забезпечують можливість ефективного управління ресурсом шин, зокрема через впровадження планово-попереджувальних заходів на основі фактичних даних моніторингу. Це, своєю чергою, сприяє зменшенню витрат на обслуговування шин і споживання пального, підвищенню безпеки дорожнього руху та зниженню негативного впливу транспорту на довкілля.

Завдання дослідження:

здійснити огляд літературних джерел та всебічно проаналізувати вплив різних чинників на швидкість зносу шин;

опрацювати статистичні дані щодо тиску повітря в шинах та їх ходимості з метою визначення ключових експлуатаційних параметрів, що впливають на зношування протектора;

побудувати багатофакторні регресійні моделі, які відображають залежність залишкової глибини протектора від основних експлуатаційних чинників;

на основі отриманих моделей сформулювати рекомендації та розробити заходи щодо зниження інтенсивності зношування шинного протектора.

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз науково-дослідницьких робіт за темою дослідження

Шини є одним із найвартісніших компонентів автомобіля, що мають суттєвий вплив на безпеку дорожнього руху, витрати пального та екологічну ситуацію. Вирішення науково-практичної задачі подовження технічного ресурсу шин спрямоване на покращення безпеки транспорту, зниження споживання палива та зменшення негативного впливу на довкілля. Окрім цього, підвищення ресурсу шин може забезпечити економічну вигоду, яку доцільно спрямувати на модернізацію матеріально-технічної бази автотранспортного підприємства.

У сфері технічної експлуатації шин вже проведено значну кількість досліджень, основна мета яких — вирішення завдання підвищення їхнього ресурсу. Відмінність між роботами полягає в підходах та методах дослідження.

Так, А.В. Сичов, Г.В. Абакумов, М.М. Муртузов та Н.С. Захаров вивчали вплив тиску на довговічність шин. Д.В. Гудков, Р.М. Устаров, Т.Н. Володіна та В.І. Яковлев досліджували вплив умов експлуатації, а А.М. Лямзін — вплив кліматичних факторів. Г.В. Сидельников і Е.Ф. Касаткіна охопили широкий спектр чинників і розробили регресійні моделі. Удосконаленню конструкцій шин присвячені праці Ш.Д. Гечекбаєва, В.Н. Абрамова, В.А. Дамзена, А.А. Юсупова, Л.Д. Слюдікова та інших науковців.

У роботі Сичова А.В. [49] розглянуто методики контролю тиску в шинах, що дозволяють відстежувати зміни тиску залежно від умов експлуатації. Автор також запропонував математичну модель, яка описує зміну тиску газу в шинах.

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta p_w(t) = k_{\text{ПМАСС}} \cdot k_{\text{СТАР}} \cdot k_{\text{РЕЖДВ}} \cdot k_{\text{ДОР}} \cdot k_v^{\text{CP}} \cdot k_{\text{РЕЖДВ}} \cdot \Delta p_w^{\text{ДИФФ}} \cdot t, \quad (1.1)$$

де $k_{\text{ПМАСС}}$ - коефіцієнт впливу повної маси;

$k_{\text{СТАР}}$ - коефіцієнт, що враховує ступінь старіння шини;

$\Delta p_w^{\text{ДИФФ}}$ - втрати тиску ненавантаженої шини;

k_v^{CP} - коефіцієнт урахування середньої швидкості руху;

t - час експлуатації;

$k_{\text{ДОР}}$ - коефіцієнт, що враховує тип і якість дорожнього покриття;

$k_{\text{РЕЖДВ}}$ - коефіцієнт режиму руху. Цей коефіцієнт враховує відношення числа розгонів і гальмувань на 1 км шляху.

Коефіцієнт режиму руху визначається за формулою

$$k_{\text{РЕЖДВ}} = k_{\text{ГОР}}^I \cdot k_{\text{ГОР}} + (1 - k_{\text{ГОР}}^I) \cdot k_{\text{ВНЕГОР}}, \quad (1.2)$$

де $k_{\text{ГОР}}$ - коефіцієнт впливу міського циклу руху на швидкість втрати газу в шині автомобіля;

$k_{\text{ВНЕГОР}}$ - коефіцієнт впливу позаміського руху.

$k_{\text{ГОР}}^I$ - частка міського циклу руху автомобілів

$1 - k_{\text{ГОР}}$ - частка міжміського циклу руху автомобіля.

Автор детально розглянув три різні підходи до визначення дифузії газу в шині за відсутності впливу зовнішніх чинників. Перші два методи передбачають заповнення шини на 90% металевими кульками, залишивши 10% об'єму для газу. Оскільки метал не здатен поглинати газ, а об'єм газової порожнини можна точно розрахувати завдяки відомим розмірам кульок, площа для дифузії залишається незмінною, при цьому об'єм газу значно

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зменшується. Це дає змогу пришвидшити процес експерименту майже в 10 разів, оскільки навіть незначна втрата газу спричиняє суттєве зниження тиску. Водночас, після такого випробування шина стає непридатною до подальшого використання.

Другий метод аналогічний першому, але доповнений газокомпенсаційним пристроєм, який стабілізує тиск усередині шини при його зниженні. Цей підхід імітує роботу системи підтримки тиску в шині. Обидва методи дозволяють також обчислити коефіцієнт дифузії.

У третьому методі шину поміщають у герметичну камеру (металевий контейнер з кришкою), яка повністю виключає можливість надходження додаткового газу ззовні. Далі камеру заповнюють водою, підігрітою до необхідної температури, і виводять капілярну трубку. У міру дифузії газу з шини у воду, утворюється додатковий об'єм, який спричиняє підняття рівня рідини в капілярі. Знаючи діаметр трубки, можна точно обчислити об'єм вивільненого газу. Основним недоліком цього методу є можливість деформації шини через втрату понад 80% тиску, що може спотворити результати. Проте, якщо вимірювання проводяться за падіння тиску в межах 5–10% від номінального, цей вплив вважається незначним.

Під час визначення нормативного маршрутного ресурсу шин автобусів, на думку автора, цільова функція може залежати від трьох основних груп чинників:

Перша група факторів ($A_1 \dots A_n$) описує умови експлуатації автобуса, які задаються наперед і не підлягають зміні під час нормування ресурсу шин. До цієї категорії належать:

A_1 — кількість технологічних зупинок на одиницю маршруту,

A_2 — частота розташування світлофорів,

A_3 — кількість поворотів,

A_4 — рівень транспортного навантаження на маршруті,

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

- A5 — середня відстань між зупинками,
- A6 — коефіцієнт заповненості салону,
- A7 — робоча експлуатаційна швидкість,
- A8 — швидкість з'єднання,
- A9 — технічний стан дорожнього полотна,
- A10 — ухил траси за маршрутом,
- A11 — тип дорожнього покриття,
- A12 — інтенсивність транспортного потоку.

Друга група факторів (B1...Bm), які також називають керованими змінними або елементами впливу, можуть змінюватися в процесі управління і тим самим впливати на цільову функцію. Сюди входять:

- B1 — впровадження обґрунтованих нормативів (наприклад, рекомендовані значення тиску в шинах і кутів сходження),
- B2 — контроль за дотриманням цих нормативів,
- B3 — оптимізація процесів технічного обслуговування та експлуатації шин,
- B4 — забезпечення виконавців необхідною технологічною та супровідною документацією,
- B5 — цифровізація обліку та звітності в технічній експлуатації автобусів,
- B6 — належне кадрове забезпечення підприємства,
- B7 — підвищення рівня кваліфікації персоналу,
- B8 — вдосконалення систем мотивації працівників,
- B9 — стабільність трудових колективів,
- B10 — створення резерву технічно справних автобусів,
- B11 — вибір оптимальних моделей рухомого складу,

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

B12 — використання сучасних експлуатаційних матеріалів, включаючи засоби для обслуговування та ремонту шин,

B13 — забезпечення високої якості капітального ремонту, особливо підвіски та рульових елементів,

B14 — управління віковим складом автобусного парку,

B15 — гнучке регулювання строків служби автобусів.

У рамках дослідження враховувалося, що чинники другої групи або мають фіксовані нормативні значення (наприклад, тиск у шинах), або залишаються незмінними протягом аналізу.

Третя група чинників (C1...Ck) охоплює заздалегідь невідомі або недостатньо вивчені умови, вплив яких на ефективність системи не визначено однозначно. До таких факторів належать:

C1 — температура зовнішнього середовища,

C2 — ступінь агресивності навколишнього середовища.

Через складність прогнозування поведінки цих змінних, для їх кількісної оцінки автор застосував експертний підхід, зокрема метод апріорного ранжування. У результаті дослідження були побудовані регресійні моделі, одна з яких — для шин типу 11/70R-22,5 без системи ABS — наведена нижче.

$$P_j = 68917 + 534,8V_{Cj} + 1683,8l_{nj} - 15636,7\gamma_j + 354,9n_{Pj} - 1764\rho_j, \quad (1.3)$$

де V_{Cj} - швидкість сполучення на j -му маршруті, км/год;

γ_j - коефіцієнт використання пасажиромісткості на j -му маршруті;

l_{Pj} - середня довжина перегону на j -му маршруті, км;

n_{Pj} - питома кількість поворотів на j -му маршруті, шт./км;

ρ_j - середня щільність транспортного потоку на j -му маршруті, авт./100м.

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згідно з результатами дослідження автора, серед експлуатаційних чинників найбільший вплив на ресурс шин має швидкість сполучення — її внесок становить 12%. Наступними за значущістю є:

коефіцієнт використання пасажиромісткості — 8%,

щільність транспортного потоку — 4%,

середня довжина перегону — 2%,

кількість поворотів на маршруті — 1%.

У сукупності ці експлуатаційні фактори впливають на ресурс шин на 27%. Решта 73% зумовлена впливом конструкційних особливостей, технологічних рішень, виробничих умов та природно-кліматичних чинників.

Розроблена автором регресійна модель з високим рівнем точності підтвердила результати проведеного експертного аналізу. Завдяки впровадженню запропонованих підходів вдалося підвищити ресурс шин для автобуса ЛіАЗ-5256.25 (з шинами типу 11/70R-22,5 без ABS) на 19%.

У свою чергу, Е. Ф. Касаткіна у своїй праці [22] запропонувала автоматизовану систему для обліку й управління витратами на шини у вигляді програмного забезпечення. Впровадження цієї системи у виробництво дає змогу не лише оптимізувати витрати, а й підвищити ефективність експлуатації транспорту. Одним із головних завдань системи є зменшення трудомісткості обробки первинної документації за рахунок створення та використання електронних баз даних.

В основі автоматизованої системи обліку лежать регресійні рівняння, які дають змогу у автоматичному режимі розраховувати залежність інтенсивності зносу шин ($J_{Ш}$) від відповідних експлуатаційних параметрів — окремо для передніх і задніх коліс.

$$J_{Ш} = 0,249 + 0,034C + 0,0119P_{w1} + 0,0085L_p + 0,02294П + 0,0102У + 0,0153К; \quad (1.4)$$

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$J_{ш2} = 0,182 + 0,008P + 0,0064ЛП + 0,0136П + 0,0082У + 0,0088К; \quad (1.5)$$

де C - сходження коліс;

$PW1$ і $PW2$ - тиск повітря в шинах передніх і задніх коліс;

$ЛР$, $ЛП$ - люфти в рульовому управлінні і в підшипниках маточин коліс;

$П$ - перекіс мостів;

$У$ - умови експлуатації;

$К$ - кліматичні умови.

Використання створених регресійних рівнянь дає можливість ефективно визначати причини надмірного зношування шин та вдосконалити процес виявлення технічних несправностей. Після впровадження цієї системи на підприємстві Володимирське ПАТП-1 автором було зафіксовано зменшення витрат на шини на 7%, а адміністративні витрати, пов'язані з їх обліком, знизилися на 50%.

У науковій праці Д. В. Гудкова [13] розглянуто основні фактори, що впливають на швидкість зношування шин з урахуванням особливостей автобусних маршрутів. Автор здійснив класифікацію цих факторів і дійшов висновку, що найбільший вплив на ресурс шин має повна маса автобуса з урахуванням ступеня його заповненості пасажирями. На основі цього Гудков розробив індикатор завантаженості шини, в основі якого лежить обчислення сумарної роботи сил, що діють у зоні контакту шини з дорожнім покриттям.

$$A_{y\partial} = \left(\sum A_{R_x} + \sum A_{P_y} \right) / L_m, \quad (1.6)$$

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

де $\sum A_{P_x}$ і $\sum A_{P_y}$ - відповідно сумарна робота як поздовжніх тягових і гальмівних сил, так і бічних сил, що діють у плямі контакту автомобільної шини з дорогою, Дж;

L_m - довжина маршруту.

Автором отримано лінійну залежність для визначення ресурсу шин

$$L_n = 163,8 - 0,026 \cdot A_{уд}, \quad (1.7)$$

У дослідженні [56] Р. М. Устаров проаналізував, як експлуатаційні чинники впливають на швидкість зношування шин і тривалість їхньої служби в умовах пересіченої місцевості. Автор запропонував модель, яка враховує взаємодію між елементами системи «гірська дорога – транспортний засіб – водій – навколишнє середовище».

У межах цієї моделі розглядалися такі чинники:

- манера керування автомобілем (зокрема, величина прикладеного крутного моменту);
- дорожні та погодні умови;
- конструктивні характеристики транспортного засобу;
- перевантаження шин;
- режими швидкості руху;
- тиск повітря в шинах;
- параметри встановлення коліс;
- сили, що діють на шини під час руху;
- конструктивна неоднорідність і невідповідність шин;
- перекося передньої та задньої осей;
- технічний стан підвіски;

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

– зворотний вплив зношування шин на їхній ресурс і подальше погіршення характеристик.

Для оцінки впливу кожного з факторів було проведено серію стендових випробувань. У результаті автор отримав лінійну залежність, яка дозволяє прогнозувати пробіг автобусних шин залежно від питомої роботи сил опору руху в умовах змінного рельєфу.

$$y = 165,686 - 0,02107 \cdot A_{y\delta}, \quad (1.8)$$

Де $A_{y\delta}$ - сумарна робота сил, що діють у плямі контакту шини з дорогою, визначається за формулою 1.6.

У межах дослідження також було запропоновано коефіцієнт, який дозволяє враховувати вплив рельєфу місцевості під час прогнозування пробігу шин. З огляду на різноманіття дорожніх умов, маршрути експлуатації транспортних засобів доцільно умовно поділити на окремі характерні відрізки, де навантаження на шини та інші експлуатаційні параметри залишаються практично незмінними (тобто є квазістаціонарними).

Оцінивши частку кожної з таких ділянок у загальній довжині маршруту, можливо обчислити середню інтенсивність зношування шин з урахуванням особливостей рельєфу. У результаті середнє значення інтенсивності зносу протектора визначається за наступною формулою:

$$J_{CP} = J_{PP} \cdot \Delta l_{PP} + J_i \cdot \Delta l_i + J_j \cdot \Delta l_j + J_{PP} \cdot \Delta l_{PP}, \quad (1.9)$$

де J_{PP} , J_i , $J(j)$, J_{PP} - інтенсивність зносу шин на криволінійній ділянці, підйомах (ухилах), під час руху автомобіля з прискореннями (сповільненнями) і на прямолінійних ділянках, відповідно мг/км;

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\Delta l_{PP}, \Delta l_i, \Delta l_j, \Delta l_{PP}$ - питома вага (робота) характерних ділянок.

Автором було запропоновано поняття "середньозважений коефіцієнт рельєфності", який визначається як

$$\bar{K} = \frac{\sum K_i \cdot L_i}{\sum L_i}, \quad (1.10)$$

де K_i - часткові коефіцієнти для відповідних рельєфів місцевості;

L_i - довжини шляхів для цього маршруту, що проходять на відповідних рельєфах.

На думку автора, запропоновану методику доцільно застосовувати при розрахунках для нових маршрутів. При цьому значення середньозваженого коефіцієнта рельєфності рекомендується вносити до паспортних даних маршруту для подальшого використання під час прогнозування пробігу шин.

У праці [31] А. М. Лямзін зосередив увагу на впливі класифікаційних характеристик шин та рівнів їхньої пристосованості (зокрема, категорії використання та наявності ошипування) до умов експлуатації при низьких температурах. Проведені дослідження підтвердили, що як здатність шин до адаптації в холодних умовах, так і самі температурні режими суттєво впливають на коефіцієнт опору коченню, а відтак — і на витрати пального.

Автор увів поняття коефіцієнта пристосованості, який базується на значенні опору коченню. Відповідно до отриманих значень, шини класифікуються за трьома рівнями адаптації: високий, середній і низький. Основна ідея роботи полягає в тому, що ступінь впливу суворих кліматичних умов залежить від конструктивних особливостей шин і рівня їхньої пристосованості. Результати експериментів довели, що різні типи шин

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

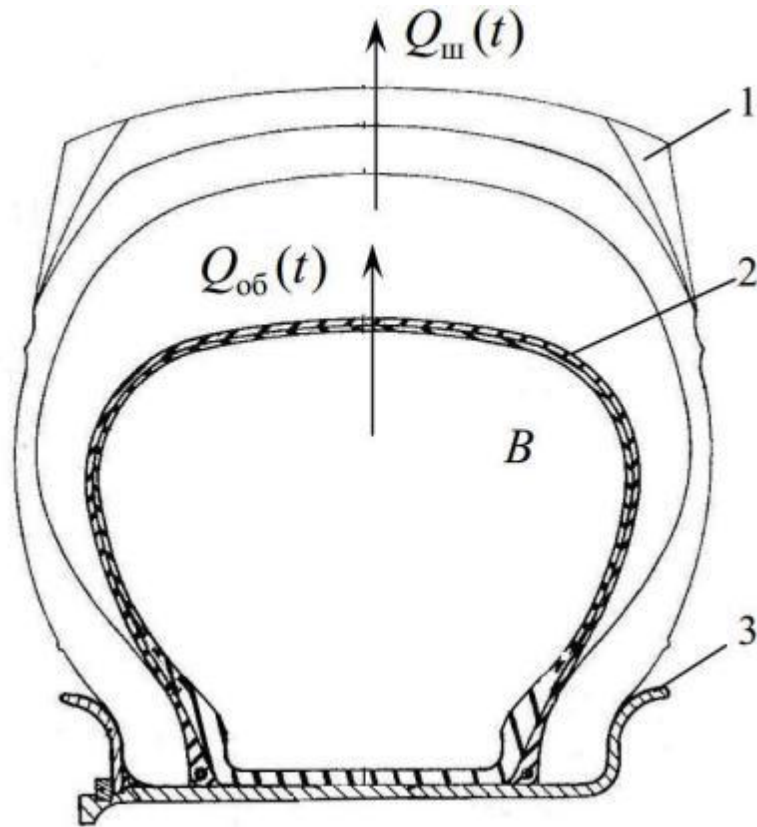
демонструють відмінну динаміку зміни опору коченню в умовах низьких температур, що зумовлює різні значення коефіцієнта пристосованості.

У підсумку, автор виділив дві ключові ознаки для класифікації: категорію використання шини та наявність ошипування. На основі цих характеристик він запропонував методику диференційованого коригування норм витрат палива з урахуванням здатності шин до експлуатації в холодному кліматі, визначеної за коефіцієнтом опору коченню. Величина цього коефіцієнта, у свою чергу, залежить від фактичної температури повітря під час експлуатації та рівня пристосованості шин до низькотемпературних умов.

У роботі [10] Ш. Д. Гечекбаєв запропонував розв'язання задачі прогнозування тиску в автомобільних шинах та підвищення його стабільності шляхом застосування внутрішнього газопроникного пневматичного акумулятора (ВГПА) (рис. 1.1). Було створено математичну модель процесу газової дифузії з шини, оснащеної ВГПА, а також розроблено методику підбору оптимальних параметрів пристрою, що забезпечують максимальне збільшення періоду відновлення тиску без порушення норм експлуатаційного тиску.

Згідно з результатами досліджень, використання ВГПА дозволило збільшити інтервал між відновленням тиску в шині в середньому з 7 до 120 днів, що перевищує відповідний показник для стандартної шини в 17 разів.

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



1 - зовнішня пневматична шина; 2 - внутрішній пневматичний акумулятор; 3 - обід; A - основна камера; B - допоміжна камера (внутрішній пневматичний газопроникний акумулятор)

Рисунок 1.1 - Розрахункова схема шини з внутрішнім пневматичним акумулятором (ВПГА)

У дослідженні М. М. Муртузова [33] розглянуто питання збільшення інтервалів між відновленнями нормативного тиску в шинах шляхом математичного моделювання процесів зміни тиску та концентрації кисню, зумовлених газопроникністю матеріалів шин.

За допомогою розроблених математичних моделей автор визначив закономірності зміни тиску в шині з часом за різних варіантів наповнення: стисненим повітрям, чистим азотом і технічним азотом. Також було встановлено залежність, яка дозволяє прогнозувати інтервал до першої необхідності

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБАТ 2522121.000 ПЗ

Арк.

відновлення нормативного тиску. Окремо досліджено зміну концентрації кисню всередині шини в динаміці часу.

У результаті Муртузов запропонував математичну модель, яка описує зміну тиску в шині під впливом поступового виходу газової суміші через матеріал шинної оболонки.

$$p_{ш}(t) = p_{ш0} e^{-\frac{\beta_{ш}(t)ST}{\delta V}t} = p_{ш0} \sum_{i=0}^k \eta_{i0} e^{-\frac{\beta_i(t)ST}{\delta V}t}, \quad (1.11)$$

де $p_{ш0}$ - початковий тиск суміші газу в шині;

$\beta_{ш}(t)$ і $\beta_i(t)$; - показник проникності суміші газів у шині та показник проникності i -го газу в шині відповідно;

S - площа шини;

T - абсолютна температура;

δ - товщина герметизуючого шару;

V - об'єм шини;

t - час, за який відбувається зміни тиску;

η_{i0} - частка газу, що знаходиться в загальному обсязі суміші.

Запропонована модель описує процес виходу повітря з шини за умови відсутності на неї вертикального навантаження, тобто об'єм шини вважається постійним у часі, а тиск у ній змінюється виключно внаслідок витоку газу.

У ході дослідження автор встановив, що при заправленні шини повітрям концентрація кисню в її внутрішньому об'ємі зменшується за експоненційною залежністю, і повне виведення кисню може тривати від 70 до 350 діб. При цьому інтервал між необхідними підкачуваннями тиску поступово збільшується. Заправка шини спочатку азотом, а згодом — повітрям, дозволяє

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБАТ 2522121.000 ПЗ				

продовжити інтервал стабільного тиску і водночас зменшити витрати на обслуговування шин приблизно на 25%.

У роботі [63] В. І. Яковлєв уперше теоретично проаналізував процес кочення твердого колеса по твердій поверхні з позицій механіки. Ним було запропоновано інженерне рішення для моделювання кочення пружного колеса по жорсткій опорі, що ґрунтується на виведених аналітичних виразах, які дозволяють обчислювати основні параметри контактної взаємодії: роботу сил тертя, коефіцієнти жорсткості, зовнішній діаметр колеса тощо.

За результатами аналізу встановлено, що для підвищення довговічності шин доцільно збільшувати такі параметри: коефіцієнт Пуассона, модуль зсуву матеріалу протектора, радіус шини, коефіцієнт заповнення профілю та коефіцієнт тангенсальної жорсткості. Натомість слід зменшувати значення відносного пружного ковзання, навантаження, коефіцієнтів тертя ковзання і нормальної жорсткості.

Таким чином, автор пояснив механізм зношування шин, описав особливості їх деградації та виходу з ладу, а також запропонував аналітичний вираз для розрахунку та прогнозування лінійного зносу шин.

$$h = \frac{\xi \lambda^2 f^2 P^{4/3} C_2^{2/3} L}{16,5 C_1 R^{5/3}}, \quad (1.12)$$

де ξ - коефіцієнт пропорційності;

λ - деяка величина, менша за одиницю;

f - коефіцієнт тертя ковзання;

$P^{4/3}$ - погонне осьове навантаження на шину;

C_2^3 - нормальне погонне навантаження;

C_1 - коефіцієнт жорсткості шини;

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

R^3 - радіус шини.

Серед обмежень даного виразу варто відзначити відсутність у ньому врахування впливу тиску повітря в шині.

У роботі вирішено науково-практичне завдання щодо зниження собівартості автомобільних перевезень шляхом підвищення ресурсу шин і зменшення витрат пального. Це досягається завдяки забезпеченню експлуатації шин за умов дотримання нормативного тиску.

У межах дослідження автор розробив математичну модель і методику для визначення необхідного тиску в шинах, а також процедуру його контролю та доведення до нормативного значення в зимовий період в умовах опалюваного приміщення.

$$p = \begin{cases} (p_n + p_{атм}) \cdot \left(1 + \frac{n}{\tau_n} \cdot (T - 1) \cdot \tau \right) - p_{атм}, & \tau \leq \tau_n \\ (p_n + p_{атм}) \cdot (T - (1 - n) \cdot (T - 1) \cdot e^{m \cdot (\tau - \tau_n)}) - p_{атм}, & \tau > \tau_n \end{cases} \quad (1.13)$$

де p_n - норма тиску в шинах;

τ_n - температура прогріву;

$p_{атм}$ - атмосферний тиск;

m - температура охолодження;

T визначається за формулою

$$T = \frac{273 + t_n}{273 + t_y} \quad (1.14)$$

де t_n - температура повітря в приміщенні;

t_y - температура повітря на вулиці;

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

n - відношення приросту тиску під час прогрівання в результаті реалізації нерегулярного процесу до загального збільшення тиску за весь процес прогрівання, визначається за формулою

$$n = \frac{P_{\tau_n} - P_n}{P_n - P_n} \quad (1.15)$$

Серед обмежень даного виразу варто відзначити відсутність у ньому врахування впливу тиску повітря в шині.

У роботі вирішено науково-практичне завдання щодо зниження собівартості автомобільних перевезень шляхом підвищення ресурсу шин і зменшення витрат пального. Це досягається завдяки забезпеченню експлуатації шин за умов дотримання нормативного тиску.

У межах дослідження автор розробив математичну модель і методику для визначення необхідного тиску в шинах, а також процедуру його контролю та доведення до нормативного значення в зимовий період в умовах опалюваного приміщення.

$$C = 2 \cdot m \cdot g \cdot e^{(2 \cdot n_2 - n_1) \cdot T} \cdot \frac{A_1}{A_2^2}, \quad (1.16)$$

де m - маса колеса, кг;

g - прискорення вільного падіння, m/c^2 ;

n_2 - коефіцієнт загасання коливань (падіння), $1/c$;

n_1 - коефіцієнт загасання коливань (прогину), $1/c$;

T - тривалість коливань, с;

A_1 - початкова амплітуда коливань (падіння), м;

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

A_2 - початкова амплітуда коливання (прогину), м.

Розроблені автором математична модель і методичні підходи дали змогу вирішити актуальну науково-прикладну задачу підвищення безпеки руху та збільшення ресурсу шин шляхом їхньої діагностики під час проведення технічного обслуговування транспортного засобу.

У роботі Володіної Т. М. [9] розглянуто характеристики пневматичних шин з точки зору необхідності прогнозування їхньої зносостійкості. Автором було виявлено закономірності, які пов'язують деформації колеса й протектора з дотичними зсувами в зоні контакту шини з дорожнім покриттям — як у режимі вільного кочення, так і при дії колкових і бокових навантажень. Це дозволило встановити залежності між конструктивними параметрами шини, властивостями матеріалів і питомою роботою тертя у зоні контакту, що є ключовим показником зносостійкості протектора.

Також проведено аналіз розподілу напружень у зоні контакту при вільному коченні, що дозволило ідентифікувати найбільш вразливі зони з точки зору зносу. На основі цього було розроблено математичні моделі, які дають змогу оцінити сумарну роботу тертя при впливі зовнішніх сил, шляхом підсумовування окремих складових.

$$A = A_{\sigma} + A_M, \quad (1.17)$$

Де A_{σ} - величина середньої питомої роботи тертя в контакті під час дії бічної сили, визначається за формулою

$$A_{\sigma} = \frac{P_y^2}{K_y B \Psi_{нас}}, \quad (1.18)$$

де P_y - бічна сила;

K_y - коефіцієнт опору бічному відведенню;

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

B - ширина зони контакту;

$\Psi_{(нас)}$ - коефіцієнт насиченості малюнка протектора;

A_m - питома робота тертя під час дії окружної сили (моменту), визначається за формулою

$$A_m = \frac{P_t^2 \lambda}{\Psi_{нас} B R_0}, \quad (1.19)$$

де λ - коефіцієнт окружної еластичності шини;

R_0 - відстань від зовнішнього шару брекера до осі обертання.

Подані вище характеристики дозволяють здійснювати оцінку середньої зносостійкості порівнюваних шин за умови сталої зносостійкості гумових матеріалів, при цьому покращення ресурсу протектора передбачається завдяки підвищенню модуля еластичності протекторної гуми та змінам у конструкції самої шини.

Автором було запропоновано комплексний підхід до розробки безпечної шини, здатної функціонувати при атмосферному тиску в порожнині без втрати профілю й геометричних параметрів. Цього вдалося досягти шляхом заміни каркасних ниток на пружні елементи, що встановлюються таким чином, щоб сприймати радіальне навантаження. Було виготовлено дослідні зразки таких шин, проведено оцінку їхніх характеристик і здійснено порівняння з традиційними пневматичними шинами. Результати випробувань показали, що жорсткісні властивості нових конструкцій наближені до характеристик пневматичних аналогів, а працездатність при нульовому тиску перевищує можливості існуючих моделей безпечних шин із різними системами захисту.

Слюдіков Л. Д. у [46] здійснив теоретичне обґрунтування й запропонував комплекс рішень для підвищення ресурсу шин, що враховують виробничі технології, технічні вимоги та умови експлуатації. Він розробив та впровадив у виробництво збалансовані рішення, які забезпечують підвищення

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

довговічності шин. На основі системного аналізу впливу конструктивних параметрів протектора на термін служби, автор визначив оптимальне поєднання властивостей гумових матеріалів і конструкції, що сприяє досягненню максимального ресурсу.

Згідно з результатами моделювання, удосконалення шин має базуватись на типі дорожнього покриття. Так, для доріг I–II категорії пріоритетним є підвищення зносостійкості, для III–V – стійкість до механічних пошкоджень, а на поганих дорогах – ще й до втомного руйнування.

У дослідженні Захарова Н. С. [17] розглядається вплив сезонних факторів на зміну експлуатаційних характеристик автомобілів. Найбільш актуальними є два напрями: вплив сезону на формування реалізованого ресурсу шин і вплив на формування фактичного тиску в них.

У першому напрямі якість експлуатації шин поділяється на безперервні (зношування, витік повітря через дифузію) і дискретні процеси (проколи, пошкодження каркаса, відшарування). Безперервне зношування описується інтенсивністю u , а дискретні – параметром потоку відмов ω . Автор побудував багатофакторні математичні моделі, що враховують вплив умов експлуатації на середню інтенсивність зносу шин автобусів, а також залежності між температурою зовнішнього середовища, вертикальним навантаженням і параметром потоку відмов.

У другому напрямі акцент зроблено на зниженні вартості перевезень шляхом збільшення ресурсу шин та зменшення споживання пального завдяки дотриманню нормативного тиску. Автор підкреслює, що на практиці тиск у шинах не завжди відповідає нормам і має випадковий характер з математичним сподіванням μ і коефіцієнтом варіації V_p , що описується відповідною функцією розподілу.

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$p = A_0 + \sum_{i=1}^n A_i \cdot X_i; \quad (1.20)$$

$$V_p = B_0 + \sum_{i=1}^n B_i \cdot X_i, \quad (1.21)$$

де n - число чинників;

A_0, B_0 - вільні члени;

A_i, B_i - коефіцієнти рівнянь регресії при i -му факторі;

X_i — це фактори, що впливають на параметри розподілу тиску в шинах, серед яких: середньостатистична кількість автомобілів в автотранспортному підприємстві (одиниць); середньозважений тиск у шинах (МПа); об'єм шини (m^3); середній рівень кваліфікації водіїв; температура повітря на момент вимірювання тиску ($^{\circ}C$); частота перевірки тиску на контрольно-технічних пунктах (одиниць на 100 автомобіле-днів роботи на маршруті); кількість повітророздавальних колонок (одиниць на 100 автомобілів).

За словами автора, через експлуатацію шин із тиском, що не відповідає нормативам, ресурс шин використовується не повністю, що призводить до втрат. Крім того, через це зростає питома дорожня витрата палива автомобілем, що спричиняє суттєві фінансові збитки.

1.2 Виявлення і класифікація основних груп чинників, що впливають на термін служби та інтенсивність зношування шини

1.2.1 Тиск повітря в шині

Термін служби шини під час експлуатації визначається інтенсивністю її зносу, яка є безперервною величиною. На цей процес завжди впливає певний

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБАТ 2522121.000 ПЗ				

набір факторів, що можуть мати різний ступінь впливу, а деякі з них за певних умов можуть зовсім не проявлятися і не впливати на знос шини.

В.А. Янчевський [64, 65] класифікував основні фактори на три групи за ступенем можливості їхнього контролю (див. Рисунок 1.1):

керовані фактори — ті, що залежать від роботи технічної служби підприємства, зокрема організаційно-технічні фактори та технічний стан автомобіля;

частково керовані фактори — кваліфікація водія та умови експлуатації;

некеровані фактори — зовнішні умови, такі як дорожньо-кліматичні обставини, конструкція автомобіля і якість шин.

А.М. Алаєдін [4], ґрунтуючись на експертній оцінці спеціалістів у галузі технічної експлуатації шин, провів ранжування чинників за ступенем їх впливу і визначив, що найбільший вплив на ресурс шин мають експлуатаційні умови, технічний стан автомобіля та організаційно-технічні фактори. Цю класифікацію також застосовує у своїх дослідженнях Е.Ф. Касаткіна [22].

Р.М. Устаров, опираючись на роботи Тарновського В.М., Третьякова О.Б. та Кузьміна М.А. [56], виділяє такі фактори, що впливають на термін служби шин: стиль водіння та крутний момент; дорожні й кліматичні умови, конструкція автомобіля; вагове перевантаження; швидкість руху; тиск у шинах; кути встановлення коліс і сили, що діють на шину; технічна несумісність конструкції коліс; перекося осей і стан підвіски.

Вплив кожного фактора оцінюється через відповідні параметри: відхилення від оптимального стану призводить до підвищення інтенсивності зносу шин. Вплив першої групи факторів можна повністю усунути шляхом поліпшення роботи технічної служби, другої — частково або повністю, хоча не завжди це здійснено, а вплив третьої групи — не піддається усуненню, але повинен враховуватися при встановленні або коригуванні норм пробігу шин.

Г.В. Сидельников [44] у своїй роботі виділяє такі чинники, що впливають на ресурс шин автомобілів і автобусів: конструкція шини; радіальне та осьове

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

биття; дисбаланс колеса; вік шини; стан дорожнього покриття; стиль водіння; тиск повітря в шині; швидкість руху; навантаження на шину; величина прикладеного крутильного моменту; кути сходження і розвалу; поздовжній нахил шворня; співвідношення кутів повороту; перекося мостів; температура навколишнього повітря.

Тиск повітря в шині має великий вплив на термін служби шини. Тому для кожної марки шини виробник встановлює певну норму тиску, за якої шина матиме найбільший ресурс. При збільшенні або зменшенні тиску їхній термін служби значно знижується (рисунк 1.3) [19].

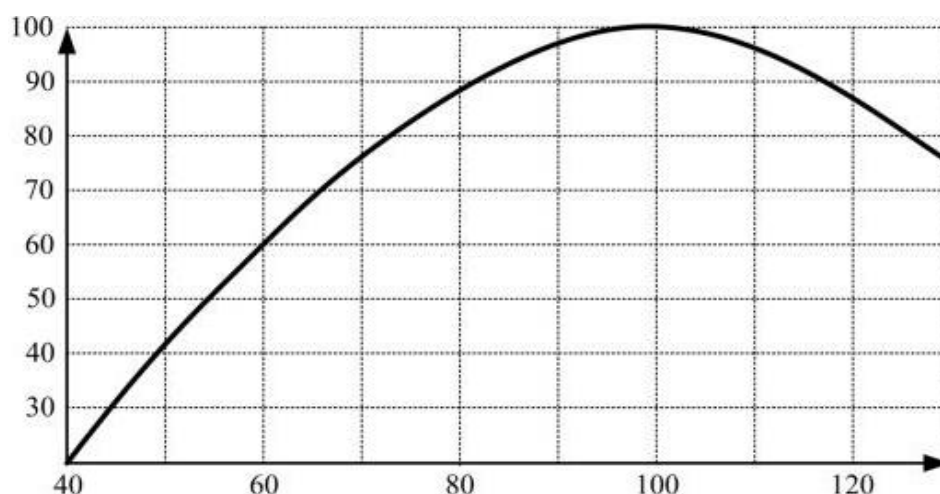
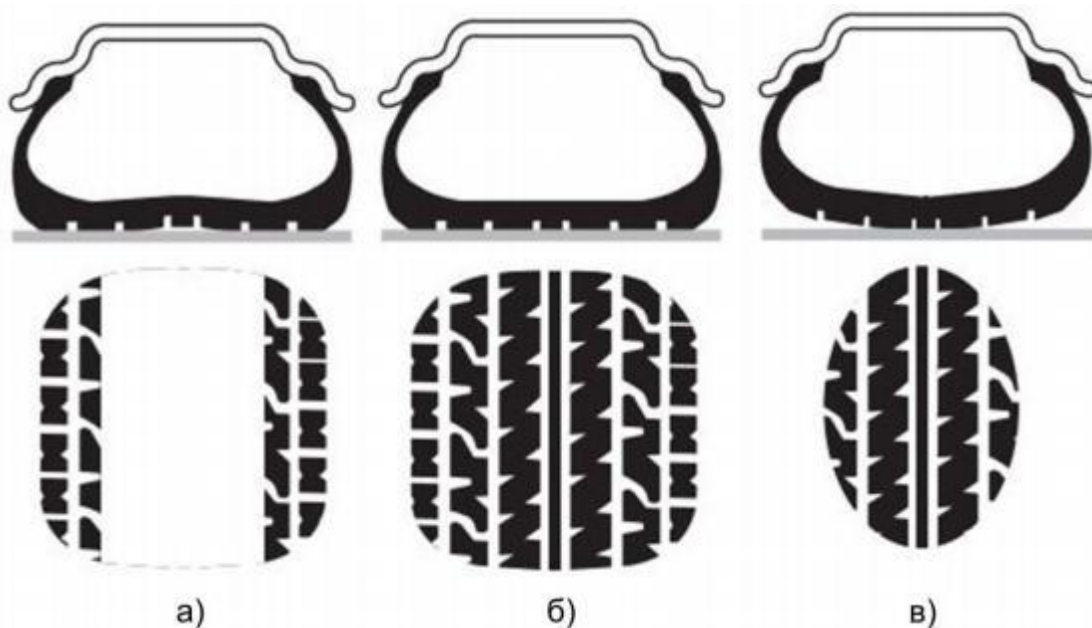


Рисунок 1.3 - Вплив тиску в шині на її ресурс [19].

Вплив внутрішнього тиску в шині на її ресурс пояснюється досить просто: знижений тиск призводить до більших деформацій шини, що підвищує її температуру і збільшує інтенсивність зношування в зоні контакту з дорогою.

При недостатньому тиску зона контакту протектора з дорогою значно зменшується — середня частина протектора відстає від поверхні, і все навантаження переноситься на плечові ділянки, що спричиняє їх інтенсивне спрацювання (див. Малюнок 1.4, а). Крім того, підвищена деформація

збільшує ймовірність виникнення втомних тріщин. За нормального тиску протектор має рівномірний контакт по всій ширині, що забезпечує рівномірний розподіл навантаження і сповільнює знос (Малюнок 1.4, б). При надмірному тиску протектор згинається у протилежний бік — навантаження концентрується в центральній частині, що призводить до швидкого зношування середини протектора (Малюнок 1.4, в).



а - Тиск нижчий за норму, б - нормативний тиск, в - тиск вищий за норму

Рисунок 2 - Вплив тиску на деформацію шини [24].

Як уже зазначалося раніше, як надмірний, так і знижений тиск значно зменшують площу контакту шини з дорогою, що негативно впливає на безпеку руху. При зниженому тиску збільшується гальмівний шлях, погіршується курсова стійкість і керованість автомобіля. При підвищеному тиску спостерігається схожа ситуація, хоча курсова стійкість покращується.

Окрім впливу на ресурс шини та безпеку, внутрішній тиск також впливає на витрату палива. Зниження тиску викликає більшу деформацію шини, що підвищує опір коченню. Навпаки, при підвищеному тиску шина стає більш жорсткою, що зменшує опір коченню і сприяє зниженню витрати палива.

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Захаров Н.С. на основі аналізу попередніх досліджень виділив [17] основні причини зміни тиску повітря в шині під час експлуатації автомобіля:

Вплив температури обумовлений такими факторами:

температура навколишнього середовища (зміна кліматичних умов, сезонність, переїзд у райони з іншим кліматом);

поступова зміна температури при заїзді у виробничі приміщення (ТО, ТР, шиномонтаж);

гістерезисні втрати під час руху (енергія, поглинена шиною, підвищує її температуру; при цьому зменшується міжмолекулярне тертя і відповідно гістерезисні втрати, що є позитивним ефектом, хоча втрати в корді зростають).

Дифузійний витік повітря залежить від:

типу шини (безкамерні мають вищу інтенсивність витоку, ніж камерні);

газопроникності матеріалу гуми;

розміру шини (чим більша, тим більша площа витоку);

тиску в шині (чим вищий тиск, тим більший перепад із зовнішнім середовищем і вища інтенсивність витоку);

температури шини (з підвищенням температури витік зростає).

Витік повітря через дефекти шини залежить від:

стану шини і камери (за наявності);

типу і стану диска.

Витік через негерметичний вентиль зумовлений:

станом вентиля;

температурою навколишнього середовища (при низьких температурах ущільнювальна прокладка жорсткішає і герметичність погіршується).

Також на точність контролю і підтримання тиску впливають помилки вимірювань (похибка манометра) та помилки оператора.

1.2.2 Навантаження на шину

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевантаження шин призводить до збільшення інтенсивності їх зносу та скорочення терміну служби. Навпаки, недовантаження сприяє його подовженню. Зокрема, перевантаження шин на 10% зменшує їх термін служби приблизно на 20% [50]. При цьому вплив на міцність каркаса подібний до впливу підвищеного тиску, а ступінь деформації шини і характер руйнування боковин нагадують ті, що виникають при недостатньому тиску, проте проявляються більшою мірою через більші питомі навантаження [51]. Це пояснюється зростанням напруги у нитках корду, більшим нагріванням через деформацію (особливо в плечовій зоні покришки) і нерівномірним розподілом питомого тиску на поверхні контакту шини з дорогою. Збільшення тиску в шині не усуває проблему перевантаження, адже це призведе до зростання напруги у всіх елементах конструкції, особливо при їзді по поганих дорогах, що значно скоротить термін служби шини. Причинами перевантаження шин можуть бути загальне перевантаження автомобіля, нерівномірне розподілення вантажу або пасажирів на платформі, а також недостатній тиск у одному зі здвоєних коліс.

За даними стендових випробувань, проведених Устаровим Р.М., вагове навантаження істотно впливає на інтенсивність зносу шин. Збільшення навантаження також призводить до зростання потужності, що передається на ведучі колеса, що, у свою чергу, відображається на середніх значеннях реакцій у контактній плямі шини з дорогою [56].

Ілюстрація впливу вагового навантаження на ресурс шин в умовах експлуатації наведена на рисунку 1.6 [26].

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

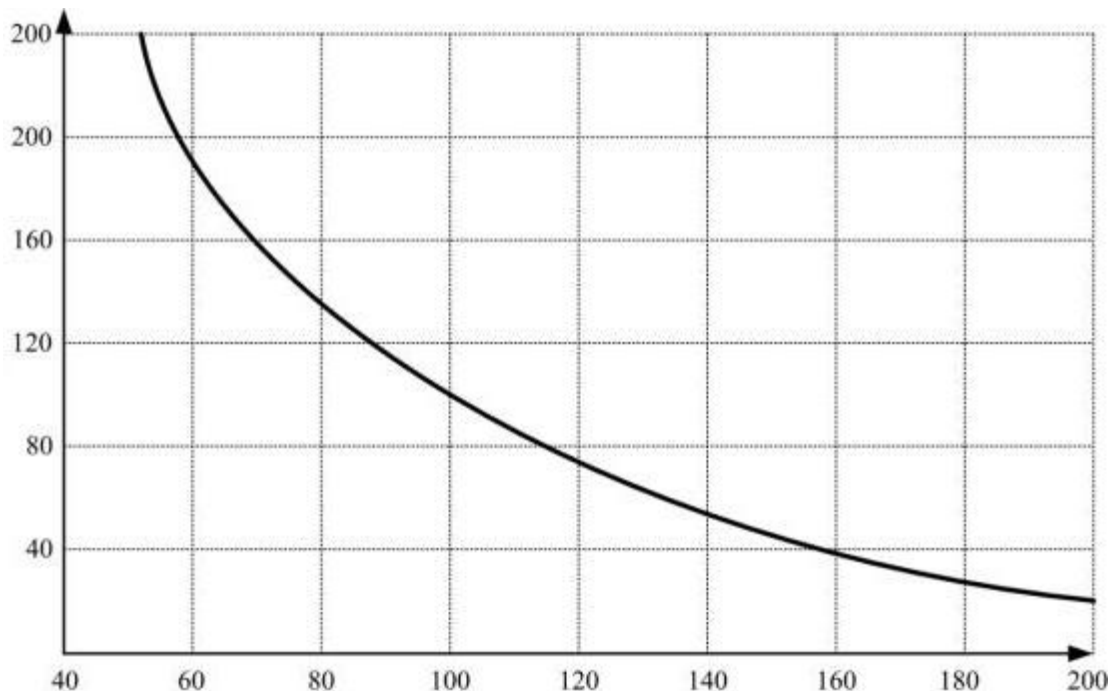


Рисунок 1.6 - Вплив вагового навантаження на ресурс шини в умовах експлуатації

1.2.3 Швидкість руху

Термін служби шини значною мірою залежить від швидкості її обертання. Різде скорочення ресурсу спостерігається при перевищенні граничних швидкостей, визначених виробником шин. Це пов'язано з гістерезисними втратами, які виникають через збільшену кількість циклів навантажень на елементи шини за одиницю часу. В результаті підвищується робоча температура матеріалів шини, що призводить до зниження їх міцності, збільшення динамічних навантажень при контакті з перешкодами, а також до руйнування каркаса і коливань профільних елементів під час виходу шини з контакту з дорогою [26].

Крім того, слід зазначити, що знос шин на ведучих і ведених колесах при збільшенні швидкості руху відбувається неоднаково. Під час прямолінійного

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

руху знос шин ведучих коліс зростає значно швидше, ніж ведених, що пояснюється збільшенням тягової сили на ведучих колесах [25].

1.2.4 Технічний стан

Технічний стан автомобіля часто є причиною передчасного зносу шин і проявляється через неправильні кути установки керованих коліс та перекося осей. Невірне сходження та розвал коліс призводять до посиленого зношування шин через додаткове ковзання елементів протектора передніх коліс у зоні їх контакту з дорогою. За надмірного позитивного сходження на обох передніх колесах виникає одностороннє пилкоподібне зношення по зовнішніх доріжках протектора. У випадку недостатнього сходження або розбіжності коліс пилкоподібне зношення проявляється на внутрішніх доріжках. При цьому витрата палива збільшується приблизно на 0,5–1,5% [52]. Розвал впливає на швидкість зносу шини, особливо при значних відхиленнях від норми. На шині з'являється рівномірний односторонній знос без характерних ознак пилкоподібності. Неправильний розвал викликає активне стирання плечової зони по всьому колу шини, при цьому знос внутрішньої плечової зони свідчить про негативний розвал [56].

Невірне сходження передніх коліс підвищує бічне ковзання, що спричиняє швидке стирання ґрунтозачепів. Співвідношення кутів повороту особливо впливає на знос передніх шин у разі частого руху по заокругленнях, наприклад у великих містах чи гірських районах. Ознакою таких відхилень є знос лише крайньої доріжки, що особливо помітно на шинах із дорожнім протектором [52].

Перекося осей може бути викликаний деформацією кузова чи осей, зносом, ослабленням кріплень, пошкодженням напрямного апарату підвіски або поломкою центрових болтів [28]. Він змушує автомобіль рухатися під кутом до траєкторії, що призводить до одностороннього пилкоподібного зношення

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

задніх шин: по внутрішніх доріжках з одного боку і по зовнішніх — з іншого [52].

1.2.5 Неоднорідність коліс і дисбаланс

Інші фактори, що спричиняють підвищений знос шин, пов'язані з технічним станом і можуть бути обумовлені нерівномірним розподілом мас. Причинами такої неоднорідності є асиметричні елементи конструкції, технологічні допуски, а також похибки при виготовленні та монтажі деталей. Виділяють три основні типи неоднорідності: геометричну, жорсткісну та розподіл мас [56]. Геометрична неоднорідність проявляється у битті або зміні відстані між фіксованою точкою відносно осі обертання і поверхнею колеса (шини) під час його обертання. Існують радіальне та бічне биття — відповідно перпендикулярне і паралельне осі колеса. Місцевий знос шини може виникати через її неоднорідність або биття гальмівного барабана.

Нерівномірний розподіл сил знижує довговічність шин. Так, місцевий знос бігової доріжки часто спричинений неоднорідністю шини або биттям гальмівного барабана.

Неврівноваженість колеса, що характеризує нерівномірність розподілу мас, вимірюється дисбалансом — векторною величиною, яка дорівнює добутку неврівноваженої маси на її ексцентриситет. Дисбаланс буває статичним і динамічним. Статичний дисбаланс — це сума всіх векторів дисбалансів у площинах, перпендикулярних осі колеса. Його суть полягає у тому, що одна з радіальних відцентрових сил, що виникають під час обертання, не компенсується сумою інших. Під час руху автомобіля ця відцентрова сила змінюється за величиною і напрямком: коли діє вгору, вона прагне відірвати колесо від дороги, а коли вниз — притискає його. В результаті підвищується знос шин і підшипників коліс. Збільшення відцентрової сили відбувається зі

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зростанням швидкості руху. Неврівноважені маси можуть з'являтися через помилки при виготовленні шин, неправильне складання або місцеві ремонти.

Динамічний дисбаланс — це момент, який дорівнює геометричній сумі моментів усіх дисбалансів колеса відносно його центру мас. Він виникає через нерівномірний розподіл відцентрових сил, що створює момент, який прагне відхилити колесо від початкової площини обертання [56, 28].

Динамічний дисбаланс призводить до підвищеного зносу підшипників коліс і шарнірів рульового механізму. Балансування коліс зменшує як моментну, так і статичну неуврівноваженість одночасно. У правильно збалансованого колеса дисбаланс починає зростати лише після пробігу близько 10 тисяч км, а згодом стабілізується завдяки негативному зворотному зв'язку [26, 28].

1.2.6 Дорожні та кліматичні умови

Дорожні умови мають значний вплив на термін служби шин. На швидкість зносу впливають тип і стан дорожнього покриття, а також поздовжній і поперечний профіль дороги, радіуси поворотів і їхня частота. Нерівності дорожнього полотна створюють великі динамічні навантаження на каркас шин, що призводить до їх нагрівання і поступового руйнування. Зі збільшенням опуклості дороги відбувається перерозподіл ваги у поперечному напрямку. Спуски, підйоми та звивисті ділянки дороги також сприяють посиленому зносу шин через нерівномірний розподіл ваги по осях, вплив бічних сил на поворотах, а також через часті розгони та гальмування [51].

З підвищенням шорсткості покриття інтенсивність зношування шин збільшується, а нерівномірність зносу посилюється із ростом опуклості дороги. Термін служби шин на гірських маршрутах скорочується приблизно на 15-20%, а вибоїни і пошкодження дорожнього полотна знижують його ще на 10-15% [22]. У порівнянні з асфальтобетонними дорогами ресурс шин на гравійно-

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

щебеневих покриттях падає близько на 25%, а на кам'янистих і розбитих дорогах — до 50% [30].

Дорожні умови в різних регіонах суттєво відрізняються за поздовжнім профілем, станом покриття та іншими параметрами. Проте для конкретного автотранспортного підприємства (АТП) в реальній експлуатації умови варіюють у відносно вузьких межах. Тому їх можна вважати фоновими факторами і не включати до моделі окремо, а їхній вплив враховувати в математичних моделях через вільний член поряд з іншими фоновими чинниками [17].

Що стосується кліматичних факторів, які впливають на знос шин, до них належать температура повітря, атмосферний тиск, вологість тощо. Зростання температури навколишнього середовища викликає підвищення температури нагріву шин і відповідну зміну еластичності матеріалів. Підвищення температури також призводить до зниження герметичності шин через посилену дифузію повітря через стінки камер. Влітку процес зношування шин набагато інтенсивніший, ніж узимку. Наприклад, на твердому покритті зимовий знос на 25-30% менший за літній. Водночас при низьких температурах можливе передчасне руйнування шин через втрату гумою еластичності та підвищену крихкість [51, 28].

За даними [19], оптимальна температура роботи шини становить 70-75 °С. При нагріванні до 100 °С зносостійкість гуми і міцність зчеплення гуми з кордом знижуються в 1,5–2 рази. Температура 120 °С вважається небезпечною, а перевищення цього рівня — критичним. При температурах нижче –40 °С непрогріті шини з неморозостійкої гуми можуть тріскатися при ударах або різкому старті.

Підвищена вологість повітря сприяє прискореному старінню шинних матеріалів, як і інших гумотехнічних виробів, що проявляється у тріщинах, втраті пружності та еластичності.

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

1.3 Найвні системи контролю тиску шин на підприємстві

Як було зазначено раніше, тиск — один із ключових факторів, що впливають на швидкість зносу шин, проте йому часто не приділяють достатньої уваги. Причина цього полягає у відсутності обов'язкових вимог щодо його контролю. Наприклад, на сьогодні існує система контролю тиску повітря в шинах (див. Таблицю 1.1) [18].

Таблиця 1.1 - Система контролю тиску повітря в шинах

Періодичність	Виконавець	Вимірювальний інструмент	Регламентований документ
Щодня	Водій	Візуально	Положення про ТО і Р
Щодня	Механік КТП	Візуально	Положення про ТО і Р
Через 7 днів	Водій	Ручний манометр	Правила експлуатації шини
Через 30 днів	Механік КТП	Ручний манометр	Правила експлуатації шини
Кожне ТО-1	Слюсар	Манометр повітророздавальної колонки	Положення про ТО і Р

Ця система на підприємстві використовується у спрощеному варіанті — тиск у шинах контролюється візуально. Якщо ж застосовують ручний манометр, існує ризик "залипання" золотника, особливо в холодну пору року, через що тиск може штучно підвищуватися, і відновити його нормальний стан без демонтажу золотника неможливо. Тому тиск перевіряють лише візуально, а підкачка шин здійснюється не частіше одного разу на місяць.

Проблема такого візуального контролю полягає в тому, що неможливо точно визначити фактичне значення тиску. За даними компанії Michelin для легкових автомобілів [69], якщо тиск знижується на 0,5 бар від норми, це візуально непомітно. При зниженні на 1 бар можна побачити незначну деформацію боковини, а при падінні на 1,5–2 бар — значну деформацію.

									Арк.	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБАТ 2522121.000 ПЗ					

Тиск у шинах змінюється через дифузію повітря, коливання температури, зміни атмосферного тиску та механічні ушкодження шини або диска. Згідно з даними [33], у легкових шинах тиск за 30 днів падає з 2 бар до 1,5 бар, а за 60 днів — до 1 бар. Для вантажних шин зниження тиску є ще більшим — за 30 днів воно становить 1,5–2 бар через більшу площу дифузії та вищий початковий тиск. Температурні та атмосферні зміни впливають на тиск у короткостроковій перспективі, тоді як механічні пошкодження, які часто залишаються непоміченими під час експлуатації, можуть призвести до аварійних ситуацій.

1.4 Системи моніторингу тиску в шинах

Негативні і часто небезпечні фактори, які впливають на безпеку та економічність транспортних засобів, можна ефективно усунути за допомогою систем моніторингу тиску в шинах (англ. Tire Pressure Monitoring System, TPMS). Ця система дистанційно вимірює тиск і температуру в шинах у режимі реального часу, що дозволяє запобігти аваріям через пошкодження шин, уникнути надмірного зносу через неправильний тиск і зменшити витрати палива, викликані недостатнім тиском [36].

Масове впровадження TPMS для легкових автомобілів розпочалося після ухвалення закону TREAD (Transportation Recall Enhancement, Accountability and Documentation) у США в листопаді 2000 року. Цей акт зобов'язує оснащувати автомобілі системою контролю і сигналізації при значному зниженні тиску в одній або декількох шинах [48]. Нині в США діє федеральний стандарт FMVSS №138, розроблений Національною адміністрацією безпеки руху (NHTSA), який вимагає обов'язкового встановлення TPMS у нових автомобілях [36].

Перша редакція правил NHTSA, ухвалена 5 липня 2002 року, регламентувала контроль за недокачуванням шин на понад 25%, а для однієї

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

шини — понад 30%, із сигналізацією протягом 10 хвилин. Виробникам дозволялося застосовувати як прямі, так і непрямі системи вимірювання тиску. Впровадження цих правил відбувалося з 31 жовтня 2003 до 1 листопада 2006 року.

У квітні 2004 року правила були переглянуті: тепер слід було моніторити недокачування будь-якої шини понад 25%, подавати попереджувальний сигнал протягом 20 хвилин, мати індикатор стану з додатковою сигналізацією про збої та використовувати виключно прямі системи вимірювання. Тестування проводилося на швидкості від 50 до 100 км/год. Впровадження тривало з 5 жовтня 2005 до 31 серпня 2007 року, після чого всі нові автомобілі в США мали бути оснащені TPMS [48].

Паралельно з цим був розроблений стандарт SAE J2567, опублікований у грудні 2004 року, а пізніше — міжнародний стандарт ISO/FDIS 21750 (березень 2006 року). Обидва стандарти враховують основні вимоги FMVSS №138, але охоплюють ширші технічні аспекти TPMS. Наприклад, вони допускають застосування як прямих, так і непрямих систем контролю тиску. SAE J2567 в цілому відповідає FMVSS №138, але не встановлює конкретні пороги недокачування, регламентує сигналізацію протягом 10 хвилин і мінімальну швидкість роботи 24 км/год [48].

Стандарт ISO/FDIS 21750 пропонує найбільш детальні вимоги, зокрема, точність вимірювання близько 2% у температурному діапазоні від 0 до 70°C, мінімальний термін служби близько 6 років або 100 000 км, а також можливість контролю запасної шини. Цей стандарт не передбачає вимірювання руху колеса, але тестування здійснюється на швидкостях понад 25 км/год. Попереджувальний сигнал про низький тиск подається протягом 3 хвилин, а про несправність — протягом 10 хвилин [48].

Крім того, TPMS мають відповідати вимогам Федеральної комісії зі зв'язку США (FCC) та Європейського інституту стандартів у сфері комунікацій (ETSI). Радіочастоти для TPMS і систем дистанційного

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

безключового доступу (RKE) використовують вільні діапазони ISM 315–434 МГц і 868–930 МГц. Для систем TPMS, інтегрованих із RKE, очікується використання 315 МГц у США і 434 МГц у Європі [48].

1.4.1 Види систем моніторингу тиску в шинах

Наразі використовуються два основні типи систем контролю тиску в шинах: прямі (Direct) і непрямі (Indirect). Пряма система безпосередньо вимірює температуру та тиск у шинах за допомогою датчиків із передавачем. Непряма система оцінює тиск на основі різниці швидкості обертання коліс. Різновиди цих систем наведені на рисунку 1.7.

Принцип роботи будь-якої системи моніторингу досить простий: датчики періодично заміряють тиск у шинах і передають інформацію радіоканалом до блоку управління, де вона аналізується і порівнюється з нормативними значеннями. Якщо відбувається прокол або швидке падіння тиску, частота замірів збільшується, і водій отримує відповідне сповіщення.

Стандартна архітектура TPMS включає:

Чотири колісні модулі, кожен із яких містить датчик тиску, датчик температури, блок формування сигналу і ідентифікації шини, трансмітер, антену, кварцовий резонатор і батарею.

Ресивер на приладовій панелі.

Блок обробки сигналу, розташований на приладовій панелі.

Прямі системи використовують датчики, розміщені всередині шини, які безпосередньо вимірюють тиск і температуру газу. Дані передаються по ВЧ-

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

сигналах до приймача, розташованого на приладовій панелі або поза нею. Блок обробки сигналів інформує водія про стан шин.

Непряма система визначає тиск, аналізуючи дані ABS-системи, включно з датчиками коліс і акселерометрами, за допомогою локального комп'ютера. При зниженні тиску колесо обертається швидше через зменшення радіуса, і різниця в швидкості використовується для виявлення недокачування. Водій отримує попереджувальний сигнал, але реалізація таких систем складна і потребує регулярного калібрування. Переваги — низька вартість, оскільки не потрібні батарейні датчики і радіопередача. Однак ці системи не можуть визначити тиск до початку руху, не здатні ідентифікувати конкретне колесо з проблемою або повільне падіння тиску, обмежені в швидкості та траєкторії руху і реагують лише на падіння тиску понад 30% [36, 48].

Прямі системи поділяються на внутрішні (модуль кріпиться на обід або всередині шини, див. рис. 1.8) та зовнішні (модуль нагвинчується на ніпель колеса, див. рис. 1.9). Внутрішні датчики замінюють стандартні ніпелі і розміщуються всередині шини, що ускладнює монтаж, але забезпечує захист від зовнішніх пошкоджень і вандалізму. Термін служби батареї таких датчиків становить 5–10 років, тож після первинного монтажу заміна елементів живлення зазвичай відбувається під час заміни шини.

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



Рисунок 1.8 - Приклад системи моніторингу на основі внутрішніх датчиків [34].

Зовнішні датчики, на відміну від внутрішніх, кріпляться безпосередньо на стандартні ніпелі і не вимагають додаткового шиномонтажу. Це дозволяє швидко встановити систему та легко переносити датчики між кількома автомобілями. Наприклад, можна зняти датчики з автомобіля, що тимчасово не використовується, і встановити їх на транспортний засіб, який зараз експлуатується. Однак такі датчики більш вразливі до впливу навколишнього середовища [36].

Також слід врахувати, що застосування датчиків тиску на вантажних автомобілях і автобусах ускладнюється через їх велику довжину — сигнал від датчика може загубитися по дорозі. Для вирішення цієї проблеми використовують спеціальні ретранслятори-підсилювачі (репітери), які виконують роль проміжних ланок у передачі сигналу від датчиків до приймального блоку, зменшуючи ризик втрати сигналу.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБАТ 2522121.000 ПЗ				



Рисунок 1.9 - Приклад системи моніторингу на основі зовнішніх датчиків

Енергозбереження — надзвичайно важливий аспект колісного модуля TPMS, що дозволяє уникнути заміни батареї протягом 5–10 років. Для цього в модулі реалізована система енергозбереження, яка переводить пристрій у неактивний режим під час відсутності руху і активує його під час руху. Крім того, передбачені різні інтервали вимірювання тиску: при звичайному русі вимірювання здійснюються приблизно раз на 45 секунд (залежно від виробника), а при різкому зниженні тиску — частіше, приблизно раз на 15 секунд. Проте, незважаючи на це, термін служби батареї залишається обмеженим, тому розробляється концепція безбатарейних колісних модулів TPMS. Вона включає модулі з передачею енергії для живлення датчика або з отриманням енергії від руху колеса. Однак такі безбатарейні рішення є дорожчими за традиційні батарейні модулі. Водночас безбатарейні модулі мають меншу вагу і розмір, що теоретично підвищує їхній ресурс і надійність [48].

1.5.1 Характеристики та ходимість шин

Як уже йшлося раніше, на підприємстві використовують шини Longmarch LM216, характеристики яких подано в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 - Характеристики шин Longmarch LM216

Характеристика	Значення
розмір	11R22,5
максимальне навантаження на передню вісь, кг	3150
максимальне навантаження на задню вісь, кг	2900
нормативний тиск, бар	8,5
Тип шини	Радіальна всесезонна

За звітними даними було проаналізовано 621 шину цього виробника. У більшості досліджених шин спостерігається нерівномірне спрацьовування протектора — під цим розуміють різницю в зносі плечової та середньої зон протектора — що становить 57 % (рисунок 1.10). Лише 30 % шин мають рівномірне спрацьовування. Інші види пошкоджень і зносу включають: бічну грижку — 0,6 %; бічне зношування — 0,6 %; бічний порив — 0,6 %; бокове пошкодження — 0,6 %; знос до корду — 0,3 %; а також відшарування протектора від корду — 7,2 %.

Провести статистичну оцінку генеральної сукупності (621 шина) досить складно, тому вибірку було визначено за непараметричним методом

$$N = \frac{\ln(1 - \gamma)}{\ln(P(L))} = \frac{\ln(1 - 0,9)}{\ln(0,9)} \approx 27. \quad 1.22$$

де- довірна ймовірність, $P(L)$ - необхідна ймовірність безвідмовної роботи протягом деякого напрацювання.

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

Застосовуючи параметричний метод визначення обсягу вибірки, припускаючи закон розподілу відмов шин Вейбулла-Гнеденко (коефіцієнт варіації $V = 0,088$, параметр форми $b = 12,1537$, величина допустимої відносної помилки $\delta = 0,027$, довірна ймовірність $\gamma = 0,9$, критерій Пірсона $\chi^2 = 43,188$), отримаємо

$$N = \frac{\chi^2 \cdot (\delta + 1)^b}{2} = \frac{43,188 \cdot (0,027 + 1)^{12,1537}}{2} = 30. \quad 1.23$$

Отже, мінімальний розмір вибірки для оцінки генеральної сукупності становить 30 автомобілів.

Для вивчення закономірностей розподілу випадкових величин та показників надійності шин було виконано статистичний аналіз варіаційного ряду за напрацюваннями до відмови.

На рисунку 1.13 наведено теоретичну ймовірність безвідмовної роботи шин, розподілену за законом Вейбулла-Гнеденка.

За звітними даними також проаналізували залишкову глибину протектора на момент списання шин. Середня межа протектора мала залишкову глибину 2,17 мм, ліва і права — відповідно 1,98 мм та 2,08 мм. Це свідчить, що в кінці експлуатаційного періоду плечова зона протектора зношується сильніше за середину, що вказує на експлуатацію з недостатнім внутрішнім тиском.

Тому було зібрано статистичні дані про внутрішній тиск у шинах автобусів на різних етапах їхнього напрацювання. На рисунку 1.14 представлено гістограму розподілу внутрішнього тиску повітря в шинах. Було досліджено 70 шин, середній тиск яких становив 7,47 бар, що на 12,13 % нижче від нормативного (8,5 бар). Відповідно до нормативу, лише дві шини були накачані правильно.

Така ситуація пояснюється тим, що візуальний контроль не дає точних даних про фактичний внутрішній тиск [69]. Перевірка тиску за допомогою

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

манометра проводиться під час кожного ТО-2, що, згідно з [49], є недостатнім для підтримання нормативного тиску при підкачуванні шин атмосферним повітрям.

1.6 Методи оцінки інтенсивності зносу шин

Для визначення швидкості зносу протектора шин важливо обрати найбільш оптимальний метод вимірювання. Сьогодні існує багато способів оцінки залишкової глибини протектора: метод із застосуванням радіоактивних ізотопів; ваговий метод; використання індикаторів зносу, встановлених безпосередньо в шину; метод штучних баз; фарбування та вимірювання глибиноміром.

Найбільш точним є радіоактивний метод.

Перед випробуваннями під поверхню протектора вводять точкові джерела радіоактивного випромінювання. При зносі протектора глибина закладення цих джерел зменшується, що спричиняє збільшення інтенсивності випромінювання на поверхні. Знос визначають за допомогою приладів, які вимірюють цю інтенсивність, з похибкою 0,01–0,02 мм [27].

Інший радіоактивний метод, вперше застосований у США [47], полягає у введенні ізотопу P32 у протектор під час виготовлення шини. Знос визначають за радіоактивністю сліду, який залишає шина на дорозі. Цей спосіб дозволяє оцінити якісний вплив різних факторів на зношування, але не дає точного кількісного виміру [22].

У Чехії розробили метод, що базується на поглинанні гумою радіоактивного випромінювання. Для цього в надрізи протектора вводять гумові шайби з йодидом талію 204. При зносі товщина поглинаючого шару гумового елемента зменшується, а інтенсивність випромінювання на поверхні збільшується. Якщо відомі поглинаючі властивості гуми, за зміною числа імпульсів можна з високою точністю визначити товщину шару і, відповідно,

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

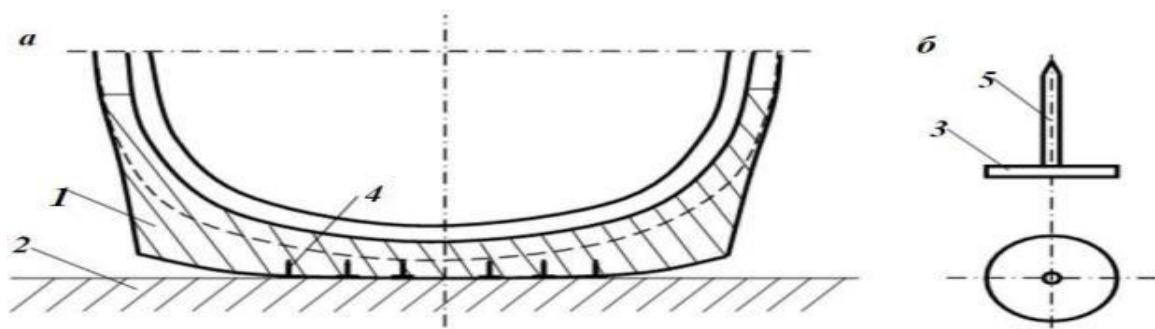
знос протектора. Точність методу становить 0,01–0,02 мм. Недоліком є низька надійність та висока складність застосування [7].

В Україні розроблено покращений метод [40], у якому радіоактивні джерела у вигляді металевого дроту діаметром 0,3 мм вводять у протектор на глибину 1,5 мм за допомогою спеціального пристрою. Активність проникаючого випромінювання дозволяє оцінити ступінь зношення гумового шару над джерелом. Після зносу близько 1 мм джерело замінюють, поміщаючи нове у сусідню ділянку протектора [22].

Методи на основі радіоактивних речовин, незважаючи на високу точність, не отримали широкого застосування в автотранспортних підприємствах через необхідність дотримання спеціальних правил поведінки з радіоактивними матеріалами, складність виконання та громіздкість апаратури, а також високу трудомісткість. Тому їх доцільно використовувати переважно у спеціалізованих лабораторіях.

Ваговий метод став популярним, коли потрібно отримати досить точні дані про знос. Він значно простіший за радіоактивний, але точність теж висока (похибка залежить від ваг). Суть методу полягає у зважуванні шини до і після експлуатації, при цьому перед зважуванням шину ретельно очищають і сушать [27]. Проте цей спосіб також краще застосовувати у лабораторних умовах через велику трудомісткість підготовки.

Метод визначення зносу з використанням укріплених на протекторі пластин розробив М.М. Кислициним [23], принципову схему цього методу представлено на рисунку 1.15.



Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата

КРБАТ 2522121.000 ПЗ

Арк.

a - схема встановлення вставок у протекторі шини; *б* - вставка

Рисунок 1.15 - Схема визначення зносу шин за допомогою укріплених до протектора пластин

У протекторі шини 1 встановлюють вставки 4 з пластиною 3, які контактують із дорожнім покриттям 2. Під час руху колеса пластини вставок, закріплені на протекторі за допомогою загострених штирів 5, зношуються. Величина зносу пластини пропорційна ступеню зношення відповідних ділянок шини. Після кількох тисяч кілометрів пробігу вставки витягують кусачками для оцінки ступеня їхнього зношення, наприклад, шляхом зважування або вимірювання товщини пластини [27].

Метод нарізування штучних баз, або контактний метод, полягає у створенні на шині циліндричних заглиблень у канавках малюнка протектора — так званих штучних баз. Глибина малюнка протектора вимірюється відносно цих баз за допомогою спеціальної лабораторної установки [27].

Метод фарбування полягає в нанесенні на бігову доріжку шини спеціальної фарби у вигляді кружків діаметром 6 мм. За ступенем стирання цих міток судять про знос протектора. До недоліків методу належать необхідність попереднього фарбування і сушіння шин у лабораторних умовах, а також неможливість точного визначення товщини шару фарби при візуальній оцінці зношення [27].

Найпоширенішим є вимірювання зносу глибиноміром завдяки високій продуктивності і відсутності складної підготовки. За допомогою глибиноміра визначають висоту малюнка протектора відносно канавок у однакових точках. Метод не потребує спеціальної підготовки шин, а інструмент простий у використанні. Замість глибиноміра може застосовуватися штангельциркуль, проте його похибка становитиме близько 0,4 мм. До мінусів методу належить

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

не дуже висока точність через відсутність фіксованих точок вимірювань і складність правильного встановлення інструменту перпендикулярно поверхні шини [27]. Похибку можна зменшити, проводячи виміри в однакових фіксованих точках і збільшуючи кількість вимірів для визначення середнього зносу по шині.

Проаналізувавши наведені методи визначення інтенсивності зносу, можна зробити висновок, що існує багато способів вимірювання залишкової глибини протектора, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Більшість методів характеризуються необхідністю використання дорогого і громіздкого обладнання, а також високою трудомісткістю, проте забезпечують більш точні результати. Через велику кількість автобусів у підконтрольній групі доцільніше застосовувати метод із високою продуктивністю — з використанням цифрового глибиноміра. Для цих цілей було обрано цифровий глибиномір з похибкою 0,01 мм, що є цілком прийнятною точністю для вимірювань. Загальний вигляд цифрового глибиноміра наведено на рисунку 1.16.



Рисунок 1.16 - Цифровий глибиномір

Однак точність вимірювань цифровим глибиноміром може бути знижена через випадкові помилки, допущені експериментатором. Щоб мінімізувати

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ймовірність таких помилок, слід збільшити кількість вимірювань і проводити їх у чітко визначених точках.

Згідно з [12], висоту малюнка протектора слід вимірювати щонайменше у чотирьох перерізах по колу шини. Перший переріз вибирають у районі одного з заводських маркувань шини, а решту розташовують рівномірно по колу за годинниковою стрілкою. У кожному перерізі, по ширині бігової доріжки, залежно від конфігурації малюнка протектора, визначають не менше двох точок вимірювання в центральній частині та щонайменше дві — по краях. Якщо в центрі протектора проходить канавка, вимірювання проводять саме в ній. Якщо ж центральна частина представлена ребрами або виступами, висоту визначають у двох канавках, розташованих по обидва боки від виступу. Для протектора з двома біговими доріжками заміри роблять у центрі кожної з них. Точки вимірювання по краях мають охоплювати центральну зону, що дорівнює трьом чвертям ширини бігової доріжки.

Рахімов Р.Х. [40] розробив спеціальну методику, яка підтверджує, що достатньо проводити вимірювання глибини протектора у двох діаметрально протилежних точках, одна з яких розташована напроти заводського номера шини по центру протектора. Середнє арифметичне значення глибини, отримане в цих двох точках, використовується для оцінки інтенсивності зносу шин. Ця методика, порівняно з традиційними варіантами з 12 або 16 точками, дає практично такі ж точні результати, але є простішою, технологічнішою і менш трудомісткою [22]. Саме цей метод було застосовано під час проведення вимірювань.

1.7 Мета, завдання та загальна методика дослідження

На підставі аналізу науково-дослідних робіт, факторів впливу та особливостей експлуатації шин на підприємстві ПП “Діон-Тір” можна сформулювати такі висновки:

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

на шини впливає широкий спектр чинників, інтенсивність яких може значно відрізнятися в залежності від виробника шин, моделей автобусів, кліматичних умов, висоти над рівнем моря, стану дорожнього покриття, типу рельєфу та інших факторів;

вплив окремих чинників на ресурс шин досліджений достатньо ґрунтовно, проте недостатньо вивчено їхню взаємодію і комплексний вплив;

створити універсальну модель зносу шин, яка враховувала б усі можливі варіанти факторів у різних кліматичних зонах, географічних умовах та для різних типів рухомого складу і виробників, наразі неможливо;

математичні моделі, розглянуті в пункті 1.1, не враховують специфіку регіональних умов експлуатації в південному регіоні Хмельницького;

аналіз статистичних даних свідчить, що, незважаючи на істотний вплив недостатнього внутрішнього тиску в шинах на їхній ресурс, витрати пального та безпеку руху, контролю цьому аспекту приділяється недостатньо уваги;

актуальними залишаються завдання зниження витрат на шини та паливо, а також підвищення безпеки руху.

Враховуючи це, метою даної роботи є зниження експлуатаційних витрат і зменшення викидів шкідливих речовин шляхом розробки системи управління ресурсом шин із застосуванням систем моніторингу транспортних засобів.

Для досягнення цієї мети поставлено такі завдання:

провести аналіз і дослідити комплексний вплив поєднання чинників на інтенсивність зносу шин на основі наявних літературних джерел;

проаналізувати статистичні дані щодо тиску і ресурсу шин, визначити ключові експлуатаційні фактори, що впливають на зношування протектора;

побудувати багатофакторні регресійні моделі залежності інтенсивності зношування протектора від основних експлуатаційних чинників;

розробити на базі регресійних моделей заходи для зменшення інтенсивності зносу протектора шин;

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розглянути методи управління ресурсом шин із використанням систем моніторингу;

оцінити економічний і екологічний ефект від впровадження запропонованих рішень.

Відповідно до цих завдань була розроблена загальна методика дослідження (Таблиця 1.7).

Таблиця 1.7 - Загальна методика дослідження

УПРАВЛІННЯ РЕСУРСОМ ШИН НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ			
ЕТАП 1. ПОСТАНОВКА МЕТИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЗАВДАНЬ			
Аналіз науково дослідницьких робіт у сфері експлуатації шини	Визначення факторів, що впливають на інтенсивність зносу шин	Розгляд існуючих методів вимірювання глибини протектора і систем моніторингу тиску в шинах	
ЕТАП 2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕОРІЇ ПЛАНУВАННЯ БАГАТОФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ			
Визначення значущих чинників на основі аналізу даних першого етапу та представлення процесу зносу шин у вигляді "чорного ящика"	Методика планування багатофакторного експерименту	Вибір рівняння регресії та побудова матриці планування експерименту	
ЕТАП 3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРЕДСТАВЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ			
Оцінки точності вимірювання залишкової глибини протектора	Побудова матриці кодування та вихідної матриці експерименту	Множинний регресійний аналіз результатів	Побудова регресійних моделей і представлення поверхонь відгуку
ЕТАП 4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ.ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ			
Зіставлення результатів із проведеними раніше дослідженнями	Складання заходів і рекомендацій для підвищення ресурсу шин з використанням систем моніторингу	Економічна та екологічна оцінка результатів дослідження	

На першому етапі проводиться аналіз науково-дослідних робіт у галузі технічної експлуатації шин. Проводиться аналіз усіх наявних чинників і ступеня їхнього впливу на інтенсивність зносу протектора шин. Розглядаються відомі методи вимірювання залишкової глибини протектора

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

шин, а також наявні та концептуальні системи моніторингу для контролю тиску в шинах. Результатом першого етапу можна вважати постановку мети та визначення завдань дослідження.

На другому і третьому етапах здійснюється опис процесу спрацьовування шин і вибору найвпливовіших чинників у заданих умовах експлуатації. Проводиться загальний виклад методики проведення експерименту та обробки експериментальних даних, результатом цих етапів є регресійні моделі для кожного з розглянутих маршрутів і графічне представлення поверхонь відгуку цих моделей.

На четвертому етапі проводять оцінку економічного та екологічного ефекту від використання систем моніторингу та зіставлення результатів із науковими дослідженнями.

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ГЛАВА 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕОРІЇ ПЛАНУВАННЯ БАГАТОФАКТОРНОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

2.1 Визначення чинників для врахування в регресійній моделі та їхній вплив на інтенсивність зношування шин

Як уже зазначалося раніше, на інтенсивність шин впливає велика кількість чинників (рис.1.1, 1.2) [44, 56, 4]. Під інтенсивністю зносу шин розуміється відношення вимірювання глибини протектора Δh за відносно малий інтервал пробігу (до 2000 км) до величини цього інтервалу пробігу ΔL [20].

$$J_{III} \text{ .M.} = \Delta h / \Delta L, [\text{мм}/1000 \text{ км}]. \quad (2.1)$$

Найчастіше використовується поняття "середня інтенсивність зносу шин", що визначається відношенням зміни глибини протектора за значний інтервал пробігу (понад 5 тис. км)

$$J_{III} = \frac{h_i - h_{i+1}}{L_{i+1} - L_i}, [\text{мм}/1000 \text{ км}]. \quad (2.2)$$

де $h(i)$, h_{i+1} - залишкова глибина малюнка протектора відповідно за i і $i+1$ вимірах;

L_i , L_{i+1} - пробіг автомобіля відповідно під час i та $i+1$ вимірювань залишкової глибини малюнка протектора. Відповідно за оцінкою інтенсивності зносу та його характером можна судити про наявність чи відсутність чинників, що діють на процес зносу. Якщо J_{III} перевищуватиме встановлені межі зносу, то це свідчатиме про наявність чинників, що впливають на знос,

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

які можуть характеризуватися відхиленням параметрів від оптимального стану і про необхідності проведення організаційно-технічних та інших заходів.

Таким чином наявність фактора, що впливає на знос, можна визначити двома способами: прямим і непрямим. Прямим способом можна назвати метод, коли наявність чинника визначається з характеру зносу шини, докладніше це представлено в таблиці 2.1. Непрямий спосіб - це визначення за параметрами, що впливають на зношування (наприклад, знижений тиск має спричинити інтенсивне зношування плечової зони протектора).

Таблиця 2.1 - Вплив факторів на характер зносу

Фактор	Характер зносу
1. Сходження - позитивне - негативне	Одностороннє пилкоподібне зношування: - зовнішніми доріжками - внутрішніми доріжками
2. Перекіс осей	Односторонній пилкоподібний знос задніх шин по внутрішнім доріжках з однієї боку і зовнішнім з іншого
3. неправильне співвідношення кутів повороту	Інтенсивне зношування однієї крайньої доріжки
4. Нерівність між собою кутів поздовжнього нахилу шворня	Односторонній знос однієї шини
5. Тиск повітря в шині - вище норми - нижче норми	Інтенсивний знос: - центральної частини протектора - плечової зони протектора
6 Розвал	Гладкий односторонній знос
7. Дисбаланс (статичний і динамічний)	Плямистий знос
9. Деформація обода (торцеве биття)	Місцевий знос
10. Перевантаження шин	Інтенсивний знос плечової зони протектора

Примітно те, що під нерівномірний знос потрапляють ті шини, на яких впливає фактор технічного стану. Решта факторів, більшою мірою, збільшують рівномірний знос всієї ширини протектора.

Але як показав аналіз з першого розділу, характер зносу протектора має більшою мірою зношування плечових зон протектора, що разом з

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

аналізом тиску, на якому експлуатуються шини, свідчить про наявність фактора тиску. Решта ж чинників із технічного стану мають слабкий вплив на впливу, тому що не спостерігається відповідний їм характер зносу.

Фактор технічного стану на підприємстві досить добре контролюється (окрім тиску), але є ще фактори, на які неможливо впливати, але які необхідно врахувати в регресійній моделі для отримання більш точних результатів. До таких факторів можна віднести дорожні умови експлуатації та вагове навантаження. Дорожні умови є дуже значущим фактором і до того ж некерованим. Знос шин на різних маршрутах із різними дорожніми умовами може різнитися у 2 і більше разів [56]. Так само і в роботі [13] йдеться про вплив поворотів, гальмувань, розгонів на інтенсивність зносу шин. Відповідно можна зробити висновок про те, що врахування такого фактора, як дорожні умови, є обов'язковою умовою, і тут є два підходи для розв'язання задачі: розробка універсальної регресійної моделі для всіх маршрутів, але в такому разі буде необхідно розробити коефіцієнт, що описує дорожні умови кожного з маршрутів - коефіцієнт складності маршруту; або ж розробити безліч регресійних моделей для кожного маршруту окремо. Другий спосіб простіший, особливо коли коефіцієнта, що описує складність маршруту, немає або якщо трудомісткість його розрахунку занадто висока. Інший фактор - вагове навантаження, як видно з малюнка 1.6 (перший розділ), так само має доволі великий вплив на інтенсивність зносу шин, причому при перевантаженні шини характер зносу виходить таким самим, як і за умови недостатнього тиску, а в сумі зі складними дорожніми умовами це дає ще значніший знос.

2.2 Інтерпретування моделі процесу інтенсивності зносу шин у вигляді "чорної скриньки"

Для опису процесу зношування шин доцільно використовувати функціональну модель, що імітує способи поведінки оригіналу. Функція, як

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

деякий стабільний для даної системи спосіб поведінки є однією з найважливіших сторін сутності системи. Функціональний підхід характеризується ніби подвійною абстракцією: абстрагуванням спершу від речового складу системи з виокремленням її внутрішньої структури та подальшим абстрагуванням від останньої виокремленням функціональних зв'язків системи із середовищем. Складну математичну систему розглядають як єдність трьох об'єктивних начал: речовини, структури внутрішніх відносин і функціональних зв'язків із навколишнім середовищем. Функціональний підхід до систем не вичерпує повністю сутності останніх, але дає змогу наблизитися до розкриття їхньої природи.

Узагальненим абстрактним образом функціонування моделі, що набув значного поширення й теоретичного розроблення в кібернетиці, є "чорний ящик" [58]. Під ним розуміють систему, внутрішній устрій якої не відомий спостерігачеві, але він може досліджувати входи (чинники впливу - X) і виходи (відгук функції - Y) цієї системи. Функціональна модель "чорної скриньки" має їй відповідати за входами і виходами, тобто за тих самих вхідних впливів виявляти аналогічну з об'єктом реакцію на входах [58].

Слід зазначити, що поняття "не відомо спостерігачеві" потрібно розглядати хоча б на двох щаблях. По-перше, можуть досліджуватися системи, внутрішній устрій і механізм функціонування яких поки що не відомі достовірно нікому з дослідників. По-друге, принцип "чорної скриньки" можна застосовувати в дослідженнях, результатом яких має бути не пояснення функціонування об'єктів, а досягнення деякого заданого стану за X і Y ; останнє якраз характерне для дослідженням з обмеженим ресурсом за часом. Такий підхід дає змогу тимчасово відволіктися від деяких складних явищ (наприклад, фізико-хімічних), що відбуваються в досліджуваній системі, та значно прискорити розв'язання низки практичних задач (управління, оптимізації тощо) [8].

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Таким чином, у середовищі CASE програми Erwin Process Modeler у нотації IDEF0 було побудовано контекстну діаграму першого рівня, що представляє графічну модель процесу експлуатації шин

Входом, що впливає на інтенсивність зносу (вихід), є три фактори: тиск, дорожні умови та вагове навантаження. Нормативні документи та діагностичне обладнання є керуючими елементами процесу, а технічний персонал і технологічне обладнання є його механізмами. Елементи управління регламентують і контролюють вплив негативних чинників на інтенсивність зносу, а механізми є засобами для виконання заходів щодо припинення цього впливу. Тут варто згадати той факт, що наявність управління і механізмів справедлива лише для керованих факторів, тобто для внутрішнього тиску. Для некерованих чинників можуть існувати елементи управління (наприклад, максимальне навантаження на шину, встановлене заводом-виробником), але впливати на них за допомогою механізмів неможливо.

2.3 Методика планування багатофакторного експерименту

Регресійний аналіз набув нових можливостей після того, як у нього було привнесено ідеї планування експерименту. Планування експерименту було запропоновано Рональдом А. Фішером у тридцятих роках 20 століття для розв'язання агробіологічних задач [16]. Фішер започаткував новий розділ математичної статистики - дисперсійний аналіз, що дає змогу оцінити внесок, який вносять окремі фактори в сумарну дисперсію. Пізніше планування експерименту стало застосовуватися в різних галузях для вирішення широкого кола завдань. Дисперсійний і регресійний аналізи, що базуються на плануванні експерименту, переплелися вельми складним чином, і зараз дуже важко провести чітку межу між цими розділами математичної статистики.

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Планування експерименту - це процедура вибору кількості та умов проведення дослідів, необхідних і достатніх для опису процесу математичною моделлю за мінімальної кількості дослідів та за умов недостатнього знання механізму досліджуваного процесу [11].

Метою планування експерименту є визначення такої сукупності правил і умов виконання дослідів, що дадуть змогу отримати достовірну надійну інформацію про досліджуваний об'єкт із мінімальними трудовитратами, а також виразити цю інформацію в зручній і компактній формі з кількісною оцінкою точності [21].

У цьому разі вирішено використовувати ротатабельне центрально-композиційне планування другого порядку (РЦКП) з розбиттям на ортогональні блоки. Перевага планів другого порядку над планами першого очевидна - більша точність апроксимувальної функції. Так, поліном першого порядку дає поверхню відгуку, що являє собою в перерізі слід у вигляді прямої лінії. Оскільки в багатьох роботах, виконаних раніше в галузі технічної експлуатації шин, спостерігається нелінійна залежність інтенсивності зносу від внутрішнього тиску, вагового навантаження і умов маршруту, поліном першого порядку не дасть адекватної апроксимуючої функції, що описує вплив чинників на її відгук.

РЦКП було запропоновано 1957 року Боксом і Хантером, як вирішення недоліків ортогонального центрально-композиційного планування (ОЦКП), запропонованого ними ж раніше. Недоліками ОЦКП були: різні дисперсії коефіцієнтів регресії та отримання неоднакової інформації про коефіцієнти моделі; під час повороту осей координат дисперсія передбачуваного значення функції відгуку змінювалася за вельми складним законом, що ускладнювало оцінку щодо якості одержуваної моделі [16].

Бокс і Хантер запропонували вважати оптимальним плануванням другого порядку ротатабельне планування, що дає змогу отримувати

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

симетричні інформаційні контури.Такий критерій добре узгоджується з тими інтуїтивними уявленнями планування, які є у дослідника. Дослідникові видається природним прагнути насамперед до того, щоб інформація, що міститься в рівнянні регресії, була рівномірно "розмазана" по сферах [34, 66]. Пізніше, дослідження Дрейпера і Бокса [34, 66] показало, що ротатабельні плани є оптимальними і в ширшому розумінні: до них доводиться звертатися і тоді, коли треба мінімізувати систематичні помилки, пов'язані з неадекватністю представлення результатів дослідження поліномами другого порядку.

Для планів РЦКП так само, як і для ОЦКП, до лінійного ядра модулів на двох рівнях прилаштовують по дві зіркові точки на фактор.Однак зіркові плечі в РЦКП мають більші значення, ніж для планів ОЦКП.Крім того, щоб збільшити кількість інформації, РЦКП передбачає велику кількість точок у центрі плану (нульові точки) і, цим самим, забезпечується в межах факторного простору незначна зміна дисперсії передбаченого значення функції відгуку від відстані центру плану. Таке планування називається уніформ-плануванням [34].

Наприклад, для того, щоб отримати регресійну модель процесу інтенсивності спрацьовування шин залежно від двох чинників, необхідно провести лише 8 експериментів і 4 експерименти в нульових точках. Це суттєво полегшує трудові витрати на дослідження.Однак збирання результатів експерименту проводиться в певних точках поєднання чинників, і, за пасивного експерименту, на певне поєднання чинників можна чекати досить довго, чого не можна сказати про активний експеримент .

Загалом побудова багатofакторної моделі зводиться до кількох етапів

Далі буде детально розглянуто кожен етап розроблення багатofакторної регресійної моделі з використанням теорії багатofакторного експерименту.

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

2.4 Вибір рівняння регресії

На першому етапі вибирається рівняння регресії. Воно задається експериментатором апріорно. Тут варто враховувати, що модель, крім чинників і показників, може мати ступені та поєднання цих чинників - це свого роду уточнення, які дають більш детальну поверхню відгуку і, як наслідок, більш повне уявлення про вплив чинників на інтенсивність зносу протектора шин.

Математичною мовою завдання формулюється так: потрібно отримати деяке уявлення про функцію відгуку

$$Y = \varphi(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (2.3)$$

де Y - параметр процесу, що підлягає оптимізації (функція відгуку), x_n - незалежні змінні, які можна варіювати під час постановки експериментів.

Результуючим підсумком моделі є геометричний образ, що відповідає функції відгуку, який називається поверхнею відгуку [16]. Ця поверхня може мати різний вигляд залежно від обраної моделі, яка найточніше описує процес, наприклад, поверхня відгуку за лінійної моделі поверхня буде рівною площиною, а за квадратичної моделі матиме вигляд сідла або чаші.

Якщо модель необхідна для опису поведінки системи (але не для пояснення механізму явищ), і в дослідника немає гіпотез, що ґрунтуються на фундаментальних законах природи, то він може задовольнитися гіпотезою, обраною з принципу простоти, а саме взяти за апроксимуючу функцію поліном, статичний ряд, ряд Фур'є, тригонометричний многочлен тощо. У багатьох джерелах опис поведінки системи зводиться до подання моделі у вигляді полінома ступеня n [8, 16, 34]. До того ж при РЦКП передбачено застосування полінома другого порядку

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБАТ 2522121.000 ПЗ				

Відповідно рівняння для k факторів матиме вигляд

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \dots + \varepsilon, \quad (2.4)$$

де - b_0 - вільний член, b_i - лінійні ефекти, b_{ij} - ефекти парної взаємодії, b_{ii} - квадратичні ефекти, x_i, x_j, x_i^2 - фактори, ε - доданок, що відбиває вплив випадкових чинників у системі, а також наслідки розрахунку оцінок коефіцієнтів моделі за експериментальними даними.

Коефіцієнти регресії еквівалентні приватним похідним ряду Тейлора

$$b_i = \frac{\partial \varphi}{\partial x_i}; \quad (2.5)$$

$$b_{ij} = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x_i \partial x_j}; \quad (2.6)$$

$$b_{ii} = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x_i^2}. \quad (2.7)$$

За експериментальними даними можна розрахувати статистичні оцінки коефіцієнтів регресії та отримати модель для розрахункового значення виходу.

Як уже зазначалося раніше, доцільніше розробити низку регресійних двофакторних моделей для кожного маршруту окремо, ніж розробляти універсальну трифакторну модель, що оцінює кожен маршрут. У такому разі регресійна модель матиме вигляд

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{12} x_1 x_2. \quad (2.8)$$

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5 Побудова матриці планування експерименту

Матрицю планування експерименту складають залежно від кількості чинників, що розглядаються в регресійній моделі, і типу плану. Матриця планування експерименту являє собою матрицю рівнів варіювання чинників, що чергуються певним чином для врахування поєднань варіацій чинників і відповідного їм значення статистичного відгуку. Матриця планування експерименту потрібна для визначення точок збору статистичної інформації про об'єкт (зняття значення відгуку) за певного поєднання чинників і за найменшої кількості експериментів. Для двофакторної моделі матриця планування експерименту матиме такий вигляд.

Таблиця 2.2 - Матриця планування експерименту

Позначення	№ Експеримент	x_0	x_1	x_2	2		x_{1x_2}
					x_1	x_2	
Ядро плану	1	+1	-1	-1	+1	+1	+1
	2	+1	+1	-1	+1	+1	-1
	3	+1	-1	+1	+1	+1	-1
	4	+1	+1	+1	+1	+1	+1
Зоряні точки	5	+1	$-a$	0	$+a^2$	0	0
	6	+1	$+a$	0	$+a^2$	0	0
	7	+1	0	$-a$	0	$+a^2$	0
	8	+1	0	$+a$	0	$+a^2$	0
Центральні (нульові) точки плану	9	+1	0	0	0	0	0
	10	+1	0	0	0	0	0
	11	+1	0	0	0	0	0
	12	+1	0	0	0	0	0

У матриці планування експерименту складають два векторні стовпчики x_1 і x_2 , а решту векторних стовпчиків (окрім x_0), визначають перемноженням або піднесенням до квадрата векторних стовпчиків x_1 і x_2 .

Ядро плану складається почерговим чергуванням двох рівнів варіювання чинників (у даному випадку -1 і $+1$), а кількість точок визначається кількістю чинників формулою

$$N = 2^k, \quad (2.9)$$

де k - кількість досліджуваних факторів.

Зоряні точки - це точки плану другого порядку, що лежать на координатній осі у факторному просторі. Зоряні точки являють собою екстремуми варіації абсолютних значень факторів. Їх значення визначається таким чином

$$\alpha = \sqrt{k}, \quad (2.10)$$

де k - кількість факторів у моделі.

Зоряних точок у плані по дві на один фактор ($-\alpha$ і $+\alpha$).

Центральні (нульові) точки - це точки, що лежать у центрі плану. Вони є ознакою ортогональності плану. Центральних точок - чотири. Ці точки потрібні для виконання властивості ортогональності та правильного розрахунку коефіцієнтів моделі.

У РЦКП, як і в ОЦКП, значення кожного фактора фіксують у загальному випадку на п'яти рівнях варіювання ($-\alpha$; -1 ; 0 ; $+1$; $+\alpha$). Де $-\alpha$ - мінімальний рівень варіювання фактора, $+\alpha$ - максимальний рівень варіювання, 0 - середній рівень варіювання, а -1 і $+1$ - проміжні точки.

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРЕДСТАВЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Оцінка точності методу вимірювання інтенсивності зносу шин

Згідно з [6], загальноприйнятий довірчий інтервал під час оцінювання надійності засобів автоматики, електроніки та вимірювальної техніки приймається рівним $P_D = 0,8$. Відповідно, 8 вимірів задовольняють необхідній точності довірчого інтервалу.

$$P_D = \frac{n-1}{n+1} = \frac{8-1}{8+1} \approx 0,8. \quad (3.1)$$

Для перевірки точності вимірювань був узятий ряд розподілів випадкової величини залишкової глибини протектора однієї шини, що відповідає нормальному закону розподілу і, після чого, були визначені основні статистичні характеристики: математичне очікування $h_{cp} = 8,12$; середньоквадратичне відхилення $\sigma = 0,122$; дисперсія $D = 0,015$.

Математичне очікування h_{cp} є істинним значенням висоти протектора. Тоді визначимо довірчий інтервал для математичного очікування з довірчою ймовірністю $\gamma = 0,95$, це і буде абсолютною похибкою вимірювань Δ . Відповідно критерій Стюдента для $\gamma = 0,95$ і $n = 8$ дорівнюватиме $t_\gamma = 2,306$. Тоді абсолютна похибка вимірювань Δ дорівнюватиме

$$\Delta = t_\gamma \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 2,306 \cdot \frac{0,122}{2,89} = 0,0993. \quad (3.2)$$

Визначимо довірчі верхню та нижню межі вимірювання залишкової глибини протектора

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$h_B = h_{cp} + \Delta = 8,12 + 0,0993 = 8,222; \quad (3.3)$$

$$h_H = h_{cp} - \Delta = 8,12 - 0,0993 = 8,023. \quad (3.4)$$

Відносна похибка вимірювання залишкової глибини протектора дорівнюватиме

$$\delta_o = \pm \frac{\Delta}{h_{cp}} \cdot 100 = \frac{0,0993}{8,12} \cdot 100 = 1,22\%. \quad (3.5)$$

Під час визначення інтенсивності зносу необхідно визначити не глибину протектора, а різницю між попередніми і поточними змінами залишкової глибини протектора. Тому заміри проводили перед виїздом автобуса на маршрут, а також після повернення з маршруту, і згодом, знаходили різницю, виражену в мм/1000км, що і є інтенсивністю зносу.

У роботі [22] сказано, що відносна похибка оцінювання інтенсивності зносу шин залежатиме від періодичності вимірювань глибини протектора. Враховуючи, що протяжність маршрутів може відрізнятись в 3 рази, відносна похибка для кожного маршруту окремо буде відрізнятись.

Відповідно відносну похибку оцінки інтенсивності зносу залежно від протяжності маршруту можна знайти за формулою [22]:

$$\delta_m = \pm \frac{\Delta}{J_{cp} \cdot L} \cdot 100, \quad (3.5)$$

де J_{cp} - середня інтенсивність зносу, L - протяжність маршруту за оборот (прямий і зворотний рейси) з урахуванням нульового пробігу

$$L = 2L_M + 2L_0, \quad (3.6)$$

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБАТ 2522121.000 ПЗ				

де L_M - довжина n-го маршруту; L_0 - нульовий пробіг, $L_0 = 7$ км.

Відносна похибка з урахуванням протяжності кожного маршруту, розрахована за формулою 3.5, зведена в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 - Відносна похибка вимірювань з урахуванням протяжності кожного маршруту

№ П/П	Номер маршрута	Маршрут	Довжина маршруту у , км	Середня інтенсивність зносу, мм/1000 км	Відносна похибка, %
1	506	Хмельницький Шаровечка	337	0,79	11,4
2	574	Хмельницький - Вінківці	349	0,75	10,82
3	519	Хмельницький - Городок	347	0,84	12,12
4	644	Хмельницький - Мацьківці	579	0,89	12,84
5	700	Хмельницький - Олешин	826	0,85	12,26
6	740	Хмельницький Пархомівці	1012	0,97	13,99
7	791	Хмельницький Красилів	851	1,4	20,20

Знайдені відносні похибки (таблиця 3.1) укладаються в граничні значення похибок об'єктів, які потребують економічно оптимальної якості та рівня надійності (не більше 31%) [32, 43].

3.2 Проведення експерименту

Для того, щоб представити вихідну матрицю експерименту, необхідно визначити варіацію чинників закодувати змінні. Для зручності складається матриця кодування змінних (Таблиця 3.2), у якій так також представлені рівні варіювання факторів і відповідні їм абсолютні значення.

Таблиця 3.2 - Матриця кодування змінних

Змінні фактори	Позначення		Рівні варіювання факторів				
	загальні	кодовані	-1,414	-1	0	+1	+1,414
Тиск, Бар	<i>P</i>	<i>x</i> 1	7,4	7,517	7,8	8,083	8,2
Вагова навантаження, кг	<i>M</i>	<i>x</i> 2	203	233,2	306	378,8	409

Як видно з таблиці 3.1, варіація тиску перебуває в межах від 7,4 до 8,2 бар. А вагове навантаження від 203 до 409 кг. У цьому разі визначалося не мінімально або максимально можливе значення фактора, яке він може прийняти, а значення, яке приймав фактор під час експерименту.

Вагове навантаження визначали виходячи зі звітних квиткових відомостей, з яких визначали середню кількість осіб, які перебувають в автобусі на перегоні

$$Q = \frac{1}{n} \sum q_i, \quad (3.6)$$

де *n* - кількість ділянок перегону на маршруті (або кількість ділянок між зупинками в населених пунктах); *q_i* - кількість перевезених пасажирів за оборот.

Оскільки задня вісь має спарені колеса, а також розподіл мас між передньою і задньою віссю не однаковий, необхідно визначити вагове навантаження на кожне колесо в кілограмах (без урахування маси автобуса).

$$M_{II} = \frac{m \cdot Q \cdot \gamma_{II}}{2}, \quad (3.7)$$

$$M_{III} = \frac{m \cdot Q \cdot \gamma_{III}}{4}, \quad (3.8)$$

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $M(П)$ і $MЗ$ - вагове навантаження на переднє і заднє колесо відповідно; $\gammaП$ і $\gammaЗ$ - коефіцієнт розподілу навантаження між передньою і задньою віссю автобуса відповідно, $\gammaП = 0,36$, $\gammaЗ = 0,64$.

Відповідно мінімальне значення варіації фактора вагового навантаження у 203 кг відповідає 17 пасажиром, які в середньому перебувають на перегоні.

Як видно з таблиці 3.1, мінімальному значенню рівня варіювання (-1,414) присвоюється початкове значення діапазону відповідного фактора, максимальному (+1,414) - максимальне значення діапазону. Проміжні значення (-1; 0; +1) визначаються методом лінійної інтерполяції.

Після чого, використовуючи матрицю планування експерименту (таблиця 2.2) і матрицю кодування змінних (таблиця 3.2), складається вихідна матриця експерименту. У таблицях 3.3 - 3.9 подано вихідні матриці експерименту для розглянутих маршрутів.

Таблиця 3.3 - Початкова матриця експерименту для маршруту Хмельницький - Красилів

№ Досві ду	Теоретичні значення		Фактичні значення		Інтенсивність зносу, мм/1000 км
	x1	x2	x1	x2	
1	7,5	233,2	7,4	232	1,280
2	8,1	233,2	8,1	227	1,227
3	7,5	378,8	7,4	358	1,331
4	8,1	378,8	8,1	358	1,302
5	7,4	306,0	7,4	286	1,479
6	8,2	306,0	8,2	298	1,102
7	7,8	203,0	7,7	203	1,020
8	7,8	409,0	7,8	395	1,445
9	7,8	306,0	7,8	298	1,171
10	7,8	306,0	7,8	298	1,172
11	7,8	306,0	7,8	298	1,312
12	7,8	306,0	7,8	298	1,334

Таблиця 3.4 - Вихідна матриця експерименту для маршруту Хмельницький - Шаровечка

№ Досвіду	Теоретичні значення		Фактичні значення		Інтенсивність зносу, мм/1000 км
	x1	x2	x1	x2	
1	7,5	233,2	7,5	232	0,843
2	8,1	233,2	8	232	0,815
3	7,5	378,8	7,6	395	0,907
4	8,1	378,8	8	395	0,888
5	7,4	306,0	7,4	310	0,927
6	8,2	306,0	8,2	310	0,656
7	7,8	203,0	7,8	203	0,536
8	7,8	409,0	8,1	409	0,827
9	7,8	306,0	7,8	310	0,843
10	7,8	306,0	7,8	310	0,699
11	7,8	306,0	7,8	310	0,763
12	7,8	306,0	7,8	310	0,840

Таблиця 3.5 - Вихідна матриця експерименту для маршруту Хмельницький - Дунаївці № Досвіду	Теоретичні значення		Фактичні значення		Інтенсивність зносу, мм/1000 км
	x1	x2	x1	x2	
1	7,5	233,2	7,5	232	1,022
2	8,1	233,2	8,1	232	0,872
3	7,5	378,8	7,9	368	1,041
4	8,1	378,8	8,2	382	0,958
5	7,4	306,0	7,4	298	1,115
6	8,2	306,0	8,2	298	0,987
7	7,8	203,0	7,8	203	0,893
8	7,8	409,0	8,1	409	1,117
9	7,8	306,0	7,8	314	0,861
10	7,8	306,0	7,8	314	0,934
11	7,8	306,0	7,8	314	1,178
12	7,8	306,0	7,8	314	1,140

Таблиця 3.6 - Початкова матриця експерименту для маршруту
Хмельницький - Городок

№ Досвіду	Теоретичні значення		Фактичні значення		Інтенсивність зносу, мм/1000 км
	x1	x2	x1	x2	
1	7,5	233,2	7,6	245	0,980
2	8,1	233,2	8,1	239	0,861
3	7,5	378,8	7,6	358	0,942
4	8,1	378,8	8	358	0,888
5	7,4	306,0	7,4	298	1,014
6	8,2	306,0	8,2	298	0,695
7	7,8	203,0	7,8	215	0,587
8	7,8	409,0	8	409	0,962
9	7,8	306,0	7,8	298	0,770
10	7,8	306,0	7,8	298	0,803
11	7,8	306,0	7,8	298	0,914
12	7,8	306,0	7,8	298	0,879

Таблиця 3.7 - Вихідна матриця експерименту для маршруту Хмельницький -
Мацьківці

№ Досвіду	Теоретичні значення		Фактичні значення		Інтенсивність зносу, мм/1000 км
	x1	x2	x1	x2	
1	7,5	233,2	7,5	232	0,957
2	8,1	233,2	8,1	232	0,917
3	7,5	378,8	7,5	382	0,988
4	8,1	378,8	8,1	382	0,948
5	7,4	306,0	7,4	310	1,008
6	8,2	306,0	8,2	310	0,924
7	7,8	203,0	7,9	203	0,897
8	7,8	409,0	7,8	409	0,967
9	7,8	306,0	7,4	310	0,965
10	7,8	306,0	7,4	310	0,963
11	7,8	306,0	7,4	310	0,914
12	7,8	306,0	7,4	310	0,938

Таблиця 3.8 - Вихідна матриця експерименту для маршруту

№ Досвіду	Теоретичні значення		Фактичні значення		Інтенсивність зносу, мм/1000 км
	x1	x2	x1	x2	
1	7,5	233,2	7,6	259	0,930
2	8,1	233,2	8	259	0,875
3	7,5	378,8	7,5	382	0,995
4	8,1	378,8	8	368	0,935
5	7,4	306,0	7,4	298	0,886
6	8,2	306,0	8,1	298	0,616
7	7,8	203,0	7,9	203	0,541
8	7,8	409,0	7,8	409	0,768
9	7,8	306,0	7,8	310	0,749
10	7,8	306,0	7,8	310	0,835
11	7,8	306,0	7,8	310	0,791
12	7,8	306,0	7,8	310	0,878

Таблиця 3.9 - Вихідна матриця експерименту для маршруту Хмельницький - Пархомівці

№ Досвіду	Теоретичні значення		Фактичні значення		Інтенсивність зносу, мм/1000 км
	x1	x2	x1	x2	
1	7,5	233,2	7,6	259	0,847
2	8,1	233,2	8	259	0,807
3	7,5	378,8	7,5	382	0,910
4	8,1	378,8	8	368	0,924
5	7,4	306,0	7,4	298	0,963
6	8,2	306,0	8,1	298	0,734
7	7,8	203,0	7,9	203	0,670
8	7,8	409,0	7,8	409	0,941
9	7,8	306,0	7,8	310	0,784
10	7,8	306,0	7,8	310	0,790
11	7,8	306,0	7,8	310	0,906
12	7,8	306,0	7,8	310	0,840

Інтенсивність зносу шин визначали за формулою 2.1.

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Варто зауважити, що в даному випадку (як видно з таблиць 3.3 - 3.9) теоретичні значення будуть однакові для всіх досліджуваних маршрутів, а фактичні дані обирають із найбільш найближчих до теоретичних значенням поєднань факторів. Така ситуація спостерігається через те, що експеримент має пасивний характер, але на результати це не дасть суттєвого впливу.

3.3 Множинний регресійний аналіз результатів

Наступним етапом буде обробка експериментальних даних (регресійний аналіз). Детальну методику регресійного аналізу результатів експерименту викладено в джерелах [34, 38].

Спочатку проводиться підрахунок коефіцієнтів сум. Принцип розрахунку коефіцієнтів полягає в послідовному додаванні значень відгуку з вихідної матриці експерименту (таблиця 3.3) з використанням знаків і рівнів варіювання з матриці планування експерименту (таблиця 2.2).

Для вільного члена всі знаки в матриці планування експерименту мають позитивний знак, а рівень варіювання дорівнює одиниці. Тому вийде вираз із сум значень відгуку, де кожне значення відгуку матиме коефіцієнт, що дорівнює одиниці

$$(OY) = \sum_{i=1}^N Y_i = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + Y_5 + Y_6 + Y_7 + Y_8 + Y_9 + Y_{10} + Y_{11} + Y_{12}. \quad (3.9)$$

де Y_i - значення відгуку i -го рядка.

Аналогічним методом розраховуються коефіцієнти сум для членів першого ступеня

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

$$(iY) = \sum_{i=1}^N x_i \cdot Y_i, \quad (3.10)$$

де x_i - відповідний стовпчику (таблиця 2.2) фактор.

Коефіцієнт суми для лінійного фактора внутрішнього тиску ($x1$)

$$\sum_{i=1}^N x_i \cdot Y_i = -Y_1 + Y_2 - Y_3 + Y_4 - \alpha Y_5 + \alpha Y_6. \quad (3.11)$$

Коефіцієнт суми для лінійного фактора вагового навантаження ($x2$)

$$\sum_{i=1}^N x_i \cdot Y_i = -Y_1 - Y_2 + Y_3 + Y_4 - \alpha Y_7 + \alpha Y_8. \quad (3.12)$$

Коефіцієнти сум для членів другого ступеня

$$(iiY) = \sum_{i=1}^N x_i^2 \cdot Y_i. \quad 3.13$$

Коефіцієнт суми для члена другого ступеня фактора внутрішнього тиску ($x12$)

$$\sum_{i=1}^N x_i^2 \cdot Y_i = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + \alpha^2 Y_5 + \alpha^2 Y_6. \quad (3.14)$$

Коефіцієнт суми для члена другого ступеня фактора вагового навантаження ($x22$)

$$\sum_{i=1}^N x_i^2 \cdot Y_i = Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_4 + \alpha^2 Y_7 + \alpha^2 Y_8. \quad (3.15)$$

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнти сум для парного поєднання факторів

$$(ijY) = \sum_{i=1}^N x_i \cdot x_j \cdot Y_i = Y_1 - Y_2 - Y_3 + Y_4. \quad (3.16)$$

Визначимо коефіцієнти регресії $b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{22}, b_{12}$

$$b_0 = \frac{A}{N} \cdot \left[2 \cdot \lambda_U^2 \cdot (k+2) \cdot (OY) - 2 \cdot \lambda_U \cdot C \cdot \sum_{i=1}^K (iiY) \right]; \quad (3.17)$$

$$b_i = \frac{C}{N} \cdot (iY); \quad (3.18)$$

$$b_u = \frac{A}{N} \cdot \left[C^2 \cdot ((k+2) \cdot \lambda_U - k) \cdot (iiY) + C^2 \cdot (1 - \lambda_U) \cdot \sum_{i=1}^k (iiY) - 2 \cdot \lambda_U \cdot C \cdot (OY) \right]; \quad (3.19)$$

$$b_y = \frac{C^2}{N \cdot \lambda_U} \cdot (ijY), \quad (3.20)$$

де $k = 2$ - кількість змінних (чинників); $N = 12$ - кількість експериментів; $n_0 = 4$ - кількість нульових точок; $n(n) = 8$ - кількість периферійних точок; $(OY), (iY), (iiY), (ijY)$ - коефіцієнти сум; C, λ_U, A - коефіцієнти, які визначаються за формулами

$$C = \frac{N}{\sum_{i=1}^N x_i^2} = \frac{12}{1+1+1+1+1,999396+1,999396+0+0+0+0+0+0} = 1,5. \quad (3.21)$$

$$\lambda_U = \frac{k \cdot (n_0 + n_n)}{(k+2) \cdot n_n} = \frac{2 \cdot (4+8)}{(2+2) \cdot 8} = 0,75. \quad (3.22)$$

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$A = \frac{1}{2 \cdot \lambda_U \cdot [(k+2) \cdot \lambda_U - k]} = \frac{1}{2 \cdot 0,75 \cdot [(2+2) \cdot 0,75 - 2]} = 0,67. \quad (3.23)$$

Коефіцієнти C , λU і A не залежать від експериментальних даних, а залежать повністю від характеристик плану експерименту, тому значення цих коефіцієнтів для моделі кожного маршруту будуть однакові.

Результати розрахунків коефіцієнтів регресії для кожної моделі маршруту подано в таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 - Результат обчислень коефіцієнтів регресії

Маршрут	b_0	b_1	b_2	b_1^2	b_2^2	$b_1 b_2$
Хмельницький - Шаровечка	0,786	-0,054	0,068	0,034	-0,021	0,002
Хмельницький - Вінківці	1,028	-0,052	0,052	-0,002	-0,025	0,017
Хмельницький - Городок	0,842	-0,078	0,065	0,032	-0,008	0,016
Хмельницький - Мацьківці	0,945	-0,025	0,020	0,011	-0,006	0,000
Хмельницький - Олешин	0,806	-0,062	0,056	0,030	-0,018	-0,002
Хмельницький - Пархомівці	0,830	-0,044	0,070	0,021	-0,001	0,014
Хмельницький - Красилів	1,248	-0,077	0,091	0,027	-0,002	0,006

За даними коефіцієнтів регресії, наведеними в таблиці 3.10, уже видається можливим побудувати регресійні моделі для кожного з представлених маршрутів, але перед цим необхідно оцінити точність і адекватність отриманих даних.

3.4 Оцінка адекватності моделей

Детальну методику оцінювання адекватності моделей подано в [34, 38]. Оскільки число ступенів свободи в кожного рівняння буде однаковим, визначимо його відразу.

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

Визначаються помилки регресійного аналізу, пов'язані з коефіцієнтами.

Знаходиться сума квадратів результатів спостережень

$$(Y Y) = \sum_{i=1}^N Y_i^2. \quad (3.24)$$

Знаходиться сума квадратів, пов'язана з вільним членом (коригувальний фактор)

$$S_0 = \frac{(OY)^2}{N}, \quad f_0 = 1. \quad (3.25)$$

де f_0 - число ступенів свободи.

Сума квадратів, пов'язана з членами першого ступеня, визначається незалежно від вільного члена

$$S_{1.0} = \sum_{i=1}^k b_i (iY), \quad f_{1.0} = k = 2. \quad (3.26)$$

Суму квадратів, пов'язану з членами другого ступеня, буде знайдено після віднімання коригувального фактора із сум квадратів для членів нульового і першого порядків

$$\left. \begin{aligned} S_{2.10} &= b_0 \cdot (OY) + \sum_{i=1}^k b_{ii} \cdot (iiY) + \sum_{i=1}^k b_{ij} \cdot (ijY) - \frac{(OY)^2}{N}, \\ f_{2.10} &= \frac{k \cdot (k+1)}{2} = \frac{2 \cdot (2+1)}{2} = 3. \end{aligned} \right\} \quad (3.27)$$

Тепер залишиться тільки розділити суми квадратів на відповідні їм ступені свободи й отримати дисперсії.

Дисперсія, пов'язана з членами першого ступеня

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

$$S_{1.0}^2 = \frac{SI_{1.0}}{fI_{1.0}} \quad (3.28)$$

Дисперсія, пов'язана з членами другого ступеня

$$S_{2.1.0}^2 = \frac{S2_{2.1.0}}{f_{2.1.0}} \quad (3.29)$$

Таблиця 3.11 - Помилки регресійного аналізу, пов'язані з коефіцієнтами регресії

Маршрут	Показники	У	x ₀	x ₁	x ₂	$\sum_{i=1}^2 x_i$	$\sum_{i=1}^2 x_i^2$	x ₁ ·x ₂
Хмельницький - Шаровечка	сума квадратів (S)	7,7357	7,5923	0,0607			0,0126	
	дисперсія (S ²)	-	-	0,0304			0,0042	
Хмельницький - Шарипово	сума квадратів (S)	12,3727	12,2400	0,0434			0,0053	
	дисперсія (S ²)	-	-	0,0217			0,0018	
Хмельницький - Городок	сума квадратів (S)	9,0070	8,8346	0,0825			0,0091	
	дисперсія (S ²)	-	-	0,0413			0,0030	
Хмельницький - Мацьківці	сума квадратів (S)	10,8143	10,8028	0,0081			0,0013	
	дисперсія (S ²)	-	-	0,0041			0,0004	
Хмельницький - Олешин	сума квадратів (S)	8,1559	7,9575	0,0556			0,0097	
	дисперсія (S ²)	-	-	0,0278			0,0032	
Хмельницький - Пархомівці	сума квадратів (S)	8,6162	8,5275	0,0551			0,0036	
	дисперсія (S ²)	-	-	0,0276			0,0012	
Хмельницький - Красилів	сума квадратів (S)	19,3888	19,1926	0,1133			0,0053	
	дисперсія (S ²)	-	-	0,0567			0,0018	

Визначаються помилки, що характеризують точність проведеного експерименту.

Сума квадратів, пов'язана з коефіцієнтом регресії

$$\left. \begin{aligned} S_{0.1.2} &= S_0 + S_{1.0} + S_{2.1.0}, \\ f_{0.1.2} &= \frac{(k+2)(k+1)}{2} = \frac{(2+2)(2+1)}{2} = 6. \end{aligned} \right\} \quad (3.30)$$

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБАТ 2522121.000 ПЗ				

Залишкова сума квадратів

$$\left. \begin{aligned} S_R &= (Y Y) - S_{0,1,2}, \\ f_R &= N - \frac{(k+2)(k+1)}{2} = 12 - \frac{(2+2)(2+1)}{2} = 6 \end{aligned} \right\} \quad (3.31)$$

Користуючись експериментами в центрі плану (нульовими точками), можна знайти суму квадратів, пов'язану з дисперсією, що характеризує помилку дослідів

$$\left. \begin{aligned} S_E &= \sum_{i=9}^{12} (Y_i - b_0)^2 = (Y_9 - b_0)^2 + (Y_{10} - b_0)^2 + (Y_{11} - b_0)^2 + (Y_{12} - b_0)^2, \\ f_E &= n_0 - 1 = 4 - 1 = 3. \end{aligned} \right\} \quad (3.32)$$

Було знайдено суму квадратів, пов'язану з дисперсією, що визначає неадекватність подання результатів експерименту

$$\left. \begin{aligned} S_{LF} &= S_R - S_E, \\ f_{LF} &= N - \frac{(k+2)(k+1)}{2} - (n_0 - 1) = 12 - \frac{(2+2)(2+1)}{2} - (4-1) = 3. \end{aligned} \right\} \quad (3.33)$$

Дисперсія, що характеризує неадекватність моделей

$$S_{LF}^2 = \frac{S_{LF}}{f_{LF}} \quad (3.34)$$

Дисперсія, що характеризує помилку дослідів

$$\sigma^2(Y) = S_E^2 = \frac{S_E}{f_E} \quad (3.35)$$

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.12 - Помилки регресійного аналізу, що характеризують точність експериментів

Маршрут	Показники	Дисперсії			
		пов'язані з коефіцієнтом регресії	залишкові	що характеризують помилку	характеризують неадекватність
Хмельницький - Шаровечка	сума квадратів (S)	7,6656	0,0701	0,0143	0,0559
	дисперсія (S^2)	-	-	0,0048	0,0186
Хмельницький - Вінківці	сума квадратів (S)	12,2887	0,0840	0,0720	0,0120
	дисперсія (S^2)	-	-	0,0240	0,0040
Хмельницький - Городок	сума квадратів (S)	8,9261	0,0809	0,0133	0,0676
	дисперсія (S^2)	-	-	0,0044	0,0225
Хмельницький - Мацьківці	сума квадратів (S)	10,8122	0,0021	0,0018	0,0004
	дисперсія (S^2)	-	-	0,0006	0,0001
Хмельницький - Олешин	сума квадратів (S)	8,0228	0,1331	0,0131	0,1200
	дисперсія (S^2)	-	-	0,0044	0,0400
Хмельницький - Пархомівці	сума квадратів (S)	8,5862	0,0300	0,0096	0,0204
	дисперсія (S^2)	-	-	0,0032	0,0068
Хмельницький - Красилів	сума квадратів (S)	19,3111	0,0777	0,0231	0,0546
	дисперсія (S^2)	-	-	0,0077	0,0182

Для перевірки нуль-гіпотез, що цікавлять нуль-гіпотез, необхідно знайти F - відношення:

F -відношення для оцінки значущості лінійних членів

$$F_1 = \frac{S_{1,0}^2}{S_E^2} \quad (3.36)$$

F -відношення для оцінки значущості членів другого ступеня

Хмельницький - Красилів	оцінка значущості лінійних членів	7,35	9,55
	оцінка значущості членів другого ступеня	0,23	9,28
	перевірка неадекватності	2,36	9,28

Проводиться розрахунок помилки при визначенні коефіцієнтів регресії.

Дисперсія для вільного члена

$$\sigma^2(b_0) = \frac{2 \cdot A \cdot \lambda_U^2 \cdot (k+2) \cdot \sigma^2(Y)}{N} \quad (3.39)$$

Помилка у визначенні вільного члена

$$\sigma(b_0) = \sqrt{\sigma^2(b_0)} \quad (3.40)$$

Дисперсія для лінійних членів

$$\sigma^2(b_i) = \frac{C \cdot \sigma^2(Y)}{N} \quad (3.41)$$

Помилка у визначенні лінійних членів

$$\sigma(b_i) = \sqrt{\sigma^2(b_i)} \quad (3.42)$$

Дисперсія для членів другого порядку

$$\sigma^2(b_{ii}) = \frac{A \cdot (\lambda_U^2 \cdot (k+1) - (k-1)) \cdot C^2 \cdot \sigma^2(Y)}{N} \quad (3.43)$$

Помилка у визначенні членів другого порядку

$$\sigma(b_{ii}) = \sqrt{\sigma^2(b_{ii})} \quad (3.44)$$

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дисперсія для членів парної взаємодії

$$\sigma^2(b_{ij}) = \frac{C^2 \cdot \sigma^2(Y)}{N} \quad (3.45)$$

Помилка у визначенні членів парної взаємодії

$$\sigma(b_{ij}) = \sqrt{\sigma^2(b_{ij})} \quad (3.46)$$

Таблиця 3.14 - Помилки у визначенні коефіцієнтів регресії

Маршрут	Показники	x_0	x_1	x_2	x_1^2	x_2^2	$x_1 \cdot x_2$
Хмельницький Шаровечка	дисперсія	0,0012	0,0009	0,0004	0,0009	0,0012	0,0009
	помилка	0,0345	0,0298	0,0202	0,0298	0,0345	0,0298
Хмельницький - Віньківці	дисперсія	0,0060	0,0045	0,0021	0,0045	0,0060	0,0045
	помилка	0,0775	0,0671	0,0454	0,0671	0,0775	0,0671
Хмельницький - Городок	дисперсія	0,0011	0,0008	0,0004	0,0008	0,0011	0,0008
	помилка	0,0333	0,0289	0,0196	0,0289	0,0333	0,0289
Хмельницький - Мацьківці	дисперсія	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
	помилка	0,0121	0,0105	0,0071	0,0105	0,0121	0,0105
Хмельницький - Олешин	дисперсія	0,0011	0,0008	0,0004	0,0008	0,0011	0,0008
	помилка	0,0330	0,0286	0,0194	0,0286	0,0330	0,0286
Хмельницький Пархомівці	дисперсія	0,0008	0,0006	0,0003	0,0006	0,0008	0,0006
	помилка	0,0283	0,0245	0,0166	0,0245	0,0283	0,0245
Хмельницький - Красилів	дисперсія	0,0019	0,0014	0,0007	0,0014	0,0019	0,0014
	помилка	0,0439	0,0380	0,0257	0,0380	0,0439	0,0380

Заключним етапом є приведення рівняння регресії до натурального вигляду (декартових координат). Приведення полягає в підстановці натуральних змінних, з урахуванням нульового рівня параметра та інтервалу варіювання, у рівняння регресії.

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для цього натуральна змінна виражається через коефіцієнт x_j за такою залежністю

$$x_i = \frac{G - x_i(0)}{x_i(1) - x_i(0)} \quad (3.47)$$

де G - значення натуральної змінної; $x_i(0)$, $x_i(1)$ - значення показника за рівня варіювання, що дорівнює 0 і 1 відповідно.

Оскільки рівні варіювання і значення, що їх приймають на цих рівнях варіювання фактори, однакові, коефіцієнт x_j кожного фактора буде однаковий для кожної регресійної моделі.

Визначимо вираз коефіцієнта x_1 для фактора тиску

$$x_1 = \frac{P - 7,8}{8,08 - 7,8} = \frac{P - 7,8}{0,28} \quad (3.48)$$

де P - натуральний вираз тиску, Бар.

Визначимо вираз коефіцієнта x_2 для фактора вагового навантаження

$$x_2 = \frac{M - 306}{379 - 306} = \frac{M - 306}{73} \quad (3.49)$$

Де M - натуральний вираз вагового навантаження пасажирями (без урахування маси автобуса), кг.

Отримані вирази (формули 3.40 і 3.41) підставляються у рівняння регресії, і визначається його нормальний вигляд.

Рівняння регресії для маршруту № 506 Хмельницький - Шаровечка

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

$$J_{506} = 0,786 - 0,054x_1 + 0,068x_2 + 0,034x_1^2 - 0,021x_2^2 + 0,002x_1x_2. \quad (3.50)$$

Рівняння регресії для маршруту № 574 Хмельницький - Дунаївці

$$J_{574} = 1,028 - 0,052x_1 + 0,052x_2 - 0,002x_1^2 - 0,025x_2^2 + 0,017x_1x_2. \quad (3.51)$$

Рівняння регресії для маршруту № 519 Хмельницький - Волиця

$$J_{519} = 0,842 - 0,078x_1 + 0,065x_2 + 0,032x_1^2 - 0,008x_2^2 + 0,016x_1x_2. \quad (3.52)$$

Рівняння регресії для маршруту № 644 Хмельницький - Мацьківці

$$J_{644} = 0,945 - 0,025x_1 + 0,02x_2 + 0,011x_1^2 - 0,006x_2^2. \quad (3.53)$$

Рівняння регресії для маршруту № 700 Хмельницький - Олешин

$$J_{700} = 0,806 - 0,062x_1 + 0,056x_2 + 0,03x_1^2 - 0,018x_2^2 - 0,002x_1x_2. \quad (3.54)$$

Рівняння регресії для маршруту № 740 Хмельницький - Пархомівці

$$J_{740} = 0,83 - 0,044x_1 + 0,07x_2 + 0,021x_1^2 - 0,001x_2^2 + 0,014x_1x_2. \quad (3.55)$$

Рівняння регресії для маршруту № 791 Хмельницький - Красилів

$$J_{791} = 1,248 - 0,077x_1 + 0,091x_2 + 0,027x_1^2 - 0,002x_2^2 - 0,006x_1x_2. \quad (3.56)$$

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За цими моделями є можливість побудувати поверхню відгуку, яка наочно покаже інтенсивність зносу шини залежно від тиску і вагового навантаження.

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ. ЕФЕКТУ ЕФЕКТИВНОСТІ

4.1 Інтерпретація результатів дослідження

Перехід від абстрактного математичного опису моделі до мови, зрозумілої експериментатору, називається інтерпретацією моделі. Цей процес відбувається у кілька послідовних етапів і передбачає оцінювання величини та напряму впливу окремих факторів, аналіз їх взаємодії, порівняння сукупного ефекту чинників, перевірку відповідності моделі наявним теоретичним уявленням, а також – за потреби – формулювання й перевірку гіпотез щодо механізму процесу [3].

На першому етапі з'ясовується ступінь впливу кожного фактора на параметр оптимізації. Для цього аналізуються коефіцієнти регресії, які є кількісними показниками такого впливу: що більший коефіцієнт, то суттєвішим є вплив відповідного чинника. Знак коефіцієнта вказує на напрям впливу: додатній знак означає, що збільшення значення фактора веде до зростання параметра оптимізації, тоді як від'ємний – до його зменшення. Трактування знаків залежить від мети оптимізації:

якщо функція відповіді підлягає максимізації ($y \rightarrow \max$), позитивні коефіцієнти вказують на сприятливі фактори, негативні – на несприятливі;

якщо ж функція мінімізується ($y \rightarrow \min$), то сприятливими будуть чинники з від'ємними коефіцієнтами.

У нашому дослідженні у всіх побудованих моделях коефіцієнт для фактора «тиск» є від'ємним, що свідчить про те, що зниження тиску в шині призводить до негативного ефекту – зростання інтенсивності зносу. Натомість фактор «навантаження на шину» має позитивний коефіцієнт, отже, його зменшення сприяє зменшенню інтенсивності зносу, тобто чинить позитивний вплив.

Найвагомішим фактором, відповідно до величин коефіцієнтів регресії, є тиск, що означає: він найбільше впливає на варіацію параметра оптимізації.

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата		

Інші фактори – навантаження та квадратичні складові тиску і навантаження – мають приблизно однакову вагу. Найменш значущими виявились комбіновані (парні) поєднання факторів – у деяких випадках їхній вплив узагалі не фіксувався.

Описані результати є підґрунтям для наступного етапу інтерпретації – зіставлення отриманих даних з апіорними знаннями. Така інформація може походити з теоретичних положень, результатів попередніх експериментів або практичного досвіду дослідження аналогічних процесів. Слід враховувати, що експеримент проводиться в межах обмеженої області факторного простору, отже, коефіцієнти моделі відображають вплив лише в межах цієї ділянки, і немає гарантії, що висновки будуть справедливі для ширшого діапазону значень.

У даному випадку джерелом апіорної інформації є дослідження в сфері технічної експлуатації шин. Для підтвердження (або спростування) відповідності моделі цим даним необхідно побудувати функціональну залежність, що за формою відповідає апіорним уявленням. Зокрема, на рисунку 1.3 наведено графік, що демонструє взаємозв'язок ресурсу шин з внутрішнім тиском у двовимірному просторі.

Отримана ж у результаті моделювання тривимірна поверхня відгуку ілюструє, як інтенсивність зносу залежить від двох факторів. Щоб проаналізувати вплив одного з них, слід побудувати перетин цієї поверхні паралельно до осі відповідного фактора – тобто фіксувати інші фактори на постійному рівні, а досліджуваний змінювати в межах обраного діапазону. У такий спосіб формується набір точок, що описують залежність інтенсивності зносу від значень одного фактора, наприклад, тиску.

На основі цієї кривої можна визначити ресурс шини I як певне співвідношення, яке описує характер цієї залежності.

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

$$I = \frac{H}{J_i} \quad (4.1)$$

де H - глибина протектора нової шини за вирахуванням залишкової глибини протектора, за якої списується шина, $H = 145 - 20 = 125$ мм; J - середня інтенсивність зносу для i -го маршруту.

На малюнку 4.1 представлено залежність, усереднену для моделей усіх маршрутів.

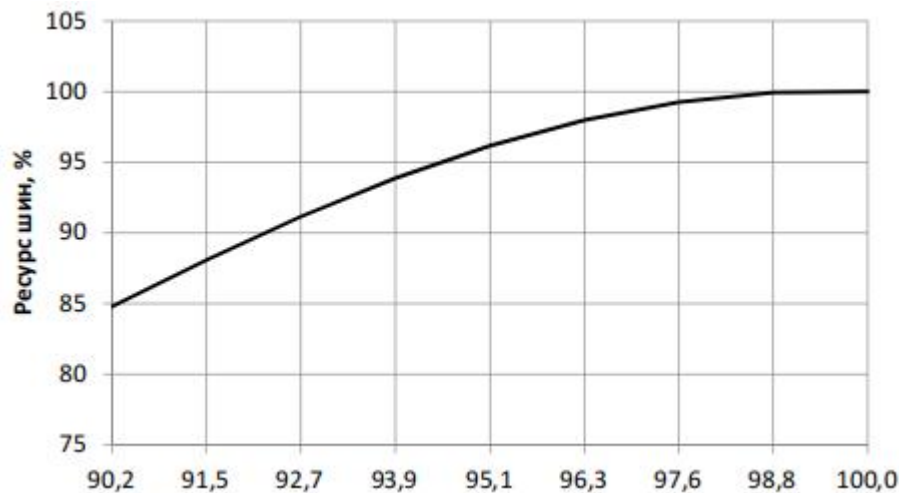


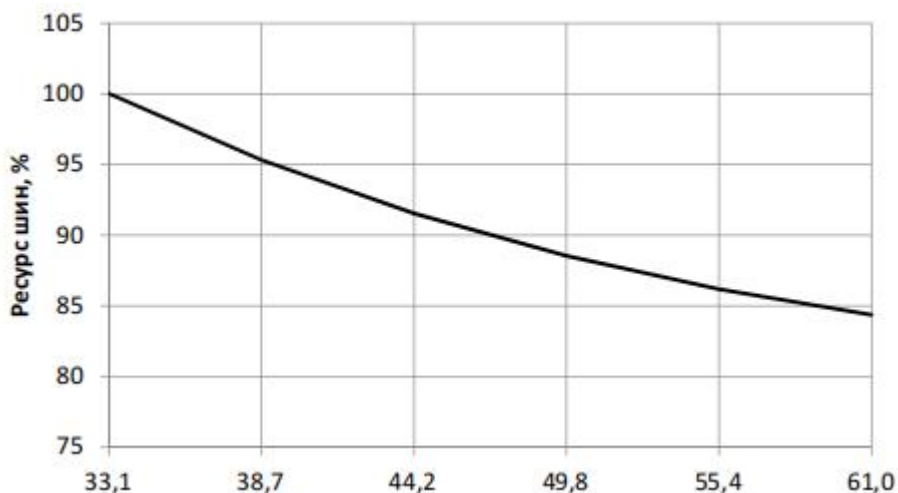
Рисунок 4.1 - Отримана залежність ресурсу шини від внутрішнього тиску

Отримана залежність на рисунку 4.1 відповідає залежності ресурсу шин від тиску, отриманій багатьма авторами (рисунок 1.3). Подібність залежностей свідчить про відповідність отриманих моделей апріорним даним.

Так само знаходили залежність ресурсу від вагового навантаження на шину (рисунок 4.2).

Рисунок 4.2 - Залежність ресурсу від вагового навантаження на шину

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Отримана залежність ресурсу від вагового навантаження на шину (рисунок 4.2) схожа на залежність з апіорної інформації, отриманої з досліджень, що проводилися раніше (рисунок 1.6). Однак характер кривої зовні трохи відрізняється від апіорної. Теж саме можна сказати і про залежність ресурсу від тиску в шині. Пояснюється така ситуація досить просто. По-перше, модель враховує вплив двох чинників на ресурс - їхню парну взаємодію, де один чинник може посилювати або послаблювати вплив іншого. По-друге, через пасивний характер експерименту, було розглянуто невелику область факторного простору, що обмежена рівнем варіювання факторів. У цьому разі некоректно розглядати залежність поза рівнями варіювання чинників, бо поведінка моделі поза областю факторного простору непередбачувана.

4.2 Моделювання ресурсу шин в залежності від рівня варіювання факторів

На основі отриманих моделей видається можливим оцінити ресурс шин під час експлуатації з різним тиском, ваговим навантаженням і залежно від маршруту. Це допоможе:

знайти втрату ресурсу шини внаслідок ненормативного тиску;

встановити нормативи ресурсу шин для конкретних маршрутів експлуатації автобусів ;

проводити коригування ресурсу залежно від середньої кількості пасажирів на перегоні;

оцінити економічні втрати під час експлуатації шин із ненормативним тиском.

Середній тиск у шинах, на якому експлуатуються автобуси на ВАТ "ПП "Діон-Тір"", становив 7,47 Бар, тоді як нормативний тиск 8,5 Бар. Нормативний тиск вважається таким тиском, за якого шина під час технічної експлуатації має найбільший ресурс. Але в цьому випадку, максимальний рівень варіювання фактора тиску, отриманий під час пасивного експерименту, становив 8,2 Бар. Оскільки поведінка регресійних моделей поза областю факторного простору або за критичними точками рівнів варіювання чинників має непередбачувану поведінку, за нормативний тиск приймають найближче значення до значення, встановленого заводом-виробником шин - 8,2 Бар.

Оскільки регресійні моделі двофакторні, для визначення залежності ресурсу тільки від тиску необхідно встановити конкретне значення фактора вагового навантаження на шину. Вибір значення цього фактора визначався виходячи із середньої кількості осіб на перегоні - 22. Відповідно, використовуючи формули

(3.7) і (3.8), середнє навантаження на шину (без урахування спорядженої маси автобуса) за середньої кількості пасажирів на перегоні становитиме близько 300 кг.

Використовуючи регресійні моделі (формули (3.42)-(3.48)), зробимо розрахунок ресурсу для кожного маршруту з умовами: середній тиск - 7,47 Бар; нормативний тиск - 8,2 Бар, вагове навантаження на шину - 300 кг. Оскільки регресійні моделі здійснюють розрахунок інтенсивності зносу,

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

необхідно виконати перерахунок у ресурс за формулою (4.1). Отримані значення подано в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Розрахунковий ресурс шин за середнього та нормативного тиску

Маршрут	Ресурс		Різниця, %
	при середньому тиску 7,47 Бар, тис.км	при нормативному тиску 8,2 Бар, тис.км	
Хмельницький - Шаровечка	141,727	160,532	11,7
Хмельницький - Віньківці	115,661	131,481	12,0
Хмельницький - Городок	130,095	157,082	17,2
Хмельницький - Мацьківці	127,018	134,019	5,2
Хмельницький - Олешин	137,976	160,507	14,0
Хмельницький - Пархомівці	138,942	154,515	10,1
Хмельницький - Красилів	91,926	104,730	12,2
у середньому за маршрутами	126,192	143,267	11,8

Як видно з таблиці 4.1, тиск у шині має суттєвий вплив на її ресурс, через що може бути не реалізовано близько 12 % ресурсу шин.

Розрахунковий ресурс шин, отриманий за нормативного тиску, має фактор впливу вагового навантаження на нульовому рівні (300 кг). Це означає, що отримані значення є середнім ресурсом за фактором вагового навантаження на шину. Для прогнозування ресурсу з урахуванням впливу вагового навантаження на шину, необхідно розрахувати ресурс за мінімального і максимального навантаження, не виходячи, при цьому, за область факторного простору. У цьому разі мінімальному навантаженню відповідає 203 кг, а максимальному - 409 кг, що відповідає 17 і 30 людям у середньому на перегоні відповідно. Використовуючи формули (3.42)-(3.48), було визначено нормативний інтервал ресурсу шин для кожного маршруту за нормативного тиску (8,2 Бар) і з урахуванням варіації вагового навантаження на шину. Результат розрахунків наведено в таблиці 4.2.

									Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата	КРБАТ 2522121.000 ПЗ				

застосувати методику теорії планування експерименту та множинного регресійного аналізу [57, 58], що дасть змогу прогнозувати ресурс у дуже маленькому інтервалі напрацювання.

Середина інтервалу - математичне очікування розрахункового ресурсу за низки вагових навантажень (203 кг, 237 км, 272 кг, 306 кг, 340 кг, 375 кг, 409 кг). Оскільки отримана залежність ресурсу від вагового навантаження на шину не лінійна (рисунок 4.2), математичне очікування буде зміщене до будь-якої межі (лівої або правої).

Середня різниця в ресурсі під час експлуатації шин з тиском 7,5 Бар і 8,2 Бар становила 18,187 тис.км, або 12 %.

4.3 Економічний ефект від використання системи моніторингу

Економічний ефект складається з того, що система моніторингу постійно інформує водія та технічну службу про фактичний тиск у шинах. Відповідно, знання про фактичний тиск у конкретний момент часу, дасть змогу суттєво зменшити відхилення тиску в шинах від нормативного в середньому по парку. Це дасть змогу уникнути втрату ресурсу шин та перевитрату пального, пов'язані з відхиленнями тиску.

У загальному вигляді економічний ефект від економії палива та збільшення ресурсу шин матиме такий вигляд

$$E = E_{ш} + E_{т}. \quad (4.2)$$

Економічний ефект від шин розраховується виходячи з різниці ресурсів під час експлуатації із середньостатистичним тиском у шинах на підприємстві (7,5 Бар), і за нормативного тиску (8,2 Бар).

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

$$\mathcal{E}_{ш} = Z_{ш} - Z'_{ш}, \quad (4.3)$$

де $Z_{ш}$ - витрати на шини, під час експлуатації із середньостатистичним тиском 7,5 Бар; $Z'_{ш}$ - витрати на шини, під час експлуатації з тиском 8,2 Бар.

За стандартною методикою [13, 56, 41] витрати на шини одного автомобіля можуть бути знайдені за формулою

$$Z_{ш} = 0,01 \cdot L \cdot C_{ш} \cdot H_{ш} \cdot n_{ш}, \quad (4.4)$$

де L - річний пробіг автомобіля, $L = 120\,000$ км; $C_{ш}$ - вартість однієї шини, $C_{ш} = 15\,000$ руб.; $n_{ш}$ - кількість шин на автобусі, $n_{ш} = 6$; $H_{ш}$ - норма визначення витрат, яка знаходиться за формулою

$$H_{ш} = \frac{90\%}{I}, \quad (4.5)$$

де I - значення нормативного експлуатаційного пробігу шин, км.

Норма визначення витрат для шин, що експлуатуються з тиском 7,5 Бар

$$H_{(ш)} = \frac{90}{127982} = 0,000703.$$

Норма визначення витрат для шин, що експлуатуються з тиском 8,2 Бар

$$H_{(ш)} = \frac{90}{146169} = 0,000616.$$

Витрати на шини при експлуатуванні з тиском 7,5 Бар складуть

$$Z_{ш} = 0,01 \cdot 120000 \cdot 15000 \cdot 0,000703 \cdot 6 = 75948,18 \text{ грн. за рік.}$$

Витрати на шини при експлуатуванні з тиском 8,2 Бар складуть

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Z_{ш}' = 0,01 \cdot 120000 \cdot 15000 \cdot 0,000616 \cdot 6 = 66498,37 \text{ грн. за рік.}$$

Використовуючи формулу (4.3), було визначено економічний ефект від збільшення ресурсу шин

$$E_{ш} = 75948,18 - 66498,37 = 9449,8 \text{ руб. на 1 автобус на рік.}$$

У загальному вигляді економічний ефект від економії палива має такий вигляд

$$M \quad \Delta z_m = z_m - z_m', \quad (4.6)$$

де z_m - витрати на паливо під час експлуатації автобусів із середньостатистичним тиском 7,5 Бар; z_m' - витрати на паливо під час експлуатації автобусів із близьким до нормативного тиском 8,2 Бар.

Витрати на паливо на рік на один автобус визначалися таким чином

$$z_m = \frac{L \cdot q \cdot C_m}{100} = \frac{120000 \cdot 27,35 \cdot 38,6}{100} = 1,266 \ 852 \text{ млн.} \quad (4.7)$$

де L - середній річний пробіг, км; q - середня витрата пального по автобусах Daewoo BH 120 і Hyundai Universe Space Luxury, л/100 км; C_m - вартість літра пального, руб.

Згідно з різними літературними джерелами [18, 26, 50], зниження тиску в шині на 10% дає підвищення витрати палива на 4-6%, відповідно, необхідно знизити середню витрату палива на 5% і повторити розрахунок витрат на паливо.

$$z_m' = \frac{0,95 \cdot L \cdot q \cdot C_m}{100} = \frac{0,95 \cdot 120000 \cdot 27,35 \cdot 38,6}{100} = 1,203 \ 509 \text{ млн.} \quad (4.8)$$

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді, використовуючи формулу (4.3), отримаємо економічний ефект від зниження витрат палива на один автобус на рік

$$E_m = 1266852 - 1203509 = 63\,342 \text{ руб. (4.9)}$$

Використовуючи формулу (4.2), було визначено загальний економічний ефект від економії палива і збільшення ресурсу

$$E = 63\,342 + 9449,8 = 72791,8 \text{ руб на 1 автобус на рік.}$$

Відповідно, економія для всіх розглянутих автобусів марок Daewoo BN 120 і Hyundai Universe Space Luxury (49 автобусів), складе 3 566 798 руб. на рік

4.4 Оцінка ефективності інвестицій на впровадження системи моніторингу

Система моніторингу являє собою набір із датчиків тиску, інформаційного блоку та різної допоміжної периферії. На малюнку 4.3 представлено типовий комплект системи моніторингу тиску в шинах Carax TPMS CRX-1061 на основі внутрішніх датчиків тиску [68].

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



1 - приймальний блок; 2 - кронштейн кріплення з присоскою; 3 - внутрішні датчики тиску; 4 - вентиля; 5 - антена; 6 - адаптер живлення; 7 - допоміжні пристрої, 8 - розгалужувач антенного кабелю; 9 - антена з кронштейном.

Рисунок 4.3 - Комплект моніторингу тиску в шинах Carax TPMS CRX-1061 на основі датчиків внутрішнього тиску

Особливість системи моніторингу Carax TPMS CRX-1061 полягає в наявності двох посиленних антен, що дають змогу використовувати систему в автобусах, автомобілях, а також внутрішніх колісних датчиках, які встановлюються на обід замість штатного вентиля, як показано на малюнку 4.4.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБАТ 2522121.000 ПЗ

Арк.

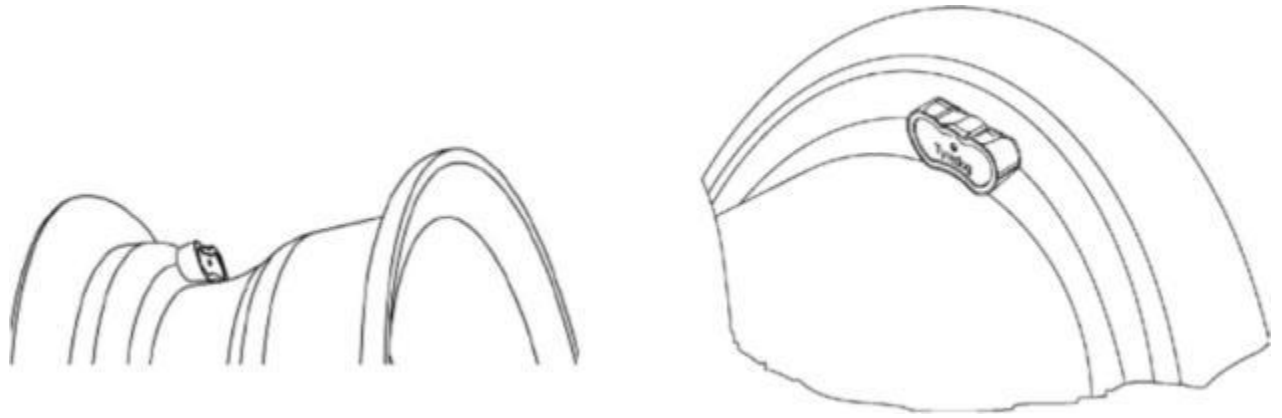
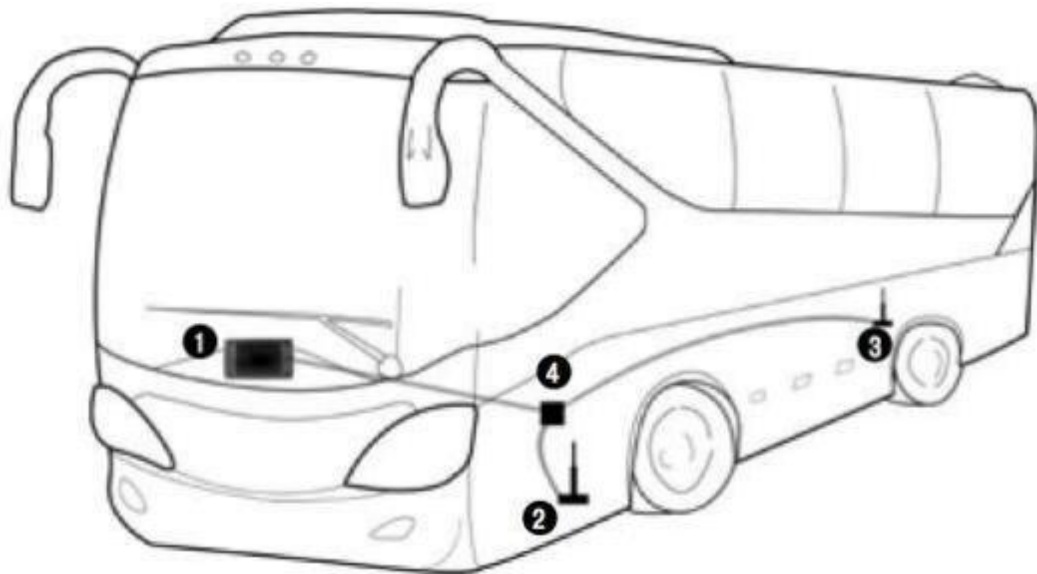


Рисунок 4.4 - Схема встановлення внутрішнього колісного датчика тиску

Система моніторингу, що має внутрішні колісні датчики, дає змогу зберегти їх від ушкоджень у процесі руху, а також впливу на них навколишнього середовища.

На малюнку 4.5 представлено варіант прокладання антенних кабелів і встановлення антен,



1 - приймальний пристрій; 2 - антена для передньої осі; 3 - антена для задньої осі; розгалужувач антенного кабелю.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КРБАТ 2522121.000 ПЗ

Арк.

Рисунок 4.5 - Варіант прокладання антенних кабелів і встановлення антен

Принцип дії системи полягає в такому. У штатній ситуації датчики в кожному колесі визначають температуру і тиск кожні 3 секунди і кожні 30 секунд передають інформацію приймальному блоку. У разі, якщо значення тиску або температури вийшли за встановлені межі - датчик посилає 10 сигналів упродовж 6 секунд у приймальний блок, а приймальний блок інформує про це водія звуковою та світловою індикацією. Це попередить водія про те, що необхідно виконати перевірку колеса, про яке інформує приймальний блок. Датчик так само переходить у режим тривоги, якщо тиск зміниться на 3 PSI (0,2 Бар) протягом 3 секунд, що дасть змогу вчасно зреагувати на пошкодження шини та витік тиску.

У таблиці 4.4 представлені основні технічні характеристики внутрішніх датчиків тиску системи моніторингу Carax TPMS CRX-1061.

Таблиця 4.4 - Технічні характеристики внутрішніх датчиків тиску

Параметр	Значення
діапазон вимірюваного тиску	0-203 psi (0-14 Бар)
похибка вимірювання	±3 psi
похибка вимірювання температури	±4 C
частота передавача	433,92 МГц
джерело живлення	3,6В/500мА
термін служби джерела живлення	близько 7 років
вага датчика	30 ± 1,5г
вартість за даними виробника	29 400 руб

Було проведено оцінку витрат на впровадження системи моніторингу тиску. У загальному вигляді витрати на впровадження обладнання виглядають так

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_v = C_M + C_{об}, \quad (4.10)$$

де C_M - витрати на монтаж обладнання; $C_{об}$ - витрати на купівлю обладнання та амортизацію.

Витрати на монтаж обладнання

$$C_M = C_{н-ч.п.} \cdot t, \quad (4.11)$$

де t - трудомісткість установлення обладнання, балансування і накачування колеса, $t = 1,43$ чол.-год; $C_{н-год}$ - вартість нормо-години, $C_{н-год} = 150$ руб.; n - кількість ходових шин $n = 6$.

Вартість системи моніторингу тиску в шинах, за даними сайту виробника, становить 29 400 руб. Однак, виробник не вказує термін служби системи або окремих її компонентів, крім елементів живлення. Можна припустити, що обладнання для монітора тиску є досить надійним і обслуговування, яке потрібне - це заміна елемента живлення раз на 7 років. Однак обладнання все одно зазнає фізичного зносу, а також морального зносу другого виду - внаслідок появи більш економічних і технічно досконаліх систем (наприклад системи безбатареїного типу). На випадок раптових відмов компонентів обладнання або його морального старіння необхідно формувати амортизаційний фонд.

Згідно з [55], підприємства самостійно визначають строк корисного використання основних фондів на дату введення в експлуатацію конкретного об'єкта на підставі класифікації основних засобів, яка встановлюється Урядом України. Згідно з [24], систему моніторингу тиску можна віднести до четвертої амортизаційної групи, це означає, що корисний термін використання становить від 5 до 7 років.

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Як зазначено в [60], термін служби розраховується виходячи із суми чисел терміну корисного використання обладнання

$$5 + 4 + 3 + 2 + 1 = 15 \text{ років.}$$

Тоді, відсоток амортизаційних відрахувань становитиме

$$1\text{-й рік: } 5/15 = 33,3\%;$$

$$2\text{-й рік: } 4/15 = 26,7\%;$$

$$3\text{-й рік: } 3/15 = 20\%;$$

$$4\text{-й рік: } 2/15 = 13,3\%;$$

$$5\text{-й рік: } 1/15 = 6,7\%.$$

Таблиця 4.5 - Амортизаційні відрахування на систему моніторингу

Рік по порядку	Амортизаційні відрахування на рік, %	Амортизаційні відрахування на 1 автобус на рік, руб.	Амортизаційні відрахування на 49 автобусів на рік, руб.
1-й рік	33,3	9 800	480 200
2-й рік	26,7	7 840	384 160
3-й рік	20	5 880	288 120
4-й рік	13,3	3 920	192 080
5-й рік	6,7	1960	96 040
Сума	100	29 400	1 440 600

Витрати на купівлю обладнання та амортизацію за 1-й рік експлуатації системи моніторингу

$$C_a = C_m + C'_{об} + u, \quad (4.12)$$

де C' - цінність одиниці комплексу системи моніторингу, $C' = 29\,400$ руб;
 u - амортизація за перший рік експлуатації. У наступні роки витрати дорівнюватимуть

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

амортизації.

Використовуючи формулу (4.10), було визначено витрати на впровадження системи моніторингу.

Для одного автобуса

$$C_e = 150 \cdot 1,46 \cdot 6 + 29400 + 9800 = 40514 \text{ руб.}$$

Для 49 автобусів

$$C_e = 49 \cdot (150 \cdot 1,46 \cdot 6 + 29400 + 9800) = 1\,985\,186 \text{ руб.}$$

Оцінка ефективності інвестицій визначається в вигляді терміну окупності

$$W = \frac{C_e}{E} \cdot D, \quad (4.13)$$

де C_e - вкладення для впровадження систем моніторингу; E - економічний ефект від економії пального та збільшення ресурсу шин; D - кількість днів у році.

Відповідно термін окупності проекту становитиме

$$W = \frac{1985186}{3566798} \cdot 365 = 203 \text{ дні.}$$

Виходячи з терміну окупності, інвестицію на впровадження системи моніторингу тиску в шинах можна вважати ефективною та актуальною.

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

4.5 Оцінка екологічного ефекту від впровадження системи моніторингу

Документ GRPE-65-20, представлений експертом на доповіді Робочої групи з проблем енергії та забруднення довкілля (GRPE) 2013 року в Женеві, який містить аналіз впливу шинного пилу на якість повітря та здоров'я людини [15, 35], показує, що на сьогодні, автомобільні шини, як джерело продуктів зносу, досі залишаються поза увагою спеціалістів, які займаються технічним нормуванням. Довгий час вважалося, що розміри частинок продуктів зносу протектора шин досить великі й не можуть завдати шкоди здоров'ю людини. Однак дослідження американських лікарів [70], які звернули увагу на підвищену чутливість до алергійних та онкологічних захворювань мешканців будинків, розташованих поблизу автострад у містах, дали змогу припустити, що під час природного спрацьовування автомобільних шин у навколишнє середовище потрапляє значна кількість аерозолі. Ретельно вивчивши його дисперсійний склад, під час аналізу складу повітря на шосе з помірним рухом автотранспорту, дослідники виявили присутність від 3800 до 6900 фрагментів шин у кожному кубічному метрі повітря. Понад 58% із них виявилися розміром менше ніж 10 мікрон і, отже, здатні легко проникати до легень людини, спричиняючи бронхіальну астму, алергічні реакції, а в разі контакту зі слизовою оболонкою та шкірою - риніт, кон'юнктивіт і кропив'янку. При цьому такий шинний пил з організму людини практично не виводиться. Схожі результати було отримано в дослідженнях, проведених у Україні [61], де 60% забруднювальних і небезпечних речовин міського повітря становила гума автомобільних покришок, стерта в дрібний пил.

За даними міжнародного агентства з вивчення раку (МАВР - спеціалізований підрозділ Всесвітньої організації охорони здоров'я),

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

представленими у статті [59], основним джерелом канцерогенної небезпеки для людини є людина зараз виступає забруднений навколишнє повітря .

За останніми даними цієї організації 223 000 випадків смерті від раку легенів, зареєстрованих у 2010 році у світі, спричинені саме забрудненням повітря. За даними дослідження А. В. Леванчука [29], кількість забруднювальних речовин, що надходять в навколишнє середовище в наслідок стирання протекторів шин під час експлуатації їх на міських автобусах, становить $67,79 \pm 3,35$ кг на рік .

Фактори, розглянуті в розділі 1, впливають на інтенсивність зносу шин, відповідно зі збільшенням інтенсивності зносу шин, збільшується маса утвореного шинного пилу, що з'являється в плямі контакту шини з дорогою під час руху автомобіля. Продукти стирання автомобільних шин містять у собі концентрацію шкідливих токсичних хімічних сполук, як-от бенз(а)пірен, і N-нітрозамін, що мають канцерогенний ефект. Якщо порівнювати викиди шкідливих речовин від шин і відпрацьованих газів двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ), то обсяг викидів від шин становитиме 1% від викидів ДВЗ (рисунок 4.6). Тоді як вміст шкідливих токсичних сполук у викидах шинного пилу, становить істотну частину від вихлопних газів ДВЗ [29].

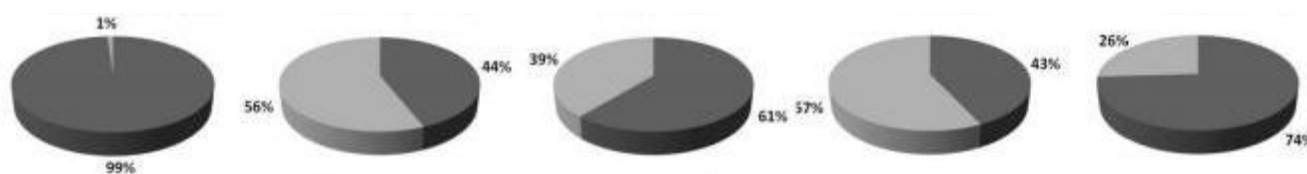


Рисунок 4.6 - Відсоткове співвідношення шкідливих викидів від відпрацьованих газів і продуктів зносу шин

Нині за кордоном працюють над зменшенням негативного впливу на здоров'я людей впливу шин на навколишнє середовище і людину ведуться відповідно до Міжнародними екологічними стандартами серії ISO 14000. І

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

насамперед для зниження негативного впливу необхідно зменшити токсичні компоненти, що входять до складу шини. Багато зарубіжних країн, такі як Англія, Німеччина, Голландія, Данія, Канада, США, Швейцарія вже запровадили національні норми вмісту канцерогенних речовин у гумових виробках. На території України таких стандартів усе ще немає, але їхня актуальність очевидна, тим паче, що, згідно з [67], виділення легких хімічних речовин із вітчизняних шин у 3-4 рази вище, ніж у європейських

аналогів. По-друге, необхідно здійснювати контроль чинників, що впливають на інтенсивність зносу шин, насамперед керованих. Одним із таких факторів є внутрішній тиск. Як показують різні джерела [49, 19, 59] і регресійні моделі, зниження тиску на 10-15% зменшує ресурс шини на 10-30%, відповідно підвищується інтенсивність викиду шкідливих хімічних речовин.

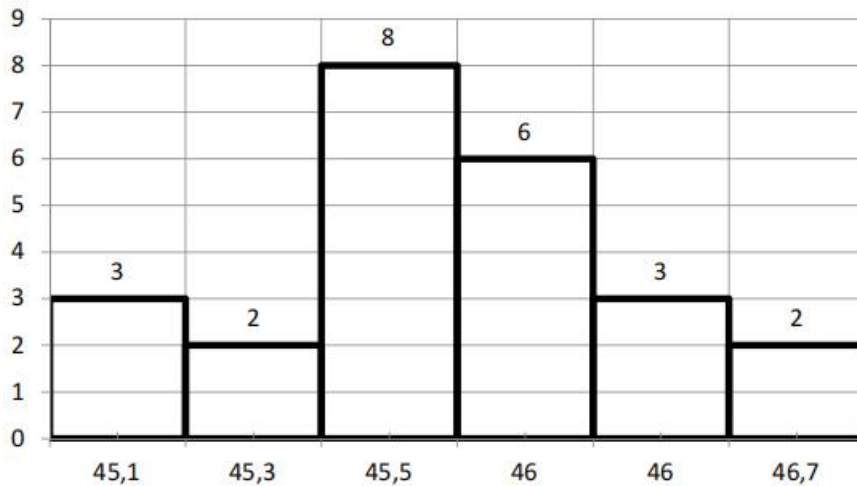
На підприємстві було проведено дослідження ваги шин спочатку і наприкінці своєї експлуатації. Так було зважено 14 нових шин і 24 зношених для того, щоб визначити масу гумового пилу, що надходить у навколишнє середовище.

Для зважування використовували побутові підлогові ваги Rolsen RSL1807, які мають абсолютну похибку 0,1 кг, що дало змогу з достатньою точністю і без істотних витрат визначити вагову характеристику шин.

По шинах, знятих з експлуатації через зношення протектора (24 шини), було знайдено основні характеристики: середня маса зношеної шини $L_{cp} = 47,2$ кг, середньоквадратичне відхилення $\sigma = 1,04$ кг; коефіцієнт варіації $V = 0,02$.

На рисунку 4.7 представлено емпіричну щільність розподілу маси шин наприкінці експлуатації.

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Маса шини, кг

Рисунок 4.7 - Емпірична щільність розподілу маси шин наприкінці терміну експлуатації

Щодо нових шин, наводити статистичні характеристики і графік емпіричної щільності розподілу не має сенсу, оскільки розкид значення становить 0,1 кг, що можна списати на похибку ваг.

Визначимо викид гумового пилу в навколишнє середовище однією шиною

$$m_{7,5} = m_n - m_i = 52,85 - 47,2 = 5,65 \text{ кг}, \quad (4.14)$$

де $m(n)$ - маса нової шини, m_i - маса зношеної шини.

Значить, що одна шина за час своєї експлуатації, викидає в навколишнє середовище в середньому 5,65 кг гумового пилу, що містить токсичні хімічні речовини, які мають канцерогенний ефект.

Визначимо викид гумового пилу від 49 автобусів під час експлуатації із середньостатистичним тиском 7,5 Бар і ресурсом 126 000

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

$$M = m \cdot n \cdot A_c = 5,65 \cdot 6 \cdot 49 = 1662 \text{ кг}, \quad (4.15)$$

де n - кількість ходових шин, A_c - кількість розглянутих автобусів.

Щоб визначити зниження викидів гумового пилу в навколишнє середовище за рік, необхідно знайти різницю мас викиду гумового пилу під час експлуатації із середньостатистичним (7,5 Бар) і близьким до нормативного (8,2 Бар) тисками. У загальному вигляді формула має такий вигляд

$$\Delta M = M_{7,5} - M_{8,2}, \quad (4.16)$$

де $M_{8,2}$ - маса викидів гумового пилу в навколишнє середовище під час експлуатації шини з тиском 8,2 Бар.

Для цього необхідно розрахувати дні експлуатації шин за тиску 8,2 Бар і ресурсу 143 тис.км

$$D_{8,2} = D \cdot \frac{L_{8,2}}{L} = 365 \cdot \frac{143000}{120000} = 435 \text{ днів}, \quad (4.17)$$

Дні експлуатації шин за тиску 7,5 Бар і ресурсу 126 тис.км.

$$D_{7,5} = D \cdot \frac{L_{7,5}}{L} = 365 \cdot \frac{126000}{120000} = 383 \text{ дня}. \quad (4.18)$$

Оскільки шина за будь-якого терміну експлуатації викине в атмосферу 1662 кг гумового пилу, знайдемо питому масу викиду гумового пилу на день із 49 автобусів і за експлуатації з тиском 8,2 Бар

$$m_{8,2} = \frac{M}{D_{8,2}} = \frac{1662}{435} = 3,82 \text{ кг}. \quad (4.19)$$

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Питома маса викидів гумового пилу на день із 49 автобусів за експлуатації з тиском 7,5 Бар

$$m_{7,5} = \frac{M}{D_{7,5}} = \frac{1662}{383} = 4,34 \quad (4.20)$$

Маса викидів за рік гумового пилу для шин під час експлуатації з тиском 8,2 Бар із 49 автобусів становитиме

$$M_{8,2} = m_{8,2} \cdot D = 3,82 \cdot 365 = 1394 \text{ кг.} \quad (4.21)$$

Маса викидів за рік гумового пилу для шин під час експлуатації з тиском 7,5 Бар із 49 автобусів становитиме

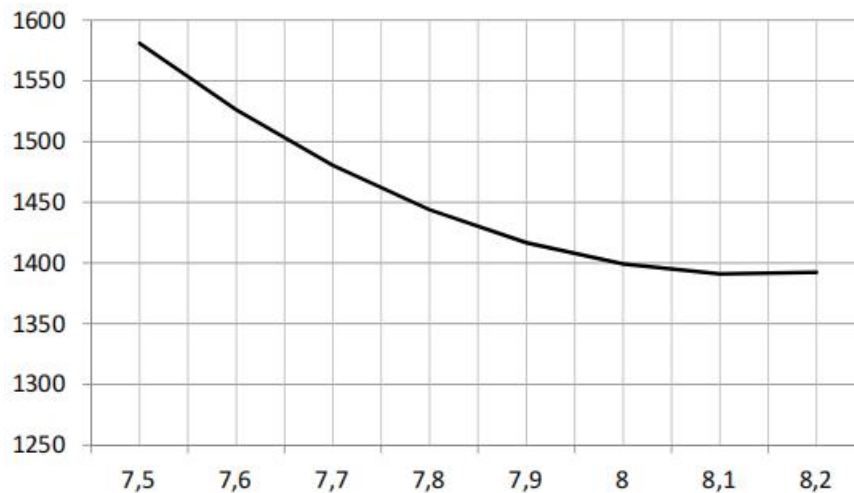
$$M_{7,5} = m_{7,5} \cdot D = 4,34 \cdot 365 = 1583 \text{ кг.} \quad (4.22)$$

Зниження викидів під час контролю тиску

$$\Delta M = M_{7,5} - M_{8,2} = 1583 - 1394 = 189 \text{ кг.} \quad (4.23)$$

Якщо аналогічним чином обчислити викид гумового пилу для інших проміжних значень тиску, то можна побудувати залежність викиду гумового пилу в навколишнє середовище від тиску, на якому експлуатується шина (рисунок 4.8).

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		



Тиск, за якого експлуатується шина, Бар

Рисунок 4.8 - Залежність викиду гумового пилу від тиску в шині

При експлуатації шин з нормативним тиском, знижується витрата палива автомобілями. При зниженні витрати палива зменшується викид шкідливих речовин у навколишнє середовище. Кількість шкідливих речовин у відпрацьованих газах дизельних двигунів розраховується залежно від кількості витраченого палива

Маса оксиду вуглецю (CO) у відпрацьованих газах двигуна

$$m_{CO} = 0,0284 \cdot p \cdot Q \quad (4.24)$$

Маса вуглеводню (CH) у відпрацьованих газах двигуна

$$m_{CH} = 0,0091 \cdot p \cdot Q \quad (4.25)$$

Маса оксидів азоту (NO_x) у відпрацьованих газах двигуна

$$m_{NOx} = 0,0408 \cdot p \cdot Q \quad (4.26)$$

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де ρ - питома вага палива (для дизпалива 0,825 кг/л); Q - різниця витрат палива за тиску 8,2 Бар і за тиску 7,5 Бар за рік експлуатації 49 автобусів, яка знаходиться за формулою

$$Q = \frac{0,05 \cdot q \cdot A_c \cdot L}{100} = \frac{0,05 \cdot 27,35 \cdot 49 \cdot 120000}{100} = 4020,45 \text{ литров.} \quad (4.27)$$

Де q - витрата палива, л/100 км; A_c - кількість автобусів, що розглядається. Таким чином, за експлуатації шин із тиском 8,2 Бар, маса викидів оксиду вуглецю (CO), вуглеводню (CH) та оксидів азоту (NO_x) знизяться на

$$m_{CO} = 0,0284 \cdot 0,825 \cdot 4020,45 = 94,2 \text{ кг,}$$

$$m_{CH} = 0,0091 \cdot 0,825 \cdot 4020,45 = 30,18 \text{ кг,}$$

$$m_{NO_x} = 0,0408 \cdot 0,825 \cdot 4020,45 = 135,33 \text{ кг.}$$

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ВИСНОВОК

1. У результаті аналізу науково-дослідних робіт за темою дослідження, виділено найбільш значущі чинники: тиск у шині та вагове навантаження.

2. Визначено параметри ресурсу шин автобусів ВАТ "ПП "Діон-Тір"": середній ресурс $L_{cp} = 143$ тис.км; коефіцієнт варіації $V = 0,09$; розподіл ресурсу підпорядковується закону Вейбулла-Гнеденка; середня залишкова глибина протектора - 2 мм; середній тиск у шинах - 7,47 Бар .

3. З використанням теорії планування багатofакторного експерименту проведено дослідження інтенсивності зносу шин, розроблено регресійні моделі для 7 маршрутів, які дають змогу кількісно оцінювати вплив тиску та вагового навантаження на ресурс шин.Ці моделі дають змогу прогнозувати та керувати ресурсом шин на основі використання систем моніторингу тиску в шинах.

4. Згідно з розрахунковими даними, за умови безперервного контролю тиску, ресурс шин можна підвищити в середньому на 12 %, що в грошовому еквіваленті становитиме 3 566 798 руб.на рік на 49 автобусів ВАТ "ПП "Діон-Тір"".

5. Внаслідок моніторингу тиску та збільшення ресурсу шин, знизиться викид у навколишнє середовище шкідливого гумового пилу: зниження викидів якого становитиме 189 кг на 49 автобусів на рік.

6. Зниження викидів шкідливих речовин із відпрацьованими газами внаслідок зниження витрати палива: викиди оксиду вуглецю (CO) знизяться на 94,2 кг, вуглеводнів (CH) - на 30,18 кг, оксидів азоту (NO_x) - на 135,33 кг.

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електронний ресурс: https://www.dexpens.com/Article/14290_/tsikava-statistika-avtosvitu-skilki-vsogo-mashin-na-planeti-i-bagato-inshogo
2. Електронний ресурс: <https://www.autocentre.ua/ua/news/retro/zaz-1102-tavriya-zakat-tseloy-epokhi-285990.html>
3. Будова й експлуатація автомобілів: підручник / В.Ф. Кисликов, В.В. Лущик. – К.: Либідь, 2006. – 400 с.
4. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Гудь В.З., Левкович М.Г., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 544 с.
5. Tuning i sportowe modyfikacje samochodu. / [W. Jurecki](#) , [T. Ważyński](#). – Р.: [Stratos Motor Sport](#), 2022. – 256 s.
6. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень на СТО та АТП : Навчальний посібник / Укладачі : І.Б. Гевко, О.Л. Ляшук, І.В. Луциків, У.М. Плекан, В.М. Клендій – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 276 с
7. Камель Г. І. Технологічні процеси та комплекси відновлення і зміцнення деталей : конспект лекцій / Г. І. Камель, В. М. Мілютін. — Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2014. — 167 с.
8. Кисликов В. Ф., Лущик В. В. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. — 6-те вид. - К.: Либідь, 2006. — 400 с.
9. Бутаков Б.І. Аналіз стану підвищення зносостійкості деталей машин за допомогою поверхневої пластичної деформації // Б.І.Бутаков, В.О.Артюх . – Вісник аграрної науки Причорномор'я, 2005. – №4. – С. 166-173.
10. В.І. Кальченко, В.В. Кальченко, В.І. Венжега Відновлення деталей автомобілів: Навчальний посібник.– Чернігів:ЧНТУ, 2013. – 192с.; іл.

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Vul, A.Ya. Characterization and physical properties of UNCD particles / A.Ya. Vul // Ul-trananocrystalline diamond synthesis, properties and applications by O. Shenderova. – William Andrew Publishing, 2006. – 600 p.

12. Vitiaz, P.A. Compaction of nanodiamonds produced under detonation conditions and properties of composite and polycrystalline materials made on their basis / P.A. Vitiaz, V.T. Senyut // Physics of the Solid State. – 2004. – Vol. 46, № 4. – P. 764–766.

13. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Гудь В.З., Левкович М.Г., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 544 с.

14. Автомобільні кузови. Частина 1 : навч. посіб. / О. М. Артюх, О. В. Дударенко, В. В. Кузьмін та ін. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2022. – 292 с.

15. Технічне обслуговування й ремонт металевих кузовів автомобілів / Бабіч Б. С., Лущик В. В. . – К. : Либідь, 2001. – 459 с

16. Y. Dai. Beam element modelling of vehicle body-in-white applying artificial neural network./ Dai, Y., Duan C. // Applied Mathematical Modelling 33(1). – 2009. – P. 2808–2817.

17. S.B. Lee. Numerical approximation of vehicle joint stiffness by using response surface method / Lee, S.B., Park, J.R., Yim, H.J.// International Journal of Automotive Technology 3(3). – 2012. – P. 117–122.

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Додатки

					КРБАТ 2522121.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		