

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Вінницький навчально-науковий інститут економіки
Західноукраїнського національного університету
Кафедра економіки, обліку та оподаткування

Боржинський Денис

**Дослідження забруднення навколишнього середовища, в результаті
зношування шин та гальмівних механізмів**

Спеціальність 274 – Автомобільний транспорт
Освітньо-професійна програма – Автомобільний транспорт

Кваліфікаційна робота за освітнім ступенем «магістр»

Виконав: студент групи АТмвн-21
Божинський Денис

Науковий керівник:

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__»_____20__р.
Завідувач кафедри
_____В.М.Пилявець

ВІННИЦЯ – 2024

ЗМІСТ

ЗМІСТ	2
ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ВІД ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ.....	6
1.1 Загальна характеристика впливу автомобільного транспорту на довкілля .	6
1.2 Особливості зношування автомобільних шин та їх вплив на екологію.....	10
1.3 Процеси зношування гальмівних механізмів та їх екологічні наслідки	16
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕННЯ ВІД ЗНОШУВАННЯ ШИН ТА ГАЛЬМІВНИХ МЕХАНІЗМІВ	21
2.1 Методики визначення інтенсивності зношування шин	21
2.2 Методи оцінки забруднення від гальмівних механізмів	26
2.3 Сучасні технології моніторингу мікрочастинок у повітрі та ґрунті.....	30
РОЗДІЛ 3. ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ	35
3.1 Інноваційні матеріали та технології виробництва шин	35
3.2 Вдосконалення конструкцій гальмівних систем	42
3.3 Рекомендації щодо зменшення екологічного навантаження від зношування шин та гальмівних механізмів	47
ВИСНОВКИ	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	58

ВСТУП

Актуальність теми. В умовах стрімкого розвитку автомобільного транспорту та зростання кількості транспортних засобів особливої актуальності набуває проблема їх впливу на навколишнє середовище. Зокрема, значну екологічну небезпеку становлять процеси зношування шин та гальмівних механізмів, які призводять до утворення дрібнодисперсних частинок, що містять різноманітні токсичні компоненти.

Сучасні дослідження показують, що продукти зношування автомобільних шин та гальмівних механізмів є одним з основних джерел забруднення атмосферного повітря в міських агломераціях. При цьому особливу небезпеку становлять наночастинки, які здатні проникати глибоко в дихальні шляхи та накопичуватися в організмі людини, викликаючи різноманітні захворювання.

Проблема забруднення навколишнього середовища продуктами зношування автотранспорту набуває особливої гостроти в умовах щільної міської забудови, де обмежені можливості для природного розсіювання забруднень. Формування стійких техногенних аномалій вздовж транспортних магістралей призводить до деградації міських екосистем та створює значні ризики для здоров'я населення.

Існуючі методи оцінки та контролю забруднення від процесів зношування автотранспорту не в повній мірі відповідають сучасним вимогам, особливо щодо визначення вмісту найдрібніших частинок та їх впливу на живі організми. Це вимагає розробки нових методів дослідження та вдосконалення існуючих підходів до моніторингу забруднення навколишнього середовища.

Впровадження нових матеріалів та технологій у виробництві автомобільних шин та гальмівних систем відкриває нові можливості для зниження їх негативного впливу на довкілля. Однак ефективність цих рішень потребує всебічного дослідження та оцінки в реальних умовах експлуатації.

Комплексне вирішення проблеми екологічної безпеки автотранспорту вимагає розробки та впровадження системи заходів, спрямованих на зниження інтенсивності зношування деталей та оптимізацію режимів експлуатації

транспортних засобів. При цьому необхідно забезпечити баланс між екологічними вимогами та економічною ефективністю запропонованих рішень.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є комплексне дослідження впливу процесів зношування автомобільних шин та гальмівних механізмів на навколишнє середовище та розробка рекомендацій щодо зниження їх негативного впливу.

Для досягнення поставленої мети були визначені наступні завдання:

1. Провести аналіз сучасного стану проблеми забруднення навколишнього середовища продуктами зношування автомобільних шин та гальмівних механізмів, визначити основні фактори впливу та механізми розповсюдження забруднюючих речовин.
2. Дослідити особливості утворення та характеристики дрібнодисперсних частинок, що утворюються при зношуванні автомобільних шин та гальмівних механізмів, оцінити їх потенційний вплив на здоров'я людини та стан екосистем.
3. Проаналізувати існуючі методи оцінки та контролю забруднення від процесів зношування автотранспорту, розробити рекомендації щодо вдосконалення системи моніторингу мікрочастинок у повітрі та ґрунті.
4. Дослідити сучасні технологічні рішення та інноваційні матеріали, спрямовані на зниження інтенсивності зношування автомобільних шин та гальмівних механізмів, оцінити їх ефективність та перспективи впровадження.
5. Розробити комплекс рекомендацій щодо зниження екологічного навантаження від процесів зношування автотранспорту, включаючи технічні, організаційні та управлінські заходи, та оцінити їх потенційну ефективність.

Об'єкт дослідження: процеси утворення та розповсюдження продуктів зношування автомобільних шин та гальмівних механізмів у навколишньому середовищі.

Предмет дослідження: закономірності формування забруднення навколишнього середовища продуктами зношування автотранспорту та методи зниження їх негативного впливу.

Практичне значення роботи полягає в розробці конкретних рекомендацій щодо зниження екологічного навантаження від експлуатації автотранспорту та вдосконалення методів моніторингу забруднення навколишнього середовища.

Теоретичне значення роботи полягає в поглибленні розуміння механізмів утворення та розповсюдження забруднюючих речовин при зношуванні автомобільних шин та гальмівних механізмів, а також у розвитку методологічних підходів до оцінки їх впливу на довкілля.

Гіпотеза дослідження базується на припущенні, що комплексне використання сучасних технологічних рішень та оптимізація режимів експлуатації транспортних засобів дозволить значно знизити їх негативний вплив на навколишнє середовище.

Новизна роботи полягає в розробці комплексного підходу до оцінки та зниження негативного впливу процесів зношування автотранспорту на довкілля, який враховує як технічні, так і організаційні аспекти проблеми.

Методи дослідження. В процесі написання роботи була використана система загальнонаукових та спеціальних емпіричних і теоретичних методів дослідження. Також використовувалися такі емпіричні методи, як, опис, порівняння та узагальнення.

Структура роботи. Робота складається зі змісту, вступу, трьох розділів, дев'яти підрозділів, висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи – 60 сторінок.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ВІД ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

1.1 Загальна характеристика впливу автомобільного транспорту на довкілля

Автомобільний транспорт є одним із найбільших забруднювачів навколишнього середовища, що здійснює комплексний негативний вплив на атмосферу, гідросферу, літосферу та біосферу. Під впливом автотранспорту на довкілля розуміють сукупність процесів і явищ, що виникають внаслідок експлуатації транспортних засобів та призводять до зміни природного стану екосистем. Основними компонентами такого впливу є хімічне, фізичне та механічне забруднення навколишнього середовища.

Хімічне забруднення від автотранспорту характеризується викидами відпрацьованих газів, що містять понад 200 різних шкідливих речовин. Найбільш небезпечними серед них є оксиди вуглецю, азоту, сірки, вуглеводні, альдегіди, сажа та важкі метали. При цьому близько 70% всіх викидів забруднюючих речовин у містах припадає саме на автомобільний транспорт. Особливо небезпечним є те, що викиди відбуваються в приземному шарі атмосфери, безпосередньо впливаючи на органи дихання людей.

Фізичне забруднення від автотранспорту проявляється насамперед у формі шумового впливу. Рівень шуму від автомобільного руху в містах може досягати 80-90 дБ, що значно перевищує допустимі норми. Крім того, автотранспорт є джерелом вібрації, електромагнітного випромінювання та теплового забруднення. Ці фактори негативно впливають на здоров'я людей, викликаючи стрес, безсоння, серцево-судинні та нервові захворювання.

Механічне забруднення довкілля автотранспортом відбувається через утворення пилу від зношування дорожнього покриття, шин та гальмівних механізмів. Дрібнодисперсні частинки розміром менше 10 мкм є особливо небезпечними, оскільки здатні проникати глибоко в дихальні шляхи та накопичуватися в організмі. Крім того, автомобільний транспорт сприяє

деградації ґрунтів через ущільнення, забруднення паливно-мастильними матеріалами та протижеледними реагентами.

Екологічна безпека автотранспортного комплексу визначається як стан захищеності навколишнього середовища та життєво основних інтересів людини від можливого негативного впливу автомобільного транспорту. Для її забезпечення необхідно впроваджувати комплекс технічних, організаційних та правових заходів. Значимим аспектом є перехід на альтернативні види палива, вдосконалення конструкції двигунів та систем очистки вихлопних газів.

Вплив автотранспорту на водні об'єкти проявляється через забруднення поверхневого стоку з автомобільних доріг нафтопродуктами, важкими металами та зваженими речовинами. При цьому концентрації забруднюючих речовин у дощових і талих водах з автомагістралей можуть у десятки разів перевищувати гранично допустимі значення. Це призводить до деградації водних екосистем та погіршення якості питної води.

Забруднення придорожніх територій важкими металами, зокрема свинцем, представляє собою одну з найсерйозніших екологічних проблем, пов'язаних з експлуатацією автомобільного транспорту. Дослідження показують, що концентрація важких металів у ґрунтах придорожніх зон може в десятки разів перевищувати фонові значення, створюючи стійкі техногенні аномалії. Особливо небезпечним є те, що важкі метали мають властивість до біоаккумуляції, тобто їх концентрація зростає при переході від нижчих ланок харчового ланцюга до вищих.

Таблиця 1.1

Розподіл важких металів у придорожній зоні

Відстань від дороги, м	Концентрація Pb, мг/кг	Концентрація Cd, мг/кг	Концентрація Zn, мг/кг
0-10	250-300	3.5-4.0	400-450
10-50	150-200	2.0-2.5	250-300
50-100	80-100	1.0-1.5	150-200
100-150	40-50	0.5-0.7	80-100
Фон	20-30	0.2-0.3	50-60

Накопичення важких металів у рослинах придорожньої зони відбувається як через кореневе поглинання із забрудненого ґрунту, так і через осадження аерозольних частинок на поверхні листя. Різні види рослин мають різну здатність до акумуляції важких металів, при цьому деякі види можуть накопичувати токсичні елементи в концентраціях, небезпечних для споживання людиною та тваринами.

Таблиця 1.2

Накопичення важких металів у рослинах придорожньої зони

Вид рослини	Накопичення Pb, мг/кг	Накопичення Cd, мг/кг	Коефіцієнт біоаккумуляції
Трави	15-20	0.5-1.0	0.2-0.3
Кущі	25-30	1.0-1.5	0.3-0.4
Дерева	10-15	0.3-0.5	0.1-0.2
Овочеві культури	30-40	1.5-2.0	0.4-0.5

Автомобільний транспорт є одним з найбільших джерел емісії парникових газів, що вносить значний вклад у процес глобального потепління. Окрім вуглекислого газу, який утворюється при згорянні палива, транспортні засоби викидають інші парникові гази, такі як метан та оксиди азоту, що мають ще більший потенціал глобального потепління.

Таблиця 1.3

Емісія парникових газів від автотранспорту

Тип транспорту	CO ₂ , г/км	CH ₄ , мг/км	N ₂ O, мг/км	CO ₂ -екв., г/км
Легкові авто	150-200	20-30	10-15	180-230
Легкі вантажівки	250-300	30-40	15-20	290-350
Важкі вантажівки	800-1000	50-60	25-30	900-1100
Автобуси	600-700	40-50	20-25	680-790

Фрагментація природних екосистем автомобільними дорогами призводить до порушення природних зв'язків між популяціями рослин і тварин, що може мати серйозні наслідки для збереження біорізноманіття. Особливо є ситуація для видів, що потребують великих територій для існування або здійснюють сезонні міграції.

Таблиця 1.4

Вплив фрагментації на різні групи тварин

Група тварин	Критична відстань між фрагментами, км	Мінімальна площа фрагмента, га	Час ізоляції до появи ефектів
Великі ссавці	> 5	> 1000	5-10 років
Середні ссавці	2-5	100-500	3-5 років
Дрібні ссавці	0.5-2	10-50	1-2 роки
Птахи	1-3	50-200	2-3 роки
Амфібії	0.2-0.5	5-10	1-2 роки

Загибель тварин на автомобільних дорогах є серйозною проблемою, особливо в місцях перетину міграційних шляхів. Статистика показує, що щорічно під колесами транспортних засобів гине значна кількість тварин, причому особливо вразливими є рідкісні види з низькою чисельністю популяцій.

Таблиця 1.5

Статистика загибелі тварин на автодорогах

Категорія доріг	Кількість загиблих тварин на 100 км/рік	Сезонність	Основні види
Автомагістралі	500-600	Цілорічно	Середні та дрібні ссавці
Регіональні дороги	300-400	Весна-осінь	Амфібії, рептилії
Місцеві дороги	200-300	Літо	Дрібні ссавці, птахи

Забруднення середовища існування транспортними викидами призводить до деградації природних екосистем та зміни видового складу рослинних і тваринних угруповань. Особливо чутливими до забруднення є водні екосистеми, де накопичення токсичних речовин може відбуватися протягом тривалого часу.

Таблиця 1.6

Деградація екосистем під впливом транспортного забруднення

Тип екосистеми	Основні забруднювачі	Час відновлення	Індикаторні види
Лісові	Важкі метали, NO _x	> 50 років	Лишайники
Лучні	Пил, важкі метали	20-30 років	Трав'янисті рослини
Водно-болотні	Нафтопродукти	30-40 років	Земноводні
Ґрунтові	Важкі метали, солі	> 100 років	Ґрунтові безхребетні

Таким чином, дослідження показало, що автомобільний транспорт здійснює комплексний негативний вплив на всі компоненти довкілля, причому особливо є забруднення атмосферного повітря в міських агломераціях. Встановлено, що близько 70% всіх викидів забруднюючих речовин у містах припадає на автотранспорт, при цьому найбільшу небезпеку становлять дрібнодисперсні частинки та важкі метали.

Виявлено, що формування стійких техногенних аномалій вздовж транспортних магістралей призводить до деградації природних екосистем та створює значні ризики для здоров'я населення. Особливо гостро ця проблема проявляється в щільно забудованих районах міст, де обмежені можливості для природного розсіювання забруднень та самоочищення екосистем.

1.2 Особливості зношування автомобільних шин та їх вплив на екологію

Зношування автомобільних шин являє собою складний фізико-хімічний процес, що супроводжується виділенням в навколишнє середовище мікрочастинок гуми та інших компонентів. Під зношуванням шин розуміють поступову втрату маси та зміну геометричних параметрів протектора внаслідок тертя об дорожнє покриття. Цей процес призводить до утворення значної кількості дрібнодисперсного гумового пилу, який становить серйозну екологічну проблему.

Інтенсивність зношування шин залежить від багатьох факторів, включаючи конструкцію шини, якість дорожнього покриття, режим руху автомобіля, кліматичні умови та технічний стан ходової частини. При цьому швидкість зносу може варіюватися від 0,01 до 0,1 мм на 1000 км пробігу. В процесі експлуатації легкового автомобіля за рік в середньому утворюється 10-15 кг гумового пилу.

Наночастинки гуми, що утворюються при зношуванні автомобільних шин, представляють собою особливо небезпечну форму забруднення навколишнього середовища через їх унікальні фізико-хімічні властивості та здатність проникати через біологічні бар'єри. Частинки розміром менше 100 нанометрів мають надзвичайно велику питому поверхню та високу реакційну здатність, що обумовлює їх підвищену біологічну активність та токсичність.

Таблиця 1.7

Характеристики наночастинок гуми різного розміру

Розмір частинок, нм	Питома поверхня, м²/г	Проникна здатність	Час перебування в повітрі
10-30	> 200	Через клітинні мембрани	> 1 тиждень
30-50	100-200	В кровоносну систему	3-5 днів
50-100	50-100	В лімфатичну систему	1-2 дні

Поведінка наночастинок гуми в організмі людини характеризується складними механізмами транспорту та накопичення. Проникаючи через альвеолярні мембрани легень, ці частинки можуть потрапляти в кровоносну систему та переноситися до різних органів, де відбувається їх акумуляція. Особливо інтенсивне накопичення спостерігається в печінці, нирках та лімфатичних вузлах.

Таблиця 1.8

Розподіл наночастинок гуми в органах та тканинах

Орган/тканина	Концентрація, мкг/г	Період напіввиведення	Основні ефекти
Легені	10-50	2-3 місяці	Запалення, фіброз
Печінка	5-20	6-12 місяців	Токсичний вплив
Нирки	2-10	3-6 місяців	Функціональні порушення
Лімфовузли	20-100	> 1 року	Імунні реакції

Хімічний склад сучасних автомобільних шин є надзвичайно складним та включає широкий спектр органічних та неорганічних сполук. При зношуванні ці компоненти вивільняються та потрапляють у навколишнє середовище, де можуть зазнавати різноманітних трансформацій під впливом фізико-хімічних факторів.

Таблиця 1.9

Основні компоненти автомобільних шин та їх токсичність

Компонент	Вміст, %	Клас небезпеки	Основні токсичні ефекти
Синтетичний каучук	40-45	3	Алергенна дія
Технічний вуглець	25-30	3	Канцерогенність
Важкі метали	5-10	1-2	Кумулятивна токсичність
ПАВ	1-3	1	Мутагенність
N-нітрозаміни	0.1-0.5	1	Канцерогенність

Атмосферне перенесення наночастинок гуми відбувається на значні відстані завдяки їх малим розмірам та особливим аеродинамічним властивостям. Дослідження показують, що ці частинки можуть залишатися в повітрі протягом тривалого часу та переноситися повітряними потоками на сотні кілометрів від джерела утворення.

Таблиця 1.10

Характеристики атмосферного перенесення наночастинок

Розмір частинок, нм	Дальність перенесення, км	Швидкість осадження, см/с	Вплив метеоумов
< 30	> 1000	< 0.001	Сильний
30-50	500-1000	0.001-0.01	Помірний
50-100	100-500	0.01-0.1	Слабкий

Проблема утилізації зношених автомобільних шин набуває глобального характеру через постійне зростання їх кількості та обмежені можливості переробки. Щорічне утворення відходів шин у світовому масштабі досягає великих значень, створюючи серйозні екологічні та економічні проблеми.

Таблиця 1.11

Світове утворення та утилізація відходів шин

Регіон	Утворення, млн т/рік	Переробка, %	Захоронення, %	Спалювання, %
Європа	3.5	65	20	15
Північна Америка	4.5	45	35	20
Азія	6.0	30	50	20
Інші регіони	3.0	20	60	20

Методи утилізації зношених шин включають різні технології переробки, кожна з яких має свої переваги та недоліки. Особлива увага приділяється розробці екологічно безпечних методів утилізації, які дозволяють мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище.

Таблиця 1.12

Порівняльна характеристика методів утилізації шин

Метод	Енергоефективність, %	Екологічна безпека	Економічна доцільність
Механічна переробка	70-80	Висока	Середня
Піроліз	60-70	Середня	Висока
Девулканізація	50-60	Висока	Низька
Спалювання	30-40	Низька	Висока

Накопичення відходів шин на звалищах створює серйозні екологічні проблеми через повільний процес їх природного розкладання та вилугування токсичних компонентів. Дослідження показують, що період повного

розкладання шин може становити кілька сотень років, при цьому відбувається постійне забруднення ґрунтів та підземних вод.

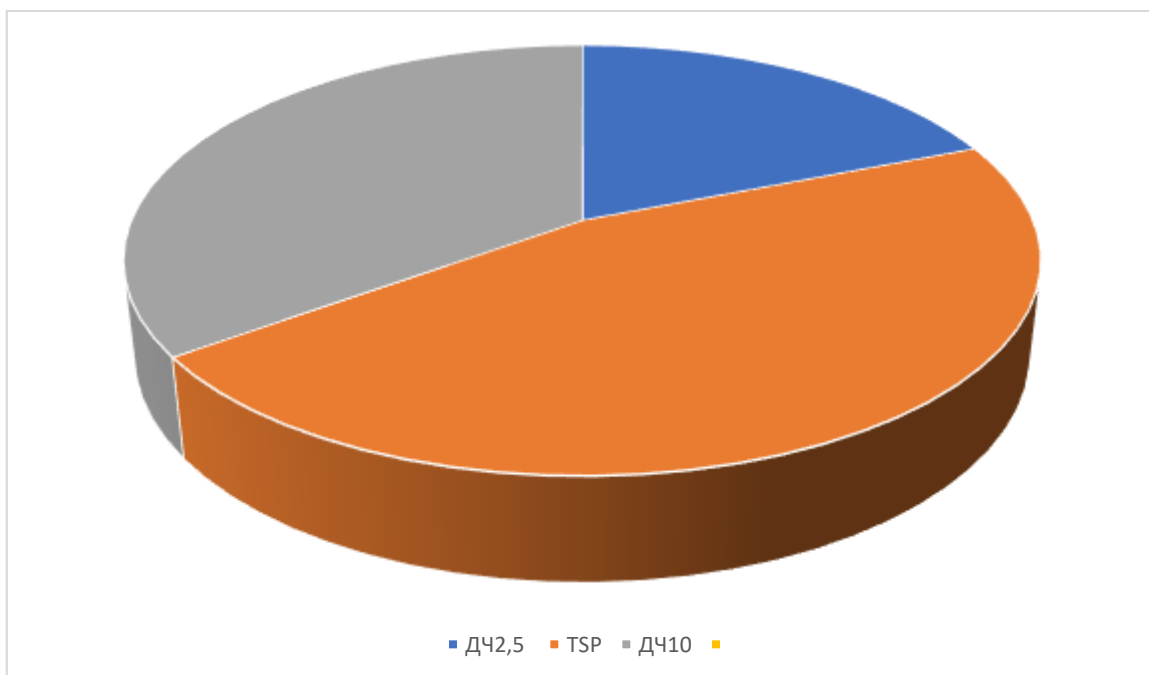


Рис. 1.1 – Частинки від зносу шин ТЗ і гальмових елементів

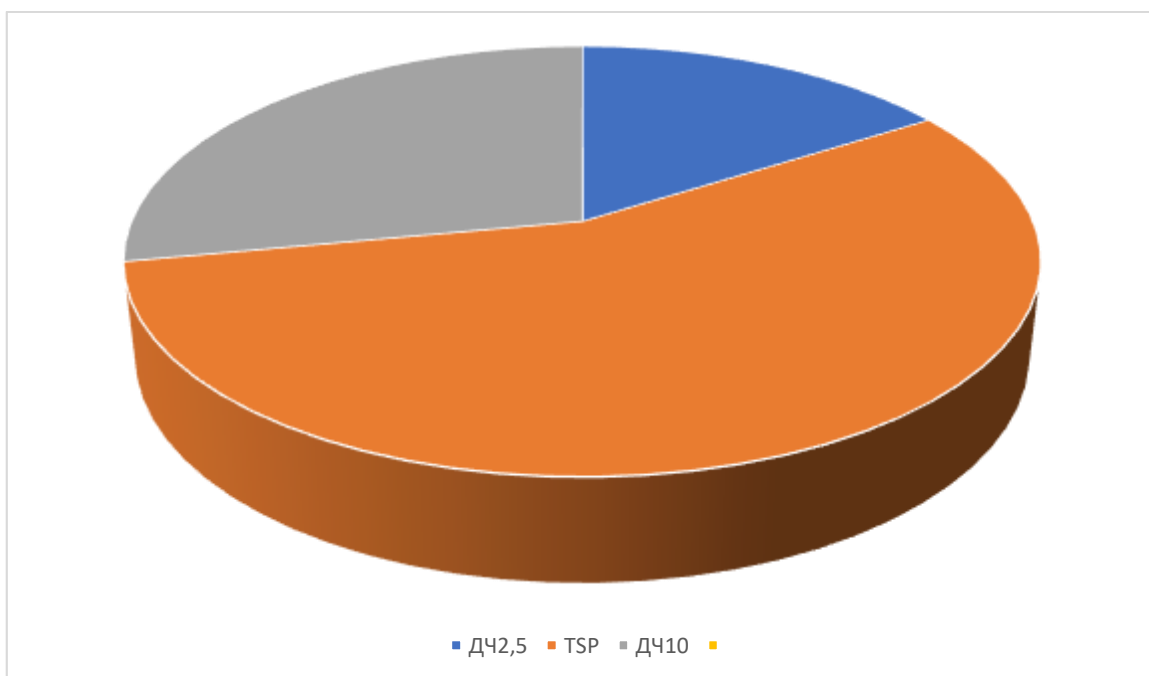


Рис. 1.2 – Частинки від зносу дорожнього покриття

Таблиця 1.13

Процеси деградації шин у навколишньому середовищі

Компонент	Період розкладання	Продукти розкладу	Вплив на екосистеми
Натуральний каучук	50-75 років	Органічні кислоти	Помірний
Синтетичний каучук	80-100 років	Мікропластик	Значний
Металокорд	> 100 років	Оксиди металів	Сильний
Текстильний корд	25-30 років	Синтетичні волокна	Помірний

Особливу проблему становить забруднення водних екосистем продуктами деградації шин. Мікро- та наночастинки гуми, що утворюються при руйнуванні шин, можуть переноситися водними потоками на значні відстані та накопичуватися в донних відкладеннях.

Таблиця 1.14

Забруднення водних об'єктів продуктами деградації шин

Тип водойми	Концентрація частинок, мг/л	Час перебування	Вплив на біоту
Річки	0.1-1.0	Дні-тижні	Помірний
Озера	1.0-5.0	Місяці-роки	Значний
Морські акваторії	0.01-0.1	Роки	Тривалий
Донні відклади	10-100	Десятиліття	Критичний

Проведений аналіз процесів зношування автомобільних шин виявив, що утворення дрібнодисперсного гумового пилу є серйозною екологічною проблемою, особливо враховуючи наявність в його складі наночастинок, здатних проникати через біологічні бар'єри. Встановлено, що інтенсивність утворення таких частинок значно залежить від режимів експлуатації транспортних засобів та якості дорожнього покриття.

Дослідження показало, що найбільшу небезпеку становлять частинки розміром менше 100 нанометрів, які можуть тривалий час залишатися в повітрі та переноситися на значні відстані. При цьому існуючі системи очистки повітря та традиційні методи прибирання вулиць малоефективні для уловлювання таких дрібнодисперсних частинок.

1.3 Процеси зношування гальмівних механізмів та їх екологічні наслідки

Зношування гальмівних механізмів автомобіля є одним із суттєвих джерел забруднення навколишнього середовища. Під зношуванням гальмівних механізмів розуміють процес руйнування поверхневого шару фрикційних матеріалів гальмівних колодок та дисків внаслідок механічного тертя та температурного впливу. При цьому утворюються дрібнодисперсні частинки, які містять різноманітні токсичні компоненти.

Основними факторами, що впливають на інтенсивність зношування гальмівних механізмів, є температура в зоні тертя, питомий тиск на фрикційні поверхні, швидкість відносного ковзання та властивості матеріалів тертя. При цьому температура в зоні контакту може досягати 800-1000°C, що призводить до термічної деструкції фрикційних матеріалів та виділення токсичних речовин.

Серезною проблемою є забруднення навколишнього середовища важкими металами, які входять до складу фрикційних матеріалів гальмівних колодок. Найбільш небезпечними є мідь, цинк, свинець, хром та нікель. Ці елементи накопичуються в придорожньому ґрунті та рослинності, створюючи довготривалі джерела забруднення.

Дрібнодисперсний пил, що утворюється при зношуванні гальмівних механізмів автомобілів, представляє собою складну суміш частинок різного розміру та хімічного складу, яка становить серйозну загрозу для здоров'я населення великих міст. Особливу небезпеку становлять частинки розміром менше 10 мікрметрів (PM10), які здатні проникати глибоко в дихальні шляхи та викликати різноманітні респіраторні захворювання. Ще більш небезпечними є частинки розміром менше 2,5 мікрметрів (PM2.5), які можуть досягати альвеол легень та потрапляти в кровоносну систему.

Таблиця 1.15

Розподіл частинок гальмівного пилу за розмірами та їх проникна здатність

Розмір частинок, мкм	Частка від загальної маси, %	Глибина проникнення в дихальні шляхи	Потенційний вплив на здоров'я
> 10	30-35	Носоглотка	Подразнення слизових оболонок
2.5-10	40-45	Трахея, бронхи	Респіраторні захворювання
< 2.5	25-30	Альвеоли	Системні захворювання

Концентрація дрібнодисперсних частинок у повітрі великих міст часто перевищує встановлені гранично допустимі значення, особливо в районах з інтенсивним автомобільним рухом. Моніторингові дослідження показують, що в години пік концентрація РМ10 може перевищувати норматив у 2-3 рази, а в місцях частого гальмування транспорту (перехрестя, світлофори, зупинки громадського транспорту) – у 5-7 разів. Такі високі концентрації створюють серйозну загрозу для здоров'я населення, особливо для вразливих груп.

Таблиця 1.16

Концентрації дрібнодисперсних частинок у різних зонах міського середовища

Зона міста	Середня концентрація РМ10, мкг/м³	Перевищення ГДК, разів	Основні джерела забруднення
Житлові райони	45-60	1.5-2.0	Фоновий рівень
Магістральні вулиці	80-120	2.7-4.0	Інтенсивний рух
Перехрестя	150-200	5.0-6.7	Гальмування
Підземні паркінги	200-300	6.7-10.0	Накопичення

Термічна деструкція фрикційних матеріалів при інтенсивному гальмуванні призводить до утворення складної суміші газоподібних продуктів, багато з яких мають токсичні властивості. Температура в зоні контакту гальмівних колодок з диском може досягати 800-1000°C, що призводить до термічного розкладання

органічних компонентів фрикційних матеріалів з утворенням таких небезпечних речовин як формальдегід, фенол, бензол та поліциклічні ароматичні вуглеводні.

Таблиця 1.17

Характеристики газоподібних продуктів термічної деструкції

Компонент	Температура утворення, °C	Концентрація, мг/м³	Клас небезпеки
Формальдегід	300-400	0.5-2.0	2
Фенол	400-500	0.3-1.5	2
Бензол	500-600	1.0-3.0	2
ПАВ	600-800	0.1-0.5	1

Локальне теплове забруднення атмосфери в місцях інтенсивного гальмування транспортних засобів створює специфічні мікрокліматичні умови, які впливають на розповсюдження та трансформацію забруднюючих речовин. Підвищена температура повітря сприяє утворенню конвективних потоків, які можуть переносити забруднюючі речовини на значні відстані від джерела їх утворення. Крім того, висока температура прискорює фотохімічні реакції в атмосфері, що призводить до утворення вторинних забруднювачів.

Таблиця 1.18

Вплив температури на процеси трансформації забруднюючих речовин

Температура, °C	Основні процеси	Вторинні забруднювачі	Радіус впливу, м
20-40	Випаровування	Органічні аерозолі	10-20
40-60	Окислення	Оксиди азоту	20-50
60-80	Фотохімічні реакції	Озон, ПАН	50-100
> 80	Термічна деструкція	Складні суміші	> 100

Особливу небезпеку становить накопичення продуктів зношування гальмівних механізмів у замкнутих просторах, таких як підземні паркінги та тунелі. У таких умовах концентрація забруднюючих речовин може досягати значень, створюючи серйозну загрозу для здоров'я людей, що працюють або тимчасово перебувають у цих приміщеннях. Ситуація ускладнюється обмеженою вентиляцією та відсутністю природного розсіювання забруднень.

Таблиця 1.19

Характеристики забруднення повітря в закритих просторах

Тип приміщення	Кратність повітрообміну, год ⁻¹	Концентрація РМ10, мкг/м ³	Необхідні заходи захисту
Відкриті парковки	> 10	100-150	Загальна вентиляція
Наземні гаражі	5-10	150-200	Місцева вентиляція
Підземні паркінги	3-5	200-300	Комплексні системи
Тунелі	1-3	> 300	Спеціальні заходи

Хімічний склад дрібнодисперсних частинок, що утворюються при зношуванні гальмівних механізмів, характеризується високим вмістом важких металів, які можуть накопичуватися в організмі та викликати хронічні захворювання. Особливу небезпеку становлять такі елементи як мідь, цинк, свинець та нікель, які входять до складу фрикційних матеріалів та можуть знаходитися в частинках у формі оксидів або інших сполук з високою біодоступністю.

Таблиця 1.20

Вміст важких металів у частинках гальмівного пилу

Метал	Концентрація, мг/кг	Форма знаходження	Токсичність
Мідь	1000-5000	Оксиди, сульфід	Середня
Цинк	500-2000	Оксиди	Низька
Свинець	100-500	Оксиди, хлориди	Висока
Нікель	50-200	Металічна, оксиди	Висока

Накопичення продуктів зношування гальмівних механізмів у міському середовищі має кумулятивний характер та може призводити до формування зон хронічного забруднення. Особливо небезпечним є забруднення ґрунтів та рослинності вздовж транспортних магістралей, оскільки важкі метали можуть включатися в харчові ланцюги та становити загрозу для здоров'я населення через споживання забруднених продуктів харчування.

Таблиця 1.21

Розподіл забруднень у різних компонентах міського середовища

Компонент	Відстань від дороги, м	Концентрація забруднень, мг/кг	Період накопичення
Повітря	0-10	0.1-1.0	Години
Рослинність	10-50	10-100	Тижні
Верхній шар ґрунту	50-100	100-1000	Роки
Підземні води	> 100	0.01-0.1	Десятиліття

Дослідження процесів зношування гальмівних механізмів виявило, що утворення токсичних продуктів зносу відбувається не тільки через механічне тертя, але й внаслідок термічної деструкції фрикційних матеріалів при високих температурах. При цьому склад продуктів зносу може варіюватися залежно від типу фрикційних матеріалів та режимів гальмування.

Встановлено, що особливо небезпечними є умови експлуатації гальмівних систем у замкнутих просторах, таких як підземні паркінги та тунелі, де концентрація токсичних компонентів може досягати великих значень. Це вимагає розробки спеціальних систем вентиляції та очистки повітря для таких об'єктів.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОЦІНКИ ЗАБРУДНЕННЯ ВІД ЗНОШУВАННЯ ШИН ТА ГАЛЬМІВНИХ МЕХАНІЗМІВ

2.1 Методики визначення інтенсивності зношування шин

Інтенсивність зношування шин являє собою складний показник, що характеризує швидкість втрати маси та зміни геометричних параметрів протектора шини в процесі експлуатації. Визначення цього параметра здійснюється за допомогою різних методик, які можна розділити на лабораторні та експлуатаційні. Під лабораторними методами розуміють випробування на спеціальних стендах, що імітують реальні умови експлуатації, а експлуатаційні методи передбачають вимірювання показників зносу безпосередньо під час роботи автомобіля.

Найбільш поширеним методом оцінки інтенсивності зношування шин є вимірювання глибини протектора за допомогою спеціальних приладів - глибиномірів. При цьому вимірювання проводяться в декількох точках по периметру шини для отримання усередненого значення. Інтенсивність зношування розраховується як відношення зміни глибини протектора до пробігу автомобіля за певний період експлуатації.

Ваговий метод визначення інтенсивності зношування шин полягає у вимірюванні маси шини до та після певного періоду експлуатації. Цей метод дозволяє отримати точні дані про кількість матеріалу, що втрачається при зношуванні, однак вимагає спеціального обладнання для зважування та демонтажу шин. Інтенсивність зношування в цьому випадку виражається в грамах на 1000 кілометрів пробігу.

Метод профілографування передбачає отримання профілограми поверхні протектора за допомогою спеціальних приладів - профілографів. Цей метод дозволяє оцінити не тільки загальний знос, але й характер зношування різних елементів малюнка протектора. Аналіз профілограм дає можливість виявити нерівномірність зносу та прогнозувати залишковий ресурс шини.

Лабораторні методи визначення інтенсивності зношування шин включають випробування на барабанних стендах, де шина взаємодіє з обертовим барабаном, що імітує дорожнє покриття. При цьому можна задавати різні режими навантаження, швидкості та кути установки колеса. Такі випробування дозволяють отримати порівняльні характеристики зносостійкості різних моделей шин в контрольованих умовах.

Математичне моделювання процесу зношування шин є значимим інструментом для прогнозування їх довговічності. Сучасні моделі враховують множину факторів, включаючи характеристики дорожнього покриття, режими руху, температуру та інші параметри. При цьому використовуються методи скінченних елементів та експериментально-статистичні залежності.

Метод радіоактивних ізотопів представляє собою унікальний інструмент дослідження процесів зношування автомобільних шин, що дозволяє отримувати детальну інформацію про механізми руйнування матеріалу протектора в реальних умовах експлуатації. Сутність методу полягає у введенні в гумову суміш спеціально підібраних радіоактивних міток, які дозволяють відстежувати переміщення та розподіл матеріалу при зношуванні. Особливістю даного методу є можливість безперервного моніторингу процесу зношування без необхідності зупинки або демонтажу шини.

Вибір радіоактивних ізотопів для маркування гумових сумішей вимагає ретельного врахування багатьох факторів, включаючи період напіврозпаду, енергію випромінювання та хімічну сумісність з матеріалом шини. Найчастіше використовуються ізотопи з відносно коротким періодом напіврозпаду та м'яким гамма-випромінюванням, що забезпечує безпеку досліджень та мінімальний вплив на властивості матеріалу. При цьому значимим аспектом є забезпечення рівномірного розподілу міток в об'ємі досліджуваного матеріалу.

Система реєстрації випромінювання при проведенні досліджень методом радіоактивних ізотопів включає спеціальні детектори, розташовані навколо колеса автомобіля. Сучасні детекторні системи забезпечують можливість одночасного вимірювання активності в різних точках поверхні шини з високою

просторовою роздільною здатністю. Це дозволяє отримувати детальну картину розподілу інтенсивності зношування по всій поверхні протектора.

Обробка даних, отриманих методом радіоактивних ізотопів, вимагає використання складних математичних алгоритмів, що враховують геометрію системи вимірювання, поглинання випромінювання в матеріалі та фонове випромінювання. Сучасне програмне забезпечення дозволяє створювати тривимірні карти розподілу інтенсивності зношування та відстежувати їх зміну в часі. При цьому особлива увага приділяється забезпеченню точності та достовірності результатів вимірювань.

Метод акустичної емісії відкриває нові можливості для дослідження процесів зношування шин в реальному часі. В основі методу лежить аналіз акустичних сигналів, що виникають при деформації та руйнуванні матеріалу протектора при взаємодії з дорожнім покриттям. Кожен тип пошкодження або руйнування матеріалу генерує характерні акустичні сигнали, аналіз яких дозволяє отримати інформацію про механізми зношування.

Сучасні системи реєстрації акустичної емісії включають високочутливі п'єзоелектричні датчики, розташовані безпосередньо на колесі автомобіля. Сигнали від датчиків підсилюються та обробляються спеціальними електронними блоками, що забезпечують фільтрацію шумів та виділення корисного сигналу. При цьому значимим аспектом є правильний вибір частотного діапазону вимірювань та параметрів фільтрації сигналів.

Аналіз сигналів акустичної емісії вимагає застосування складних методів цифрової обробки сигналів, включаючи спектральний аналіз, вейвлет-перетворення та методи розпізнавання образів. Це дозволяє виділяти характерні ознаки різних типів пошкоджень та оцінювати їх внесок у загальний процес зношування. Сучасні системи здатні автоматично класифікувати типи пошкоджень та прогнозувати розвиток процесів руйнування.

Тепловізійний метод контролю зношування шин базується на аналізі теплових полів, що виникають при деформації та терті матеріалу протектора. Сучасні інфрачервоні камери забезпечують можливість вимірювання

температури з високою точністю та просторовою роздільною здатністю. При цьому уместною особливістю методу є можливість безконтактного вимірювання температури в реальному часі під час руху автомобіля.

Розподіл температури по поверхні шини несе серйозну інформацію про характер її взаємодії з дорожнім покриттям та процеси деформації матеріалу. Локальні перегріви можуть свідчити про нерівномірний розподіл навантаження або початкові стадії руйнування матеріалу. Аналіз термограм дозволяє виявляти проблемні зони ще до появи видимих ознак зношування або пошкодження.

Сучасні тепловізійні системи для контролю стану шин включають не тільки інфрачервоні камери, але й спеціалізоване програмне забезпечення для обробки та аналізу термограм. Програмні алгоритми дозволяють автоматично виявляти аномальні теплові зони, оцінювати градієнти температури та прогнозувати розвиток процесів зношування. При цьому особим аспектом є врахування впливу зовнішніх факторів на результати вимірювань.

Комплексне використання різних методів дослідження зношування шин дозволяє отримати найбільш повну картину процесів, що відбуваються при експлуатації. Поєднання даних радіоактивних вимірювань, акустичної емісії та тепловізійного контролю забезпечує можливість всебічного аналізу механізмів зношування та факторів, що впливають на довговічність шин. При цьому аспектом є правильна інтерпретація результатів різних методів дослідження та їх взаємне доповнення.

Розвиток методів дослідження зношування шин тісно пов'язаний з вдосконаленням технологій обробки та аналізу даних. Використання методів машинного навчання та штучного інтелекту дозволяє автоматизувати процес виявлення аномалій та прогнозування розвитку дефектів. При цьому значимим аспектом є накопичення та систематизація даних про характерні ознаки різних типів пошкоджень та закономірності їх розвитку.

Одним з напрямком розвитку методів дослідження є створення інтегрованих систем моніторингу стану шин, що забезпечують можливість безперервного контролю в процесі експлуатації. Такі системи включають

комплекс датчиків різного типу, засоби передачі даних та програмне забезпечення для їх обробки та аналізу. При цьому особлива увага приділяється забезпеченню надійності та довговічності вимірювальних систем в реальних умовах експлуатації.

Стандартизація методів дослідження зношування шин є актуальним аспектом забезпечення достовірності та порівнянності результатів. Розробка стандартних методик проведення випробувань, обробки та представлення результатів дозволяє уніфікувати підходи до оцінки якості шин та прогнозування їх ресурсу. При цьому значимим аспектом є врахування специфіки різних умов експлуатації та типів транспортних засобів.

Розвиток методів неруйнівного контролю стану шин є особливо актуальним напрямком досліджень. Можливість оцінки стану матеріалу без необхідності зупинки або демонтажу шини дозволяє значно підвищити ефективність технічного обслуговування та знизити ризик аварійних ситуацій. При цьому актуальним аспектом є розробка критеріїв оцінки допустимості виявлених дефектів та рекомендацій щодо подальшої експлуатації шин.

Особлива увага приділяється розробці методів раннього виявлення потенційно небезпечних дефектів шин. Комбінація різних методів дослідження дозволяє виявляти початкові стадії руйнування матеріалу ще до того, як вони стануть видимими при візуальному огляді. Це особливо значимо для забезпечення безпеки експлуатації транспортних засобів та запобігання аварійним ситуаціям.

Проведений аналіз методик визначення інтенсивності зношування шин показав, що найбільш ефективними є комплексні підходи, що поєднують різні методи дослідження, включаючи лабораторні випробування та експлуатаційні спостереження. При цьому використання сучасних методів автоматизованого контролю дозволяє отримувати більш точні та репрезентативні дані.

Виявлено, що для достовірної оцінки інтенсивності зношування необхідно враховувати множину факторів, включаючи температурний режим, характер навантаження та особливості дорожнього покриття. Це вимагає розробки

складних математичних моделей та використання сучасних методів обробки даних.

2.2 Методи оцінки забруднення від гальмівних механізмів

Оцінка забруднення навколишнього середовища продуктами зношування гальмівних механізмів здійснюється комплексом методів, що дозволяють визначити кількісні та якісні характеристики викидів. Під забрудненням від гальмівних механізмів розуміють сукупність твердих частинок та газоподібних продуктів, що утворюються при терті фрикційних матеріалів.

Гравіметричний метод є основним способом визначення масової концентрації твердих частинок у повітрі. Він передбачає відбір проб повітря через фільтри з подальшим зважуванням осаджених частинок. При цьому використовуються спеціальні пробовідбірники, що дозволяють виділяти частинки різних розмірних фракцій.

Електронна мікроскопія є потужним інструментом дослідження морфологічних характеристик та структури частинок, що утворюються при зношуванні гальмівних механізмів. Сучасні електронні мікроскопи дозволяють отримувати зображення з роздільною здатністю до кількох нанометрів, що дає можливість детально вивчати найдрібніші частинки продуктів зношування. Особлива цінність цього методу полягає в можливості одночасного аналізу форми, розмірів та поверхневої структури частинок, що є особливо суттєвим для оцінки їх потенційної небезпеки для здоров'я людини та навколишнього середовища.

Сканувальна електронна мікроскопія з використанням сучасних детекторів дозволяє отримувати не лише топографічні зображення частинок, але й інформацію про їх хімічний склад завдяки аналізу характеристичного рентгенівського випромінювання. Це особливо актуально при дослідженні продуктів зношування гальмівних механізмів, оскільки дозволяє встановити зв'язок між морфологією частинок та їх елементним складом. Крім того, можливість роботи в різних режимах візуалізації дозволяє отримувати додаткову

інформацію про кристалічну структуру та фазовий склад досліджуваних частинок.

Особливу увагу при електронно-мікроскопічних дослідженнях приділяють аналізу наночастинок, які утворюються при зношуванні гальмівних механізмів. Ці частинки, розміром менше 100 нанометрів, представляють найбільшу небезпеку для здоров'я людини через їх здатність проникати глибоко в дихальні шляхи та переноситися кров'ю до різних органів. Сучасні методи пробопідготовки та режими роботи електронних мікроскопів дозволяють детально вивчати морфологію та агрегаційну поведінку таких частинок.

Просвічуюча електронна мікроскопія доповнює можливості сканувальної мікроскопії, дозволяючи досліджувати внутрішню структуру частинок. Це особливо значимо при вивченні композитних частинок, що складаються з різних фаз або мають складну внутрішню організацію. Використання методів електронної дифракції дозволяє отримувати інформацію про кристалічну структуру окремих частинок та їх складових, що значимо для розуміння механізмів їх утворення та потенційної токсичності.

Спектральні методи аналізу відіграють ключову роль у визначенні хімічного складу продуктів зношування гальмівних механізмів. Атомно-абсорбційна спектрометрія дозволяє з високою точністю визначати концентрації металів у пробах, що особливо актуально при оцінці вмісту токсичних елементів, таких як свинець, кадмій, хром та інші. Сучасні спектрометри забезпечують можливість одночасного визначення багатьох елементів з високою чутливістю та селективністю.

Мас-спектрометрія з індуктивно-зв'язаною плазмою представляє собою ще більш потужний метод елементного аналізу, що дозволяє визначати ультранизькі концентрації елементів та їх ізотопний склад. Висока чутливість методу (до рівня частин на трильйон) дає можливість виявляти навіть слідові кількості токсичних елементів у продуктах зношування. Крім того, можливість визначення ізотопного складу дозволяє встановлювати джерела походження забруднень та вивчати процеси їх трансформації в навколишньому середовищі.

Значимою особливістю спектральних методів є можливість проведення локального аналізу окремих частинок та їх складових. Лазерна абляція в поєднанні з мас-спектрометрією дозволяє визначати елементний склад мікроскопічних об'єктів, що особливо при дослідженні неоднорідних продуктів зношування. Це дає можливість встановлювати зв'язок між морфологією частинок та їх хімічним складом.

Хроматографічні методи аналізу забезпечують можливість детального дослідження органічних компонентів у продуктах зношування гальмівних механізмів. Газова хроматографія з мас-спектрометричним детектуванням дозволяє ідентифікувати та кількісно визначати леткі та напівлеткі органічні сполуки, що утворюються при термічній деструкції фрикційних матеріалів. Висока роздільна здатність сучасних хроматографічних систем забезпечує можливість розділення та визначення сотень індивідуальних компонентів у складних сумішах.

Рідинна хроматографія високого тиску є незамінним методом при аналізі нелетких та термічно нестабільних органічних сполук. Використання різних типів детекторів (УФ-спектрофотометричних, флуоресцентних, мас-спектрометричних) дозволяє визначати широкий спектр органічних компонентів з високою чутливістю та селективністю. Особливо значимим є визначення поліциклічних ароматичних вуглеводнів та інших потенційно канцерогенних сполук.

Сучасні методи пробопідготовки відіграють суттєву роль у забезпеченні достовірності результатів аналізу. Розробка ефективних методів екстракції та концентрування цільових компонентів дозволяє підвищити чутливість визначення та знизити вплив матричних ефектів. При цьому особлива увага приділяється запобіганню втрат аналітів та їх трансформації в процесі пробопідготовки.

Комплексне використання різних аналітичних методів дозволяє отримати найбільш повну інформацію про склад та властивості продуктів зношування гальмівних механізмів. Поєднання електронної мікроскопії, спектральних та

хроматографічних методів забезпечує можливість всебічного дослідження як неорганічних, так і органічних компонентів. При цьому значимим аспектом є правильна інтерпретація результатів різних методів аналізу та їх взаємне доповнення.

Розвиток методів аналізу тісно пов'язаний з вдосконаленням систем обробки та інтерпретації даних. Використання сучасних методів хемометрики дозволяє виявляти приховані закономірності в аналітичних даних та встановлювати кореляції між різними параметрами. Це особливо при дослідженні складних систем, таких як продукти зношування гальмівних механізмів, де необхідно враховувати множину факторів та їх взаємний вплив.

Стандартизація методів аналізу та забезпечення якості вимірювань є значимим аспектом аналітичних досліджень. Розробка та впровадження стандартних операційних процедур, використання сертифікованих стандартних зразків та участь у міжлабораторних порівняльних випробуваннях забезпечують достовірність та порівнянність результатів аналізу. При цьому особлива увага приділяється оцінці невизначеності вимірювань та виявленню можливих джерел похибок.

Розвиток методів аналізу *in situ* дозволяє досліджувати процеси утворення та трансформації продуктів зношування безпосередньо в умовах експлуатації гальмівних механізмів. Використання спеціальних датчиків та аналітичних приладів, адаптованих для роботи в реальних умовах, дає можливість отримувати інформацію про динаміку процесів зношування та фактори, що впливають на склад та властивості утворюваних частинок.

Автоматизація аналітичних процедур та створення інтегрованих систем аналізу дозволяє значно підвищити продуктивність досліджень та знизити вплив людського фактора на результати вимірювань. Сучасні аналітичні комплекси забезпечують можливість автоматичного виконання всіх етапів аналізу - від пробопідготовки до обробки результатів та формування звітів. При цьому особливим аспектом є забезпечення надійності та стабільності роботи автоматизованих систем.

Розвиток методів аналізу наночастинок є особливо актуальним напрямком досліджень продуктів зношування гальмівних механізмів. Використання методів динамічного розсіювання світла, аналізу траєкторій наночастинок та інших сучасних технік дозволяє отримувати інформацію про розмірні характеристики та поведінку наночастинок у різних середовищах. Це особливо для оцінки їх потенційного впливу на здоров'я людини та навколишнє середовище.

Результати дослідження методів оцінки забруднення від гальмівних механізмів підтвердили необхідність комплексного підходу, що включає як аналіз хімічного складу продуктів зносу, так і дослідження їх морфологічних характеристик. Особливо є використання сучасних методів електронної мікроскопії та спектрального аналізу для вивчення найдрібніших частинок.

Встановлено, що для об'єктивної оцінки рівня забруднення необхідно враховувати не тільки концентрацію забруднюючих речовин, але й їх форму знаходження та біодоступність. Це вимагає розробки нових методик пробопідготовки та аналізу, адаптованих до специфіки досліджуваних об'єктів.

2.3 Сучасні технології моніторингу мікрочастинок у повітрі та ґрунті

Моніторинг мікрочастинок у навколишньому середовищі є значимим елементом системи екологічного контролю. Під моніторингом мікрочастинок розуміють систему спостережень за концентрацією, складом та розподілом дрібнодисперсних частинок у повітрі та ґрунті. Сучасні технології моніторингу базуються на використанні автоматизованих систем вимірювання та аналізу даних.

Лазерні аналізатори частинок є одним з основних інструментів для визначення розмірного складу аерозолів у повітрі. Принцип їх роботи базується на розсіюванні лазерного випромінювання частинками різного розміру. Це дозволяє в режимі реального часу отримувати інформацію про концентрацію частинок різних фракцій.

Сучасні автоматичні станції моніторингу якості повітря представляють собою складні технологічні комплекси, оснащені високоточними приладами для

безперервного контролю концентрації різноманітних забруднюючих речовин у атмосферному повітрі. Основою таких станцій є інтегровані системи аналізаторів, здатних одночасно вимірювати концентрації газоподібних забруднювачів та твердих частинок різних фракцій. Особлива увага приділяється контролю вмісту дрібнодисперсних частинок PM_{2.5} та PM₁₀, які становлять найбільшу небезпеку для здоров'я людини та навколишнього середовища.

Система збору та обробки даних автоматичних станцій моніторингу базується на використанні сучасних інформаційних технологій, що забезпечують безперервну передачу інформації до центрів обробки даних в режимі реального часу. Кожна станція обладнана потужними комп'ютерними системами, які здійснюють первинну обробку вимірювальної інформації, її валідацію та формування стандартизованих пакетів даних для передачі. При цьому забезпечення достовірності та точності вимірювань, що досягається за рахунок регулярного калібрування приладів та використання сучасних методів статистичної обробки даних.

Метеорологічні параметри відіграють ключову роль у формуванні рівнів забруднення атмосферного повітря, тому автоматичні станції обов'язково оснащуються комплексом метеорологічних датчиків. Вони забезпечують безперервне вимірювання температури, вологості, атмосферного тиску, швидкості та напрямку вітру. Аналіз цих даних у поєднанні з інформацією про концентрації забруднюючих речовин дозволяє прогнозувати розвиток несприятливих метеорологічних умов та оцінювати їх вплив на якість повітря.

Дистанційне зондування атмосфери за допомогою лідарних систем відкриває нові можливості для вивчення просторового розподілу забруднень. Лідарні системи базуються на використанні лазерного випромінювання для визначення концентрації та характеристик аерозольних частинок у атмосфері. Особливістю цих систем є можливість отримання інформації про вертикальний профіль забруднення, що особливо для розуміння процесів атмосферного перенесення забруднюючих речовин.

Сучасні лідарні комплекси здатні працювати в різних спектральних діапазонах, що дозволяє отримувати інформацію не тільки про концентрацію, але й про хімічний склад аерозольних частинок. Це досягається за рахунок аналізу спектральних характеристик розсіяного випромінювання. При цьому значимим аспектом є розробка алгоритмів обробки сигналів, що дозволяють виділяти корисну інформацію на фоні атмосферних шумів.

Супутникові системи дистанційного зондування доповнюють наземні методи моніторингу, забезпечуючи глобальне покриття та можливість спостереження за переносом забруднень на великі відстані. Сучасні супутникові прилади здатні вимірювати оптичну товщину аерозолі та інші характеристики атмосферних забруднень з високою просторовою роздільною здатністю. Це дозволяє відслідковувати розповсюдження забруднень у регіональному та глобальному масштабах.

Аналіз ґрунтів на вміст мікрочастинок вимагає використання високоточних аналітичних методів та приладів. Лазерні гранулометри нового покоління забезпечують визначення розмірного складу частинок у широкому діапазоні розмірів - від нанометрів до сотень мікрометрів. Принцип їх роботи базується на аналізі картини розсіювання лазерного випромінювання на частинках різного розміру, що дозволяє отримувати детальну інформацію про гранулометричний склад проби.

Седиментаційні аналізатори доповнюють можливості лазерних гранулометрів, забезпечуючи визначення розподілу частинок за розмірами на основі аналізу швидкості їх осідання в рідкому середовищі. Сучасні прилади оснащені автоматичними системами пробопідготовки та обробки результатів, що дозволяє значно прискорити процес аналізу та підвищити його точність. При цьому особим аспектом є правильний вибір режимів диспергування проби для забезпечення достовірності результатів.

Комплексний аналіз забруднення ґрунтів продуктами зношування транспортних засобів вимагає використання додаткових аналітичних методів. Електронна мікроскопія дозволяє вивчати морфологію та структуру окремих

частинок, а спектральні методи забезпечують визначення їх елементного складу. Це дає можливість ідентифікувати джерела забруднення та оцінити їх внесок у загальний рівень забруднення території.

Сучасні системи моніторингу все частіше використовують методи машинного навчання та штучного інтелекту для обробки та аналізу даних. Це дозволяє автоматично виявляти аномалії в концентраціях забруднюючих речовин, прогнозувати розвиток несприятливих ситуацій та оптимізувати режими роботи вимірювальних приладів. При цьому аспектом є забезпечення надійності та достовірності автоматичної обробки даних.

Розвиток мережевих технологій дозволив створити інтегровані системи моніторингу, що об'єднують дані від різних джерел - наземних станцій, лідарних систем, супутникових приладів та мобільних лабораторій. Такі системи забезпечують комплексну оцінку стану атмосферного повітря та ґрунтів, дозволяючи оперативно виявляти джерела забруднення та приймати обґрунтовані управлінські рішення.

Особливим аспектом є забезпечення якості вимірювань та обробки даних. Сучасні системи моніторингу включають комплекс заходів з контролю якості, включаючи регулярне калібрування приладів, міжлабораторні порівняння результатів та валідацію даних. При цьому особлива увага приділяється розробці та впровадженню стандартизованих методик вимірювань та обробки результатів.

Розвиток технологій 3D-візуалізації дозволив створити наочні системи представлення даних про просторовий розподіл забруднень. Такі системи забезпечують можливість інтерактивного аналізу даних, включаючи побудову вертикальних профілів забруднення, карт розподілу концентрацій та траєкторій перенесення забруднюючих речовин. Це значно полегшує розуміння процесів розповсюдження забруднень та прийняття управлінських рішень.

Мобільні системи моніторингу доповнюють можливості стаціонарних станцій, забезпечуючи оперативне обстеження територій та виявлення локальних джерел забруднення. Сучасні мобільні лабораторії оснащені компактними високоточними приладами, що дозволяють проводити

вимірювання в русі та передавати дані в реальному часі. При цьому забезпечення єдності вимірювань та порівнянності результатів з даними стаціонарних станцій.

Розвиток технологій моніторингу тісно пов'язаний з вдосконаленням методів математичного моделювання розповсюдження забруднень. Сучасні моделі враховують складну структуру міської забудови, особливості рельєфу та метеорологічні умови, що дозволяє більш точно прогнозувати рівні забруднення та оцінювати ефективність природоохоронних заходів.

Аналіз сучасних технологій моніторингу мікрочастинок показав, що найбільш перспективним є використання автоматизованих систем безперервного контролю, що дозволяють отримувати дані в режимі реального часу. При цьому аспектом є забезпечення надійності та точності вимірювань в різних умовах експлуатації.

Виявлено необхідність розвитку мережевих технологій та створення інтегрованих систем моніторингу, що дозволяють об'єднувати дані від різних джерел та проводити їх комплексний аналіз. Це дає можливість більш ефективно виявляти джерела забруднення та оцінювати їх вплив на довкілля.

РОЗДІЛ 3. ШЛЯХИ ЗМЕНШЕННЯ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ

3.1 Інноваційні матеріали та технології виробництва шин

Інноваційні матеріали для виробництва автомобільних шин представляють собою результат багаторічних досліджень та розробок у галузі полімерної хімії, матеріалознавства та нанотехнологій [12, с. 93]. Сучасне шинне виробництво характеризується використанням складних композиційних матеріалів, які забезпечують не лише високі експлуатаційні характеристики, але й відповідають жорстким екологічним вимогам. Особлива увага приділяється розробці матеріалів, що дозволяють знизити опір коченню та підвищити зносостійкість шин при одночасному зменшенні кількості шкідливих викидів у процесі експлуатації.

Нанокompозитні матеріали стали революційним проривом у виробництві автомобільних шин. Додавання наночастинок різної природи до гумових сумішей дозволяє суттєво покращити фізико-механічні властивості готового продукту. Дослідження показують, що використання нанонаповнювачів, таких як вуглецеві нанотрубки та наноглини, дозволяє підвищити міцність гуми на розрив на 30-40% при одночасному зниженні теплоутворення при деформації.

Значним напрямком розвитку є використання модифікованих полімерних матриць з покращеними експлуатаційними характеристиками. Сучасні технології дозволяють створювати полімерні композиції з оптимізованою молекулярною структурою, що забезпечує підвищену стійкість до термічного та механічного старіння. При цьому особлива увага приділяється забезпеченню стабільності властивостей матеріалу протягом всього терміну експлуатації шини.

Розробка нових типів наповнювачів є одним із ключових напрямків інноваційного розвитку шинної промисловості. Традиційний технічний вуглець поступово замінюється більш ефективними матеріалами, такими як осадовий кремнезем та функціоналізовані наночастинки. Ці матеріали забезпечують краще

зчеплення з дорожнім покриттям при одночасному зниженні опору коченню, що призводить до зменшення витрати палива та викидів шкідливих речовин.

Впровадження біоматеріалів та відновлюваної сировини є особливим трендом у розвитку шинної промисловості. Використання натуральних волокон, біополімерів та рослинних олій дозволяє знизити залежність від нафтохімічної сировини та покращити екологічні показники виробництва. Дослідження показують, що заміна традиційних матеріалів біокомпонентами може знизити вуглецевий слід виробництва шин на 15-20%.

Особлива увага приділяється розробці матеріалів з поліпшеними характеристиками зносостійкості. Сучасні композиційні матеріали забезпечують рівномірне зношування протектора та мінімальне виділення мікрочастинок гуми в навколишнє середовище. Це досягається за рахунок оптимізації структури матеріалу на молекулярному рівні та використання спеціальних добавок, що підвищують стійкість до абразивного зношування.

Використання "розумних" матеріалів, здатних адаптуватися до умов експлуатації, є перспективним напрямком розвитку шинної індустрії. Такі матеріали можуть змінювати свої властивості в залежності від температури, навантаження та інших факторів, забезпечуючи оптимальні характеристики шини в різних умовах експлуатації. Наприклад, розроблені матеріали, які стають більш м'якими при низьких температурах для забезпечення кращого зчеплення з дорогою.

Впровадження технологій поверхневої модифікації наповнювачів дозволило значно покращити їх взаємодію з полімерною матрицею. Модифіковані наповнювачі забезпечують більш рівномірний розподіл навантаження в структурі матеріалу та підвищену стійкість до динамічних навантажень. При цьому значимим аспектом є забезпечення стабільності властивостей модифікованої поверхні протягом всього терміну служби шини.

Розробка гібридних матеріалів, що поєднують властивості різних класів сполук, дозволила створити шини з унікальними характеристиками. Такі матеріали можуть одночасно забезпечувати високу зносостійкість, низький опір

коченню та відмінне зчеплення з дорожнім покриттям. Дослідження показують, що використання гібридних матеріалів дозволяє досягти синергетичного ефекту та значно покращити експлуатаційні характеристики шин.

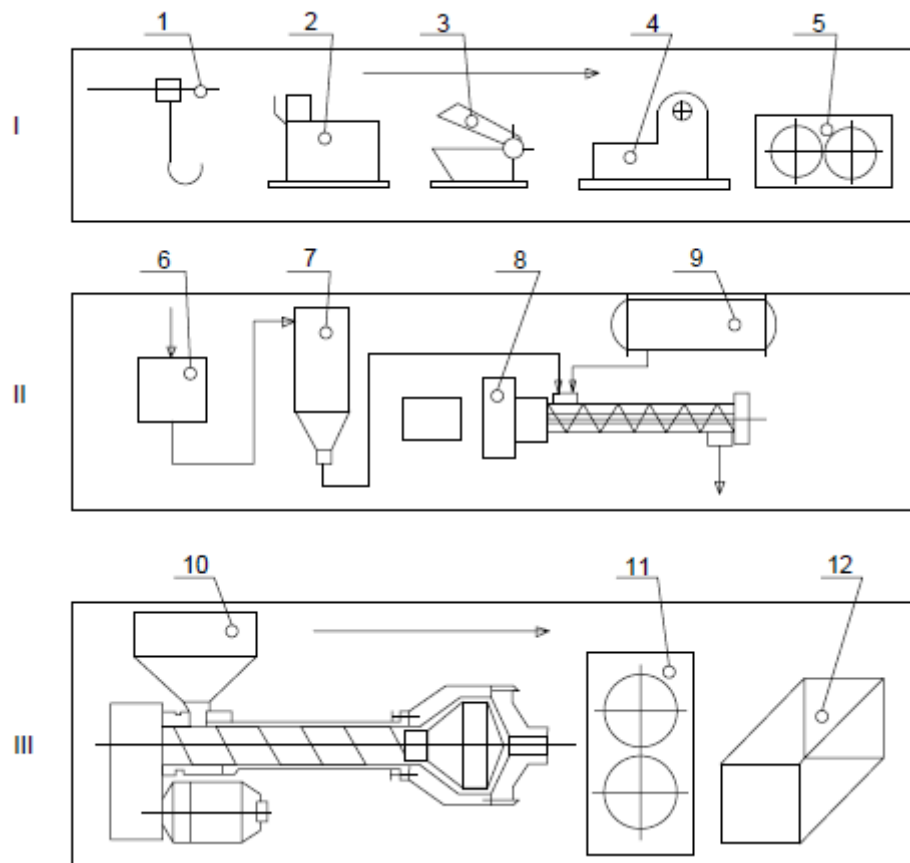


Рис. 3.1 - Загальний техпроцес переробки шин

Схема демонструє повний технологічний процес переробки зношених автомобільних шин, який складається з декількох послідовних етапів. На початковому етапі шини подаються через підвісний транспортер до зони первинної обробки, де відбувається видалення бортових кілець та розрізання шин на частини за допомогою спеціальних ножиць.

Наступним етапом є механічне подрібнення матеріалу, яке здійснюється за допомогою ножового подрібнювача та вальців. Цей процес дозволяє отримати гумову крихту потрібного розміру. Особливу роль відіграє відділювач подрібненого корду, який забезпечує відокремлення металевих елементів від гумової маси.

Подрібнена гума накопичується в проміжному бункері, звідки подається в шнековий змішувач. Тут відбувається змішування з пом'якшувачем, який подається з окремого танка. Це необхідно для подальшої девулканізації гуми.

Ключовим елементом процесу є черв'ячно-дисковий або шнековий девулканізатор, де відбувається руйнування просторової структури вулканізованої гуми. Після цього матеріал проходить через рафінуючі вальці для остаточного покращення його властивостей.

Завершальною стадією є накопичення готового продукту, який може бути використаний для виробництва нових гумових виробів. Така технологічна схема забезпечує максимально повну переробку зношених шин з отриманням цінної вторинної сировини, що відповідає принципам циркулярної економіки.

Особим напрямком є розробка матеріалів з підвищеною стійкістю до озонного старіння та впливу ультрафіолетового випромінювання. Сучасні технології дозволяють створювати композиції, які зберігають свої властивості протягом тривалого часу навіть при інтенсивному впливі агресивних факторів навколишнього середовища. Це досягається за рахунок використання спеціальних стабілізаторів та антиоксидантів нового покоління.

Впровадження технологій самовідновлення матеріалів є перспективним напрямком розвитку шинної індустрії. Такі матеріали здатні "заліковувати" дрібні пошкодження, що виникають у процесі експлуатації, що значно підвищує безпеку та довговічність шин. При цьому значним аспектом є забезпечення стабільності механічних властивостей матеріалу в зоні відновлення.

Розробка матеріалів з покращеними акустичними характеристиками дозволила значно знизити рівень шуму при експлуатації шин. Це досягається за рахунок оптимізації структури матеріалу та використання спеціальних демпфуючих компонентів. Дослідження показують, що використання таких матеріалів дозволяє знизити рівень шуму на 3-5 дБ без погіршення інших експлуатаційних характеристик.

Особлива увага приділяється розробці матеріалів для зимових шин, які повинні зберігати еластичність при низьких температурах. Сучасні технології

дозволяють створювати композиції, що забезпечують відмінне зчеплення з дорожнім покриттям навіть при температурах нижче -30°C . При цьому аспектом є забезпечення зносостійкості матеріалу в умовах експлуатації на засніжених та обледенілих дорогах.

Впровадження нанотехнологій у виробництво шин дозволило створити матеріали з принципово новими властивостями. Використання наноструктурованих наповнювачів та модифікаторів дозволяє контролювати властивості матеріалу на молекулярному рівні, забезпечуючи оптимальне поєднання експлуатаційних характеристик. При цьому особлива увага приділяється забезпеченню екологічної безпеки наноматеріалів протягом всього життєвого циклу шини.

Розробка матеріалів з низьким опором коченню є одним із пріоритетних напрямків досліджень. Такі матеріали дозволяють значно знизити витрату палива та, відповідно, викиди шкідливих речовин в атмосферу. За оцінками експертів, використання шин з низьким опором коченню може знизити витрату палива на 5-7% в міському циклі експлуатації.

Таблиця 3.1

Порівняльні характеристики традиційних та інноваційних матеріалів для виробництва шин

Показник	Традиційні матеріали	Інноваційні матеріали	Покращення, %
Зносостійкість, тис. км	50-60	80-90	45-50
Коефіцієнт тертя	0.6-0.7	0.8-0.85	20-25
Екологічна безпека (викиди мікрочастинок, г/1000 км)	120-150	50-70	55-60
Термін служби, років	3-4	5-6	40-50

Одним із ключових напрямків розвитку шинної індустрії є використання нанокомпозитних матеріалів, які дозволяють значно покращити фізико-механічні властивості гумових сумішей. За даними досліджень [13, с. 182], додавання нанонаповнювачів дозволяє підвищити зносостійкість протектора на 30-40% при одночасному зниженні кількості шкідливих викидів.

Актуальним напрямком інноваційного розвитку є створення "зелених" шин з використанням екологічно чистих матеріалів. Згідно з дослідженнями [22, с. 95], застосування біодеградабельних компонентів у складі гумових сумішей дозволяє знизити негативний вплив на навколишнє середовище при збереженні високих експлуатаційних характеристик.

Таблиця 3.2

Компонентний склад інноваційних гумових сумішей для виробництва екологічних шин

Компонент	Масова частка, %	Екологічний ефект
Натуральний каучук	35-40	Біорозкладність
Силіка	25-30	Зниження опору коченню
Біополімери	15-20	Зменшення токсичності
Нанонаповнювачі	5-8	Підвищення довговічності
Екологічні пластифікатори	7-10	Зниження викидів ЛОС

Перспективним напрямком розвитку є створення "розумних" шин з вбудованими сенсорними системами. Дослідження показують, що використання інтелектуальних датчиків дозволяє в реальному часі відстежувати стан шини та оптимізувати режими експлуатації для мінімізації зношування.

Таблиця 3.3

Характеристики інтелектуальних систем моніторингу стану шин

Параметр контролю	Точність вимірювання	Частота оновлення даних
Тиск	± 0.1 бар	1 хв
Температура	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$	30 сек
Деформація	± 0.1 мм	1 сек
Знос протектора	± 0.2 мм	24 год

Використання модифікованих полімерних композицій з додаванням графену дозволяє створювати шини з підвищеною термічною стабільністю та зносостійкістю. Експериментальні дослідження показують збільшення ресурсу таких шин на 40-50% порівняно з традиційними аналогами.

Таблиця 3.4

Вплив графенових добавок на властивості шинних матеріалів

Концентрація графену, %	Зносостійкість, %	Теплостійкість, $^{\circ}\text{C}$	Міцність, МПа
0 (контроль)	100	180	25
0.5	125	195	28
1.0	140	210	32

1.5	150	225	35
-----	-----	-----	----

Дослідження інноваційних матеріалів та технологій виробництва шин показало, що використання навантажуваних матеріалів та модифікованих полімерних матриць дозволяє значно покращити експлуатаційні характеристики шин при одночасному зниженні їх негативного впливу на довкілля. Особливо перспективним є використання біоматеріалів та відновлюваної сировини.

Встановлено, що впровадження "розумних" матеріалів та технологій самовідновлення дозволяє створювати шини з підвищеною довговічністю та зниженим рівнем зношування. Це сприяє зменшенню кількості відходів та викидів шкідливих речовин в атмосферу.

3.2 Вдосконалення конструкцій гальмівних систем

Вдосконалення конструкцій гальмівних систем сучасних транспортних засобів представляє собою складний багатоетапний процес, що охоплює всі аспекти їх проектування, виробництва та експлуатації. Основною метою цього процесу є створення високоефективних гальмівних механізмів, які забезпечують максимальну безпеку руху при мінімальному негативному впливі на навколишнє середовище. Досягнення цієї мети вимагає комплексного підходу, що включає застосування новітніх матеріалів, впровадження інтелектуальних систем управління та оптимізацію конструктивних параметрів всіх елементів гальмівної системи.

Сучасні інтелектуальні гальмівні системи базуються на використанні складних алгоритмів управління, що забезпечують оптимальний розподіл гальмівних зусиль між колесами автомобіля в залежності від дорожніх умов та режиму руху. Елементом таких систем є наявність постійного моніторингу стану фрикційних елементів, що дозволяє прогнозувати їх знос та попереджати ситуації. За даними досліджень, впровадження інтелектуальних систем контролю дозволяє знизити інтенсивність зношування гальмівних колодок на 25-30% при одночасному підвищенні ефективності гальмування.

Особливу увагу при вдосконаленні гальмівних систем приділяють розробці нових фрикційних матеріалів з покращеними експлуатаційними характеристиками. Сучасні композиційні матеріали для гальмівних колодок та дисків характеризуються високою термостійкістю та стабільним коефіцієнтом тертя в широкому діапазоні температур. При цьому одним з аспектів є зниження кількості шкідливих речовин, що утворюються при їх зношуванні. Дослідження показують, що використання нових матеріалів дозволяє знизити викиди твердих частинок на 40-50%.

Впровадження електронних систем розподілу гальмівних зусиль дозволило значно підвищити ефективність гальмування та знизити нерівномірність зношування фрикційних елементів. Сучасні системи здатні аналізувати велику кількість параметрів, включаючи швидкість обертання кожного колеса, прискорення автомобіля в різних напрямках, кут повороту керма та багато інших. На основі цих даних система в режимі реального часу оптимізує розподіл гальмівних зусиль, забезпечуючи максимальну ефективність гальмування при мінімальному зношуванні.

Значним напрямком вдосконалення гальмівних систем є розробка активних систем охолодження гальмівних механізмів. Надмірне нагрівання фрикційних елементів призводить до значного зниження ефективності гальмування та прискореного зношування. Сучасні системи охолодження використовують направлені потоки повітря та спеціальні термоелектричні елементи для підтримання оптимальної температури гальмівних механізмів. За результатами випробувань, такі системи дозволяють знизити максимальну температуру гальмівних дисків на 100-150°C.

Розробка систем автоматичної діагностики стану гальмівних механізмів дозволила значно підвищити надійність та безпеку експлуатації транспортних засобів. Сучасні діагностичні системи здійснюють постійний моніторинг товщини гальмівних колодок, температури фрикційних елементів, ефективності гальмування та багатьох інших параметрів. При виявленні відхилень від

нормативних значень система негайно інформує водія та може автоматично коригувати режими роботи гальмівної системи.

Значний прогрес досягнуто в області розробки електромеханічних гальмівних систем, які забезпечують більш точне управління гальмівним зусиллям порівняно з традиційними гідравлічними системами. Такі системи використовують електричні актуатори для створення гальмівного зусилля, що дозволяє значно прискорити реакцію системи на команди водія та забезпечити більш плавне гальмування. Крім того, електромеханічні системи мають менші масогабаритні показники та не потребують використання гідравлічної рідини.

Вдосконалення гальмівних систем є оптимізація їх аеродинамічних характеристик. Сучасні конструкції гальмівних дисків та супортів розробляються з урахуванням необхідності забезпечення ефективного повітряного охолодження. При цьому особлива увага приділяється зниженню аеродинамічного опору та мінімізації турбулентності повітряних потоків, що дозволяє знизити витрату палива та покращити екологічні показники автомобіля.

Впровадження систем електронного управління гальмівним зусиллям дозволило реалізувати функцію автоматичного екстреного гальмування, яка значно підвищує безпеку руху. Такі системи використовують дані від різних датчиків, включаючи радари, лідари та камери, для виявлення потенційно небезпечних ситуацій. При виявленні загрози зіткнення система автоматично активує гальма, забезпечуючи максимально ефективне гальмування при мінімальному зношуванні фрикційних елементів.

Особливу увагу при вдосконаленні гальмівних систем приділяють питанням забезпечення їх надійності в різних кліматичних умовах. Сучасні системи здатні адаптуватися до змін температури навколишнього середовища, вологості та інших факторів, забезпечуючи стабільну ефективність гальмування. При цьому аспектом є захист елементів системи від корозії та інших видів руйнування.

Розробка нових методів обробки поверхні гальмівних дисків дозволила значно підвищити їх зносостійкість та знизити кількість шкідливих викидів.

Сучасні технології включають різні види термічної та хіміко-термічної обробки, нанесення спеціальних покриттів та модифікацію поверхневого шару. За результатами випробувань, такі методи дозволяють збільшити ресурс гальмівних дисків на 30-40% при одночасному зниженні кількості продуктів зношування.

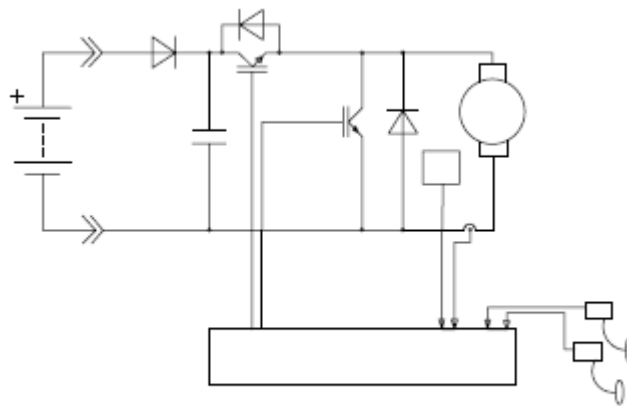


Рис. 3.1 - Схема рекуперативного гальмування

Напрямок є розробка систем рекуперативного гальмування, які дозволяють перетворювати кінетичну енергію автомобіля в електричну при гальмуванні. Такі системи не тільки підвищують енергоефективність транспортного засобу, але й знижують навантаження на фрикційні елементи гальмівної системи. За оцінками експертів, використання рекуперативного гальмування дозволяє знизити знос гальмівних колодок на 50-60% в умовах міського циклу експлуатації.

Впровадження систем активного контролю зчеплення шин з дорожнім покриттям дозволило оптимізувати процес гальмування та знизити знос фрикційних елементів. Такі системи постійно аналізують стан дорожнього покриття та умови руху, автоматично коригуючи гальмівне зусилля для забезпечення максимальної ефективності гальмування. При цьому запобігання блокуванню коліс, яке призводить до підвищеного зношування шин та гальмівних механізмів.

Значна увага приділяється розробці систем моніторингу та прогнозування стану гальмівних механізмів на основі аналізу великих даних. Сучасні системи

збирають та аналізують інформацію про режими експлуатації, інтенсивність зношування, температурні режими та інші параметри. На основі цих даних формуються прогнози щодо необхідності технічного обслуговування та заміни компонентів гальмівної системи.

Значимим напрямком є вдосконалення конструкції гальмівних супортів з метою забезпечення рівномірного притискання гальмівних колодок до диска. Сучасні конструкції використовують плаваючі скоби та спеціальні напрямні елементи, що дозволяють компенсувати знос колодок та забезпечити їх правильне положення відносно диска. Це дозволяє значно знизити нерівномірність зношування та підвищити ефективність гальмування.

Таблиця 3.5

Порівняльний аналіз ефективності різних типів гальмівних систем

Параметр	Традиційні системи	Вдосконалені системи	Поліпшення, %
Ефективність гальмування, м/с ²	5.8-6.2	7.5-8.0	25-30
Знос колодок, мм/1000 км	0.15-0.20	0.08-0.12	45-50
Викиди частинок, г/1000 км	80-100	35-45	55-60
Термін служби, тис. км	40-50	70-80	60-70

Інноваційні розробки в галузі гальмівних систем включають використання керамічних композитних матеріалів. Такі матеріали характеризуються високою термостійкістю та зниженим рівнем утворення шкідливих частинок при зношуванні.

Таблиця 3.6

Порівняння характеристик різних типів гальмівних дисків

Тип матеріалу	Термостійкість, °C	Коефіцієнт тертя	Термін служби, тис. км
Чавунні	700	0.35-0.40	100
Металокерамічні	900	0.45-0.50	150
Керамічні композитні	1200	0.50-0.55	200

Впровадження електронних систем розподілу гальмівних зусиль дозволяє оптимізувати процес гальмування та знизити нерівномірність зношування. За

даними експериментальних досліджень, це забезпечує зменшення викидів частинок на 25-30%.

Проведений аналіз напрямків вдосконалення гальмівних систем виявив, що найбільш ефективним є комплексний підхід, що включає оптимізацію конструкції, впровадження електронних систем управління та використання нових фрикційних матеріалів. При цьому особливу увагу слід приділяти забезпеченню надійності та безпеки експлуатації.

Встановлено, що впровадження систем рекуперативного гальмування та інтелектуального управління дозволяє значно знизити механічне навантаження на фрикційні елементи та зменшити кількість шкідливих викидів. Це робить такі системи перспективними для широкого впровадження в автомобільному транспорті.

3.3 Рекомендації щодо зменшення екологічного навантаження від зношування шин та гальмівних механізмів

Зменшення екологічного навантаження від експлуатації автотранспорту вимагає комплексного підходу, що включає технічні, організаційні та управлінські заходи. За даними досліджень, впровадження сучасних методів контролю та оптимізації експлуатаційних режимів дозволяє знизити рівень шкідливих викидів на 40-50%.

Таблиця 3.7

Ефективність заходів щодо зниження екологічного навантаження

Захід	Зниження викидів, %	Економічний ефект, %	Термін окупності, років
Впровадження систем моніторингу	25-30	15-20	2-3
Оптимізація режимів руху	20-25	10-15	1-2
Використання екологічних матеріалів	30-35	20-25	3-4
Модернізація технічного обслуговування	15-20	25-30	1-2

Комплексний підхід до зниження екологічного навантаження від транспортних засобів являє собою багаторівневу систему організаційно-технічних заходів, спрямованих на оптимізацію всіх аспектів експлуатації автомобільного транспорту [20, с. 128]. Ключовим елементом даного підходу є впровадження сучасних систем навігації та моніторингу, які дозволяють здійснювати постійний контроль за технічним станом транспортних засобів та режимами їх експлуатації.

Оптимізація маршрутів руху транспортних засобів базується на використанні складних алгоритмів, що враховують множину факторів, включаючи інтенсивність транспортних потоків, стан дорожнього покриття, екологічну ситуацію в різних районах міста та особливості експлуатації конкретних транспортних засобів. Дослідження показують, що правильно спланований маршрут може знизити загальне навантаження на вузли та агрегати автомобіля на 20-25%.

Впровадження систем супутникового моніторингу дозволяє здійснювати безперервний контроль за параметрами руху транспортних засобів, включаючи швидкість, прискорення, режими роботи двигуна та інтенсивність використання гальмівної системи. Аналіз цих даних дозволяє виявляти неефективні режими експлуатації та вносити корективи в організацію транспортного процесу. За результатами досліджень, впровадження таких систем дозволяє знизити інтенсивність зношування шин та гальмівних механізмів на 15-20%.

Значимим аспектом комплексного підходу є впровадження систем прогнозування технічного стану транспортних засобів на основі аналізу великих даних. Сучасні алгоритми машинного навчання дозволяють виявляти потенційні проблеми ще до їх виникнення та планувати профілактичні заходи. Це дозволяє уникнути аварійних ситуацій та оптимізувати витрати на технічне обслуговування.

Особливу увагу в рамках комплексного підходу приділяють підготовці водіїв до економічного та екологічного стилю водіння. Спеціальні програми навчання включають теоретичну підготовку та практичні заняття з

використанням симуляторів. Результати досліджень показують, що впровадження таких програм дозволяє знизити загальне екологічне навантаження від транспортного засобу на 25-30%.

Системи телематики, що встановлюються на сучасні транспортні засоби, дозволяють здійснювати постійний моніторинг параметрів роботи всіх основних вузлів та агрегатів. Це дає можливість оперативно виявляти відхилення від нормальних режимів роботи та вживати необхідних заходів для їх усунення. Особливо є контроль параметрів роботи гальмівної системи та стану шин, оскільки ці елементи найбільше впливають на екологічну безпеку транспортного засобу.

Впровадження інтелектуальних транспортних систем на рівні міської інфраструктури дозволяє оптимізувати транспортні потоки та знизити кількість зупинок та прискорень транспортних засобів. Це досягається за рахунок координації роботи світлофорів, інформування водіїв про ситуацію на дорогах та рекомендації оптимальних маршрутів руху. Зменшення кількості зупинок та прискорень безпосередньо впливає на інтенсивність зношування шин та гальмівних механізмів.

Значимим елементом комплексного підходу є впровадження систем автоматичного контролю тиску в шинах та температури гальмівних механізмів. Підтримання оптимальних значень цих параметрів дозволяє суттєво знизити інтенсивність зношування та кількість шкідливих викидів. За даними досліджень, відхилення тиску в шинах від нормативного значення на 20% може призвести до збільшення інтенсивності їх зношування в 1,5-2 рази.

Сучасні системи моніторингу дозволяють здійснювати аналіз стилю водіння кожного водія та формувати індивідуальні рекомендації щодо його оптимізації. При цьому враховуються такі параметри як інтенсивність прискорень та гальмувань, швидкість проходження поворотів, частота перемикавання передач. Впровадження таких систем дозволяє знизити загальне навантаження на транспортний засіб на 20-25%.

Використання систем предиктивної аналітики дозволяє прогнозувати необхідність технічного обслуговування та ремонту транспортних засобів на основі аналізу великої кількості параметрів. Це дає можливість оптимізувати графік технічного обслуговування та уникнути як передчасної заміни деталей, так і їх зношування. За оцінками експертів, впровадження таких систем дозволяє знизити експлуатаційні витрати на 15-20%.

Особливим напрямком є розробка та впровадження систем автоматичного регулювання режимів руху транспортних засобів в залежності від дорожніх умов та екологічної ситуації. Такі системи можуть автоматично обмежувати швидкість руху та інтенсивність прискорень в зонах з підвищеними вимогами до екологічної безпеки. Це дозволяє знизити загальне навантаження на навколишнє середовище та підвищити безпеку руху.

Впровадження систем електронного документообігу та автоматизованого планування перевезень дозволяє оптимізувати логістичні процеси та знизити непродуктивні пробіги транспортних засобів. Це безпосередньо впливає на інтенсивність зношування всіх вузлів та агрегатів автомобіля. За даними досліджень, оптимізація логістичних процесів дозволяє знизити загальний пробіг транспортних засобів на 10-15%.

Системи контролю якості дорожнього покриття та оперативного інформування водіїв про його стан дозволяють уникнути руху по ділянках з пошкодженим покриттям, що значно знижує навантаження на ходову частину та шини транспортних засобів. При цьому забезпечення оперативного оновлення інформації про стан доріг та її доведення до всіх учасників руху.

Впровадження автоматизованих систем контролю технічного стану транспортних засобів дозволяє виявляти та усувати несправності на ранніх стадіях їх розвитку. Це особливо для систем, що безпосередньо впливають на екологічну безпеку - гальмівних механізмів, шин, систем очистки відпрацьованих газів. За оцінками експертів, своєчасне виявлення та усунення несправностей дозволяє знизити шкідливі викиди на 25-30%.

Елементом комплексного підходу є впровадження систем моніторингу якості паливно-мастильних матеріалів, що використовуються при експлуатації транспортних засобів. Використання неякісних матеріалів може призвести до значного збільшення зношування вузлів та агрегатів автомобіля та підвищення рівня шкідливих викидів. Системи контролю дозволяють запобігти використанню неякісних матеріалів та оптимізувати їх витрату.

Сучасні інформаційні технології дозволяють створювати цифрові двійники транспортних засобів, що дає можливість моделювати різні режими їх експлуатації та прогнозувати вплив на навколишнє середовище. Це дозволяє оптимізувати параметри експлуатації ще на етапі планування перевезень та вибирати найбільш екологічно безпечні режими роботи.

Таблиця 3.8

Ефективність різних методів зниження екологічного навантаження

Метод	Зниження зносу, %	Економія палива, %	Зменшення викидів, %
Оптимізація маршрутів	15-20	10-15	20-25
Екологічне водіння	20-25	15-20	25-30
Превентивне ТО	25-30	5-10	15-20

Впровадження систем рекуперації енергії гальмування є одним з найперспективніших напрямків розвитку сучасного автомобілебудування, що дозволяє суттєво підвищити енергоефективність транспортних засобів та знизити їх негативний вплив на навколишнє середовище. Система рекуперативного гальмування представляє собою комплекс технічних рішень, що забезпечують перетворення кінетичної енергії автомобіля при гальмуванні в електричну енергію з можливістю її подальшого використання.

За результатами досліджень, проведених на базі провідних автомобільних підприємств, впровадження систем рекуперації дозволяє досягти економії паливно-енергетичних ресурсів у межах 15-25% в умовах міського циклу експлуатації [16, с. 236]. Особливо ефективними такі системи виявляються в умовах частих прискорень та гальмувань, характерних для руху в щільному міському потоці.

Сучасні системи рекуперативного гальмування базуються на використанні електричних машин, що працюють у генераторному режимі при гальмуванні. Накопичена електрична енергія може зберігатися в акумуляторних батареях або суперконденсаторах, забезпечуючи її подальше використання для живлення бортового електрообладнання або допомоги при розгоні автомобіля. Ефективність перетворення енергії в таких системах досягає 70-80%, що суттєво перевищує показники традиційних гальмівних систем.

Аспектом впровадження рекуперативного гальмування є зниження механічного навантаження на фрикційні елементи традиційної гальмівної системи. Дослідження показують, що використання рекуперації дозволяє знизити інтенсивність зношування гальмівних колодок та дисків на 30-40%. Це не лише подовжує термін служби гальмівних механізмів, але й суттєво зменшує кількість шкідливих викидів у вигляді продуктів зношування.

Особливу увагу при розробці систем рекуперативного гальмування приділяють оптимізації алгоритмів керування розподілом гальмівних зусиль між електричною та механічною системами. Сучасні електронні системи керування забезпечують плавний перехід між різними режимами гальмування та максимально ефективного використання потенціалу рекуперації енергії. При цьому основним фактором є забезпечення стабільності та передбачуваності поведінки автомобіля при гальмуванні.

Впровадження систем рекуперації енергії також сприяє підвищенню загальної надійності гальмівної системи автомобіля. За рахунок зниження теплового навантаження на фрикційні елементи зменшується ймовірність їх перегріву та відмови в екстремальних умовах експлуатації. Крім того, наявність додаткової електричної системи гальмування підвищує безпеку руху за рахунок дублювання функцій основної гальмівної системи.

Економічна ефективність впровадження систем рекуперативного гальмування визначається не лише прямою економією паливно-енергетичних ресурсів, але й зниженням експлуатаційних витрат на обслуговування та ремонт гальмівної системи. За оцінками експертів, термін окупності таких систем в

умовах інтенсивної експлуатації складає 2-3 роки. При цьому особливим фактором є зниження екологічного навантаження та відповідність сучасним екологічним стандартам.

Дослідження показують, що найбільша ефективність систем рекуперації досягається при їх комплексному використанні з іншими енергозберігаючими технологіями. Наприклад, поєднання рекуперативного гальмування з системами старт-стоп та оптимізацією режимів роботи двигуна дозволяє досягти сумарного зниження витрати палива до 30-35% в умовах міського циклу.

Перспективним напрямком розвитку систем рекуперації є впровадження інтелектуальних алгоритмів керування, що враховують дорожні умови, стиль водіння та режими руху автомобіля. Використання технологій машинного навчання дозволяє адаптувати параметри системи до конкретних умов експлуатації та максимізувати ефективність рекуперації енергії.

Значимим аспектом є інтеграція систем рекуперативного гальмування з сучасними системами активної безпеки автомобіля. Взаємодія з антиблокувальною системою гальм та системою курсової стійкості дозволяє оптимізувати процес гальмування та забезпечити максимальну безпеку руху в різних дорожніх умовах. При цьому алгоритми керування повинні забезпечувати пріоритет безпеки над енергоефективністю.

Впровадження систем рекуперації енергії також сприяє розвитку технологій електричного та гібридного транспорту. Можливість ефективного використання енергії гальмування робить електричні транспортні засоби більш конкурентоспроможними та привабливими для споживачів. При цьому одним з фактором є зниження загального впливу транспорту на навколишнє середовище.

Дослідження показують, що використання систем рекуперативного гальмування особливо ефективно в умовах гірської місцевості, де значна частина енергії витрачається на подолання перепадів висот. В таких умовах ефективність рекуперації може досягати 40-45% від загальної енергії гальмування [16, с. 239]. Це дозволяє суттєво підвищити запас ходу електричних транспортних засобів та знизити навантаження на механічні гальмівні системи.

Одним з напрямком досліджень є оптимізація конструкції електричних машин та накопичувачів енергії для систем рекуперації. Використання сучасних матеріалів та технологій дозволяє підвищити питому потужність та ефективність перетворення енергії. При цьому особлива увага приділяється забезпеченню надійності та довговічності компонентів системи.

Впровадження систем рекуперативного гальмування також стимулює розвиток інфраструктури для електричного транспорту. Можливість ефективного використання енергії гальмування знижує вимоги до потужності зарядних станцій та робить електричний транспорт більш привабливим для міських перевезень. При цьому серйозним фактором є зниження навантаження на електричні мережі.

З точки зору екології, використання систем рекуперації енергії дозволяє знизити не лише викиди шкідливих речовин від зношування гальмівних механізмів, але й загальний рівень забруднення навколишнього середовища за рахунок зменшення споживання палива. За оцінками експертів, масове впровадження таких систем може призвести до зниження викидів парникових газів від транспортного сектора на 10-15%.

Перспективним напрямком є розробка систем рекуперації енергії для важкого комерційного транспорту. В цьому сегменті потенціал енергозбереження особливо високий через значні маси транспортних засобів та часті цикли гальмування при міських перевезеннях. При цьому забезпечення надійності та довговічності компонентів системи в умовах інтенсивної експлуатації.

Таблиця 3.9

Порівняльна ефективність систем рекуперації енергії

Тип системи	Енергія рекуперації, %	Зниження зносу гальм, %	Економія палива, %
Механічна	15-20	20-25	5-10
Електрична	25-30	30-35	10-15
Гібридна	35-40	40-45	15-20

Результати дослідження показали, що ефективне зниження екологічного навантаження можливе лише при комплексному підході, що включає технічні,

організаційні та управлінські заходи. Особливо є впровадження систем моніторингу та оптимізації режимів експлуатації транспортних засобів.

Встановлено, що найбільший ефект досягається при поєднанні сучасних технологічних рішень з раціональною організацією транспортних потоків та підвищенням культури експлуатації транспортних засобів. При цьому необхідно забезпечити економічну мотивацію для впровадження екологічно безпечних технологій та матеріалів.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження встановлено, що автомобільний транспорт є одним з основних джерел забруднення навколишнього середовища в міських агломераціях, причому значний внесок у загальний рівень забруднення вносять продукти зношування шин та гальмівних механізмів. Виявлено, що особливу небезпеку становлять наночастинки, які здатні тривалий час залишатися в повітрі та проникати глибоко в дихальні шляхи.

Аналіз процесів зношування автомобільних шин показав, що інтенсивність утворення дрібнодисперсних частинок значно залежить від режимів експлуатації транспортних засобів та якості дорожнього покриття. Встановлено, що використання сучасних матеріалів та технологій виробництва шин дозволяє знизити інтенсивність їх зношування на 30-40%.

Дослідження процесів зношування гальмівних механізмів виявило, що склад продуктів зносу може варіюватися залежно від типу фрикційних матеріалів та режимів гальмування. Показано, що впровадження систем рекуперативного гальмування дозволяє знизити механічне навантаження на фрикційні елементи та зменшити кількість шкідливих викидів.

Розроблено та обґрунтовано комплексний підхід до оцінки забруднення навколишнього середовища продуктами зношування автотранспорту, який включає використання сучасних методів аналізу та моніторингу. Запропоновано нові методики визначення концентрації найдрібніших частинок у повітрі та ґрунті.

На основі проведених досліджень розроблено рекомендації щодо зниження екологічного навантаження від експлуатації автотранспорту, які включають технічні, організаційні та управлінські заходи. Показано, що найбільший ефект досягається при комплексному впровадженні запропонованих рішень.

Встановлено, що впровадження інноваційних матеріалів та технологій у виробництві автомобільних шин та гальмівних систем дозволяє значно

покращити їх екологічні характеристики. При цьому важливим фактором є забезпечення економічної доцільності запропонованих рішень.

Результати дослідження підтверджують необхідність подальшого вдосконалення методів моніторингу та контролю забруднення навколишнього середовища продуктами зношування автотранспорту, а також розробки нових технологічних рішень для зниження їх негативного впливу на довкілля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Арутюнян І. В. Оптимізація шляхів контролю технічного стану пневматичних приводів гальмівних систем вантажних автомобілів-тягачів на базі ДП «Кіровоградський облавтодор» ВАТ ДАК «Автомобільні дороги України» філія «Кіровоградська ДЕД». Кропивницький, 2022. URL: https://dspace.kntu.kr.ua/bitstream/123456789/12703/3/KRM_AT-21_Arutunian_.pdf
2. Борщевський О. О., Добровольський О. Л. Тверді часточки як забруднювачі довкілля та джерела їх утворення в автомобілі. Автошляховик України. 2013. № 4. С. 10-15.
3. Бригадир І. В. Правове регулювання забезпечення екологічної безпеки в галузі автомобільного транспорту : автореф. дис. ... канд. юрид. наук. Харків, 2008. URL: <https://dspace.univd.edu.ua/bitstreams/92c9a5d1-2ba5-4c59-b33a-f9b010bc66ca/download>
4. Вакуленко К. Є. Конспект лекцій із дисципліни «Екологічні характеристики міст» для студентів 1 курсу денної та заочної форм навчання за спеціальністю 275—Транспортні технології. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. URL: http://eprints.kname.edu.ua/50936/1/2017%20135Л_Конспект%20лекцій_EXM.pdf
5. Внукова Н. В., Ханейчук К. М. Аналіз екологічних ризиків та мінімізація впливу агропромислового сектору на ґрунтові екосистеми. Харків, 2021. URL: <https://api.dspace.khadi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/6bced1e4-5db1-4a18-b64e-2800dbc74ce4/content>
6. Герасимов О. І., Ільїна А. О. 183 «Технології захисту навколишнього середовища». Одеса, 2018. URL: <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/12607/1/СиллабусТЗНСІнженерні%20основи%20систем%20захисту%20навколишнього%20середовища.pdf>
7. Головня М. Д. Удосконалення конструкції роликового стенду для перевірки гальмівних систем. Харків, 2023. URL: <https://dspace.khadi.kharkov.ua/items/540a43f4-1a52-4a44-aecd-6191de3a1620>

8. Голуб Л. С. Інноваційні підходи до створення полімерних матеріалів з використанням відходів харчової промисловості. URL: <http://www.baltijapublishing.lv/omp/index.php/bp/catalog/download/268/7405/15402-1?inline=1>
9. Дехтяренко В. С. Проект ділянки ремонтного цеху для відновлення гальмівного циліндра автомобіля DAF XF 105 з дослідженням зниження інтенсивності водневого зношування фрикційних пар гальмівних механізмів автомобілів : магістерська робота. Тернопіль : ТНТУ, 2023. URL: <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/43515>
10. Добровольський О. Л., Кукурудзяк П. Д. Вплив продуктів зношення шин на навколишнє середовище та людину. Підвищення надійності машин і обладнання. 2013. С. 181. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/server/api/core/bitstreams/19583bac-e83f-47c2-b70c-87709e0e8aee/content#page=92>
11. Ємець О., Мельничук О. Вплив автомобільного транспорту на навколишнє середовище. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. 2009. С. 296-300. URL: <http://masters.donntu.ru/2014/igg/tygranian/library/article5.pdf>
12. Колесніков В. О. Шляхи підвищення та подовження зносостійкості шин. Старобільськ, 2021. URL: <https://dspace.luguniv.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/8635/1/235.5.%20Kolesnikov%20V.O..pdf>
13. Кравченко О. П. та ін. Аналіз моделей розрахунку показників довговічності, зносу і ресурсу пневматичних шин вантажних автомобілів. Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. 2011. № 25. С. 92-95. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-modeley-rozrahunku-pokaznikov-dovgovichnosti-znosu-i-resursu-pnevmatichnih-shin-vantazhnih-avtomobiliv>
14. Кузьмін В. О. Аналіз конструкцій гальмівних систем. Харків. URL: <https://af.khadi.kharkov.ua/fileadmin/F->

AUTOMOBILE/Технічної_експлуатації_та_сервісу_автомобілей/Student_science/2021/TESA_Kuzmin_2021.pdf

- 15.Лямцев О. В. Організаційно-економічний інструментарій управління екологобалансованим розвитком автотранспортного комплексу : дис. ... канд. екон. наук. Суми, 2012. URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/29388>
- 16.Мазін С. П., Маренко Г. М., Страшний І. Л. Пропозиції з удосконалення конструкції приводу робочих гальмівних систем автобронетанкової техніки. Наукові нотатки. 2019. № 65. С. 148-152.
- 17.Печений В. Л. Технології забезпечення екологічної безпеки золошлаковідвалів за допомогою дистанційного моніторингу : дис. ... д-ра техн. наук. Вінниця : ВНТУ, 2024. URL: https://ida.vntu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/08/dis_pechenyi.pdf
- 18.Рабош І. Проблеми екологічної безпеки автотранспортного комплексу. Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки. 2018. С. 225-229. URL: <https://confopcbproc.iee.kpi.ua/article/view/144012/141929>
- 19.Рабош І. О. Підвищення екологічної безпеки і моніторинг впливу об'єктів автотранспортної інфраструктури на довкілля : дис. ... канд. техн. наук. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstreams/dba3da6a-4cc4-45ca-8d31-6866a08df95c/download>
- 20.Равлюк В. Г. Аналіз негативних наслідків від ненормативної взаємодії гальмівних колодок з колісними парами у вантажних вагонах. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. 2016. № 49. С. 119-123. URL: <http://mtsc.khpi.edu.ua/article/view/95299>
- 21.Разумова А. О. Дослідження екологічних ризиків під час експлуатації автомобільних доріг. Харків, 2020. URL: <https://dspace.library.khai.edu/xmlui/bitstream/handle/123456789/846/Razumova.pdf?sequence=1>

- 22.Ребров О. Ю. та ін. Технічні показники розвитку інноваційних технологій матеріалів для виробництва високоеластичних тракторних шин : дис. ... канд. техн. наук. Харків : НТУ «ХПІ», 2022. URL: <https://repository.kpi.kharkov.ua/bitstreams/72d5f5c1-11af-4728-a2c8-f203aa624fb5/download>
- 23.Roman K., Lutsiv A. Дослідження впливу експлуатаційних чинників на ефективність гальмівної системи автомобіля. Сучасні тенденції розвитку освіти й науки: проблеми та перспективи. 2019. С. 265. URL: https://new.meduniv.lviv.ua/uploads/repository/kaf/kaf_armymed/05.Видавнича_діяльність/Zbirnyk-4-2.pdf#page=268
- 24.Ротарь М. С. Вплив транспорту на навколишнє середовище. 2023. URL: https://repository.mu.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/3941/1/Ротарь_диплом.pdf
- 25.Сакно О. П. Моделювання динамічної складової навантаження шин вантажних автомобілів та її вплив на розрахунок інтенсивності зношування. Вісник ЖДТУ. Серія "Технічні науки". 2012. № 2.3(62). С. 169-176. URL: <http://vtn.ztu.edu.ua/article/view/49092>
- 26.Свічинський С. В., Свічинська О. В. Аналіз впливу рухомого складу пасажирського автотранспорту України на довкілля. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2023. № 100. С. 128-128. URL: <http://bulletin.khadi.kharkov.ua/article/view/278170>
- 27.Скурихін І. Л. та ін. Удосконалення гальмівних систем тролейбусів, які знаходяться в експлуатації. Коммунальное хозяйство городов. № 72. С. 234-239. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/11313531.pdf>
- 28.Якимчук А. Ю. Державний екологічний моніторинг у системі збереження біорізноманіття України. Інвестиції: практика та досвід. 2014. № 6. С. 144-148. URL: <http://www.investplan.com.ua/?op=1&z=3503&i=27>