МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

01.08 – ДП.2223 «С» 2023.12.07.62 ПЗ

Гуд Вадим Володимирович

2024

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

01.08 – ДП.2223 «С» 2023.12.07.62 ПЗ

Гуд Вадим Володимирович

2024

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСТИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко – технологічний факультет

УДК 656.13:502.175

ПОГОДЖЕНО	**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**
Декан факультету (Директор ННІ)	**Завідувач кафедри**
механіко – технологічний факультет	**тракторів і автомобілів**
(назва факультету (ННІ))	**(назва кафедри)**
_____ Братішко В.В.	**_____ Калінін Є.І.**
(підпис) (ПІБ)	**(підпис) (ПІБ)**
"___" _____ 2024 р.	**"___" _____ 2024 р.**

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Підвищення якості оцінки комплексної екологічної безпеки автотранспортних засобів»

Спеціальність 208 «Агроінженерія»
(код і назва)

Освітня програма Агроінженерія
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

д.т.н., професор _____ Братішко В.В.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Керівник дипломного проєкту магістра

к.т.н., доцент _____ Павленко М.Ю.
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис) (ПІБ)

Виконав _____ Гуд Вадим Володимирович
(підпис) (ПІБ)

КИЇВ – 2024

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСТИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Тракторів і автомобілів
д.т.н., проф. _____ **Калінін Є.І.**
(наук. ступ., вч. звання) (підпис) (ПІБ)
«_____» _____2024 р.

З А В Д А Н Н Я

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи студенту
Гуд Вадим Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 208 «Агроінженерія»
(код і назва)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи на тему «Підвищення якості оцінки комплексної екологічної безпеки автотранспортних засобів»
затверджена наказом ректора НУБіП України від «07» грудня 2023р. №2223 «С»

Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру: 01.10.2024
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: конструкції сучасних вихлопних систем; основні джерела та методи визначення сумарних викидів шкідливих речовин та твердих частинок; визначення викидів шкідливих речовин та твердих частинок від систем автомобілів, автобусів, вантажівок, тролейбусів при їх експлуатації; визначення сумарних викидів шкідливих речовин та твердих частинок з відпрацьованими газами легкових автомобілів

Перелік питань які потрібно розробити
Огляд на аналіз сучасного стану досліджень та робіт зі зниження викидів шкідливих речовин та твердих частинок, що забруднюють атмосферне повітря. Аналіз заходів щодо зменшення забруднення повітря відпрацьованими газами під час експлуатації автотранспорту. Розрахунок загальних викидів шкідливих речовин внаслідок зносу дорожнього покриття. Теоретичний аналіз для порівняльної оцінки викидів шкідливих та твердих частинок під час руху транспортного засобу в міських умовах. Експериментальне дослідження дисперсії твердих частинок і викидів транспортних засобів під час різних режимів водіння в міських умовах. Висновки.

Перелік графічного матеріалу: Аналіз досліджень за темою роботи. Мета та завдання досліджень. Теоретичні дослідження та аналітичні моделі. Експериментальні дослідження. Висновки.

Дата видачі завдання «14» лютого 2023 р.

Керівник дипломного проєкту магістра _____ Павленко М.Ю.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____ Гуд В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Основна частина дипломного проекту викладена на 59 сторінках пояснювальної записки і 13 слайдах презентації та ілюстрована 11 рисунками.

Пояснювальна записка складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаної літератури.

Тема дипломного проекту: «Підвищення якості оцінки комплексної екологічної безпеки автотранспортних засобів».

Об’єктом дослідження є дослідження викидів забруднюючих речовин і твердих частинок.

Предметом досліджень є проведення аналізу проведених робіт з дослідження викидів забруднюючих речовин і твердих частинок від різних вузлів, агрегатів і систем транспортних засобів міського транспорту.

Метою роботи є теоретичне та експериментальне дослідження викидів забруднюючих речовин і частинок розміром менше 10 мікрометрів (мкм) при різних видах руху транспортних засобів в міських умовах.

У кваліфікаційній роботі розроблені методи розрахунку для визначення валових викидів забруднюючих речовин і частинок, крім вихлопних газів, порівняно з нормативними вимогами Міжнародних правил ООН. Розроблені методики експериментальних досліджень викидів твердих частинок розміром менше 10 мкм і їх розсіювання в умовах міського автотранспорту. Удосконалений набір математичних розрахунків викидів забруднюючих речовин та твердих частинок, розроблений на основі аналізу для оцінки сумарного забруднення атмосферного повітря міст, дав змогу окремо визначити існуючі валові викиди забруднюючих речовин та твердих частинок від роботи транспортних засобів з вихлопними газами та від зносу гальмівних систем і шин, а також від зносу дороги.

Ключові слова: викиди, паливо, стандарти, екологічність, шини.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД НА АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА РОБІТ ЗІ ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН ТА ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК, ЩО ЗАБРУДНЮЮТЬ АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ……7

1.1. Аналіз заходів щодо зменшення забруднення повітря відпрацьованими газами під час експлуатації автотранспорту……7

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕОРЕТИЧНИХ АСПЕКТІВ ТА РОЗРОБКА МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ДЛЯ ПОРІВНЯЛЬНОЇ ОЦІНКИ ВИКИДІВ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК АВТОТРАНСПОРТОМ У МІСЬКОМУ СЕРЕДОВИЩІ……..16

2.1. Основні джерела та методи визначення підсумків небезпечних викидів та твердих частинок……16

2.2. Розуміння загальної кількості шкідливих речовин і твердих частинок, що викидаються з вихлопних газів різних транспортних засобів…….20

2.3. Оцінка загальних викидів шкідливих речовин в міське повітря внаслідок зносу шин……21

2.4. Аналіз загальних викидів шкідливих речовин при зношуванні гальмівного механізму……24

2.5. Розрахунок загальних викидів шкідливих речовин внаслідок зносу дорожнього покриття……26

РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ДЛЯ ПОРІВНЯЛЬНОЇ ОЦІНКИ ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ ТА ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК ПІД ЧАС РУХУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ В МІСЬКИХ УМОВАХ…….29

3.1. Дослідження викидів шкідливих речовин і твердих частинок, що утворюються під час роботи систем автомобіля……29

3.2. Викиди твердих частинок, спричинені зносом шин і гальм автомобіля……34

РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИСПЕРСІЇ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК І ВИКИДІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПІД ЧАС РІЗНИХ РЕЖИМІВ ВОДІННЯ В МІСЬКИХ УМОВАХ……..43

4.1. Обладнання для проведення науково-дослідних робіт та умови для проведення експериментальних випробувань……44

ВИСНОВКИ……55

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ…….58

Розділ 1. Огляд на аналіз сучасного стану досліджень та робіт зі зниження викидів шкідливих речовин та твердих частинок, що забруднюють атмосферне повітря

1.1. Аналіз заходів щодо зменшення забруднення повітря відпрацьованими газами під час експлуатації автотранспорту

Проблема забруднення повітря залишається однією з найактуальніших екологічних і соціальних проблем сучасності. Джерела забруднювачів, такі як оксиди азоту, вуглекислий газ і тверді частки (PM), мають значний вплив на навколишнє середовище та здоров'я людини. Транспорт є найбільшим джерелом викидів у міському середовищі, спричиняючи понад 60% загальної кількості забруднюючих речовин. Дослідження у сфері скорочення викидів зосереджені на розробці нових технологій, зміні практики транспортування та впровадженні альтернативних джерел енергії. Метою цього аналізу є узагальнення поточних результатів досліджень і прогресу у зменшенні викидів забруднюючих речовин і твердих частинок.

Основні джерела забруднення повітря поділяють на антропогенні та природні. Найбільший вплив походить від антропогенних джерел, таких як транспорт, промислове виробництво, будівництво та сільське господарство. Спалювання палива в двигунах внутрішнього згоряння створює велику кількість шкідливих викидів, таких як оксид вуглецю (CO), вуглекислий газ (CO_2), оксиди азоту (NO_x), вуглеводні та тверді частинки (PM10).

Одним із найефективніших способів зниження викидів є вдосконалення конструкції двигунів внутрішнього згоряння. Сучасні дослідження зосереджені на оптимізації процесу згоряння палива і тим самим на зниженні виробництва шкідливих речовин. Ключовим компонентом є каталітична система нейтралізації вихлопних газів, яка може розщеплювати небезпечні елементи на менш небезпечні сполуки.

Технологія рециркуляції вихлопних газів (EGR) також була представлена для зменшення викидів оксидів азоту. Розробка та впровадження таких систем, як SCR (селективне каталітичне відновлення), значно сприяє зменшенню викидів забруднюючих речовин, але вимагає постійного моніторингу та правильної експлуатації.[1]

Перейшовши на електрокар, можна взагалі уникнути викидів вихлопних газів. Електромобілі вирішують проблеми забруднення на рівні міста, але вони також спричиняють непрямі викиди під час виробництва енергії. Зараз для важкого транспорту та авіації розробляються альтернативні види палива, такі як біопаливо та водневі паливні елементи, які можуть зменшити викиди забруднюючих речовин під час транспортних операцій.

Гібридні транспортні засоби, які поєднують двигун внутрішнього згоряння та електричний двигун, можуть зменшити викиди в міських умовах, особливо на повільних, і виходять на ринок. Останніми роками гібридна технологія стає все більш популярною та зменшує споживання палива, а отже, і викиди.

Сучасні дослідження показують, що значна частка твердих частинок спричинена зносом і зносом доріг. Щоб зменшити ці викиди, збільшується кількість стійких до шин матеріалів і бордюрів, а також спеціальних елементів для дорожніх покриттів.

Особлива увага приділяється експериментальним дослідженням, які з'ясовують зв'язок між обсягом руху та викидами конкретного матеріалу. Наприклад, часта їзда на низьких швидкостях викликає певні викиди, а не плавне водіння. Поліпшенню якості повітря сприятиме також запровадження екологічних зон, у яких дозволений лише транспорт із низьким рівнем викидів.

Тверді частки є серйозною проблемою, оскільки вони можуть проникати глибоко в легені та накопичуватися в організмі, викликаючи респіраторні та серцево-судинні захворювання. Крім того, тверді частинки виступають переносниками токсинів і тим самим підвищують їх ефективність. За даними

Всесвітньої організації охорони здоров’я, забруднення повітря твердими частинками є найпоширенішою причиною передчасної смерті.

Середовище міст наповнене вихлопними газами під час експлуатації автомобіля. У минулому столітті транспортні засоби з двигунами внутрішнього згоряння були основним джерелом різноманітних вихлопних газів і хімічних сполук що, прямо або опосередковано вплинули на екологічне середовище міст і громад.

Особливу увагу слід звернути на найнебезпечніші поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ): бенз-α-пірен та інші ПАВ, які мають канцерогенний вплив. ПАВ поступово накопичуються в організмі людини до критичної концентрації та сприяє утворенню злоякісних пухлин.

Тверді частинки виникають від неякісного процесу згоряння палива і різних аерозольних масел, а також продукти зносу від рухомих частин двигуна та автомобіля. Тверді частинки розміром 0,2 до 5,0 мкм залишаються в легенях і спричиняють шкідливий вплив на дихальну систему.

З середини минулого століття спочатку в США, а потім у Європі стали розвиватись стандарти викидів забруднюючих речовин від автомобільних вихлопних газів.

До 1992 року стандартизація викидів твердих частинок була вимірюванням димності вихлопних газів дизельного двигуна відповідно Міжнародних правил Організації Об’єднаних Націй. [3-5] У 1992 році Правила ООН запровадили нормативні вимоги щодо визначення викидів твердих частинок від дизельних автомобілів, а з 2009 року в Правилах ООН для бензинових двигунів.

Уся робота, проведена з 1990 року по сьогоднішній день щодо скорочення викидів, досягла значного прогресу в викидах легкових автомобілів, і все ще існують серйозні проблеми щодо подальшого скорочення викидів від автобусів і вантажівок відповідно до критерію уникнення екологічної шкоди в грошовому вираженні.

Варто відзначити особливий успіх виробників шин, які за останні 30-40 років зосередили свої зусилля на збільшенні пробігу своїх шин і досягли значних результатів.

Зараз йде гонка за збільшенням пробігу, і це помітно в рекламних матеріалах виробників шин по всьому світу.

Компанія «Bridgestone» стверджує, що досягла успіху в збільшенні пробігу своїх шин шляхом зміни їх конструкції (каркас, плечова зона, малюнок протектора та різні склади сумішей). І це пояснюється більш детально: «Більш плоский профіль протектора сприяє утворенню більшої площі контакту та більш рівномірному розподілу тиску в ньому, таким чином покращуючи зчеплення на сухих поверхнях і зменшуючи нерівності. Плечева зона переходить у боковину майже під прямим кутом, а таке конструктивне рішення дозволяє підвищити стійкість до динамічних деформацій, що виникають під час руху, тим самим роблячи шину нерівною, захищаючи від значного зносу та збільшуючи пробіг. Нова чутлива гумова суміш була розроблена та застосована для забезпечення надійного зчеплення шин з дорожнім покриттям. Крім того, нова форма шини та використання силікатної гумової суміші додатково покращують пробіг».

Інша компанія «Michelin» представила на ринку інноваційну «зелену» шину. Ця шина містить силікон як один із компонентів гумової суміші, який завдяки низькому опору коченню сприяє зниженню витрати палива автомобіля.

Сучасні виробники шин пов’язують збільшення пробігу шин із зменшенням впливу на навколишнє середовище через зниження витрати палива на 2-4%. Зменшує викиди шкідливих речовин і парникових газів (CO_2 з вихлопу двигуна). Таким чином, збільшення пробігу шини пояснюється і гарантується зниженням коефіцієнта опору коченню - $C_г$.

Сучасні шини виготовляються зі складної комбінації каучуків, але точний склад шинних матеріалів зазвичай не розголошується ринку, щоб

зберегти комерційну таємницю кожного виробника. У роботі наведено наступний склад шин для легкових автомобілів: бутадієновий каучук – 75%, натуральний каучук – 15% і полібутадієн – 10%. Види зносу шин та частота їх прояву в експлуатації у % (рис. 1.1).

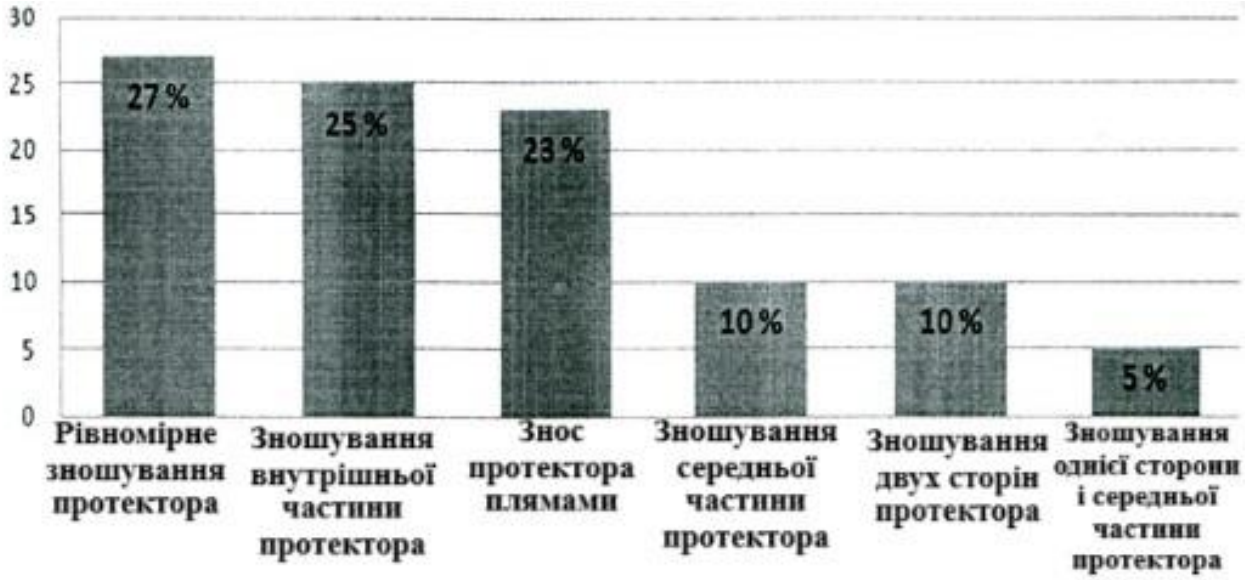

Рис. 1.1. Види зносу шин і частота їх прояву в експлуатації

Таким чином, настільки ж ефективний спосіб зменшити викиди твердих частинок внаслідок зносу шин - це підвищити рівень експлуатації транспортних засобів.

Зношування дорожнього покриття при контакті з шинами є складним процесом. На практиці знос дорожнього покриття в основному визначається емпіричним шляхом.

На рисунку показано зміну кількості викинутих частинок $ТЧ_{10}$ залежно від типу дорожнього покриття. 1.2.

Наведені в роботі матеріали засновані на вітчизняних та закордонних дослідженнях і зарубіжних реального водіння на дорогах значно перевершують їх через відсутність належної уваги до підготовки обслуговування, якість і стан дорожнього покриття.

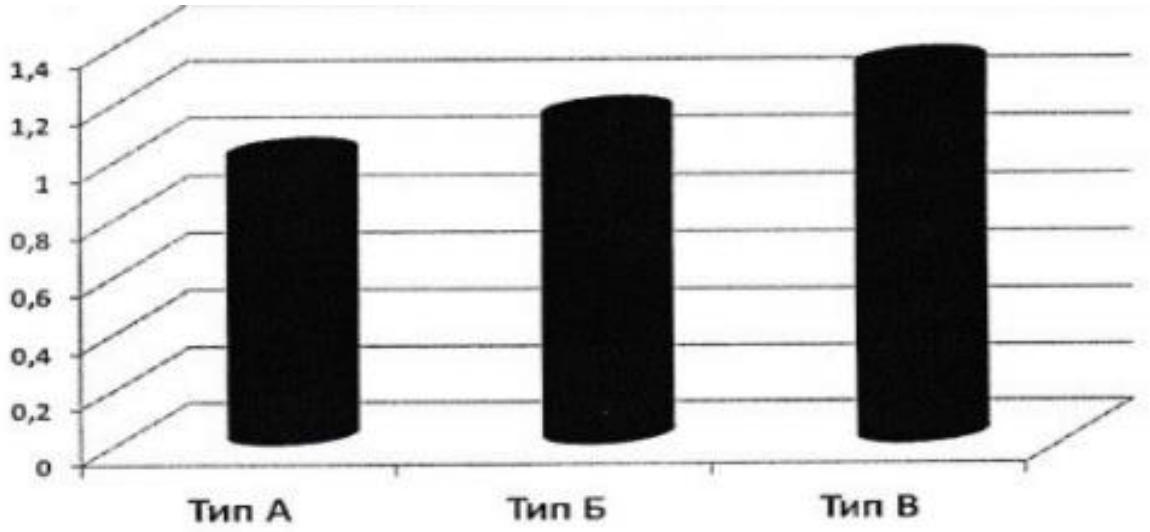

Рис. 1.2. Залежність типу дорожнього покриття від викидів дисперсних частинок

Тип А - характеризується вмістом щебеню в асфальтобетоні >50% і більше

Тип Б - характеризується вмістом щебеню в асфальтобетоні 40-50%.

Тип Б - характеризується вмістом щебеню в асфальтобетоні менше <40%.

Інше дослідження, яке варто відзначити, полягає в тому, що фізичне дослідження розміру та форми частинок шин і дорожнього зносу було виконано за допомогою скануючої електронної мікроскопії, в якій представлено дослідження «фізичних і хімічних властивостей частинок, зібраних і отриманих на дорогах». У лабораторії частинки мали витягнуту форму, типову для частинок зносу шин, але частинки, зібрані на дорозі, були в середньому меншими [6-10].

Крім того, це дослідження аналізує майже всі узагальнені дослідження і надає витяги щодо широкого розподілу розмірів від 5 мкм до понад 300 мкм (Cadle і Williame, Damnis)

Автори статей далі заявили, що «декілька досліджень оцінили потенціал повітряних частинок шин, які вдихають люди, спричиняти токсичне ураження легень і становити ризик для здоров’я людини. Також зазначено: «До цього

часу частки зносу шин не могли бути ефективно зібрані за типових умов водіння (на дорозі та в лабораторії)».

Особливо слід відзначити дослідження хімічних результатів аналізу частинок на вміст поліциклічних ароматичних вуглеводнів, серед яких є і канцерогені речовини, які викликають захворювання раком. (табл. 1.1).

Таблиця 1.1. Аналіз вмісту поліциклічних ароматичних вуглеводнів

Хімічна речовина	**Дорожні частинки**	**Частинки від зносу шин**	**Частинки протекторів**
Аценафтен	4,08	0,04	0,13
Нафталін	6,1	0,2	1,18
Пірен	54,84	4,77	0,06
Аценафтилен	0,14	0,15	1,24
Антрацен	7,36	0,1	0,11
Бензоантрацен	38,65	0,18	2,87
Бенз(*a*)пірен	12,51	0,28	N.D.
Бензо(*b*)флуорантен	7,4	0,37	0,92
Бензо(*g,h,i*)перилен	4,04	3,22	1,72
Бензо(*к*)флуорантен	7,4	0,02	0,92
Дібензо(*a,h*)антрацен	2,56	0,1	0,87
Флуорантен	82,13	0,98	1,62

Значення виражаються в частках на мільйон суміші частинок. Загальне значення ПАВ є сумою окремих проаналізованих ПАВ. Хоча цей список не є повним переліком ПАВ, він представляє найпоширеніші ПАВ в навколишньому середовищі, і Міжнародне агентство з дослідження раку (IARC) вважає їх канцерогенними та містить ПАВ, які можуть викликати рак.

Зазначена проблема є планом роботи для вирішення наступного завдання даної магістерської кваліфікаційної роботи [11].

1. З метою об’єктивної оцінки щодо обмеження експлуатації автомобілів з дизельними двигунами в містах Європи було проведено порівняльний аналіз

викидів особливо небезпечних твердих частинок PM_{10} від вихлопних газів, зносу шин та зносу доріг

2. Дослідити вплив різних режимів роботи автомобіля на викиди твердих частинок від зносу шин і доріг.

3. Щоб провести об’єктивне дослідження, розробити метод випробування автомобіля для вимірювання викидів PM_{10} від шин і зносу доріг і визначити:

a) Залежно від методу та місця відбору проб PM_{10} з шин і дорожніх покриттів.

b) Щодо процедур відбору зразків на дорогах у міських дорожніх ситуаціях.

c) Виберіть місця відбору проб на транспортному засобі залежно від типу приводу та типу протектора шини.

4. За результатами досліджень дати рекомендації та запропонувати методи зниження викидів ТЧ від зносу шин і доріг в атмосферу.

Розділ 2. Аналіз теоретичних аспектів та розробка методики розрахунку для порівняльної оцінки викидів твердих частинок автотранспортом у міському середовищі.

2.1. Основні джерела та методи визначення підсумків небезпечних викидів та твердих частинок

При визначенні значень сумарних викидів шкідливих речовин і твердих частинок ми використовували результати матеріалу, наведеного в розділі 1, за результатами міжнародних досліджень забруднення атмосферного повітря міст під час роботи автомобільного транспорту.

Аналіз викидів твердих частинок (PM) від транспортних засобів у міському середовищі є важливою областю досліджень, оскільки забруднення повітря у великих містах негативно впливає на здоров'я жителів і стан доріг. Деякі речовини, що утворюються під час роботи двигуна автомобіля, шин, гальм і дорожнього покриття, можуть потрапляти в легені та накопичуватися в організмі, що може призвести до ряду серйозних захворювань дихальної та серцево-судинної систем [12-15]. Оскільки міські транспортні засоби являють собою велике джерело викидів твердих частинок, розробка методів оцінки та контролю цих викидів є предметом поточних досліджень.

Основними джерелами твердих частинок є вихлопні гази автомобілів, двигунів внутрішнього згоряння, вихлопних систем, знос шин і доріг. Дрібні частинки розміром від 2,5 до 10 мікрометрів (PM2,5 і PM10) мають особливе значення. На відміну від більших частинок, вони можуть залишатися в повітрі, в легенях та інших органах людини довше. Джерела конкретних матеріалів можна класифікувати наступним чином:

Вихлопні гази: певні речовини, що утворюються під час спалювання палива в двигуні. Рівень вихлопу залежить від якості палива, стану двигуна та роботи вихлопної системи.

Знос шин і гальм: коли ви керуєте автомобілем, шипи та колодки шин поступово зношуються та викидають частинки в повітря.

Дорожнє покриття: коли транспортні засоби рухаються на високих швидкостях, на поверхні дороги відбувається механічний знос, у результаті чого дрібні частинки асфальту та інших матеріалів на поверхні дороги потрапляють у повітря.

Було розроблено різні методи оцінки викидів твердих частинок, які змінюються залежно від джерела, умов викидів і характеристик транспортного потоку. Найважливіші підходи:

Ці методи включають проведення експериментів із використанням спеціалізованого обладнання для збору та аналізу конкретних матеріалів безпосередньо з ключових бізнес-сфер. Портативні прилади PM, такі як оптичні лазерні лічильники, можуть аналізувати концентрацію та розподіл частинок за розміром певних матеріалів у реальному часі. Незважаючи на високу точність, цей метод дорогий і потребує значних часових і технічних зусиль.

У цих моделях використовуються емпіричні та напівемпіричні формули для розрахунку значень викидів для конкретного матеріалу. Добре відомим підходом є моделювання, яке фіксує викиди на основі даних про транспортні потоки, характеристик транспортного засобу, інтенсивності руху, типу дорожнього покриття та інших параметрів. Такі популярні моделі, як COPERT і MOBILE, оцінюють викиди в міських умовах і використовують ці дані для порівняльних розрахунків.

Математичні моделі, засновані на методах чисельного моделювання, можна використовувати для прогнозування концентрації частинок залежно від різних параметрів, таких як швидкість і обсяг руху, тип палива та кліматичні умови. Ці моделі містять рівняння для транспортування та розподілу твердих частинок у повітрі, що дозволяє їм описувати динаміку твердих частинок у міському середовищі.

Дослідження показують, що на викиди твердих частинок впливає багато факторів. включають:

Поведінка на дорозі: викиди частинок вищі під час раптового прискорення та гальмування, коли гальмівні колодки та шини зношуються.

Тип палива та якість двигуна: в середньому дизельні двигуни виробляють більше твердих частинок, ніж бензинові. Викиди також залежать від технічного стану двигуна та вихлопної системи.

Кліматичні умови: температура та вологість впливають на розподіл та осідання дрібного пилу в атмосфері. У сухих умовах частки можуть залишатися у зваженому стані протягом тривалого часу, що призводить до високого рівня забруднення.

Рух: чим більше транспорту на певній ділянці дороги, тим більше буде викидів дрібного пилу.

Для зменшення викидів твердих частинок транспортними засобами в містах використовуються різні технічні та організаційні методи.

Технологічні вдосконалення: вдосконалення двигуна та розробка нових фільтрів і вихлопних систем допомагають зменшити викиди твердих частинок, що викидаються в атмосферу. Також активно проводяться дослідження нових матеріалів для гальмівних колодок і шин для зменшення зносу.

Екологічні зони та обмеження руху: кілька міст запровадили зони, які обмежують або повністю забороняють рух транспортних засобів із високим рівнем викидів. Це допомагає зменшити забруднення повітря в більш густонаселених районах.

Розширення громадського транспорту: підвищення доступності та зручності громадського транспорту зменшує тиск на дорожню мережу, що, у свою чергу, призводить до зменшення викидів твердих частинок.

У зв’язку з проблемою забруднення повітря в містах викидами шкідливих речовин (ШР) від дорожнього руху, необхідно провести дослідження екологічної безпеки конструкції транспортних засобів, виміряти

кількість шкідливих викидів від кожного джерела та провести порівняльну оцінку.

На основі аналізу обчислювальних та експериментальних досліджень, наведених у Розділі 1, було зроблено комплексну оцінку залежно від основних джерел шкідливих речовин, що викидаються в міське повітряне середовище під час керування автотранспортом, і зв'язані з комплексною оцінкою екологічної небезпеки автотранспорту, які наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Види екологічної небезпеки при експлуатації автомобілів

Викиди ШР з відпрацьованими газами	Викиди ШР від зношування шин	Викиди ШР від зношування гальмівних механізмів	Викиди ШР від зношування дорожнього покриття

Інші джерела небезпечних викидів автомобільних деталей, компонентів і витратних матеріалів не мають такого ж впливу на якість повітря.

Загальну кількість шкідливих речовин, що викидаються з різних джерел під час роботи автомобіля (М ШР), можна розрахувати за допомогою рівняння по формулі 2.1.

$$M\ \ ШР = \sum \left(ШР_{дв} + ШР_{шин} + ШР_{гальм} + ШР_{дор} \right), \text{(кг)} \qquad (2.1)$$

де: $ШР_{дв}$ – маса шкідливих речовин, що виділяються з вихлопними газами двигуна.

$ШР_{шин}$ - це маса небезпечних речовин, що вивільняються, коли протектор шини зношується.

$ШР_{гальм}$ - маса шкідливих речовин, що виділяються при зносі гальмівного механізму.

$ШР_{дор}$ - це маси небезпечних речовин, які виділяються під час зносу дорожніх покриттів.

2.2. Розуміння загальної кількості шкідливих речовин і твердих частинок, що викидаються з вихлопних газів різних транспортних засобів

Обмеження на викиди шкідливих речовин із вихлопних газів легкових автомобілів поступово впроваджувалися з 1980-х років минулого століття згідно з Міжнародними правилами ООН № 15, а зараз регулюються Правилами ООН № 83.

Масу шкідливих речовин, що виділяються з вихлопних газів легкового автомобіля, М $ШР_{дв}$, можна розрахувати за рівнянням (2.2) відповідно до стандартів, прийнятих у Правилах ООН № 83 для розробки нових автомобілів і виробництва існуючі моделі.

$$M\ ШР_{дв} = Пл \times \left(H_q^{CO} + H_q^{CH} + H_q^{NO_x} + H_q^{PH} \right), \text{ кг} \qquad (2.2)$$

де *М ШР* – маса шкідливих речовин, що викидаються двигуном з вихлопними газами.

Пл – середньорічний пробіг легкових автомобілів (визнаний як середньостатистичний) = 30 000 км.

Hq – допустимі норми викидів шкідливих речовин (CO, CH, NO_x, PM) міжнародними правилами ООН в г/км.

Розрахувати загальну кількість викидів М ШР, від дизеля та вантажівок, обладнаних дизельними двигунами, використовуючи рівняння (2.3).

$$M\ ШР_{диз} = 0{,}73549875 \times 200 \times Нг \times 300 \times 8, \text{ (кг)} \qquad (2.3)$$

де $М\ ШР_{диз}$ - маса валових викидів з відпрацьованими газами вантажних автомобілів з дизельним двигуном;

0,73549875 - коефіцієнт переведення з кВт в к.с.;

200 - прийнята потужність дизельного двигуна в к.с. під час руху усередненого вантажного автомобіля масою 15 т зі швидкістю 60 км/год;

Нг - допустима норма викидів ШР у г/квт.ч;

300 - кількість робочих днів на рік;

8 - Кількість робочих годин на день.

2.3. Оцінка загальних викидів шкідливих речовин в міське повітря внаслідок зносу шин

Знос протектора шини - це складний фізико-хімічний процес, спричинений енергією тертя, що утворюється на контакті протектора з дорогою. Тому частинки шини та зносу дороги тісно пов'язані одна з одною. Однак наше дослідження. Таким чином, при визначенні викидів знос шини та знос доріг слід ідентифікувати як два окремих джерела викидів частинок». Причина полягає в тому, що недостатньо експериментальних даних (за кордоном і всередині країни) щодо шкідливих викидів, особливо твердих частинок, у різних комбінаціях «тип шини та тип дорожнього покриття.

Зважені частинки утворюються в результаті взаємодії шин транспортного засобу з дорожнім покриттям, особливо під час сильного прискорення з місця або коли застосовується екстрене гальмування для зниження швидкості автомобіля. В обох випадках навіть основним механізмом утворення частинок є показано в цих тестових таблицях. Сили зсуву, що виникають під час відносного переміщення поверхонь, виникають при високій температурі поверхонь, а також у результаті випаровування речовин між гальмівними колодками та дисками або барабанами.

Необхідно враховувати те, що «викиди від зносу шин і доріг у 80-х і 90-х роках минулого століття не приділяли такої уваги, як димні вихлопні гази автомобілів, і тому довгий час залишалися в тіні. в екологічній та технічній літературі з цього питання було недостатньо інформації [16]. Численні дослідження вже показали, що тверді частинки, які не утворюються в вихлопних газах, в основному від зносу шин і доріг, негативно впливають на здоров'я людей і навіть призводять до раку дихальної системи.

За даними зарубіжних дослідників, для визначення сумарного викиду шкідливих речовин внаслідок зношування шин можна використати таке рівняння:

$$M\ \ ШР = K_j \times П_j \times m_{i.j}, \text{ кг} \qquad (2.4)$$

де *М ШР* – маса шкідливих речовин, що виділяються під час руху автомобіля за певний проміжок часу, для визначення певної площі, кг

K_j – кількість транспортних засобів категорії j в окремому регіоні.

$П_j$- середня відстань, пройдена транспортними засобами категорії *j* за період часу, км.

$M_{i.j}$ – масовий коефіцієнт викидів забруднюючої речовини і та категорії транспортного засобу *j*, г/км.

I – ЗКЗЧ (загальна кількість зважених частинок), PM_{10} (тверді частинки діаметром 10 мікрометрів), $PM_{2,5}$ (тверді частинки діаметром 2,5 мікрометра);

j – категорія транспортного засобу (двоколісний, легковий, легковий або великоваговий, автобус або тролейбус).

«Це рівняння можна використовувати для оцінки шкідливих викидів за певний просторовий і часовий період шляхом вибору відповідних значень для розміру транспортного засобу та активності (відстань, яку транспортний засіб проїхав)».

Коефіцієнти викидів надаються лише відповідно до категорії транспортних засобів.

Визначимо коефіцієнти, що входять до рівняння 2.4.

K_j - кількість транспортних засобів категорії j на даній території. Для прикладу визначимо це з огляду на розвиток міської інфраструктури на основі плану розвитку м. Києва.

$$K_j = K_л + K_в + K_{ав} + K_{тр} \text{ штук, де} \qquad (2.5)$$

$K_л$ – кількість легкових автомобілів;

$K_в$ – кількість вантажних автомобілів;

$K_{ав}$ – кількість автобусів;

$K_{тр}$ – кількість тролейбусів.

Оскільки пробіг транспортних засобів залежить від стану інфраструктури міста і вважається фактично постійним, у наших розрахунках ми використовуємо середній пробіг за 2021-2022 роки.

Значення середньорічного пробігу автомобіля наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2.

Транспорт	**Середній річний пробіг транспорту, км**
Легкові	30000
Вантажні	60000
Автобуси	60000
Тролейбуси	60000

Перетворіть рівняння (2.4) у зручну форму для оцінки валових викидів (ВВ) через знос шин.

$$M\ ШР_{ш} = K_{авт} \times П_{ш}\ рік \times I_{ш}\ рік,\ т/рік, \qquad (2.6)$$

М $ШР_{ш}$ - маса шкідливих речовин, що виділяються при зношуванні протектора шини, т/рік.

$К_{авт}$ - кількість транспортних засобів: легкових, вантажних, автобусів, тролейбусів.

$П_{ш}$ рік - річний пробіг шин, км.

$I_{ш}$ рік - річний показник зносу шин, г/км.

Для шин коефіцієнт зносу розраховується за допомогою рівняння 2.7.

$$I_{ш} = \frac{H_{пр} - H_{доп}}{П_{ш}}, \qquad (2.7)$$

$I_{ш}$ - швидкість зносу шин, мм/км.

$Н_{пр}$ - висота малюнка протектора шини, мм.

$Н_{доп}$ - допустима залишкова висота малюнка протектора шини, мм;

$П_{ш}$ - відстань, яку пройшла шина до її зношення, км.

2.4. Аналіз загальних викидів шкідливих речовин при зношуванні гальмівного механізму

Сьогодні використовуються дві основні конфігурації гальмівної системи: дискові гальма та колодкові гальма.

Дискові гальма в основному використовуються на передніх колесах невеликих транспортних засобів (автомобілів і мотоциклів) і легкових транспортних засобів.

Традиційно колодкові гальма в основному використовувалися на важких транспортних засобах, але дискові гальма стали більш широко використовуватися на сучасних важких транспортних засобах [17, 18].

Щоб визначити сумарні шкідливі викиди внаслідок зносу гальмівного механізму, скористайтеся рівнянням (2.4), тому переведіть його до наступного вигляду:

$$M\ ШР_{гальм} = К_{авт} \times П \times I_{гм},\ т/рік, \tag{2.7}$$

де $M\ ШР_{гальм}$ - кількість шкідливих речовин, що виділяються при зношуванні гальмівного механізму, т/рік.

$К_{авт}$ - кількість транспортних засобів: легкових, вантажних, автобусів, тролейбусів.

$П$ - середній річний пробіг легкових автомобілів: легкові - 30 000 км/рік; вантажні автомобілі, автобуси, тролейбуси - 60 000 км/рік.

$I_{гм}$ - Інтенсивність зносу гальмівного механізму автомобіля, г/км.

Дискове гальмо.

Інтенсивність зносу накладок дискового гальма ($I_{дн}$):

$$I_{дн} = \frac{S \times (T_п - T_{пд}) \times щн}{L_{гк}},\ г/км \tag{2.9}$$

S - площа контакту гальмівної накладки і диска, см^2;

$T_п$ - початкова товщина гальмівної колодки, см.

$T_{пд}$ - мінімально допустима товщина гальмівних колодок, см;

щн - щільність безазбестових фрикційних накладок.

$L_{гк}$ – пробіг гальмівної колодки, км.

Інтенсивність зносу гальмівного диска ($I_{гд}$):

$$I_{гд} = \frac{\pi \times \left(Д_{н^2} - Д_{вн^2}\right) \times \left(T_{гд} - T_{гд}\min\right) \times пд}{4 \times П_{тд}}, \text{ г/км} \qquad (2.10)$$

$Д_н$ - діаметр гальмівного диска, см.

$Д_{вн}$ – внутрішній діаметр контакту між диском і колодкою, см.

$T_{гд}$ - товщина гальмівного диска, см;

$T_{тгд}$ - максимально допустима товщина гальмівного диска, см.

пд – щільність гальмівних дисків і барабанів із сірого чавуну - 7,2 г/см^3;

$П_{тд}$ - пробіг гальмівного диска, км.

Барабанне гальмо.

Інтенсивність зносу колодок барабанного гальма ($I_{бк}$):

$$I_{бк} = \frac{Ш_к \times Д_к \times \left(T_{бк} - T_{бк}\min\right) \times пн}{П_{бк}}, \text{ г/км} \qquad (2.11)$$

$Ш_к$ – ширина накладки гальмівної колодки, см.

$Д_к$ – довжина накладки гальмівної колодки, см.

$T_{бк}$ – номінальна товщина накладки гальмівної колодки, см.

$T_{бк}\,min$ – мінімально допустима товщина накладки гальмівної колодки,см.

Пн – щільність безазбестової фрикційної накладки;

$П_{бк}$ - Пробіг барабанної гальмівної колодки, км.

Інтенсивність зносу барабана ($I_б$):

$$I_д = \frac{\pi \times Д_{бв} \times Ш_к \times \left(Д_{бв}\max - Д_{бв}\right) \times пд}{П_д}, \text{ г/км} \qquad (2.12)$$

$Д_{бв}$ - внутрішній діаметр барабана, номінальний (dbv), мм.

$Ш_к$ - ширина накладки гальмівної колодки, см.

$Д_{бв}\ max$ - внутрішній діаметр барабана, максимально допустиме значення, см.

пд – Щільність гальмівних дисків і барабанів із сірого чавуну – 7,2 г/см^3;

$П_б$ - пробіг гальмівного барабана, км.

2.5. Розрахунок загальних викидів шкідливих речовин внаслідок зносу дорожнього покриття

Дороги міста поділяються на головні вулиці та важливі дороги по всьому місту.

При розрахунку шкідливих викидів твердих частинок від дорожнього покриття приймається:

Знос проїжджої частини визначається пропускною смугою, кількістю смуг, способами організації руху, конфігурацією транспортних засобів та інтенсивністю вуличного руху, станом дорожнього покриття.

Пропускна спроможність вулиці або дороги з регулюваним рухом – це максимальна кількість транспортних засобів, які можуть проїхати через стоп-смугу за певний проміжок часу з урахуванням умов безпеки руху [19-22].

При розрахунку зносу дорожнього покриття необхідно враховувати, що внаслідок реконструкції доріг і вдосконалення організації дорожнього транспорту рух транспорту збільшується на 10-15% за десятиліття.

Перетворимо рівняння (2.4) у зручну форму для оцінки шкідливих викидів внаслідок зносу доріг.

$$M\ ШР_{дор} = I_р \times Д \times I_{зд} \times щдп, \text{ т/рік} \quad (2.13)$$

$M\ ШР_{дор}$ – кількість шкідливих речовин, що виділяються при зносі дорожнього покриття, т/рік.

$I_р$ – рух транспортних засобів, транспортних засобів/день;

$Д$ – кількість днів використання дороги на рік.

$I_{зд}$ – інтенсивність зношування доріг транспортними засобами, г/км.

$щдп$ – щільність дорожнього покриття – 2100 кг/м^3

Зношену масу дороги (WRP) для одного кілометра шосе можна визначити за допомогою рівняння 2.14.

$$M_{дп} = Ш \times Д \times Н \times П_{дп}, \text{ г/км} \quad (2.14)$$

$M_{дп}$ – Зношена дорожня маса.

$Ш$ – ширина смуги 3,5 м.

$Д$ – Довжина ділянки, 1000 м.

$Н$ – Зношення дороги по висоті, 5,3 мм/рік.

$П_{дп}$ – Щільність дорожнього покриття, 2100 кг/м^3

У цьому випадку інтенсивність зносу дороги ($I_{зл}$) для легкового автомобіля становить:

$$I_{зл} = \frac{M_{дпл} \times 1000}{I_{рл} \times Д_н}, \text{ г/км} \quad (2.15)$$

$I_{зл}$ – Інтенсивність зносу дорожнього покриття від легкових автомобілів, г/км;

$M_{дпл}$ – маса зношеного дорожнього покриття легкового автомобіля, кг/рік.

$I_{рл}$ – добовий обсяг руху пасажирського транспорту.

$Д_н$ – кількість днів руху в рік – 365.

Інтенсивність зносу дорожнього покриття ($I_{здп}$) вантажівкою становить:

$$I_{зв} = \frac{M_{ввг} \times 1000}{I_{дг} \times Д_{н}}, \text{ г/км} \qquad (2.16)$$

$I_{зв}$ – інтенсивність зношування доріг вантажними автомобілями, г/км.

$M_{ввг}$ – маса дорожнього покриття, яку зношують вантажівки, кг/рік.

$I_{дг}$ – трафік вантажівок за день.

$Д_{н}$ – кількість днів подорожі на рік – 365.

1. Наведений вище аналіз вибору аналітичних методів для вимірювання викидів шкідливих речовин і твердих частинок окремо від вихлопних газів, зносу шин, гальмівних систем і зносу доріг дає можливість оцінити вичерпну картину викидів шкідливих речовин від транспортних засобів. До міського повітряного середовища.

2. Слід зазначити, що раніше проведені зарубіжні дослідження не показали впливу на забруднення міського повітря твердими частками при нестабільних умовах руху автотранспорту (режими розгону та гальмування).

3. Дослідження дифузії та викидів твердих частинок розміром менше 10 мікрометрів (PM_{10}) через знос шин і гальм має першочергове значення для оцінки в різних режимах водіння автомобіля.

Розділ 3. Теоретичний аналіз для порівняльної оцінки викидів шкідливих та твердих частинок під час руху транспортного засобу в міських умовах

Формули, визначені в розділі 2 і підсумовані в таблиці 3.1 для розрахунку викидів шкідливих речовин з різних систем транспортного засобу, розраховують кількість шкідливих речовин і твердих частинок від джерел викидів під час руху в міських умовах. Значення викидів можна визначити аналітично.

При проведенні розрахунків необхідно враховувати кількість автотранспорту в тому чи іншому місці підприємства.

З 2015 року "суттєво зросла загальна кількість транспортних засобів. Експерти, які займаються прогнозуванням стану автопарку, стверджують, що це зростання триватиме ще довго, аж до 2030 року.

Оскільки автомобільний парк швидко змінюється, особливо у великих містах, зараз і в осяжному майбутньому були проведені розрахунки для найбільш використовуваних автомобілів у міських умовах, а також кількості викидів шкідливих речовин і твердих частинок у містах.

3.1. Дослідження викидів шкідливих речовин і твердих частинок, що утворюються під час роботи систем автомобіля

Забруднюючі речовини та тверді частинки утворюються не лише в результаті згоряння палива, але й у результаті зносу шин, гальмівних систем, дорожніх покриттів та інших систем автомобіля. Основні джерела викидів можна класифікувати наступним чином:

Вихлопні гази двигуна внутрішнього згоряння: коли паливо згорає в двигуні транспортного засобу, виділяється велика кількість чадного газу (CO), вуглекислого газу (CO_2), вуглеводнів (HC), оксидів азоту (NO_x) і шкідливих

часток. Частинки (PM10 і PM2,5). Ці речовини потрапляють в атмосферу через вихлопну систему та негативно впливають на якість повітря.

Викиди від зносу шин: під час руху транспортного засобу його шини труться об поверхню дороги, виділяючи частинки гуми та інші речовини, зокрема забруднювачі. Ці частинки є частиною забруднення твердими частинками, які можуть потрапляти в легені та залишатися в повітрі протягом тривалого часу.

Гальмівні викиди: гальмівні колодки та гальмівні диски також зношуються під час використання та викидають у повітря метал, вуглець та інші речовини. Ці частинки часто є дуже токсичними та небезпечні для здоров’я при тривалому впливі.

Викиди внаслідок пошкодження доріг: транспортні засоби, особливо великі транспортні засоби, спричиняють прогресуюче погіршення дорожнього покриття та викидають дрібні частинки з асфальту та інших будівельних матеріалів. Ці частинки також сприяють загальному забрудненню повітря.

Враховуючи стрімке зростання пасажирського парку, бажано провести окреме розрахункове дослідження для оцінки впливу зміни складу пасажирського парку на викиди шкідливих речовин і твердих частинок в атмосферу.

Аналіз змін токсичних викидів від вихлопних газів легкових транспортних засобів проводився відповідно до стандартів Міжнародних правил. «Згідно з прогнозами, з 2015 по 2030 рр. кількість легкових автомобілів стрімко зросте. Це збільшення в порівнянні з 2015 р. відображається в таких цифрах: 2023 р. – у 2,5 рази, 2030 р. – 3,8 рази.

Однак викиди вихлопних газів від двигунів легкових автомобілів з’являться в 50% оновлених автомобілів лише в 20 році, беручи до уваги (більшість) перехід від Євро 0 до Євро 1 у 2002 році. Так, з переходом до Євро 4 у 2012 року, вони застосувались лише у 2020 році, а стандарти Євро-5, прийняті у 2017 році, впливають на викиди небезпечних речовин лише у 2030

році Таблиця 3.1 та Рисунок 3.1. Для розрахунку середній річний пробіг легкового автомобіля становить 30 тис. км (за статистичними даними про середньорічний пробіг).

Таблиця 3.1.

Рік	**Кількість легкових автомобілів, шт**	**Очікувані викиди, т на рік**			
		CO	**CH**	**NO_x**	**ТЧ**
2015 р.	1 100 100	650 480	212 050		-
2018 р.	2 650 000	305 890	110 800		-
2020 р.	3 603 000	140 050	13 500	11 058	-
2030 р.	5 823 000	85 450	17 286	10 365	890

Аналіз розрахункових даних показує, що кількість шкідливих викидів від вихлопів легкових автомобілів протягом загального періоду дослідження була значно нижчою, ніж ефективність поступового запровадження жорстких стандартів викидів до Євро 5. Таким чином, у 2015 р. зменшено шкідливі викиди CO, CH, NO_X у 2 рази. Очікується, що до 2030 року – у сім разів.

Тролейбусний парк в розглянутий період був прийнятий як постійний, оскільки міський тролейбусний транспорт більше, ніж інші види транспорту, вимагає вибору стратегії модернізації та подальшого розвитку [23]. Тролейбуси також сприяють забрудненню повітря в місті через зношеність шин, тому їх не можна виключати з розрахунку.

Міські автобуси традиційно оснащуються дизельними двигунами, які становитимуть лише 82% від загальної кількості автобусів. Викиди від двигунів вантажівок і автобусів необхідно аналізувати з урахуванням (найчастішого) переходу від Євро 0 до Євро 1 у 2002 році. Цей перехід було оновлено лише на 50% у 2014 році. Перехід до Євро 4 у 2010 році

застосовується лише з 2020 року. далі, а Євро-5 впливає на викиди лише з 2030року.

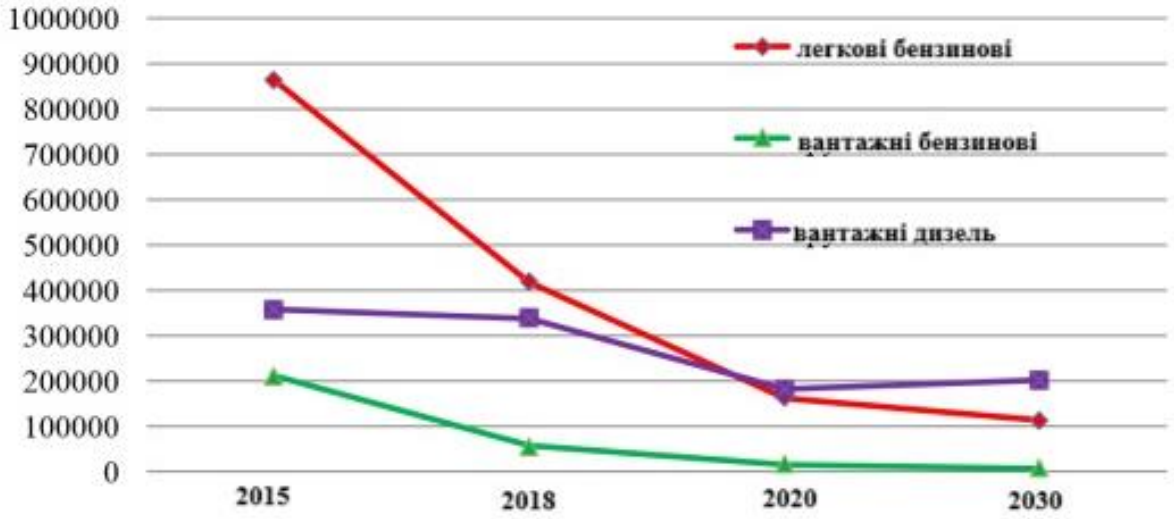

Рисунок 3.1. Викиди шкідливих речовин в тонах/рік від легкових, вантажних та автобусів

В даний час і в майбутньому (прогнозується) дизелізація вантажівок буде продовжуватися з переходом на альтернативні види палива і електростанції, але залишиться значна кількість легких вантажівок з бензиновими двигунами. Якщо в 2011 році показник становив 58,3%, то в 2021 році близько -44,0% і залишиться на рівні -31% у 2030 році. У таблиці 3.4 наведені результати розрахунку кількості шкідливих речовин, що виділяються у вихлопних газах бензинових двигунів вантажних автомобілів і автобусів в тонах.

Таблиця 3.4. Результати розрахунку кількості шкідливих речовин вантажних автомобілів

Рік	**Кількість вантажних автомобілів і автобусів з бензиновим**	**Очікувані викиди, т на рік**			
		CO	**CH**	**NO_x**	**ТЧ**

	двигуном, шт				
2015 р.	155 354	159 635	52 294		-
2018 р.	223 536	43 190	15 045		-
2020 р.	185 388	13 858	1 358	1 102	-
2030 р.	154 689	5 789	1 158	652	55

Розрахункові викиди шкідливих речовин в тонах вихлопних газів від дизельних двигунів вантажних автомобілів і автобусів наведені в таблиці 3.5.

Рік	**Кількість вантажних автомобілів і автобусів з дизельним двигуном, шт**	**Очікувані викиди, т на рік**			
		CO	**CH**	**NO_x**	**ТЧ**
2015 р.	72 356	115 603	28 255	205 512	9 248
2018 р.	173 055	92 547	28 441	215 328	1 235
2020 р.	252 830	132 156	11 627	35 778	896
2030 р.	289 985	145 144	12 968	39 774	996

Поступове застосування стандартів Євро 3, Євро 4 і Євро 5 для обмеження та скорочення викидів від двигунів вантажівок і автобусів відповідно до Правил ООН матиме позитивний вплив на покращення міського середовища. Таким чином, у 2018 р. викиди шкідливих вихлопних газів зменшилися на третину від їх викидів у 2002 р., у 2020 р. - у 7–10 разів, а у 2030 р. викиди знизяться у 10–12 разів.

3.2. Викиди твердих частинок, спричинені зносом шин і гальм автомобіля

Аналіз зміни викидів твердих частинок (ТЧ) від зносу шин проводився за розмірними показниками шин для різних автомобілів, наведених у таблиці 3.6. Допустима залишкова висота малюнка протектора:

- Легкових шин – 1,6 мм;
- Легковантажних шин – 1,6 мм;
- Вантажних шин – 1,0 мм;
- Автобусів і тролейбусів – 2,0 мм.

Оцінка загальних викидів внаслідок зносу шин розраховується за допомогою рівняння 2.6 (глава 2)

$$M\ ШР_{ш} = К_{авт} \times П_{ш} рік \times I_{ш},\ т / рік$$

Для шин коефіцієнт зносу розраховується за допомогою рівняння 2.7. (Розділ 2).

$$I_{ш} = \frac{H_{пр} - H_{доп}}{П_{ш}}$$

Проведений аналіз різних шин, дозволив визначити масу частини шин легкових автомобілів, що зношується, різного призначення. Результати аналізу наведено у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6. Результати аналізу різних шин

Тип шини	**Висота рисунку протектора, мм**	**Граничний пробіг шини до зняття по зносу протектора, км**	**Маса зношуваної частини протектора, кг**
Легкові: Дорожня Всесезонна	7,4-8,6	 30 000 30 000	 1,3-1,6 1,2-1,5

Зимня		50 000	1,1-1,4
Легковантажні Вантажні, автобуси і тролейбуси: Дорожня Універсальні	11-13 16-21 16-21	60 000 70 000 75 000	3,3-4,0 8,2-15,3 10,2-15,0

Під час руху легкового автомобіля в навколишнє середовище через знос шини виділяється в середньому до 1,5 кг, що еквівалентно 6,0 кг шинного пилу.

При цьому середній показник зносу протектора на кілометр комплекту шин легкового автомобіля становить 0,112 г/км. Вимірювання емісії твердих частинок внаслідок зносу гальмівної системи легкового автомобіля проводили з урахуванням результатів, наведених у, і розрахували середню інтенсивність зносу гальмівного механізму, яка дорівнює 0,0088 г/км. [24] Подальше обговорення має брати до уваги, що цей викид ТЧ є значно нижчим порівняно з іншими викидами ТЧ від інших компонентів і агрегатів автомобіля.

Сумарні викиди твердих частинок невихлопного походження від усього легкового автотранспорту за період 2015-2030 років наведені в таблиці 3.7.

Рік	**Кількість легкових автомобілів, шт.**	**Середній пробіг автомобіля за рік, км**	**Викиди за рік, тон**		**Загальна сума викидів ТЧ, тон**
			Від шин	Від гальм	
2015 р.	1 185 200	30 000	5 030	365	5 450
2018 р.	1 220 000	30 000	9 980	998	11 658
2020 р.	2 230 520	30 000	12 365	1 265	16 320
2030 р.	4 230 000	30 000	16 360	1 548	20 658

Графічне представлення даних, наведених у таблиці 3.5. Показано на рисунку 3.2.

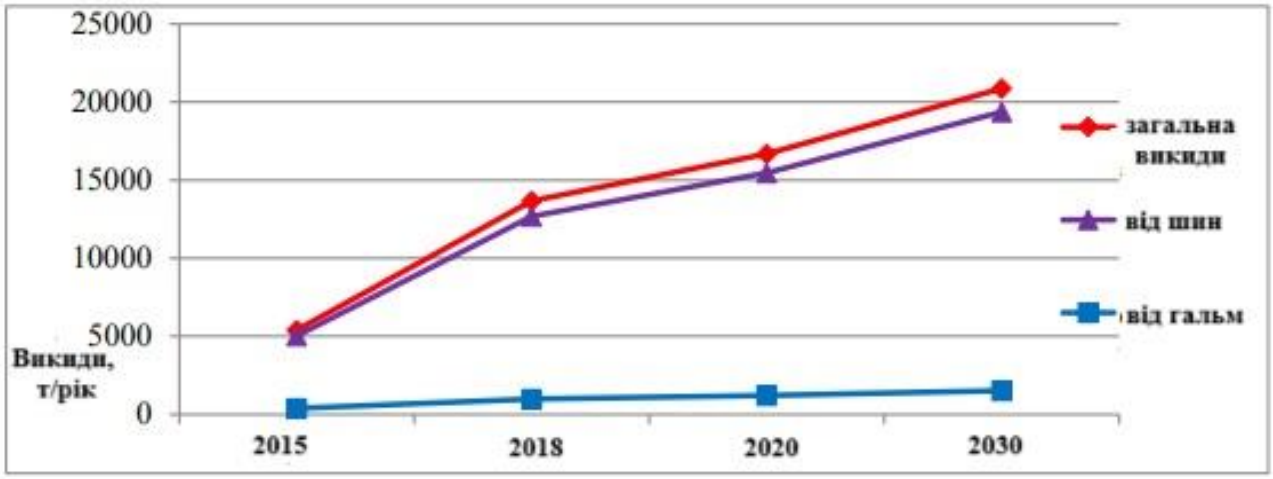

Рис. 3.2. Валові викиди твердих частинок не вихлопного походження від легкових автомобілів в період з 2015р. по 2030р.

Згідно з розрахунками, неухильне зростання кількості легкових автомобілів в місті негативно позначається і буде надавати негативний вплив на екологічний стан атмосфери міста. Річні викиди шкідливих речовин (в тонах) від шин і гальм зросли в 2,5 рази в 2018 році порівняно з 2015 роком, і очікується збільшення в чотири рази в 2030 році.

Давайте подивимося, що станеться з викидами від зносу шин вантажівок і автобусів з 2015 по 2030 рік. Аналіз шин, що використовуються на легкових, вантажних автомобілях, автобусах і тролейбусах, визначив масу зношеної частини протектора.

Тому при їзді різних вантажівок внаслідок зносу протягом терміну експлуатації шин у навколишнє середовище викидається в середньому від 3,6 кг до 13 кг для легкових автомобілів і для вантажівок, автобусів і тролейбусів до 11,0 кг на автомобіль і 88 кг на автомобіль пилу у вигляді дрібних аерозолів.

Отримані результати дозволили виміряти ступінь зносу на кілометр комплектів шин від легких вантажівок до великих транспортних засобів у діапазоні від 1,1 г/км до 7,5 г/км. Вимірювання інтенсивності зносу гальмівних

механізмів автомобілів. Вантажівки використовують різноманітні гальмівні пристрої. Їх аналіз дозволив визначити середню швидкість зносу гальмівних механізмів вантажівок.

Дискові гальма.

Швидкість зносу накладок дискового гальма ($I_{дн}$) розраховується за допомогою рівняння 2.9.

$$I_{дн} = \frac{S \times (T_п - T_{пд}) \times щн}{L_{гк}}, \text{ г/км}$$

S - площа контакту гальмівної накладки і диска, см^2;

$T_п$ - початкова товщина гальмівної колодки, см.

$T_{пд}$ - мінімально допустима товщина гальмівних колодок, см;

щн - щільність безазбестових фрикційних накладок.

$L_{гк}$ – пробіг гальмівної колодки, км.

Інтенсивність зносу гальмівного диска ($I_{гд}$) розраховується за допомогою рівняння 2.10

$$I_{гд} = \frac{\pi \times (Д_{н^2} - Д_{вн^2}) \times (T_{гд} - T_{гд}\min) \times пд}{4 \times П_{тд}}, \text{ г/км}$$

$Д_н$ - діаметр гальмівного диска, см.

$Д_{вн}$ – внутрішній діаметр контакту між диском і колодкою, см.

$T_{гд}$ - товщина гальмівного диска, см;

$T_{тгд}$ - максимально допустима товщина гальмівного диска, см.

пд – щільність гальмівних дисків і барабанів із сірого чавуну - 7,2 г/см^3;

$П_{тд}$ - пробіг гальмівного диска, км.

Барабанне гальмо.

Інтенсивність зносу колодок барабанного гальма ($I_{бк}$) розраховується за допомогою рівняння 2.11

$$I_{бк} = \frac{Ш_к \times Д_к \times (T_{бк} - T_{бк}\min) \times пн}{П_{бк}}, \text{ г/км}$$

$Ш_к$ - ширина накладки гальмівної колодки, см.

$Д_к$ - довжина накладки гальмівної колодки, см.

$Т_{бк}$ – номінальна товщина накладки гальмівної колодки, см.

$Т_{бк}\,min$ - мінімально допустима товщина накладки гальмівної колодки, см.

пн - щільність безазбестової фрикційної накладки;

$П_{бк}$ - Пробіг барабанної гальмівної колодки, км.

Інтенсивність зносу барабана ($I_б$) розраховується за допомогою рівняння 2.12

$$I_д = \frac{\pi \times Д_{бв} \times Ш_к \times \left(Д_{бв}\max - Д_{бв}\right) \times пд}{П_д}, \text{ г/км}$$

$Д_{бв}$ - внутрішній діаметр барабана, номінальний, мм.

$Ш_к$ - ширина накладки гальмівної колодки, см.

$Д_{бв}\,max$ - внутрішній діаметр барабана, максимально допустиме значення, см.

пд – Щільність гальмівних дисків і барабанів із сірого чавуну – 7,2 г/см^3;

$П_б$ - пробіг гальмівного барабана, км.

Таким чином, інтенсивність зносу гальмівного механізму вантажного автомобіля коливається від 0,243 г/км до 0,47 г/км.

Проведені розрахунки дозволили визначити сумарні викиди шкідливих речовин невихлопного походження від усіх вантажівок за період 2015-2030 рр. «Виходячи з аналізу умов експлуатації, ми вважаємо, що середній пробіг вантажних автомобілів і автобусів становить 60 тис. км

Підрахунки виявили пряму залежність кількості викидів від зносу шин і гальм залежно від кількості вантажівок і автобусів. Збільшення кількості автомобілів і автобусів призводить до значного зростання викидів. Річне значення порівняно з 2015 роком у 2018 році становитиме в 1,8 раза, у 2020 році – у 2,1 раза, у 2030 році – у 2,4 раза.

При розрахунку зносу та викидів твердих частинок з дорожнього покриття необхідно враховувати, що за рахунок реконструкції доріг та вдосконалення організації дорожнього руху інтенсивність руху

автотранспорту зростає на 10-15% за десятиліття. Це, в тому числі, впровадження інтелектуальних систем дорожнього руху та встановлення інформаційних табло про затори на дорогах, будівництво сучасних парковок замість добровільної стоянки, яку зазвичай роблять автомобілісти, і розвиток транспортної інфраструктури. Громадський транспорт та виділення спеціальних смуг для автобусів і тролейбусів на всіх магістралях. Враховуючи, що магістралі та загальноміські дороги будуються та реконструюються з розрахованою потужністю на зростання автопарку та можуть витримати навантаження у 2030 році, зміни обсягів руху автопарку будуть вважатися пропорційними зміні обсягу руху.

Річна поверхнева маса зносу одного кілометра однієї смуги магістралі, розрахована за допомогою рівняння 2.14, становить 38 955 кг/рік.

Розрахункова маса зношеного дорожнього покриття легкового автомобіля при русі по автомагістралі (3 смуги в кожному напрямку, 6 смуг з інтенсивністю руху 234 748 авт./добу) становить: $M_{опл}$ = 38 955 х 8 = 311 640 кг/рік. У той же час швидкість зносу дорожнього покриття за рахунок легкових автомобілів становила (розділ 2, рівняння 2.14): 3,64 г/км.

Розраховані викиди зношеної дороги через рух вантажних транспортних засобів під час руху по головній дорозі (2 смуги з інтенсивністю руху 20,133 транспортних засобів/день): $M_{опг}$ = 38955 х 2 = 77910 кг/рік.

Швидкість зносу дорожнього покриття (бурової установки) вантажівкою, як визначено за рівнянням 2.15. (Розділ 2) становив 10,6 г/км. При розрахунку зносу доріг загальноміського значення знос доріг становить 2 мм на рік через низьку інтенсивність руху автомобільних доріг.

Експертний висновок показує, що інтенсивність руху пасажирського транспорту становить 23 тис. авто/добу, вантажного транспорту (включаючи автобуси – 3000 авто/добу). При цьому пасажирський транспорт при русі в одному напрямку займав 1,5 смуги, а вантажний – 0,5 смуги.

Маса зношеної поверхні для однієї смуги загальноміських доріг визначається рівнянням 2.13, та складає $M_{дп}$ = 3,5 м х 1000 м х 0,002 м х 2100 кг/м3 = 14700 кг/рік для легкових автомобілів, розраховане згідно з рівнянням 2.14, досягло 5,25 г/км.

Інтенсивність зносу дорожнього покриття під час руху вантажного транспорту була розрахована як 13,4 г/км за допомогою рівняння 2.15.

На рисунку 3.3 показано зміни загальних викидів твердих частинок через знос дорожнього покриття на автомагістралях і міських територіях під час експлуатації легкових і вантажних автомобілів з 2015 по 2030 рік.

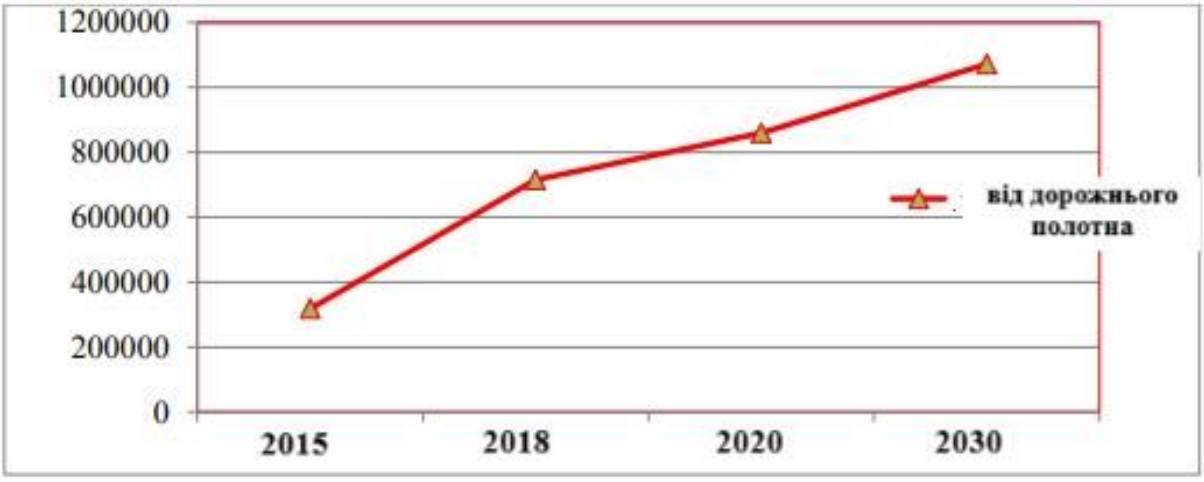

Рисунок 3.3. Загальні викиди твердих частинок від зносу дорожнього полотна магістральних доріг

На рисунку 3.4 показано наступні тенденції впливу використання більш сучасних двигунів та зміни кількості автомобілів у містах на викиди шкідливих речовин від дорожнього руху. Завдяки використанню двигуна, що відповідає стандартам Євро-3 і навіть більш жорстким стандартам Євро-5, викиди шкідливих речовин і твердих частинок з вихлопних газів значно знижуються.

Збільшення автомобільного транспорту значно впливає на викиди твердих частинок з дорожніх покриттів. Спостерігалося безперервне та значне зростання, яке протягом багатьох років мало вирішальний вплив на міську

екосистему [25]. Така ситуація потребує більш ретельного вивчення проблем зносу дорожнього покриття в залежності від складу дорожнього покриття.

Збільшення кількості автомобільних шин (більше автомобілів в експлуатації) також дещо збільшує шкідливі викиди від зносу автомобільних шин. Треба звернути увагу і на цей факт. На нашу думку, повний потенціал зменшення таких викидів шляхом зміни складу гуми протектора або використання більш досконалих конструкцій шин зі зниженим опором коченню ще не реалізований.

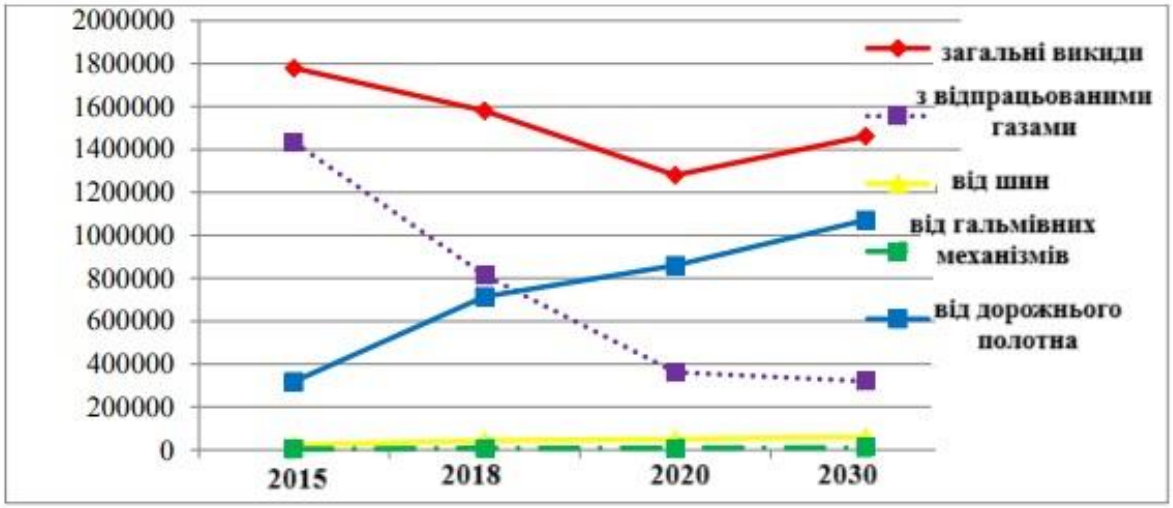

Рисунок 3.4. Зміни загальних викидів шкідливих речовин і твердих частинок при русі легкових та вантажних автомобілів

Загальні викиди небезпечних речовин, пов'язані з автомобільним транспортом, за період до 2020 року знижуються, в основному за рахунок зменшення викидів від вихлопних газів, але після цього очікується зростання викидів від дорожнього покриття та зносу шин [27].

Виробники автомобілів і регулюючі органи повинні бути дуже зацікавлені в тому, як структурні системи автомобільного транспорту безпосередньо впливають на екосистеми якості повітря в містах.

Щоб розглянути цю проблему з точки зору утворення смогу у великих містах, був проведений порівняльний аналіз викидів від дорожнього руху і вихлопних газів, а також викидів від зносу шин і гальм.

Графічне зображення таких викидів показано на рисунку 3.5, де показано майже чотириразове скорочення з 2020 по 2030 рік. Дослідження, які аналізують лише викиди від систем транспортних засобів, показують, що викиди транспортних засобів різко знизилися між 2015 і 2030 роками. Цей вплив зумовлений поступовим впровадженням більш суворих стандартів для автомобільних двигунів від ЄВРО-1 до ЄВРО-5, як показано вище.

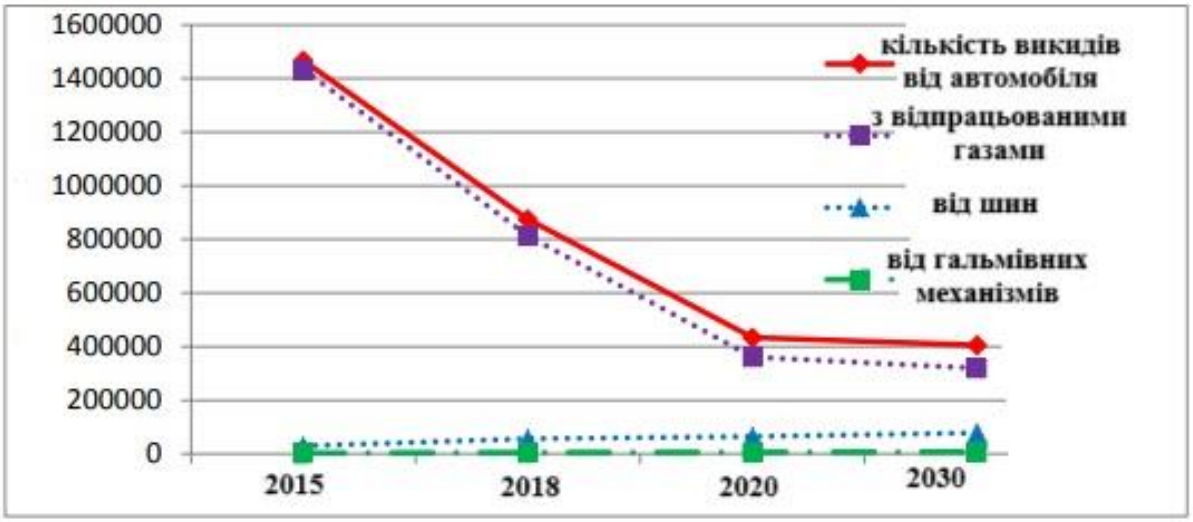

Рисунок 3.5. Викиди шкідливих речовин та твердих частинок з відпрацьованими газами і від зносу шин і гальмівних механізмів легкових автомобілів та вантажних автомобілів

За результатами обчислювальних досліджень можна зробити такі висновки:

1. Викиди шкідливих речовин від вихлопних газів дорожнього руху з 2015 року скоротились вдвічі в 2018 році і на чверть в 2020 році. Очікується, що до 2030 року він зменшиться в сім разів.

2. Оскільки кількість автомобілів зросла з 2018 року до 2020 рік і 2 295 400 автомобілів у 2030 році, викиди твердих частинок через знос шин і гальм будуть швидко збільшуватися. Викиди можуть зрости з 28 000 тон у 2015 році до 60 000 тон у 2020 році та понад 70 000 тон у 2030 році.

Розділ 4. Експериментальне дослідження дисперсії твердих частинок і викидів транспортних засобів під час різних режимів водіння в міських умовах

Як було проаналізовано в попередніх розділах, сучасні екологічні проблеми у великих містах виникають через те, що недостатньо уваги приділяється забрудненню повітря в містах, спричиненому твердими частинками, що виникають у результаті зношення шин і асфальтового покриття доріг. Оцінюючи розмір твердих частинок, що викидаються, європейські представники GRPE, представлені Європейською асоціацією виробників шин (ERTMA), покладаються на окремі дослідження, які показують, що розміри частинок, отриманих у результаті зносу шин на асфальтових покриттях, становлять у середньому від 4 до 350 мікрометрів. 80-100 мікрометрів і тому осідають на поверхні доріг і не становлять загрози здоров'ю людей [26]. У зв'язку з цими висновками, частинки PM розміром від 4 до 80 мікрометрів були виключені з аналізу викидів PM від автомобілів, що працюють у великих містах. Проте низка незалежних зарубіжних дослідників представила результати вимірювань, згідно з якими загальний знос шин і дорожніх покриттів від викидів ТЧ більш ніж у 500 разів перевищує ліміти допустимих викидів твердих частинок з вихлопними газами. Без дослідження процесів зношування сучасних шин і дорожніх покриттів під час руху неможливо вирішити проблему забруднення повітря в містах, яка в останні роки зростає.

Вирішення цих проблемних питань є метою експериментальної частини даного дисертаційного дослідження. Для визначення фактичних викидів твердих частинок та їх розсіювання під час руху транспортного засобу в рамках науково-дослідних робіт розроблено спеціальну методику, під час якої вирішувалися наступні проблеми: 1. Методика та порядок відбору проб викидів твердих частинок від транспортного засобу, що рухається; 2.

Дослідити вплив різних режимів водіння транспортних засобів на дисперсію та ступінь викидів PM від зносу шин та дорожнього покриття.

При виборі місця для відбору проб твердих частинок необхідно враховувати, що при русі автомобіля навколо нього створюється повітряний потік ламінарного і турбулентного шарів. Ламінарний потік повітря має постійні характеристики в залежності від конструктивних особливостей автомобіля. Наявність інших повітряних потоків на нього практично не впливає. Тому точка відбору проб для викиду твердих частинок повинна знаходитися в ламінарній частині повітряно-пилового потоку до того, як утвориться його турбулентна частина. Таким місцем, на мою думку, є зона безпосередньо після виходу протектора автомобільної шини з ділянки контакту з дорожнім покриттям на відстані не більше 100-150 мм з вибіркою по ширині шини. Таке суворе обмеження місця відбору проб виявлено в дослідженнях, на відміну від методів відбору проб у ранніх зарубіжних дослідженнях, які відзначали розбіжності в раніше отриманих результатах, на якому добре видно ламінарний і турбулентний потоки пилоповітряної суміші під час руху. Оскільки найбільше навантаження в зоні контакту шини з дорогою припадає на ведучі колеса автомобіля, відбір проб слід проводити з-під них.

4.1. Обладнання для проведення науково-дослідних робіт та умови для проведення експериментальних випробувань

Для якісної та надійної подачі повітря з викидами твердих частинок 10 мікрометрів і менше була розроблена система примусової подачі виміряної проби пилу повітря в прилад Lighthouse HANDHELD 3016.

Цей прилад призначений для ручного вимірювання PM оператором. Використовуваний вимірювальний прилад Lighthouse HANDHELD 3016 характеризується ергономічним дизайном і малою вагою. Портативні

лічильники частинок Lighthouse - найновіші та найкращі портативні лічильники частинок. Комплекс обліку складається з автомобільного пилососа Black & Decker PAD 1200, пластикових труб, кронштейнів для кріплення трубопроводів до кузова та лічильника Lighthouse HANDHELD 3016. Для кріплення приймальної трубки в місці відбору твердих частинок передбачений тримач з можливістю зміни висоти відбору.

Використовуваний автомобільний пилосос Black & Decker PAD 1200 використовує автомобільне джерело живлення 12В постійного струму. Розміри автопилососа дозволяють зручно зберігати його в автомобілі [28]. Для подачі відібраних проб використовуються пластикові труби з внутрішнім діаметром 33 мм, які забезпечують надійне, герметичне з'єднання з пилососом. У трубопровід встановлюється пластикова трубка з внутрішнім діаметром 11 мм, в яку вставляється приймальна трубка вимірювального приладу Lighthouse HANDHELD 3016.

Швидкість відбору повітряної суміші з продуктами зношування в пластиковому трубопроводі визначали за допомогою анемометра Digitl C 16100. Ця система примусової подачі виміряної проби повітря і пилу дозволяє збирати зі швидкістю 50 км/год. год (13,5 м/с). Враховуючи довжину пластикового трубопроводу 4,0 м, питома проба повітря відбирається від місця відбору до вимірювального приладу за 0,3–0,4 секунди.

На малюнках 4.1. - 4.3 показано встановлення вимірювального комплексу на автомобіль NISSAN NAVARA, обладнаний радіальними безкамерними шинами Continental Cross LX/Contact M/S розміром 255/65R17. Представлений транспортний засіб забезпечував стабільну роботу на всіх режимах руху, що було необхідно для отримання стабільних результатів вимірювання твердих частинок, що утворюються при контакті шини з дорожнім покриттям.

Рисунок 4.1. Установка вимірювального трубопроводу на транспортному засобі

Рисунок 4.2. Установка вимірювального трубопроводу в салоні автомобіля

Рисунок 4.3. Установка труби для відбору викидів твердих частинок після контакту шини з дорожнім полотном

Для визначення кількості та розподілу викидів твердих частинок у пилоповітряній суміші використовується портативний лазерний лічильник частинок Lighthouse HENDHELD 3016 виробництва США (рис. 4.4), який має 6 каналів підрахунку (діапазони розмірів) і відображає кількість частинок у відібраному зразку, а також температуру та відносну вологість.

Рисунок 4.4. Ручний лазерний лічильник Lighthouse HENDHELD 3016

Пристрій оснащений практичним тачскріном з діагоналлю 9,25 см. Змінні батареї максимізують час роботи РУЧНОГО лічильника. Отримані дані можна легко завантажити на комп'ютер за допомогою програми LMS Express Data Transfer Software.

За допомогою ручного лічильника частинок Lighthouse ви можете:

- Виберіть тривалість вибірки та час паузи між вимірюваннями.
- Встановіть кількість вимірювань, проведених у точці відбору проб або в режимі руху автомобіля. Прилад може працювати в наступних режимах відбору проб: AUTO (автоматичний), MANUAL (ручний), CONCEN (концентрація), BEEP (сигнал).
- AUTO (автоматично): Вимірювання проводяться відповідно до налаштувань часу відбору (пауза, час відбору, об'єм зразка). Після натискання кнопки СТАРТ прилад продовжує вимірювання до натискання кнопки СТОП або досягнення заданої кількості вимірювань (циклів).
- MANUAL: після натискання кнопки START прилад виконує вимірювання відповідно до заданих значень паузи, часу вибірки та об'єму проби.
- КОНЦЕНТРАЦІЯ: У цьому режимі прилад вимірює концентрацію частинок в об'ємі зразка, що перекачується. Дані вимірювання відображаються в головному меню як кількість частинок на м3 відповідно до вибраного часу вимірювання.

При вивченні процесів, пов'язаних з викидом частинок від транспортних засобів в атмосферу. Прискорення та гальмування транспортних засобів, час вимірювання має вирішальне значення через його обмежений розмір.

За допомогою лічильника частинок Lighthouse HANDHELD 2016/3016/5016 ви можете проводити вимірювання в діапазоні від 1 до 5 секунд. Для дослідження швидкоплинних процесів (розгону та гальмування автомобіля) рекомендується використовувати режим вимірювання 1-2 секунди, що дозволяє проводити від 3 до 6 вимірювань в залежності від часу

розгону або гальмування. Випробування проводяться при стабільно позитивних температурах повітря.

До якості дорожнього покриття висуваються наступні вимоги: дорожнє покриття має бути сухим, без сторонніх предметів, що спотворюють результати дослідження: листя, бруду, слідів від коліс автомобілів, що рухаються по узбіччю, тощо.

Відповідність цим вимогам забезпечує надійну роботу лічильника Lighthouse HANDHELD 3016 і запобігає засміченню водою та брудом. Вимоги до стану системи примусової подачі вимірюваного зразка: Перед початком дослідження вхідний шланг пилососа повинен бути чистим, пластикові труби і кронштейни для кріплення трубопроводів 84 до корпусу, а також Lighthouse HANDHELD 3016. вимірювальний прилад повинен бути чистим і надійно закріпленим.

При визначенні викидів твердих частинок транспортного засобу велике значення мають умови випробування: маршрут, стан дороги та обмеження швидкості. Аналізуючи характер руху транспортних засобів у міських умовах, необхідно враховувати швидкісні обмеження [29]. Максимальна швидкість руху автомобілів у місті обмежена до 60 км/год, тому всі вимірювання проводилися в режимі руху автомобіля (розгін, плавний рух і гальмування відбуваються в діапазоні швидкостей від 0 до 60 км/год).

Для дослідження реального процесу викидів ТЧ від дорожнього руху ми вибрали такі режими: розгін автомобіля від:

Розгін автомобіля від: 0 до 30, 40, 60 км/год;

Рівномірний рух: 20, 30, 40, 50, 60 км/год;

Гальмування: 20, 30, 40, 50 км/год

Автомобіль повинен пройти технічне обслуговування та техогляд.

Навантаження транспортного засобу не повинно перевищувати 75% корисного навантаження, тиск повітря в шинах перевіряють і при необхідності

промивають. Для проведення експериментальних досліджень було обрано три дороги з різною інтенсивністю руху.

Автомобіль з обладнанням встановлено на полігоні. Є затримка на 15 хвилин. За цей час тверді частинки, викинуті колесами автомобіля під час в'їзду на вимірювану ділянку дороги, падають на дорожнє покриття. Заміри проводились над поверхнею дороги - 150 мм. При дослідженні при визначенні значень розсіювання та емісії твердих частинок у різних режимах руху досліджуваного автомобіля на дорогах з різною інтенсивністю руху спочатку необхідно визначити фоновий розподіл твердих частинок на площі дорожнього покриття.

При визначенні викидів ТЧ від руху автомобіля велике значення має режим дослідження: маршрут, стан дороги, швидкість руху. З точки зору чистоти експерименту найбільш цікавим видається такий режим дослідження: досліджуваний автомобіль встановлюють на рівній прямій ділянці дороги, на ньому вимірюють фон.

Автомобіль приводять із місця до швидкості вимірювання рівномірний прямолінійний рух, автомобіль рухається протягом часу, необхідного для вимірювання, а потім застосовують гальма. Одночасно здійснюється безперервне двосекундне вимірювання викидів частинок у режимі розгону, постійної швидкості та гальмування [30].

Ця методологія та умови випробувань дозволяють отримати достовірні дані про дисперсію викидів твердих частинок від контакту шини з поверхнею дороги під час руху та оцінити сумарні викиди твердих частинок у різних режимах руху автомобіля на різних дорогах. поверхні.

Результати досліджень показали, що викиди твердих частинок значно перевищують фонові рівні при постійній швидкості транспортного засобу та зростають зі збільшенням швидкості.

Отже, при постійній швидкості автомобіля:

1. На 30 км/год перевищення над фоновим забрудненням повітря становить: ТЧ 0,3 мкм у 1,5 раза; ТЧ 0,5 мкм у 4 рази; ТЧ 1,0 мкм у 15 разів; ТЧ 5,0 у 13 разів; ТЧ 10,0 мкм у 4 рази;

2. На 40 км/год перевищення над фоновим забрудненням повітря становить: ТЧ 0,3 мкм у 2 рази; ТЧ 0,5 мкм у 10 разів; ТЧ 1,0 мкм у 40 разів; ТЧ 5,0 у 40 разів; ТЧ 10,0 мкм у 31 раз;

3. На 60 км/год перевищення над фоновим забрудненням повітря становить: ТЧ 0,3 мкм у 4 рази; ТЧ 0,5 мкм у 22 рази; ТЧ 1,0 мкм у 73 рази; ТЧ 5,0 у 69 разів; ТЧ 10,0 мкм у 34 рази.

Отримані результати показують, що зі збільшенням швидкості руху автомобіля від 30 до 60 км/год відбувається зростання загальної кількості викидів всіх розмірів ТЧ, що вимірюються, в середньому в 5 разів.

Розподіл твердих частинок у загальній масі викидів за постійних швидкостей руху автомобіля 30 – 60 км/год становить: ТЧ 0,3 - 23%; ТЧ 05 - 16%; ТЧ 1,0 - 49%; ТЧ 5,0 - 9%; ТЧ 10,0 - 3%.

Таким чином, важливо законстатувати, що основний викид (> 97%) ТЧ при постійній швидкості становлять частинки розміром від 0,3 до 5,0 мкм.

Коли автомобіль розганяється з місця зі збільшенням швидкості до постійної швидкості, відбувається більше прискорення, що значно збільшує значення викидів усіх виміряних розмірів дрібного пилу. Порівняно з фоновими значеннями викиди PM складають:

1. При розгоні до 30 км/год викиди збільшуються: PM 0,3 мкм в 1,1 рази; PM 0,5 мкм 3 рази; PM 1,0 мкм 13х; PM 5,0 7 разів; PM 10,0 мікрон при 1,6;

2. При розгоні до 40 км/год викиди збільшуються: PM 0,3 мкм в 1,6 рази; PM 0,5 мікрон 11х; PM 1,0 мкм 29х; PM 5,0 31 раз; PM 10,0 мкм 10х; 0 1000 2000 3000 4000 5000 6000 0,3 0,5 1 5 10 Кількість фонових частинок 0 - 30 км/год 0 - 40 км/год 0 - 50 км/год

3. При розгоні до 50 км/год викиди збільшуються: PM 0,3 мкм втричі; PM 0,5 мкм 18х; PM 1,0 мкм 42х; PM 5,0 4 рази; PM 10,0 мікрон 18х; Особливо

варто відзначити різке збільшення викидів твердих частинок розміром 1,0 мікрометра (в 13-42 рази) в залежності від інтенсивності розгону до швидкостей 30-50 км/год.

Розподіл твердих частинок у масі викидів під час розгону транспортного засобу становить: PM 0,3 - 23%, PM 0,5 - 21%; PM 1,0 - 44%; PM 5,0 - 8%; PM 10,0 - 4%. Таким чином, можна констатувати, що основні викиди твердих частинок (98%) під час розгону транспортного засобу становлять частинки розміром від 0,3 до 5 мікрон, що додатково свідчить про невірність позиції європейських виробників шин (ERNMA).

У результаті досліджень можна визначити, що викиди PM під час гальмування автомобіля значно перевищують фонові значення. Отже, якщо ви гальмуєте автомобіль на великій швидкості:

1. 20 км/год – це перевищення викидів твердих частинок: ТЧ 0,3 мкм в 1,3 рази; PM 0,5 мкм 10 разів; PM 1,0 мкм 29х; PM 5,0 13 разів; PM 10,0 мікрон 4 рази;

2. 30 км/год – перевищення викидів твердих частинок: PM 0,3 мкм в 1,6 рази; PM 0,5 мікрон 11х; PM 1,0 мкм 42х; PM 5,0 29 разів; PM 10,0 мікрон 4 рази;

3. 40 км/год – перевищення викидів твердих частинок: PM 0,3 мкм в 1,7 рази; PM 0,5 мкм 14 разів; PM 1,0 мкм 52х; PM 5,0 40 разів; PM 10,0 мікрон 5 разів;

4. 50 км/год перевищує викиди частинок: PM 0,3 мкм до чотирьох разів; PM 0,5 мкм 25 разів; PM 1,0 мкм 85х; PM 5,0 75 разів; PM 10,0 мікрон 41 раз.

У результаті вимірювань встановлено, що найбільші викиди ТЧ при гальмуванні автомобіля з різних швидкостей (20, 30, 40, 50 км/год) мають частинки розміром 1,0 мікрометра. Важливо, що при збільшенні швидкості гальмування транспортного засобу з 20 до 50 км/год кількість викидів ТЧ зростає втричі. Середньостатистичний розподіл дисперсності твердих частинок у загальній масі викидів при гальмуванні автомобіля з різних

початкових швидкостей в діапазоні від 20 до 50 км/год складає: PM 0,3 – 18%; Дрібний пил 0,5 – 17%; PM 1,0 – 52%; PM 5,0 – 9%; PM 10,0 – 4%.

Тому більшість викидів (96%) складаються з твердих частинок розміром від 0,3 до 5 мікрометрів. Виходячи з результатів досліджень розповсюдження та викиду твердих частинок при різних видах руху транспортних засобів у міському середовищі, можна констатувати: Зафіксовані значення твердих частинок становлять переважно 97% в діапазоні від 0,3 до 5 мікрометрів, тобто не більше 5 мікрометрів.

Таким чином, розроблена методика дослідження дозволила комплексно оцінити розсіювання та емісію твердих частинок у циклі, що включає: розгін автомобіля, рух із постійною швидкістю та гальмування автомобіля. З метою можливої опосередкованої оцінки отриманих результатів викидів ТЧ з нормативами викидів ТЧ за санітарними нормами гранично допустимих концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі перераховано фонові рівні на дорогах та рівні викидів під час руху. автомобіля на постійній швидкості буде менше ніж 10 мікрометрів на мільйон частинок, виявлених на 1 $м^3$ проби. У рамках експериментальних досліджень була розроблена методика дослідження, яка включала методику відбору зразків викидів твердих частинок від транспортного засобу, що рухається, та оцінки впливу різних режимів руху транспортних засобів на дисперсію та величину викидів ТЧ від зносу шин та дорожнього покриття.

Створено комплекс вимірювальних приладів і систем відбору проб для аналізу, що дає можливість вимірювати викиди ТЧ під колесами автомобіля, що рухається, і фіксувати результати оператором, який знаходиться в автомобілі.

Було оцінено розсіювання та фонове значення твердих частинок менше 10 мкм над поверхнею різних частинок. Більшість твердих частинок (95%) над дорожнім покриттям мають розмір 0,3; 0,5 і 1,0 мкм.

Результати досліджень дисперсності та сумарної емісії твердих частинок при різних видах руху автотранспорту в міських умовах дозволили встановити, що основні викиди твердих частинок (97%) складають частинки розміром від 0,3 до 5 мікрон, повністю що суперечить позиції європейського виробника шин ETRMA, який спотворює результати зарубіжних досліджень на основі однієї статті.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз зарубіжних досліджень щодо зменшення шкоди навколишньому середовищу викидами забруднюючих речовин і твердих частинок виявив серйозні розбіжності в об’єктивній оцінці кількості викидів і розсіювання твердих частинок розміром менше 10 мікрон при експлуатації автомобілів в міських умовах, які, за даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, з 2010 року зростає утворення смогу у великих містах Європи, США та інших країн.

2. Удосконалений набір математичних розрахунків викидів забруднюючих речовин та твердих частинок, розроблений на основі аналізу для оцінки сумарного забруднення атмосферного повітря міст, дав змогу окремо визначити існуючі валові викиди забруднюючих речовин та твердих частинок від роботи транспортних засобів з вихлопними газами та від зносу гальмівних систем і шин, а також від зносу дороги.

3. За результатами теоретичних та експериментальних досліджень проведено окреме середньостатистичне визначення (для стандартів Євро-6) співвідношення викидів твердих частинок від вихлопних газів, від зносу гальмівних механізмів та від зносу шин і дорожніх покриттів. вперше: для легкових автомобілів: 0,005 г/км, 0,009 г/км, 0,112 г/км, 3,64 г/км та для вантажних автомобілів через знос гальмівних механізмів. (0,243 г/км-0,47 г/км); від зносу шин (1,1 г/км-7,5 г/км) і дорожнього покриття (10,6-13,4 г/км).

4. Вперше в 2015 році за результатами досліджень на міжнародному рівні було поставлено питання про наявність нової проблеми забруднення повітря в містах. Це така ж важлива проблема, як і 50 років тому із забрудненням міської атмосфери автомобільними вихлопами, яка сьогодні успішно вирішується. Однак зростання автомобільного парку в містах країн, що розвиваються, призводить до постійного зростання викидів зважених частинок розміром менше 10 мікрон, які особливо шкідливі для здоров'я населення і наразі не враховуються жодним законодавства, знос шин, гальмівних систем і дорожніх покриттів!

5. Виходячи з цих теоретичних та експериментальних досліджень, помилковість необґрунтованої пропозиції Всесвітньої організації охорони здоров’я заборонити з 2012 року використання автомобілів з дизельними двигунами в містах Європи зумовлена їх підвищеними викидами твердих частинок із вихлопними газами, які лише нібито призводить до створення смогу в 2010 європейських містах.

6. Завдяки проведеним теоретичним і експериментальним дослідженням вдалося на прикладі зростаючого автопарку визначити фактичні викиди забруднюючих речовин і окремо твердих частинок і спрогнозувати їх зміни на період до 2030 р. Експериментальні дослідження значень викидів і дисперсності твердих частинок розміром менше 10 мікрон підтвердили, що маса (97%) і розміри твердих частинок від зносу гальмівних систем, шин і асфальтового покриття дороги знаходяться в діапазоні 0,3 до 5 мкм.

7. Отримані в дисертації результати досліджень дисперсії твердих частинок розміром менше 10 мікрон при зношуванні шин і дорожніх покриттів зарубіжних досліджень, обговорених у Міжнародній групі із забруднення та енергозбереження (GRPE), представлені європейськими шинами. спотворені виробники (ETRMA), а до цього лише транснаціональні корпорації, такі як Michelin і Continental, виходячи з їхніх корпоративних інтересів.

8. На основі досліджень, проведених для визначення фактичних викидів і дисперсії твердих частинок розміром менше 10 мікрон через знос гальмівних механізмів, шин і дорожніх покриттів, було встановлено, що більше 90 відсотків маси викидів становлять тверді частки з розміром від 0,3 до 1 мікрометра. які дуже небезпечні для здоров'я міського населення.

9. У ситуації, що склалася, урядам країн-учасниць Всесвітнього форуму необхідно провести серйозну дослідницьку роботу щодо зниження вмісту шкідливих речовин у матеріалах, які використовуються при виготовленні гальмівних систем, шин і дорожніх покриттів тощо. міжнародному співтовариству розробити відповідні нормативні вимоги.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Komasi, H., Nemati, A., Hashemkhani Zolfani, S., Mehtari Taheri, H. Road safety evaluation in inner-city roads and suburban roads based on a novel-hybrid MCDM model. Ain Shams Engineering Journal 15(8), 2024.

2. Almatar, K.M. Investigating the New Public Transportation System in Riyadh City. Journal of Urban Planning and Development, 150(1), 2024.

3. Wang, H., Guan, Y., Zhao, L., Zhang, Y. Optimization Method for Urban Traffic Signal Control Based on Digital Twin Technology. 2023 15th International Conference on Communication Software and Networks, ICCSN 2023, P. 444–448.

4. Vasilieva, E.N. Participatory Design as a Tool for Optimizing an Intelligent Transport System. 2023 Systems of Signals Generating and Processing in the Field of on Board Communications, SOSG 2023 - Conference Proceedings.

5. Нацплан скорочення викидів: поточний стан та проблеми реалізації у розрізі міжнародного досвіду. https://razumkov.org.ua/statti/natsplan-skorochennia-vykydiv-potochnyi-stan-ta-problemy-realizatsii-u-rozrizi-mizhnarodnogo-dosvidu

6. Викиди від транспорту і як з ними боротися: інтерв'ю експерток Екодії для автопрому України. https://ecoaction.org.ua/vykydy-vid-transportu.html

7. Забруднення атмосферного повітря викидами від транспорту. https://gpp.livingplanet.org.ua/transport/zabrudnennya-atmosfernogo-povitrya-vikidami-vid-transportu.html

8. He, H., Sun, F., Wang, Z. China's battery electric vehicles lead the world: achievements in technology system architecture and technological breakthroughs. Green Energy and Intelligent Transportation, 1(1), 2020.

9. Bosurgi, G., Marra, S., Pellegrino, O., Sollazzo, G., Villari, M. Relationships Between Road Horizontal Geometry, Driving Behavior and CO_2 Emissions. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure, Part F1395, P. 806–816.

10. Rezapur-Shahkolai, F., Afshari, M., Doosti-Irani, A., Bashirian, S., Maleki, S. Interventions to prevent road traffic injuries among pedestrians: a systematic review. International Journal of Injury Control and Safety Promotion, 29(4), P. 533–549

11. Автотранспорт і навколишнє середовище: проблеми і шляхи їхнього вирішення. https://www.zoda.gov.ua/news/7207/avtotransport-i-navkolishnjeseredovishe-problemi-i-shlyahi-jihnogo-virishennya.html

12. Чисте повітря чи власне авто. Як зменшити викиди парникових газів у транспортному секторі України? https://www.epravda.com.ua/columns/2021/06/3/674576/

13. Dutta, A.K., Sampson, J., Ahmad, S., Pustokhina, I.V., Pustokhin, D.A. Hybrid Deep Learning Enabled Air Pollution Monitoring in ITS Environment. Computers, Materials and Continua, 72(1), P. 1157–1172

14. Parlyuk, E.P., Pulyaev, N.N., Kurilenko, A.V. Mathematical efficiency model of the block-module cooling system of automotive vehicles and tractors. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 839(5), 2021

15. Shamlitskiy, Y.I., Rogova, D.V., Polyakova, A.S., Popov, A.A., Lipinskiy, L.V. Models of analysis and forecasting of the traffic situation. CEUR Workshop Proceedings, 2899, P. 125–132

16. Zelenko, Yu., Bezovska, M., Skvireckas, R., Neduzha, L. The impact of motor oils quality on improving the reliability in operation of traction rolling stock. Transport Means - Proceedings of the International Conference, 2020-September, P. 568–572

17. Magaril, E., Magaril, R. Application of modified gasoline to increase energy efficiency and environmental parameters of vehicle operation. WIT Transactions on Ecology and the Environment, 246, P. 3–8

18. Pawłowski, W., Goniewicz, K., Schwebel, D.C., Shen, J., Goniewicz, M. Road traffic injuries in Poland: magnitude and risk factors. European Journal of Trauma and Emergency Surgery, 45(5), P. 815–820

19. Makarova, I., Shubenkova, K., Mavrin, V., Magdin, K. Environmental safety of city transport systems: Problems and influence of infrastructure solutions. Lecture Notes in Networks and Systems, 68, P 24–34

20. Muślewski, Ł., Landowski, B., Mackiewicz, N., Pajak, M. Research and analysis of work ergonomics of selected transport means operators. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 421(3), 2018

21. Основні забруднювачі атмосферного повітря: характеристики, вплив на організм людини. https://eco.aep.kiev.ua/novini/osnovni-zabrudnyuvachi-atmosfernogo-povitrya-harakteritstiki-vpliv-na-organizm-lyudini/

22. Аналіз регуляторного впливу до проєкту Закону України «Про внесення змін до Закону України «Про автомобільний транспорт» щодо стимулювання використання транспортних засобів, оснащених електричними двигунами»

23. Регламент Європейського парламенту і Ради (ЄС) № 715 https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_914#Text

24. Gorev, A., Solodkiy, A., Enokaev, V. Improving efficiency of traffic management and safety based on integration of local ATMS. Transportation Research Procedia, 36, P 207–212

25. Khalil, O.K. A Study on Road Accidents in Abu Dhabi Implementing a Vehicle Telematics System to Reduce Cost, Risk and Improve Safety. Proceedings - International Conference on Developments in eSystems Engineering, DeSE, P. 195–200

26. Schwarz, S., Philosof, T. Signal Processing Challenges in Cellular-Assisted Vehicular Communications: Efforts and developments within 3GPP LTE and beyond. IEEE Signal Processing Magazine, 34(2), P 47–59

27. Стандарти каталізаторів - що таке Євро 2, Євро 3 та Євро 4. https://katalizator.cv.ua/blog/standarti-katalizatoriv-shcho-take-yevro-2-yevro-3-ta-yevro-4

28. Європейські законодавці дали «зелене світло» новим правилам ЄС. https://eauto.org.ua/news/502-yevropeyskiy-parlament-zatverdiv-novi-normi-vikidiv-dlya-transportnih-zasobiv

29. Magaril, E., Magaril, R. Improving the environmental and performance characteristics of vehicles by introducing the surfactant additive into gasoline. Environmental Science and Pollution Research, 23(17), P. 17049–17057

30. Asaul, A., Malygin, I. The Project of Intellectual Multimodal Transport System. Transportation Research Procedia, 20, P 25–30