

СПЕЦІАЛЬНІСТЬ «ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА»

НАУКОВО-ДОСЛІДНА РОБОТА СТУДЕНТА

на тему: **«ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ У  
НАСЕЛЕНИХ ПУНКТАХ ШЛЯХОМ ЗНИЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ  
ПОВІТРЯ АВТОТРАНСПОРТНИМИ ЗАСОБАМИ»**

Шифр роботи: ДИСПЕРСНІ ЧАСТИНКИ

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1. Сучасний стан проблеми забезпечення техногенної безпеки транспортних засобів.....	6
1.1 Забруднення атмосфери дисперсними частинками від автотранспорту.....	6
1.2 Основні джерела викидів дисперсних частинок від автотранспортного комплексу.....	9
1.3 Забруднення повітря продуктами зношування автомобільних шин, гальмівних колодок і дорожнього покриття.....	11
1.4 Вплив дисперсних частинок на навколишнє середовище і здоров'я людей.....	14
2. Розрахункові дослідження викидів дисперсних частинок автомобільним транспортом.....	16
2.1 Методика розрахунку викидів дисперсних частинок з відпрацьованими газами автотранспортних засобів.....	17
2.1.1 Розрахунок викидів дисперсних частинок з відпрацьованими газами автотранспортних засобів.....	17
2.2 Методика розрахунку викидів дисперсних частинок від зношування шин.....	18
2.2.1 Розрахунок викидів дисперсних частинок від зношування шин...	19
2.3 Методика розрахунку викидів дисперсних частинок від зношування дорожнього покриття.....	20
2.3.1 Розрахунок викидів дисперсних частинок від зношування дорожнього покриття.....	21
2.4 Методика розрахунку викидів дисперсних частинок від зношування гальмівних механізмів.....	21
2.4.1 Розрахунок викидів дисперсних частинок від зношування гальмівних механізмів.....	22
2.5 Заходи щодо зниження рівня техногенної безпеки автотранспортних засобів .....	23
3. Експериментальні дослідження викидів дисперсних частинок з відпрацьованими газами дизельного двигуна.....	24

3.1 Моторний стенд для проведення експериментальних досліджень.	24
3.2 Результати експериментальних досліджень концентрації сажі у відпрацьованих газах дизельного двигуна.....	26
ВИСНОВКИ.....	30
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	31
ДОДАТОК А.....	33
ДОДАТОК Б.....	34
ДОДАТОК В.....	37

## ВСТУП

Експлуатація автомобілів негативно впливає на навколишнє середовище, оскільки автотранспортні потоки забруднюють приземний шар атмосфери відпрацьованими газами (ВГ) двигунів автомобілів, продуктами зносу гальмівних механізмів, автомобільних шин і дорожнього покриття [1-2]. Об'єми і токсичність викидів шкідливих речовин (ШР) визначаються інтенсивністю, швидкістю і складом автотранспортного потоку, вплив яких до теперішнього часу недостатньо вивчено. Вивчення цих закономірностей і розробка комплексної характеристики, що враховує спільну дію джерел забруднення з послідуєчим коректуванням параметрів автотранспортного потоку, дозволить знизити їх негативний вплив на приземний шар атмосфери. В зв'язку з цим дослідження, направлені на забезпечення техногенної безпеки автотранспортних засобів за параметрами комплексного забруднення приземного шару атмосфери дисперсними частинками, є актуальним завданням.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВОЗ) дисперсні частинки менше 10 мкм (ДЧ10) вважаються найбільш небезпечними забруднюючими речовинами нарівні з такими, як оксиди азота ( $\text{NO}_x$ ), двоокис сірки ( $\text{SO}_2$ ) і озон ( $\text{O}_3$ ) [3], тому що впливають на здоров'я людей як при короткостроковому (середнє за 24 години), так і при довгостроковому (середнє за рік) ефекті впливу. Крім того, дисперсні частинки здатні впливати на зміну клімату.

**Метою роботи** є підвищення рівня техногенної безпеки автотранспортних засобів шляхом зменшення забруднення атмосфери дисперсними частинками.

**Актуальність теми** дослідження обумовлена необхідністю зниження забруднення повітря при роботі автотранспорту шляхом застосування комплексної методики оцінки рівня техногенної безпеки автотранспортних.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Провести аналіз літературних джерел з питань дослідження забруднення атмосфери дисперсними частинками та вплив дисперсних частинок на здоров'я людини, збільшення числа захворювань, а також на зміну клімату.
2. Визначити вклад автотранспортних засобів в забруднення повітря ДЧ10.
3. Розробити алгоритм комплексної методики оцінки рівня екологічної безпеки автотранспортних засобів в результаті забруднення повітря дисперсними частинками від відпрацьованих газів двигуна, зносу шин, дорожнього покриття і фрикційних гальмівних колодок.
4. Запропонувати заходи для зниження забруднення повітря дисперсними частинками від автотранспортних засобів.
5. Провести експериментальні дослідження щодо впливу каталітичного нейтралізатора на зниження викидів сажі дизельним двигуном і вплив біодизеля на викиди сажі.

**Об'єкт дослідження** – транспортні засоби, які є джерелом забруднення атмосферного повітря дисперсними частинками розміром менше 10 мкм.

**Предмет дослідження** – викиди дисперсних частинок від різноманітних джерел їх утворення на транспортних засобах з метою підвищення рівня техногенної безпеки і зниження ризиків захворювання населення.

**Наукова новизна** полягає в удосконаленні методу визначення рівня техногенної безпеки автотранспортних засобів шляхом розроблення алгоритму комплексної методики оцінки забруднення повітря дисперсними частинками від відпрацьованих газів двигуна, зносу шин, дорожнього покриття і фрикційних гальмівних колодок, використання якого дозволяє ефективно підвищити рівень екологічної безпеки.

# 1 СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОГЕННОЇ БЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Техногенна безпека автотранспортних потоків для населення в містах сьогодні в значній мірі визначається емісією в навколишнє середовище не тільки продуктів згоряння палива в двигунах внутрішнього згоряння (ДВЗ): оксидів вуглецю і азоту, вуглеводнів, в тому числі бенз(α)пірена, твердих частинок і т.д., а і продуктів зношування шин, гальмівних механізмів, дорожнього покриття, асфальтових випаровувань та вторинно-третинних продуктів їх взаємодії, небезпечних для здоров'я людей, що знаходяться довгий час в зоні викидів [4]. Викиди токсичних речовин автомобілів – головна причина захворювань органів дихання, а також серцево-судинних, онкологічних захворювань [5].

## 1.1 Забруднення атмосфери дисперсними частинками від автотранспорту

Дисперсні частинки – тверді чи рідкі частинки дисперсної фази, що знаходяться в газоподібному дисперсійному середовищі. Розрізняють наступні розмірні фракції частинок [3]:

- TSP (сума зважених речовин): включає всі частинки, що знаходяться в повітрі;
- ДЧ10: використовується для частинок з аеродинамічним діаметром менше 10 мкм (від 2,5 до 10 мкм, називається груба фракція);
- ДЧ2,5: використовується для частинок з аеродинамічним діаметром менше 2,5 мкм (менше 2,5 мкм, дрібна фракція).

Частинки поділяються на монодисперсні, які складаються з частинок одного і того ж розміру полідисперсні – які складаються з частинок різних розмірів. Монодисперсні аерозолі на практиці зустрічаються дуже рідко. Аерозолі бувають гомогенні і гетерогенні. Гомогенний аерозоль складається з хімічно однакових частинок. В негомогенному (гетерогенному) аерозолі

частинки мають різноманітні хімічні склади [2]. Загальна класифікація частинок приведена на рисунку 1.1.

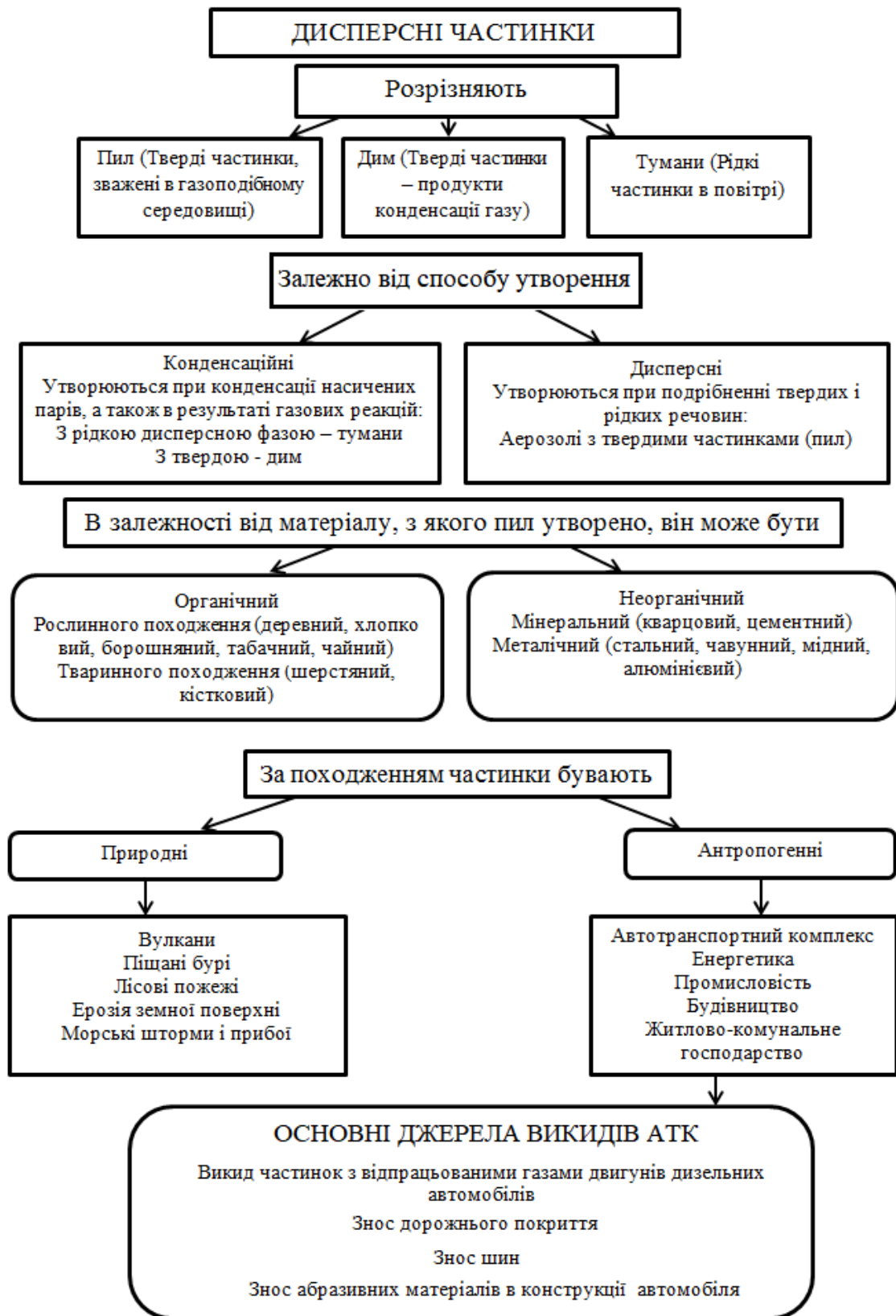


Рисунок 1.1 – Класифікація дисперсних частинок

Дисперсні частинки утворюються від наступних джерел у великому місті: автотранспортний комплекс: викиди з ВГ автотранспортних засобів (переважно дизельних), продукт зносу дорожнього полотна, продукт зносу шин автомобілів, продукти зносу гальмівних колодок автомобілів, пиління при виробництві будівельних робіт, ремонт автомобільних доріг, винесення бруду з коліс вантажівок, що вїжджають в місто з сільської місцевості; ерозія ґрунтового покриву біля доріг; енергетика; житлово-комунальне господарство; промисловість і будівництво; метеорологічні умови; природні джерела; інші джерела.

Вклад автотранспортних засобів в забруднення повітря дисперсними частинками складає біля 80 % на 2004 рік (рисунок 1.2) [7].

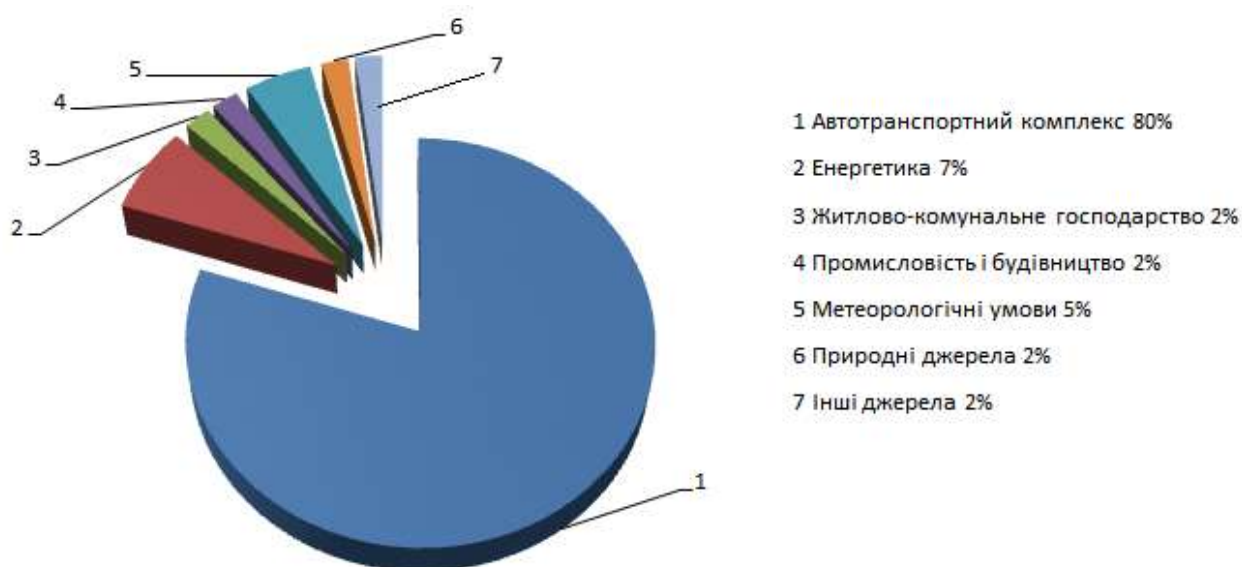


Рисунок 1.2 – Вклад різних джерел в утворення дисперсних частинок в атмосферному повітрі міста

За сучасними уявленнями найбільший відсоток вкладу в утворення частинок в атмосферному повітрі вносить автотранспортний комплекс. Поблизу автотрас рівень забруднення атмосферного повітря в 1,3 – 1,5 раза вище, ніж на житлових територіях, захищених від транспортних потоків забудовою.



## **1.2 Основні джерела викидів дисперсних частинок від автотранспортного комплексу**

До питання викидів дисперсних частинок звертались різні автори, такі як Соболев А.А., Кульчицький А.Р., Денисов В.Н. та ін. [8, 9, 10].

Відпрацьовані гази (ВГ) автомобілів. Учасники Конвенції ЄЕК ООН «Про транскордонне забруднення повітря» (травень 2012 р.) включили чорний вуглець (або сажу), в якості компонента твердих частинок. Сажа (чорний вуглець) являє собою тверді частинки, що утворюються в результаті неповного згоряння.

Всі частинки, що виникають в процесі горіння, є твердими частинками розміром до 10 мікрметрів або менше 2,5 мікрметра. Сажа належить до останньої категорії. Частинки сажі поглинають енергію сонячного світла і перетворюють її в теплову енергію. Їх кількість залежить від типу палива, виду горіння, ефективності технологій або заходів щодо контролю викидів [11].

Згоряння традиційного моторного палива, твердого біопалива, в цілях обігріву і приготування їжі, горіння біомаси в результаті лісових пожеж і сільськогосподарської діяльності є причиною майже 85% глобальних викидів сажі [11]. Сумарний тепловий вплив сажових частинок з урахуванням зміни відбиваючої здатності світлих поверхонь, по даним МГЭИК, складає 0,44 Вт/м [±0,35]. Це ставить сажу на третє місце після вуглекислого газу і метану серед речовин, що впливають на зміну клімату [11].

Долі різноманітних складових частинок, що знаходяться у ВГ ДВЗ, залежать від цілого ряду факторів, до яких відносяться:

- 1) спосіб організації робочого процесу;
- 2) характеристики, що визначають протікання робочого процесу (склад робочої суміші як в середньому по камері згоряння, так і її локальне розподілення по об'єму камери згоряння; температура і її розподілення по камері згоряння; кут випередження запалювання чи впорскування палива, характер розпилення палива);

3) характеристики використовуваного палива (елементарний склад, тобто вагові долі вуглецю, водню, кисню, сірки, азоту та інших хімічних елементів, хімічний склад, тобто вагові долі тих чи інших органічних і неорганічних хімічних сполук, наявність домішок, у тому числі каталізаторів);

4) наявність і характеристики пристроїв очищення ВГ (нейтралізаторів, фільтрів, адсорберів чи абсорберів).

Наприклад, склад частинок типового дизеля з наддувом згідно до стандарту EURO-2 складаються на 68...75% з нерозчинних частинок і на 25...32% з розчинних – рисунок 1.3 [8].



Рисунок 1.3 – Частилки, що входять в склад ВГ ДВЗ

Нові двигуни (стандарт EURO-4 і вище) не містять грубих частинок, тільки дрібні ДЧ. Дрібні частинки в двох формах: тверді частинки (складаються з елементарного вуглецю, попелу, металічних слідів) і змінні складові частинки: органічні (нестискувані вуглеводні від палива і нафти) і неорганічні (сірка, нітрат). Відсоткове співвідношення частинок показано на рисунку 1.4. В залежності від температури, змінна частина може залишатися в газовій фазі, осісти на тверді частинки і створити ядро, сформувати нові рідкі частинки.

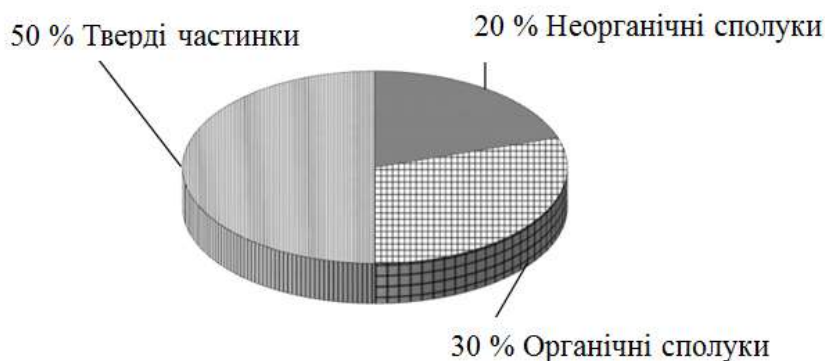


Рисунок 1.4. – Склад частинок ДЧ<sub>2,5</sub> в нових двигунах(EURO- 4 і вище).

### **1.3 Забруднення повітря продуктами зносу автомобільних шин, гальмівних колодок і дорожнього покриття**

Крім ВГ автотранспортні потоки забруднюють атмосферне повітря речовинами, які потрапляють в приземний шар атмосфери в результаті зношування фрикційних матеріалів гальмівних механізмів, протекторів автомобільних шин і дорожнього покриття [8, 9, 12].

Зношування дорожнього покриття відбувається в результаті вибивання колесами автомобіля окремих частинок і його стирання в процесі просковзування шини в зоні контакту з покриттям. Встановлено [13], що при русі АТЗ по шосе шириною 10 м і довжиною 10 км в результаті стирання колесами асфальтного покриття загальна маса пилу, що утворився, може складати не менше 100 т в рік. Крім цього в складі асфальтно-дорожнього покриття в малих концентраціях присутні важкі метали: нікель, ванадій, залізо, мідь, магній. В роботі [13] показано, що в складі пилу до 10 % приходить на окиси алюмінія, заліза и кальція. Додатково встановлено, що вздовж проїжджої частини міста сухих випадів ШР в повітрі в 5,4 рази більше, ніж у пішохідних доріжок. Це пов'язано з використанням при виробництві асфальтобетонних сумішей різноманітних видів пластифікаторів і добавок. Українські спеціалісти встановили, що вклад асфальту в забруднення міського повітря складає 10-15 % від загальної кількості антропогенних викидів.

За оцінками американських вчених, за останнє десятиліття в США експлуатувалось в середньому 782 млн. шин, від кожної з яких утворювалось більше 1 кг пилю в рік, тому загальна кількість шинного пилю, який щорічно викидається в містах автотранспортом, складає 880-900 тис. т. Токсичні властивості проявляють всі хімічні сполуки (більше 140), що знаходяться в частинках шинного пилю. Із них найбільш небезпечні канцерогенні ШП: бенз(α)пірен та інші поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ), а також N-нітрузоаміни. В кожному кілограмі шинного пилю і дрібнодисперсного аерозолю кількість летучих N-нітрузоамінів може складати від 20 до 70 мкг [12].

Вивчення світового досвіду показало, що в загальному об'ємі викидів ШП АТЗ за кожні 13 хвилин міського їздового циклу доля продуктів зношування з шин складає всього один відсоток. За цей же період часу з автомобільних шин виділяється більше канцерогенних речовин (56 %), ніж з ВГ двигуна (44 %); в тому числі бенз(α)пірена (57% з шин проти 43 % з ВГ двигуна). Причому гумовий пил вміщує 26 % сажі, а в складі ВГ ДВЗ її вміст досягає 74 %. Однак вклад автомобільних шин в утворення N-нітрузоамінів складає 39 %, в той час як ВГ 61 % (рис. 1.5) [12].

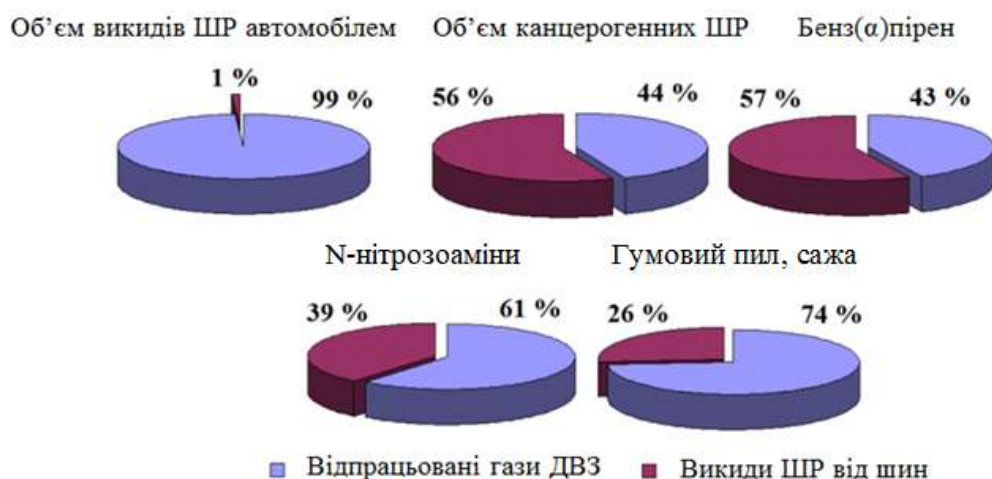


Рисунок 1.5 – Відсотковк співвідношення викидів ШП з ВГ і продуктів зношування шин

Винахідники НАМІ визначили усереднену інтенсивність зношування протекторів шин на один кілометр пробігу: від легкового автомобіля– 0,13 г/км, від автомобілів до 3,5 т– 0,32 г/км і від вантажних автомобілів і автобусів– на

рівні 1,5 г/км, що перевищує нормативи Євро-6 по викидах твердих частинок (ТЧ) з ВГ в 26, 60 і 150 раз відповідно (рис. 1.6 і 1.7) [13]. Серед хімічних речовин, що виділяються в найбільших концентраціях з автомобільних шин, виявлені: ароматичні вуглеводні (бензол, ксилол, стирол, толуол), ПАУ, аліфатичні аміни, сірковуглець, формальдегід, феноли, діоксид сірки, вуглеводні неароматичного ряду.



Рисунок 1.6 – Фактичні викиди ТЧ з ВГ при зносі шин і гальмівних накладок під час експлуатації легкових автомобілів, г/км [13]

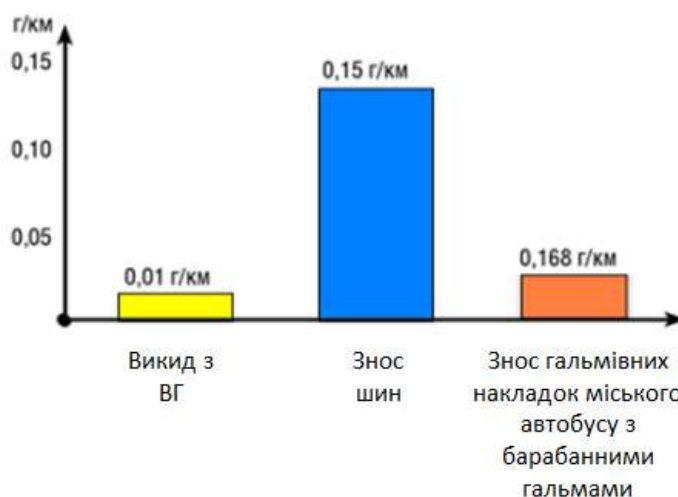


Рисунок 1.7 – Фактичні викиди ТЧ з ВГ і при зносі шин і гальмівних накладок під час експлуатації міських автобусів, г/км [13]

Проведені дослідження [12, 13] дали можливість встановити, що викиди твердих частинок при зносі шин і гальмівних накладок автомобіля перевищують норми на викиди твердих частинок легковими автомобілями за Правилами №83 ЄЕК ООН: шини в 26 раз, гальмівні накладки– в 1,8-2,2 раза.

Хоча викиди газоподібних речовин в результаті механічного стирання гальмівних фрикційних накладок незначні, але при зносі однієї гальмівної накладки можуть утворюватися канцерогенні речовини: бенз(а)пірен 0,74, бензо(б)флуорантен – 0,42 и бензо(к)флуорантен – 0,62 (частин на мільйон на конкретну вагу) [13]. Тому в найближчий час необхідний перегляд міжнародної концепції екологічного нормування не тільки шкідливих викидів з відпрацьованими газами, а й від інших джерел, у тому числі і гальмівних механізмів, що підлягають значному зносу в процесі експлуатації АТЗ.

#### **1.4 Вплив дисперсних частинок на навколишнє середовище і здоров'я людей**

Шкідливий вплив дрібнодисперсного пилу на організм людини пов'язують з фізико-хімічною взаємодією. Одним із недостатньо вивчених факторів пилового враження організму людини є можливий біологічний вплив, пов'язаний з інфекційними агентами, які можуть знаходитися на дисперсних частинках. До інфекційних агентів можна віднести безпосередньо мікроорганізми (бактерії, гриби, віруси), а також їх фрагменти.

В ході досліджень виявлено позитивний кореляційний зв'язок між рівнем ДЧ<sub>2,5</sub> і кількістю мікробних тіл (збудники захворювань верхніх дихальних шляхів, гнійно-септичних інфекцій, стафілококи, стрептококи, сінегнойна паличка, кишечна паличка, гриби) в пробах атмосферного повітря вздовж автомобільної дороги. Отримані результати підтверджують можливість існування повітряно-пилового шляху передачі інфекції в атмосфері з високим рівнем дисперсних частинок [14].

Дрібні частинки, зокрема ДЧ<sub>2,5</sub> проникають більш глибоко в легені і можуть досягати альвеол. Ультрадисперсні частинки вносять невеликий вклад в масу ДЧ<sub>10</sub>, але вони важливі з точки зору здоров'я через їх велику чисельність і поверхню. Вони з'являються в великій кількості внаслідок горіння (особливо в двигунах внутрішнього згорання).

Чорний вуглець найсильніший світлоабсорбуючий компонент ДЧ. При високих концентраціях це може приводити до дефіциту сонячного світла, що, в свою чергу може приводити до гіповітамінозу D. Гіповітаміноз D грає основну роль в розвитку рахіту у дітей. Довгостроковий дефіцит вітаміна D може призводити до збільшення захворюваності раком, збільшує ризик розвитку остеопороза. Останнім часом опубліковані результати досліджень, зв'язуючих недостатню кількість вітаміна D з послабленням імунітету, підвищеним ризиком розвитку серцево-судинних захворювань [14].

В таблиці 1.1 приведена інформація про захворювання, що викликані дисперсними частинками [14].

Таблиця 1.1 – Вплив дисперсних частинок на здоров'я людей

Забруднюючий агент	Наслідки, пов'язані з короткостроковим впливом	Наслідки, пов'язані з довгостроковим впливом
ДЧ	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Запалювальні реакції в легенях</li> <li>2. Респіраторні захворювання</li> <li>3. Насприятливий вплив на кардіоваскулярну систему</li> <li>4. Збільшення кількості використовуваних медикаментів</li> <li>5. Збільшення кількості госпіталізацій</li> <li>6. Збільшення смертності</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Збільшення кількості захворювань нижніх дихальних шляхів</li> <li>2. Ослаблення функцій легень у дітей</li> <li>3. Посилення хронічних захворювань легень</li> <li>4. Послаблення легеневої функції у дорослих</li> <li>5. Зменшення тривалості життя, що пов'язано в основному з кардіологічними захворюваннями і раком легень</li> </ol>

Таким чином з приведенного аналізу слідує, що найбільший вклад в забруднення атмосферного повітря вносить автотранспортний комплекс. Одним із видів забруднення повітря є дисперсні частинки менше 10 мкм. Основні джерела викидів дисперсних частинок в теперішній час: відпрацьовані гази АТЗ, зношування шин, гальмівних колодок і зношування дорожнього покриття.

Дисперсні частинки можуть негативно впливати на здоров'я людини, викликати різноманітні захворювання дихальних шляхів, сприяти скороченню життя людини, змінювати кліматичні умови на Землі.

## **2. РОЗРАХУНКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКИДІВ ДИСПЕРСНИХ ЧАСТИНОК АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ**

На підставі проведенного аналізу в попередньому розділі виявлені основні джерела утворення ДЧ10 в повітрі міст, такі як:

- 1) відпрацьовані гази транспортних засобів;
- 2) покриття транспортних засобів;
- 3) дорожнє покриття;
- 4) гальмівні механізми транспортних засобів.

З використанням робіт [7-13] складений алгоритм оцінки рівня техногенної безпеки АТК в результаті забруднення повітря ДЧ10. Для оцінки рівня техногенної безпеки транспортних засобів доцільно використовувати в якості критерію оцінки викидів частинок з ВГ, викидів частинок від зношування шин, викидів частинок від зношування дорожнього покриття і викидів частинок від зношування гальмівних механізмів. В процесі досліджень враховуються наступні операційні заходи:

- 1) визначення валових і питомих викидів ДЧ10;
- 2) визначення кількості автомобілів на дорожній ділянці;
- 3) визначення концентрації ДЧ10;
- 4) порівняння даних експерименту і розрахунку викидів ДЧ10.

У випадку, якщо розрахункові концентрації ДЧ10 будуть перевищувати встановлені гігієнічні нормативи, то необхідно провести санітарно-гігієнічну оцінку впливу ДЧ10 на здоров'я людей. Для цього виконується розрахунок оцінки ризику захворювання людей від взаємодії ДЧ10 (ризик довгострокового впливу і ризик специфічного впливу).

Алгоритм комплексної методики оцінки рівня техногенної безпеки автотранспортних засобів (АТЗ) в результаті забруднення повітря ДЧ10 представлений в додатку А.



## 2.1 Методика розрахунку викидів дисперсних частинок з відпрацьованими газами автотранспортних засобів

Методика оцінки викидів дисперсних частинок з ВГ автомобілів (дизельних) враховує наступні параметри:

- 1) структура автопарку, од.;
- 2) норма викидів частинок легковими і вантажними автомобілями, г/км;
- 3) розподілення автомобілів за класами екологічної безпеки, %;
- 4) витрата палива, л/100км;
- 5) річний пробіг, км/рік.

Викиди за пробігом ДЧ10 з відпрацьованими газами дизельних автомобілів  $PM_{ij}$ , г/км, визначаються за формулою

$$PM_{ij} = n_j \cdot \frac{T_i}{t}, \quad (2.1)$$

де  $n_j$  - норма викидів частинок автомобілями  $j$ -го екологічного класа, г/км;  $T_i$  - середня витрата палива  $i$ -го типу АТЗ, л/100км;  $t$  - середня витрата палива легкового автомобіля, л/100км.

Розрахунок валових викидів ДЧ10 з відпрацьованими газами дизельних автомобілів  $M_{ij}$ , т/рік, проводиться за формулою

$$M_{ij} = \sum \frac{PM_{ij} \cdot P_i \cdot N_i \cdot E_j}{10^6}, \quad (2.2)$$

де  $PM_{ij}$  - викиди за пробігом ДЧ10 від  $i$ -го типу АТЗ  $j$ -го класу екологічної безпеки, г/км;  $P_i$  - середній пробіг  $i$ -го типу АТЗ, км/рік;  $N_i$  - кількість  $i$ -го типу АТЗ, шт.;  $E_j$  - розподілення за класами екологічної безпеки, від загальної кількості типу АТЗ, %.

При розрахунку враховується, що вміст частинок ДЧ10 у ВГ складає 21 % від загального числа ДЧ [12].

### 2.1.1 Розрахунок викидів дисперсних частинок з відпрацьованими газами автотранспортних засобів

Розрахунок викидів проводиться за вихідними даними які приведені у таблиці 2.1

Таблиця 2.1 Вихідні дані для розрахунку викидів дисперсних частинок з відпрацьованими газами АТЗ

Тип АТЗ	$T_i$ , л/100км	$P_i$ , км/рік	$N_i$ , шт
Легкові	8	15000	5042475
Малої вантажності	10	30000	1293925
Середньо- та великовантажні	38	40000	750075

Для легкового автомобіля 1-го екологічного класу викиди за пробігом ДЧ10 з відпрацьованими газами складають

$$PM_{M1} = 0,14 \cdot \frac{8}{8} = 0,14 \text{ г/км},$$

тоді валові викиди легкових автомобілів

$$M_{M1} = \frac{0,14 \cdot 15000 \cdot 5042475 \cdot 0,05}{10^6} = 0,529 \text{ т/рік}.$$

Для інших автомобілів розрахунки проводяться аналогічно. Просумувавши, отримаємо загальні викиди дисперсних частинок з відпрацьованими газами АТЗ

$$\sum M_{ij} = 9,619 \text{ т/рік}.$$

## 2.2 Методика розрахунку викидів дисперсних частинок від зношування шин

Методика оцінки дисперсних частинок від зношування шин враховує наступні параметри:

- 1) концентрація дисперсних частинок, отримана в ході випробувань на універсальному комплексі «Карусель» (наприклад, полігон МАДІ);
- 2) маса шини, кг;
- 3) кількість шин, од.;
- 4) середньорічний пробіг шини, км/рік;
- 5) середня експлуатаційна швидкість руху АТЗ різного типу, км/год;
- 6) кількість АТЗ різного типу, шт.

На легковому стенді «Карусель» [7] були встановлені шини PIRELLY 205/65 R1594H (маса шини - 12,5 кг, кількість шин - 4 шт.) з швидкістю – 80 км/год.

Розроблена методика оцінки дисперсних частинок від зношування шин ТЗ, враховуючи дані, отримані в ході експериментальних досліджень на універсальному комплексі «Карусель» (легковий стенд, полігон МАДІ) дозволила на випробувальному стенді визначити максимальні концентрації ДЧ10.

Валові викиди ДЧ10 від зношування шин для парка АТЗ  $M_{шАТЗi}$ , т/рік, оцінюється за формулою

$$M_{шАТЗi} = \frac{K \cdot M_{ши} \cdot n_i \cdot P_i}{V \cdot N_i \cdot 10^{-6}}, \quad (2.3)$$

де  $K$  - питомі викиди ДЧ10 автомобільними шинами, г/кг·с;  $M_{ши}$  - маса шин для АТЗ  $i$ -го типу, кг;  $n_i$  – кількість коліс  $i$ -го типу, шт.;  $P_i$  - середньорічний пробіг шини  $i$ -го типу, км/рік;  $V$ - середня експлуатаційна швидкість руху АТЗ, км/год;  $N_i$  – кількість АТЗ  $i$ -го типу, шт.

В табл. 2.2 приведені питомі викиди ДЧ10 від шин різноманітних типорозмірів.

Таблиця 2.2 – Викиди ДЧ10 від зношування шин в залежності від типорозміру шини

Типорозмір шини АТЗ	205/65R15 Легковий автомобіль 1,2 – 2 т	185/75R16С Легка вантажівка 2 – 3,5 т	7,5R16С Середня вантажівка, автобус 6 – 12 т	315/80R22,5 Великі вантажівки >12 т
Викид ДЧ10 від зносу шини г/с	$7,053 \cdot 10^{-6}$	$9,027 \cdot 10^{-6}$	$1,721 \cdot 10^{-5}$	$3,216 \cdot 10^{-5}$

### 2.2.1 Розрахунок викидів дисперсних частинок від зношування шин

Розрахунок викидів проводиться за вихідними даними які приведені у таблиці 2.3

Таблиця 2.3 Вихідні дані для розрахунку викидів дисперсних частинок від зношування шин АТЗ

Тип АТЗ	$K_i$ , г/с	$M_{ш}$ , кг	$n_i$ , шт	$P_i$ , км/рік	$V_i$ , км/ч	$N_i$ , шт
Легковий автомобіль	$7,053 \cdot 10^{-6}$	11	4	15000	50	5042475
Легка вантажівка	$9,027 \cdot 10^{-6}$	13	4	30000	45	1293925
Середня вантажівка	$1,721 \cdot 10^{-5}$	25	6	30000	40	341275
Великі вантажівки	$3,216 \cdot 10^{-5}$	60	10	40000	30	408800

Для легкового автомобіля викиди від зношування шин складають

$$M_{шАТЗл} = \frac{7,053 \cdot 10^{-6} \cdot 11 \cdot 4 \cdot 15000}{50 \cdot 5042475 \cdot 10^{-6}} = 1,83 \cdot 10^{-5} \text{ т/рік.}$$

Для інших автомобілів розрахунки проводяться аналогічно. Просумувавши, отримаємо загальні викиди дисперсних частинок від зношування шин

$$\sum M_{шАТЗ} = 0,068 \text{ т/рік.}$$

### 2.3 Методика розрахунку викидів дисперсних частинок від зношування дорожнього покриття

Валові викиди ДЧ10 від зношування дорожнього покриття оцінюються за формулою:

$$e_i = a \cdot k \cdot (sl)^{0,52} \cdot W^{2,14} \cdot \left[ \left( \frac{1}{0,85} \right) \cdot (1 - 0,5r) \right] - e_{PM10}(2000), \quad (2.4)$$

$$e_{\Sigma} = \sum e_i \cdot N_i, \quad (2.5)$$

де  $e_i$  – емісія ДЧ10 від зношування дорожнього покриття  $i$ -ої групи потоку, г/(км·авт);  $a$  – корегуючий фактор, г/(км·авт), (1 кат.  $a = 0,8$ , 2 кат.  $a = 2$ );  $k$  – базовий фактор емісії,  $k = 0,18$  г/км;  $sl$  – фактор, що залежить від стану доріг, г/м<sup>2</sup>, (1 кат.  $sl = 0,2$ , 2 кат.  $sl = 0,4$ );  $W$  – середня маса автомобіля, т ( $W_l = 1,1$ т,  $W_{л.зр.} = 1,9$ т,  $W_{ср.зр.авт} = 9$ т);  $r$  – доля дощових днів у році, ( $r = 0,3$ , число дощових днів – 103);  $e_{PM10}(2000) = 0,016$  г/(км·авт.) – для легкових автомобілів і легких вантажних,  $e_{PM10}(2000) = 0,492$  г/(км·авт.) – для середніх вантажних автомобілів і автобусів;  $N$  – інтенсивність  $i$ -ої групи потоку, авт/доб,  $e_{\Sigma}$  – сумарна емісія ДЧ10 від зношування дорожнього покриття, г/(км·доб.).

Для розрахунку валових викидів ДЧ10 від зношування дорожнього покриття враховуються найгірші дорожні умови, так як шипована гума дуже інтенсивно руйнує покриття.

### 2.3.1 Розрахунок викидів дисперсних частинок від зношування дорожнього покриття

Розрахунок викидів проводиться за вихідними даними які приведені у таблиці 2.4

Таблиця 2.4 Вихідні дані для розрахунку викидів дисперсних частинок від зношування дорожнього покриття

Тип АТЗ	W <sub>i</sub> , т	N <sub>i</sub> , шт
Легковий автомобіль	1,6	13815
Легка вантажівка	2,75	3545
Середня вантажівка	9	935
Великі вантажівки	15	1120

Для легкового автомобіля викиди від зношування дорожнього покриття

$$e_{л} = 2 \cdot 0,18 \cdot 0,4^{0,52} \cdot 1,6^{2,14} \cdot \left[ \left( \frac{1}{0,85} \right) \cdot (1 - 0,5 \cdot 0,3) \right] - 0,016 = 0,028 \text{ г/км} \cdot \text{авт.}$$

Для інших автомобілів розрахунки проводяться аналогічно. Просумувавши, отримаємо загальні викиди від зношування дорожнього покриття

$$\sum e_{\Sigma} = 2,72 \text{ т/км} \cdot \text{рік.}$$

### 2.4 Методика розрахунку викидів дисперсних частинок від зношування гальмівних механізмів

Розрахунок валових викидів ДЧ10 від зношування фрикційних елементів гальмівних механізмів автотранспорту зводиться до визначення маси зношеного фрикційного матеріала колодок одного автомобіля розрахункового *j*-го типу, *p<sub>j</sub>*, г/1000км, можна виконувати за методикою, що приведена в [13] за формулою

$$p_i = 4(p_{jп} + n \cdot p_{jз}), \quad (2.6)$$

де  $n$  – число задніх коліс;  $p_{jп}$ ,  $p_{jз}$  - маси зношеного фрикційного матеріала однієї з колодок переднього і заднього гальмівних механізмів, г/1000 км розраховують за формулою:

$$p_{jп/з} = \rho \cdot F_j \cdot \gamma \cdot b_{1000}, \quad (2.7)$$

де  $F$  – площа фрикційної накладки, мм<sup>2</sup>, приймається за ТУ на продукцію;  $\rho$  – густина матеріалу накладки колодки, г/см<sup>3</sup>,  $\rho = 2,6$  г/см<sup>3</sup>;  $b_{1000}$  – середня інтенсивність зношування фрикційного шару за пробіг автомобіля до ТО, при якому виробник рекомендує замінити колодки при експлуатації в умовах 1-ї категорії, мм/тис.км;  $\gamma$  – коефіцієнт, що враховує інтенсивність зношування фрикційного матеріалу для інших категорій експлуатації (з більш частим режимом гальмування), може бути прийнятий рівним відношенню періодичності ТО в умовах фактичної експлуатації до 1-ї категорії (для розрахункового  $j$ -го типу автомобіля з Керівництва по експлуатації).

Далі визначається маса зношеного шару комплекту гальмівних колодок (передніх і задніх) потоку  $N_j$ , авт./год, розрахункового  $j$ -го типу автомобіля на 1 км пробіга на протязі 1 години, за формулою

$$M_i = 0,001 \cdot N_j \cdot p_j. \quad (2.8)$$

#### 2.4.1 Розрахунок викидів дисперсних частинок від зношування гальмівних механізмів

Розрахунок викидів проводиться за вихідними даними які приведені у таблиці 2.5

Таблиця 2.5 Вихідні дані для розрахунку викидів дисперсних частинок від зношування гальмівних механізмів

Тип АТЗ	$F_i$ , мм	$p_i$ , г/1000 км	$N_i$ , авт./год
Легковий автомобіль	7880	0,0491	576
Легка вантажівка	16200	0,141	148
Середня вантажівка	20200	0,415	39
Великі вантажівки	28480	0,853	47

Для легкового автомобіля викиди дисперсних частинок від зношування

гальмівних механізмів

$$M_{л} = 0,001 \cdot 576 \cdot 0,0491 = 0,02832 \text{ г/год.}$$

Для інших автомобілів розрахунки проводяться аналогічно. Просумувавши, отримаємо загальні викиди

$$\sum M = 3,85 \cdot 10^{-5} \text{ т/рік.}$$

## **2.5 Результати розрахунків і заходи щодо зниження рівня техногенної безпеки автотранспортних засобів**

У додатку Б приведені розрахунки викидів дисперсних частинок від відпрацьованих газів АТЗ, покришок АТЗ, дорожнього покриття, гальмівних механізмів АТЗ.

Результати, отримані за розробленою методикою, показали, що максимальний викид частинок відбувається з ВГ ДВЗ – 77,5%, викиди частинок від зношування дорожнього покриття складає 21,9%, викиди частинок від зношування шин різноманітних ТЗ складає 0,6%.

Для зменшення викидів дисперсних частинок менше 10 мкм від автотранспортного комплексу в місті необхідно провести заходи, які змогли б сприятливо вплинути на навколишнє середовище і зниження негативного впливу на людину. Природоохоронні заходи повинні бути ефективними і економічними. Витрати на виконання заходів повинні бути мінімальними, при цьому ефективність у відношенні техногенної безпеки повинна бути максимальною.

У додатку В приведена розроблена блок-схема заходів, спрямованих на зниження забруднення повітря дисперсними частинками від автотранспортного комплексу. Це рекомендовані шляхи зниження забруднення атмосферного повітря дисперсними частинками, які необхідно проводити в місті для покращення техногенної безпеки.

Задля підтвердження одного із запропонованих заходів зниження техногенної небезпеки від викидів ДЧ з відпрацьованими газами дизельного двигуна було проведено експеримент на моторному стенді.

### 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКИДІВ ДИСПЕРСНИХ ЧАСТИНОК З ВІДПРАЦЬОВАНИМИ ГАЗАМИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА

#### 3.1 Моторний стенд для проведення експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження проводилися на спеціально створеному моторному стенді, який розміщено у приміщенні лабораторії, а ВГ відводяться за її межі. Загальний вид експериментальної установки з датчиками та приладами для вимірювання параметрів наведено на рис. 3.1.

Основою стенда було обрано дизель-генераторну енергетичну установку моделі SD-2000E, на якій встановлено одноциліндровий дизельний двигун з примусовим повітряним охолодженням TD 170 F.

Робочим об'ємом циліндру двигуна –  $211 \text{ см}^3$ ; номінальна потужність – 2,8 кВт; ступінь стиску – 20; частота обертання колінчастого валу –  $3600 \text{ хв}^{-1}$ .

Моторний стенд (рис. 3.1) складається з дизельного двигуна 1, навантажувального генератора 2, автотрансформатора 3 та навантажувального резистора 4. В системі випуску ВГ встановлений каталітичний нейтралізатор 5. За допомогою електричного генератора, вал якого безпосередньо з'єднаний з колінчастим валом двигуна, змінювалися режими навантаження двигуна.

На дизель-генераторній установці SD-2000E використовується електричний генератор DG3LE. Це однофазна електрична машина, максимальна потужність якої 1,8 кВт при 3600 об/хв, максимальна напруга 230 В, частота струму 60 Гц. ККД генератора дорівнює  $\eta_g = 0,9$ .

Зміна навантаження двигуна здійснюється за допомогою автотрансформатора 3, на вході якого вимірюються напруга та електричний струм за допомогою мультиметрів 16 і 17. Для навантаження генератора використовуються резистори опором 24 Ом, які розраховані на загальну потужність 2 кВт. На виході випускного трубопроводу встановлено оптичний блок димоміра 6. Концентрації сажі у ВГ визначалися за результатами



вимірювань лінійного показника поглинання  $N$  у відсотках димності від 0 до 100% за допомогою димоміра ИНА – 109.

Принцип дії димоміра оснований на вимірюванні поглинання променя світла, під час його проходження через прошарок ВГ. Використовуючи графік залежності лінійного показника поглинання від концентрації сажі у ВГ можна за показником димності визначити показник концентрації сажі.

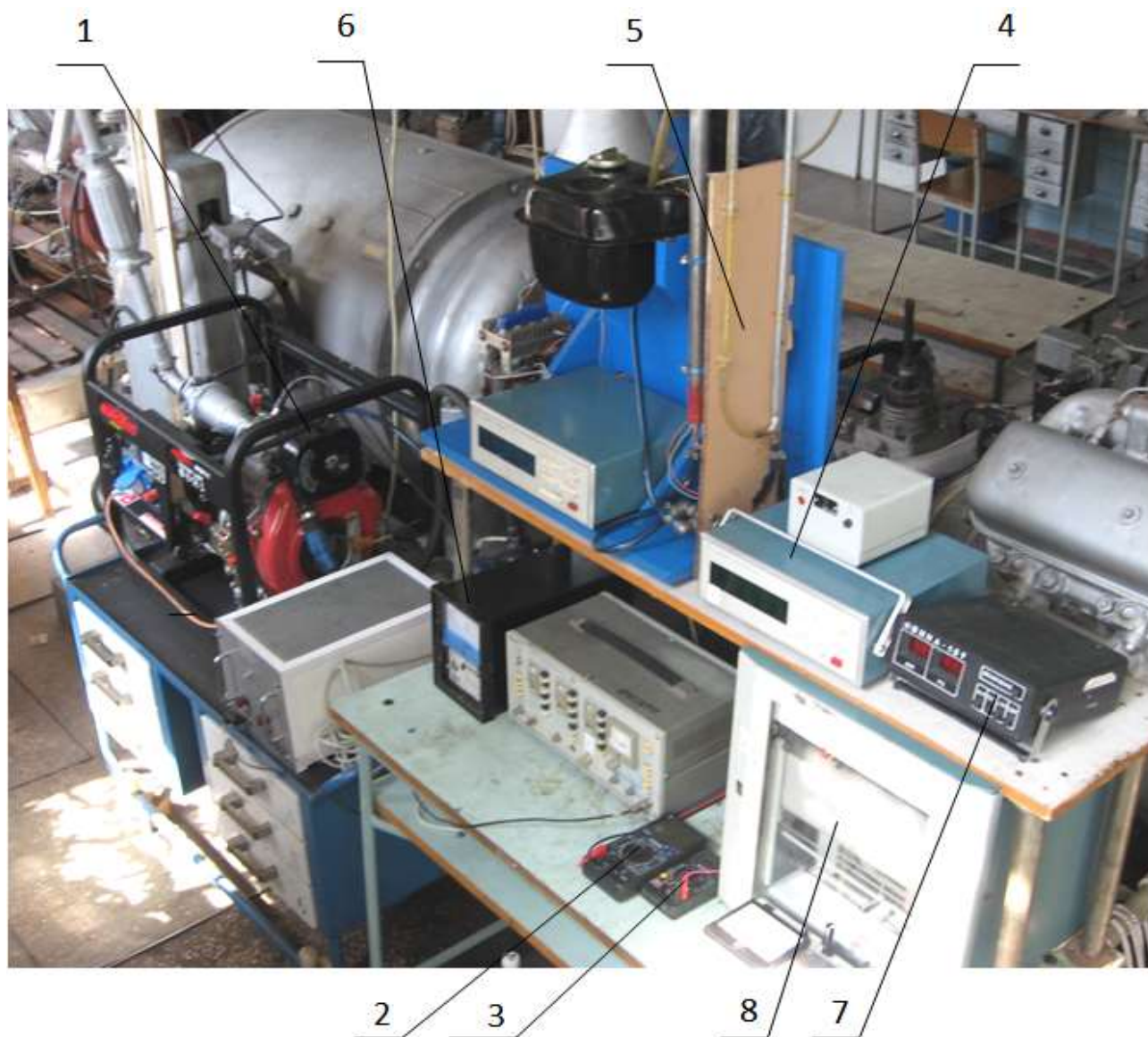


Рисунок 3.1 – Експериментальна установка

1 – дизель-генератор SD-2000E; 2 – амперметр; 3 – вольтметр;  
4 – тахометр ТЦ – 5; 5 – витратомір палива; 6 – прилад «Турбоквант»;  
7 – димомір ИНА – 109; 8 – прилад КСП – 4

Поряд із лінійним показником використовують логарифмічний натуральний показник поглинання  $K$ , одиницею виміру якого є  $\text{м}^{-1}$ . Його можна визначити за відомим лінійним показником за формулою

$$K = -\frac{1}{L} \cdot \ln\left(1 - \frac{N}{100}\right), \quad (3.1)$$

де  $L = 0,43 \text{ м}$  – фотометрична база димоміра, яка являє собою відстань від джерела світла до фотоприймача.

Натуральний показник поглинання має перевагу перед лінійним показником через те, що між натуральним показником поглинання і концентрацією сажі існує лінійна залежність. Використовуючи рівняння даної лінійної залежності отримаємо формулу для визначення концентрації сажі у ВГ залежно від натурального показника поглинання

$$C_c = 0,181K, \quad (3.2)$$

або з урахуванням формули (3.1) можна записати

$$C_c = -\frac{0,181}{L} \cdot \ln\left(1 - \frac{N}{100}\right) \quad (3.3)$$

Під час проведення випробувань для визначення концентрації сажі вимірювався лінійний показник поглинання  $N$  у відсотках, потім за формулою (3.3) визначалася концентрація сажі у ВГ

### **3.2 Результати експериментальних досліджень концентрації сажі у відпрацьованих газах дизельного двигуна**

Оскільки у даній роботі досліджувалися викиди дисперсних частинок, то визначалися характеристики екологічної безпеки дизельного двигуна за шкідливими компонентами, які є продуктами неповного згорання, а саме частинок сажі ( $C$ ). Результати досліджень подані на рис. 3.2.

З рис. 3.2 видно, що викиди твердих часток за наявності у випускній системі каталітичного нейтралізатора (КН) мірою зростання потужності також зростають. Але їх значення дещо нижче ніж у випадку відсутності КН. Це

зумовлене тим, що активність КН по відношенню до твердих часток значно менша ніж по відношенню до СО та  $C_nH_m$ . У середньому застосування каталітичного нейтралізатора дає змогу зменшити викиди сажі на 12%.

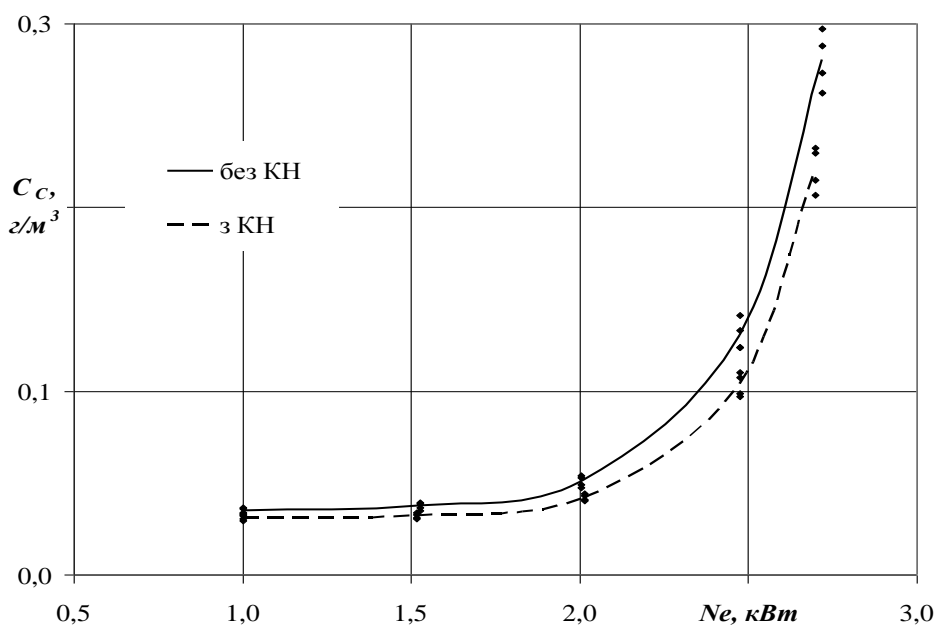


Рисунок 3.2 – Залежності концентрацій сажі у ВГ від потужності двигуна

Також за допомогою моторного стенду були проведені експериментальні дослідження з впливу біодизеля та бінарних сумішей біодизеля з традиційним дизельним паливом на викиди дисперсних частинок з відпрацьованими газами. Для досліджень застосовувалося паливо, яке отримане з ріпакової олії шляхом етерифікації жирних кислот, що входять до її складу. Під час роботи дизельного двигуна визначалася концентрація дисперсних частинок сажі ( $C$ ) у відпрацьованих газах на різному паливі: 0 – традиційне дизельне паливо (ДП), Б100 - чистий біодизель, Б25, Б50, Б75 - відповідні суміші біодизеля (БП) з ДП, де число показує відсотковий вміст біодизеля в суміші. На рис. 3.3 подано залежності концентрацій  $C$  у ВГ двигуна від потужності двигуна на різних видах палива.

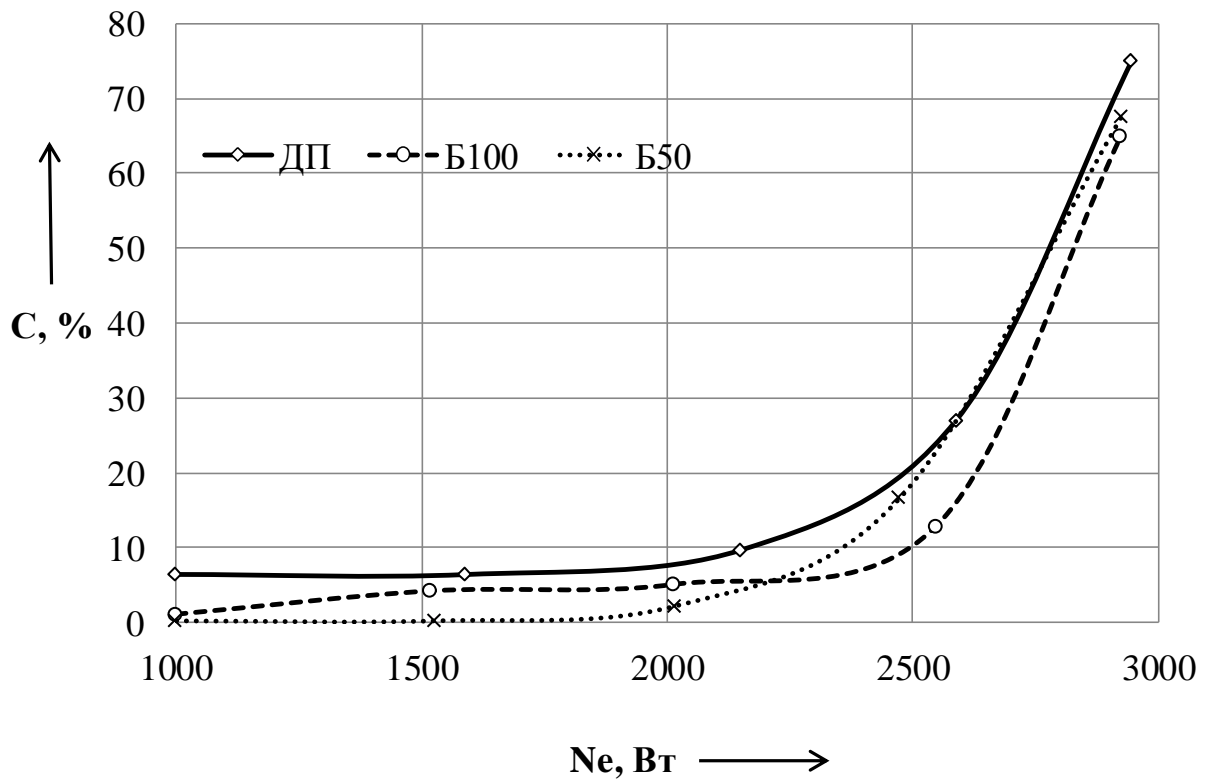


Рисунок 3.3 – Залежності концентрацій С у ВГ двигуна від потужності двигуна на різних видах палива

З рис. 3.3 видно, що під час роботи двигуна на традиційному дизельному паливі його димність (викиди дисперсних частинок сажі) змінюються від 6,43 % на малій потужності (1 КВт) до 75% на максимальній потужності (2,9 КВт). При роботі двигуна на тих самих режимах, але на чистому біодизельному паливі димність змінюється від 1,12% до 65%. Що ж стосується суміші біопалива Б50, то димність при роботі двигуна змінюється від 0,23% до 68%. При цьому середня димність на всіх режимах складає: для ДП 25%, для Б100 18%, для Б50 17%. Отже при роботі двигуна на біодизельному паливі зменшення викидів дисперсних частинок сажі порівняно з ДП у середньому складає 29%, суміш Б50 дає таке зменшення порівняно з ДП 30%

На рис. 3.4 зображені залежності концентрації сажі у  $\text{г/м}^3$  в залежності від складу бінарної суміші при різних режимах роботи двигуна, оснащеного КН.

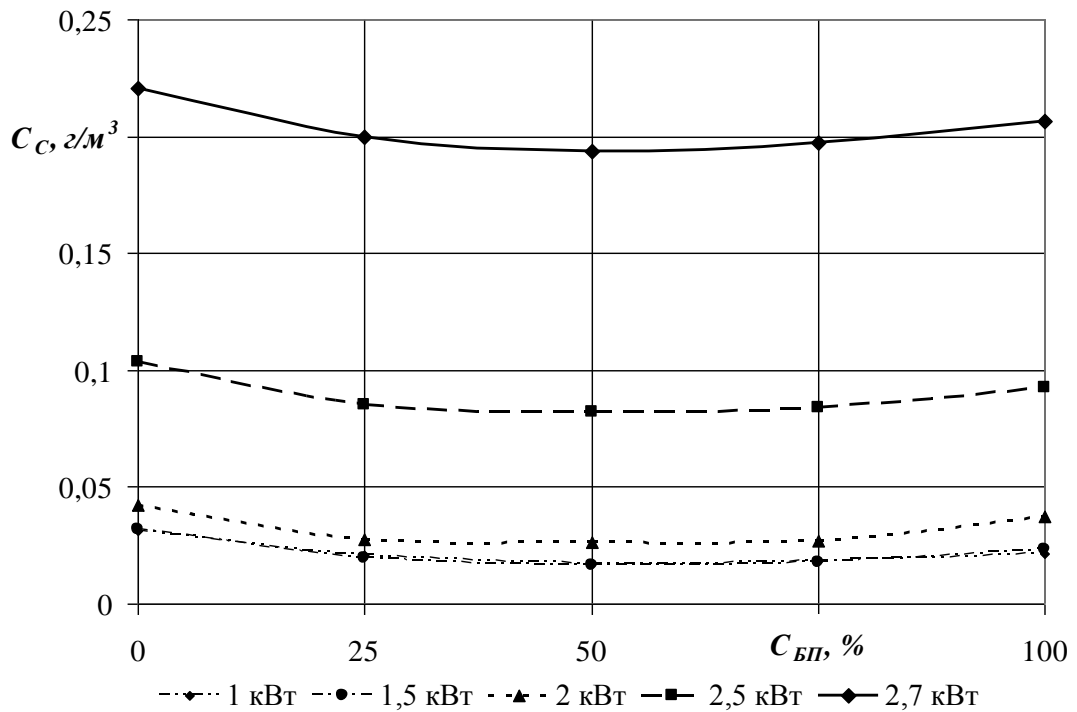


Рисунок 3.4 – Залежності концентрацій  $C$  у ВГ двигуна, оснащеного КН, від вмісту БП у біодизельній суміші

З рис. 3.4 видно, що мінімуми концентрацій продуктів неповного згоряння залежно від режиму роботи двигуна відповідає вмісту БП у бінарній суміші 25% – 50 %, як і за відсутності КН.

Мінімальні концентрації сажі відповідають потужностям 1 та 1,5 кВт. Це пояснюється тим, що при зростанні потужності двигуна зростає температура ВГ, що підвищує активність КН.

Отже, проведені експериментальні дослідження свідчать про те, що шляхами зменшення викидів дисперсних частинок дизельним двигуном є встановлення каталітичного нейтралізатора, який разом зі зниженням концентрацій СО та вуглеводнів знижує і викиди сажі, і застосування в якості палива біодизеля з ріпакової олії або сумішей ДП з БП.

## ВИСНОВКИ

1. Найбільший вклад в забруднення атмосферного повітря вносить автотранспортний комплекс. Одним з видів забруднення повітря є дисперсні частинки менше 10 мкм. Основними джерелами викидів дисперсних частинок є відпрацьовані гази АТЗ, зношування шин, гальмівних колодок і зношування дорожнього покриття.

2. Розроблено алгоритм оцінки техногенної безпеки автотранспортних засобів в результаті забруднення повітря дисперсними частинками від відпрацьованих газів двигуна, зношування шин, дорожнього покриття і фрикційних гальмівних колодок.

3. Результати, отримані за розробленою методикою, показали, що максимальний викид частинок відбувається з ВГ ДВЗ – 77,5%. Перевищення норм викидів згідно стандарту Euro-6 складає: для легкових автомобілів у 117 рази, для автомобілів малої вантажності у 292 рази, для середньо- та великовантажних автомобілів у 1272 рази.

4. Запропоновані заходи для зниження забруднення повітря дисперсними частинками від автотранспортних засобів.

5. У результаті експериментальних досліджень на моторному стенді встановлено, що зменшити викиди дисперсних частинок дизельним двигуном можна шляхом застосування каталітичного нейтралізатора відпрацьованих газів і використанням біодизельного палива на основі ріпаку. При установці каталітичного нейтралізатора викиди сажі зменшуються в середньому на 12%. Використання біодизелю Б100 дає зменшення викидів сажі на 29% у порівнянні з дизельним паливом, суміш Б50 зменшує викиди сажі на 30%.

6. Результати досліджень використовуються у навчальному процесі підготовки фахівців освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 133 – «Галузеве машинобудування» при проведенні лабораторних занять з дисципліни «Автомобільні двигуни» Кременчуцького національного університету імені М.Остроградського.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Канило П.М. Автомобиль и окружающая среда. / П.М. Канило, И.С. Бей, О.И. Ровенский – Х.: Прапор, 2000. – 304 с.
2. Автомобильный транспорт и защита окружающей среды / Малов Р.В., Ерохов В.И., Щетина В.А., Беляев В.Б. – М.: Транспорт, 1982. – 200 с.
3. Рамочный план организации мониторинга взвешенных частиц в атмосфере в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии. Чичерин С., ВОЗ, Европейский центр по окружающей среде и охране здоровья, Бонн, 2006 г. С.8 – 10. – Режим доступа: [http://www.euro.who.int/data/assets/pdf\\_file/0020/130763/E88565R.pdf](http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0020/130763/E88565R.pdf).
4. Луканин В.Н. Промышленно-транспортная экология / В.Н Луканин, Ю.В. Трофименко. – М.: Высш. шк., 2003. – 273 с.
5. Борисюк, Н.В. Автомобильно-дорожный комплекс в системе городской экологии. Чем грозят горожанину мелкодисперсные взвешенные частицы, попадающие в воздух над дорогами и магистралями / Н.В. Борисюк, С.М. Дмитриев // Научно-популярный журнал «Экология и жизнь». – 2013. – №1. – С. 63- 68
6. Архипов В.А. Аэрозольные системы и их влияние на жизнедеятельность : учеб. пособие для вузов / В.А. Архипов, У.М. Шереметьева. – Томск, 2007. С.10 – 14. – режим доступа: <http://cok.opredelim.com/docs/300/index-35554.html>
7. Трофименко Ю.В. Разработка научной методологии обеспечения техносферной безопасности автотранспортного комплекса (АТК): отчет о НИР /Ю.В. Трофименко. – Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, 2011. – С.17.
8. Кульчицкий А.Р. Образование дисперсных частиц при горении топлива в дизелях / А.Р. Кульчицкий // Экология и промышленность России. – 2009. – №12. – с.35 – 37.

9. Денисов В.Н. Микроскопические твердые частицы как приоритетный вид загрязнения атмосферного воздуха урбанизированной территории / В.Н. Денисов, О.И. Копытенкова // Материалы 3-й международной конференции «Техносферная и экологическая безопасность на транспорте», Петербургский государственный университет путей сообщения. – СПб: ноябрь, – 2012. – с.72 – 76.

10. Соболев А.А. К вопросу о движении частиц в воздушном потоке / А.А. Соболев // Экология и промышленность России. – 2009. – № 2. – с.22 – 25.

11. Стратегический обзор научных исследований и подходящих методов контроля выбросов сажи. Международный совет по экологически чистому транспорту. – 2010. – июнь. – С. 4. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docplayer.ru/33756670-Strategicheskiiy-obzor-nauchnyh-issledovaniy-i-podhodyashchih-metodov-kontrolya-vybrosov-sazhi.html>

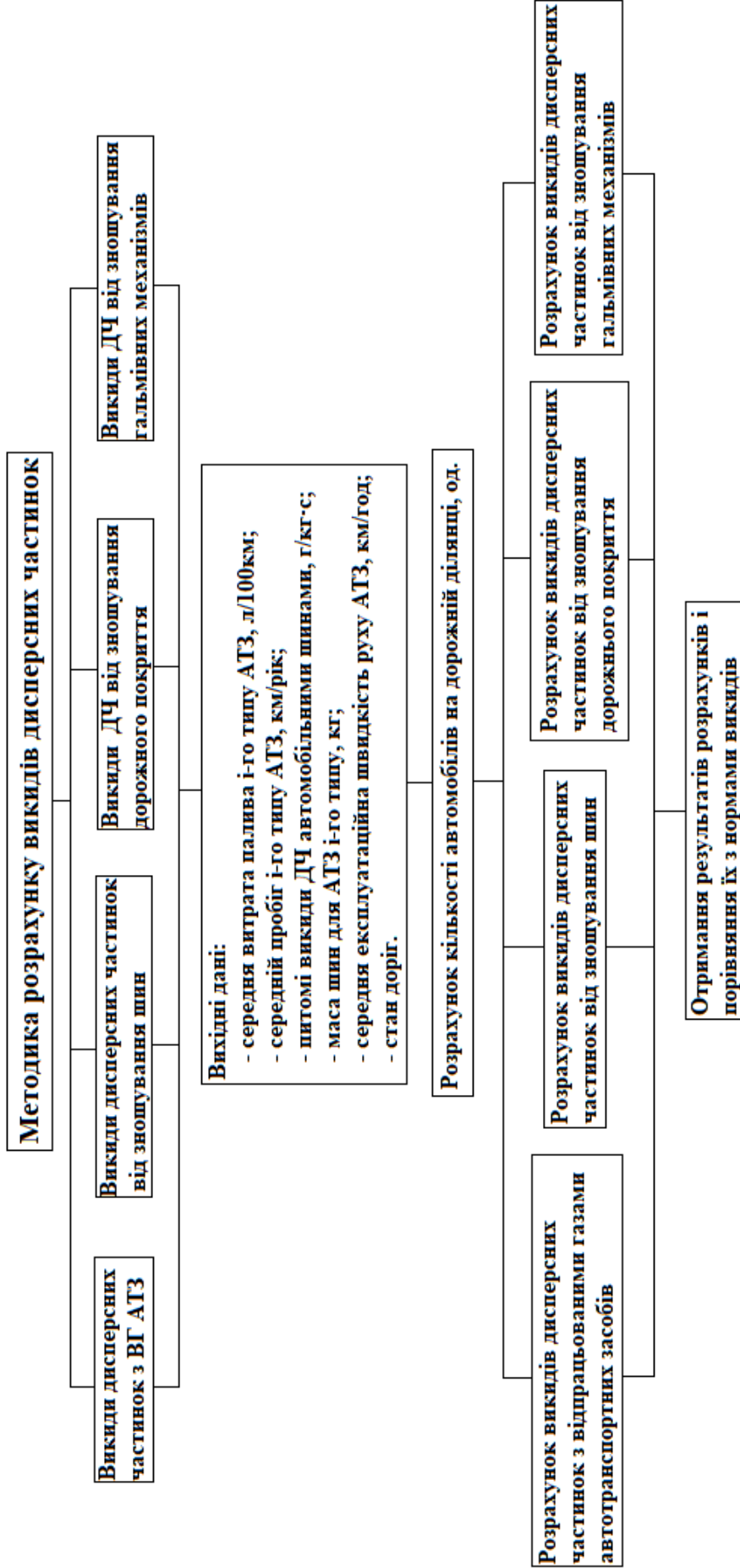
12. Хесин А.И. Канцерогенная опасность автомобильных шин /А.И. Хесин, М.Е. Скудатын, В.Н. Ушмодин // Национальная безопасность и геополитика России, №10-11(51-52), 2003 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.hesin-tech.ru/article21.html>.

13. Гудков В.А. Безопасность транспортных средств (автомобили) / В.А. Гудков [и др.]: Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2010. – 431 с.

14. Копытенкова О.И. Невидимые убийцы, или риски, обусловленные мелкодисперсной пылью от транспорта / О.И. Копытенкова., А.В. Леванчук., И.Р. Мингулова // Нанотехнологии Экология Производство. – 2013. – № 1(20). – С.35 – 37.



Алгоритм комплексної методики оцінки рівня екологічної безпеки АТЗ



## Результати розрахунків викидів дисперсних частинок

## Викиди дисперсних частинок з ВГ

Вихідні дані:

Тип АТЗ	Ti, л/100к м	Pi, км/рік	Ni, шт/рік	E1,%	E2,%	E3,%	E4,%	E5,%	E6,%
Легкові	8	15000	5042475	5	20	5	50	5	15
Малої вантажопід'ємності	10	30000	1293925	5	20	5	50	5	15
Середньої і великої вантажопід'ємності	38	40000	750075	5	10	5	60	10	10

Норма викидів ДЧ автомобілями J-го екологічного класу, г/км

1	2	3	4	5	6
0,14	0,08	0,05	0,025	0,005	0,005

Результати розрахунків:

Викиди за пробігом  $PM_{ij}$ , г/км

Тип АТЗ	Клас екологічної безпеки					
	1	2	3	4	5	6
Легкові	0,140	0,080	0,050	0,025	0,005	0,005
Малої вантажопід'ємності	0,175	0,100	0,063	0,031	0,006	0,006
Середньої і великої вантажопід'ємності	0,665	0,380	0,238	0,119	0,024	0,024

Валові викиди дисперсних частинок  $M_{ij}$ , т/рік

Тип АТЗ	Клас екологічної безпеки					
	1	2	3	4	5	6
Легкові	0,529	1,210	0,189	0,945	0,019	0,057
Малої вантажопід'ємності	0,340	0,776	0,121	0,607	0,012	0,036
Середньої і великої вантажопід'ємності	0,998	1,140	0,356	2,138	0,071	0,071

Сума всіх викидів, т/рік

9,616

Викиди ДЧ10 від зношування дорожнього покриття

Вихідні дані

Тип АТЗ	W <sub>i</sub> , т	N <sub>i</sub> , авт/доб	a	k	sl	A	L <sub>pm10</sub>
Легковий автомобіль	1,6	13815	2	0,18	0,4	0,3	0,016
Легка вантажівка	2,75	3545					0,016
Середня вантажівка, автобус	9	935					0,492
Великі вантажівки	15	1120					0,492

Результати розрахунків:

Тип АТЗ	e <sub>i</sub> , г/км*авт	E, г/км*доб
Легковий автомобіль	0,028278251	390,6640394
Легка вантажівка	0,125106059	443,5009775
Середня вантажівка, автобус	1,292237515	1208,242076
Великі вантажівки	4,831643813	5411,441071

Сума викидів	г/км*доб	т/км*рік
	7453,848164	2,72065458

Викиди ДЧ від зношування шин

Вихідні дані:

Тип АТЗ	K <sub>i</sub> , г/с	Mш <sub>i</sub> , кг	η <sub>i</sub> , шт	P <sub>i</sub> , км/рік	V <sub>i</sub> , км/год	N <sub>i</sub> , шт/рік
Легковий автомобіль	7,053·10 <sup>-6</sup>	11	4	15000	50	5042475
Легка вантажівка	9,026·10 <sup>-6</sup>	13	4	30000	45	1293925
Середня вантажівка, автобус	1,721·10 <sup>-5</sup>	25	6	30000	40	341275
Великі вантажівки	3,216·10 <sup>-5</sup>	60	10	40000	30	408 800

Результати розрахунків:

Тип АТЗ	Mшатз, т/рік
Легковий автомобіль	1,84·10 <sup>-5</sup>
Легка вантажівка	2,41·10 <sup>-4</sup>
Середня вантажівка, автобус	5,67·10 <sup>-3</sup>
Великі вантажівки	6,29·10 <sup>-2</sup>

Сума всіх викидів, т/рік	6,88·10 <sup>-2</sup>
--------------------------	-----------------------

Викиди ДЧ10 від зношування гальмівних колодок

Вихідні дані

Тип АТЗ	Колесо	V1000, мм/тис.км	F <sub>i</sub> , мм	P, г/см <sup>3</sup>	N <sub>i</sub> , авт/год	n, шт
Легковий автомобіль	З	0,125	7880	2,6	576	2
	П	0,25				
Легка вантажівка	З	0,175	16200		148	2
	П	0,35				
Середня вантажівка, автобус	З	0,275	20200		39	4
	П	0,55				
Великі вантажівки	З	0,4	28480		47	4
	П	0,8				

Результати розрахунків:

Тип АТЗ	Колесо	P <sub>j</sub> , г/1000км	P <sub>i</sub> , г/1000км	M <sub>i</sub> , г/год	M <sub>i</sub> , т/рік
Легковий автомобіль	З	0,0030732	0,0491712	0,02832	1,03E-05
	П	0,0061464			
Легка вантажівка	З	0,0088452	0,1415232	0,02095	7,65E-06
	П	0,0176904			
Середня вантажівка, автобус	З	0,0173316	0,4159584	0,01622	5,92E-06
	П	0,0346632			
Великі вантажівки	З	0,03554304	0,853033	0,04009	1,46E-05
	П	0,07108608			

Сума всіх викидів т/рік	3,85378E-05
-------------------------	-------------

Порівняння норм викидів з розрахунковими

Тип АТЗ	Норми викидів г/км			Розрахункові викиди г/км			Перевищення норм		
	ВГ	Дорожнє покриття	Знос шин	ВГ	Дорожнє покриття	Знос шин	ВГ	Дорожнє покриття	Знос шин
Легковий автомобіль	0,005	0,005	0,005	0,585	0,028	0,000004	117	6	-
Легка вантажівка	0,005	0,005	0,005	1,463	0,125	0,00019	293	25	-
Середні та великі вантажівки	0,005	0,01	0,01	6,365	3,221	0,091	1273	322	9

## ДОДАТОК В

