

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра екології, хімії та технологій захисту довкілля

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

на тему:

**«Дослідження завантаженості міських вулиць автотранспортом та  
приземних викидів в атмосферу»**

Виконав: студент групи ТЗД-22м  
спеціальності 183 – «Технології захисту  
навколишнього середовища»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Мусінкевич І. В.

(прізвище та ініціали)

Керівник: д.т.н., професор кафедри ЕХТЗД

Сакалова Г.В.

(прізвище та ініціали)

« 13 » 12 2023 р.

Опонент: д.х.н., професор кафедри ЕХТЗД

Ранський А.П.

(прізвище та ініціали)

« 13 » 12 2023 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ЕХТЗД

к.т.н., доц. Іщенко В.А.

(прізвище та ініціали)

«13» грудня 2023 р.



Вінниця – 2023 рік

## ІНДИВІДУАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Вінницький національний технічний університет  
Факультет Будівництва, цивільної та екологічної інженерії  
Кафедра Екології, хімії та технологій захисту довкілля  
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)  
Галузь знань – 18 «Виробництво та технології»  
Спеціальність – 183 – «Технології захисту навколишнього середовища»  
Освітньо-професійна програма – "Технології захисту навколишнього середовища"

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕЕБ

Іщенко В.А.

БУДІВНИЦТВА,  
ЦИВІЛЬНОЇ ТА  
ЕКОЛОГІЧНОЇ  
ІНЖЕНЕРІЇ

18 вересня 2023 року

## ЗАВДАННЯ

### НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Мусінкевичу Івану Вікторовичу



(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи «Дослідження завантаженості міських вулиць автотранспортом та приземних викидів в атмосферу» керівник роботи Сакалова Галина Володимирівна затверджені наказом вищого навчального закладу від «18» вересня 2023 року № 247
- Строк подання студентом роботи «13» грудня 2023 року
- Вихідні дані до роботи: Середній рівень реалізації пального АЗС у м. Вінниці за добу (таблиця Б 1)
- Зміст текстової частини:
  - Дослідження впливу екологічних ризиків автотранспорту на довкілля
  - Екологічна безпека автомобільних відпрацьованих газів
  - Аналіз забруднення атмосферного повітря автомобільними відпрацьованими газами на території м. Вінниця
  - Заходи щодо ресурсозбереження у сфері транспорту та зменшенню шкідливого впливу відпрацьованих автомобільних газів на навколишнє середовище
  - Еколого - економічна оцінка переходу на суміш біодизель В20 для міського транспорту у Вінниці

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Структура парку транспортних засобів в Україні
2. Викиди вуглекислого газу в атмосферу
3. Тенденції викидів забруднюючих речовин транспортними засобами в Україні
4. Щорічна кількість смертей через забруднення повітря на 100 000 осіб
5. Обсяги викидів основних забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення у Вінницькій області

6. Консультанти розділів роботи

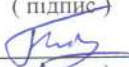
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
5. Еколого - економічна оцінка переходу на суміш біодизель В20 для міського транспорту у Вінниці	Краєвська Алла Станіславівна		

7. Дата видачі завдання « 18 » вересня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прим
1.	Літературний огляд та аналіз проблем технологій захисту довкілля при експлуатації автомобіля	30.09.2023	
2.	Дослідження впливу екологічних ризиків автотранспорту на довкілля	15.10.2023	
3.	Досліджено екологічну безпеку автомобільних відпрацьованих газів	31.10.2023	
4.	Проаналізовано забруднення атмосферного повітря автомобільними відпрацьованими газами на території м. Вінниця	13.11.2023	
5.	Розглянуто заходи по зменшенню шкідливого впливу відпрацьованих автомобільних газів на навколишнє середовище	20.11.2023	
6.	Розраховано еколого - економічну оцінку переходу на суміш біодизель В20 для міського транспорту у Вінниці	30.11.2023	
7.	Підготовка висновків, додатків і переліку літератури.	13.12.2023	

Студент  Мусінкевич І. В.

Керівник роботи  Сакалова Г. В.

## ВІДГУК

на магістерську кваліфікаційну роботу студента II курсу,  
групи ТЗД 22м, спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього  
середовища»

**Мусінкевича Івана Вікторовича**

на тему: «**Дослідження завантаженості міських вулиць  
автотранспортом та приземних викидів в атмосферу**»

Дипломна робота присвячена вирішенню важливого та актуального питання: моніторингу стану атмосферного повітря в місті Вінниця. Актуальність теми даної дипломної полягає в тому, що значні зміни, що відбулись за період 2022-23 року потребують проведення подібних досліджень в динаміці до попереднього періоду.

Автором роботи запропоновано ефективний комплексний підхід оцінки стану повітря на найбільш завантажених ділянках вулиць і перехресть міста, використовуючи для вимірювання політантів експрес-методи.

Студент Мусінкевич І.В. вчасно виконав основні завдання роботи і належним чином їх оформив. Під час виконання роботи виявив самостійність, відповідальність, належну компетентність і високий рівень знань з екологічних дисциплін.

Робота структурно загальноприйнята, складається із вступу, основних розділів, висновків, списку літератури, містить достатню кількість рисунків, таблиць, додатків. Робота має практичне значення, виконана на належному науково-методичному рівні і заслуговує позитивної оцінки.

Науковий керівник:



д.т.н., професор кафедри  
екології хімії та технологій  
захисту довкілля  
Вінницького національного  
технічного університету,  
Сакалова Г.В.

## ВІДГУК ОПОНЕНТА

на магістерську кваліфікаційну роботу студента II курсу,  
групи ТЗД - 22м, спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього  
середовища»

**Мусінкевича Івана Вікторовича**

на тему: **«Дослідження завантаженості міських вулиць  
автотранспортом та приземних викидів в атмосферу»**

В роботі встановлено доцільність використання комплексного підходу для дослідження якості атмосферного повітря у найбільш завантажених автотранспортом ділянках вулиць міста Вінниці. Використано порівняльних аналіз щодо збільшення приземних викидів в атмосферу за період два роки.

Представлені результати приземних викидів в атмосферу у кореляції до відповідних погодних умов (температура, вологість повітря) і до зміни завантаженості автотранспортом відповідних вулиць і перехресть за вищевказаний період. Автором також запропоновані основні заходи що до покращення стану атмосферного повітря та надано відповідне економічне обґрунтування таких заходів.

Робота має практичне значення, виконана на належному науково-методичному рівні і заслуговує позитивної оцінки.

Опонент д.х.н., професор  
кафедри ЕХТЗД ВНТУ  
(посада, місце роботи)



(підпис)

Ранський А.П.  
(прізвище, ініціали)

## АНОТАЦІЯ

УДК 504.3.054

Мусінкевич І. В. «Дослідження завантаженості міських вулиць автотранспортом та приземних викидів в атмосферу». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 183 – «Технології захисту навколишнього середовища», освітня програма – «Технології захисту навколишнього середовища». Вінниця: ВНТУ, 2023. 78 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 28 назва; рис.: 16; табл.: 26

Робота включає аналіз хімічного складу відпрацьованих газів, їх властивостей та впливу на довкілля. Досліджено рівень забруднення повітря в місті Вінниця та нормативно-правову базу для покращення екологічної ситуації в транспортному секторі.

У своїй роботі автор також розглядає різні технологічні підходи до зменшення впливу автомобільних відпрацьованих газів на навколишнє середовище. Пропонуються конструкційні та технологічні рішення для поліпшення показників автомобільного транспорту з точки зору паливної ефективності та екологічної безпеки.

Отже, дипломна робота висвітлює важливість вивчення та розробки заходів для зменшення негативного впливу автотранспорту на навколишнє середовище та підкреслює необхідність розвитку екологічно збалансованих технологій у сфері автомобільного транспорту.

Ключові слова: екологічний вплив, відпрацьовані гази, автомобіль, транспорт, екологічна безпека.

## **ABSTRACT**

UDC 504.3.054

I. V. Musinkevich "Study of traffic congestion of city streets and surface emissions into the atmosphere." Master's thesis on specialty 183 - "Technologies of environmental protection", educational program - "Technologies of environmental protection". Vinnytsia: VNTU, 2023. 78 p.

In Ukrainian speech Bibliography.: 28 titles; fig.: 16; tab.: 26

The work includes the analysis of the chemical composition of exhaust gases, their properties and impact on the environment. The level of air pollution in the city of Vinnytsia and the legal framework for improving the environmental situation in the transport sector were studied.

In his work, the author also considers various technological approaches to reducing the impact of automobile exhaust gases on the environment. Design and technological solutions are offered to improve the indicators of road transport from the point of view of fuel efficiency and environmental safety.

Therefore, the thesis highlights the importance of studying and developing measures to reduce the negative impact of motor vehicles on the environment and emphasizes the need for the development of ecologically balanced technologies in the field of road transport.

**Key words:** environmental impact, exhaust gases, car, transport, environmental safety.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ АВТОТРАНСПОРТУ НА ДОВКІЛЛЯ.....	9
1.1 Вплив відпрацьованих автомобільних газів на стан атмосфери.....	9
1.2 Хімічний склад та основні властивості автомобільних відпрацьованих газів.....	11
1.3 Аналіз забруднення довкілля та вплив газових викидів автомобільного транспорту на ґрунти.....	14
1.4 Впливу автомобільних відпрацьованих газів на здоров'я людини.....	18
2. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА АВТОМОБІЛЬНИХ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ.....	22
2.1 Система оцінки якості повітря Air Quality Index у м. Вінниця.....	22
2.2 Аналіз забруднення атмосферного повітря в м. Вінниця.....	24
3. АНАЛІЗ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ АВТОМОБІЛЬНИМИ ВІДПРАЦЬОВАНИМИ ГАЗАМИ НА ТЕРИТОРІЇ М. ВІННИЦЯ.....	30
3.1 Характеристика автомобільного парку міста Вінниця .....	30
3.2 Оцінка викидів забруднюючих речовин.....	31
3.3 Визначення вмісту чадного газу у викидах автотранспорту.....	38
3.4 Визначення рівня забруднення повітря викидами від маршрутного автотранспорту у м. Вінниці.....	43
4 ЗАХОДИ ЩОДО РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ У СФЕРІ ТРАНСПОРТУ ТА ЗМЕНШЕННЮ ШКІДЛИВОГО ВПЛИВУ ВІДПРАЦЬОВАНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ГАЗІВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ.....	46
4.1 Рекомендації для збільшення економічної та екологічної ефективності автотранспорту.....	46
4.2 Аналіз конструктивних особливостей бензинових автомобілів для поліпшення екологічності автомобіля.....	47



	5
4.3 Використання водню як альтернативне паливо.....	52
4.4 Електротранспорт.....	55
4.5 Особливості біодизельного пального для досягнення паливної економічності та екологічних показників.....	56
5. ЕКОЛОГО - ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПЕРЕХОДУ НА СУМІШ БІОДИЗЕЛЬ В20 ДЛЯ МІСЬКОГО ТРАНСПОРТУ У ВІННИЦІ.....	59
5.1 Екологічні аспекти використання суміші біодизеля В20.....	59
5.2 Економічні аспекти переходу маршрутного транспорту м. Вінниця на суміш біодизеля В20.....	61
ВИСНОВКИ.....	63
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	64
Додаток А. ....	67
Додаток Б. ....	68

## ВСТУП

**Актуальність.** У зв'язку з неухильним зростанням автомобільного парку та збільшенням попиту на паливо для його експлуатації, завдання екологізації транспортної системи стає актуальнішим, ніж коли-небудь раніше. Зростаюча кількість автомобілів, яка супроводжує економічний та технологічний розвиток, призводить до загострення проблем екологічного забруднення повітря. Автомобільний транспорт визначається як основний джерело викидів токсичних речовин у повітря, що призводить до загрози для здоров'я людей та екосистеми в цілому.

Проблема екологічного впливу автотранспорту на довкілля має важливий соціальний аспект, оскільки забруднене повітря негативно впливає на здоров'я населення. Різні хімічні сполуки, що виділяються автомобільними викидами, можуть призводити до захворювань дихальної системи, серцево-судинної системи та інших захворювань. Особливо це стосується мешканців міських районів, де концентрація транспортних викидів найвища.

З урахуванням зростаючої уваги до екологічних проблем, впровадження принципів сталого розвитку та позитивного впливу на здоров'я громадян, дослідження впливу екологічних ризиків автотранспорту на довкілля стає надзвичайно важливим завданням.

Розуміння та вирішення проблем екологічного впливу автотранспорту має велике значення для сталого розвитку сучасного суспільства та забезпечення екологічної безпеки.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дана магістерська робота виконується в рамках наукового напрямку кафедри екології та екологічної безпеки, що відповідає вимогам національної транспортної стратегії України на період до 2030 року.

**Мета роботи.** Дослідження впливу відпрацьованих автомобільних газів на довкілля та здоров'я людини, оцінка екологічної безпеки автомобільних

відпрацьованих газів у місті Вінниця, а саме забруднення CO та розробка конкретних стратегій та ініціатив для переходу на суміш біодизель B20 для міського транспорту.

**Завдання роботи.** Для досягнення поставленої мети визначено наступні завдання:

1. Дослідити вплив відпрацьованих автомобільних газів на стан атмосфери, зокрема аналізувати їх хімічний склад та основні властивості.
2. Оцінити рівень забруднення повітря автомобільними викидами в м. Вінниця та вивчити нормативну базу, спрямовану на покращення екологічної ситуації в транспортному секторі.
3. Провести детальний аналіз забруднення атмосферного повітря автомобільними відпрацьованими газами, а саме чадним газом на території м. Вінниця, розглядаючи структуру автопарку та визначаючи вплив автотранспорту на екологічний стан міста.
4. Розробити конкретні заходи щодо ресурсозбереження та зменшення негативного впливу відпрацьованих автомобільних газів на навколишнє середовище.
5. Вивчити стратегії та ініціативи для проведення еколого-економічної оцінки переходу на суміш біодизель B20 для міського транспорту у Вінниці. аналізувати можливі вигоди для бізнесу та громади.

**Об'єкт досліджень** – вплив транспортних засобів на навколишнє середовище та здоров'я людей.

**Предмет досліджень** – відпрацьовані гази, їх хімічний склад, викиди та їх вплив на атмосферу, ґрунти та здоров'я людини.

**Новизна одержаних результатів.** Новизна отриманих результатів полягатиме у проведенні еколого-економічної оцінки переходу на суміш біодизель B20 для міського транспорту у Вінниці.

### **Апробація результатів магістерської кваліфікаційної роботи.**

Викладені у МКР положення доповідались на науково-технічних конференціях «Енергоефективність в галузях економіки України – 2023» та «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2023)»

Публікації результатів магістерської кваліфікаційної роботи.

1. Мусінкевич І.В., Сакалова Г. В. Забруднення атмосферного повітря та перевищення ГДК шкідливих газів на території міста Вінниця. «Енергоефективність в галузях економіки України – 2023», 2023.

Режим доступу:

<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2023/paper/view/19503/16157>

2. Мусінкевич І. В. Кватернюк С. М. Екологічні норми токсичності відпрацьованих газів двигунів транспортних засобів «ЄВРО» «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2023)», 2023.

Режим доступу:

<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2023/paper/viewFile/16952/14122>

3. Мусінкевич І. В. Кватернюк С. М. Механізми та засоби екологізації транспорту «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН- 2023)», 2023.

Режим доступу:

<https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2023/paper/viewFile/16953/14123>

# 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ АВТОТРАНСПОРТУ НА ДОВКІЛЛЯ

## 1.1 Вплив відпрацьованих автомобільних газів на стан атмосфери

Транспортний комплекс, який включає автомобільний, морський, водний, залізничний та повітряний транспорт, є однією з основних причин забруднення атмосферного повітря. Його вплив на навколишнє середовище проявляється в основному через викиди токсичних речовин з вихлопними газами двигунів транспорту та викиди шкідливих речовин стаціонарними джерелами [1].



Рисунок 1.1 – Структура парку транспортних засобів в Україні

У 2021 року загальна кількість транспортних засобів в Україні становила 10,2 млн одиниць, а легкові автомобілі перевищили інші види транспорту – 8,8 млн одиниць. Рівень автомобілізації в Україні досяг 245 автомобілів на 1000 жителів. Розподіл автомобільного парку за видами транспортних засобів був таким: легкові – 81,85%, вантажні – 13,83%, пасажирські автобуси – 2,58%, спеціальна техніка – 1,74%. Середній вік пасажирських вагонів в автопарку

України становив 22,7 року, і процес старіння рухомого складу прогресує, адже 39% ввезених минулого року легкових вагонів були старші 8 років [1].

Варто зазначити, що в Україні зростає кількість електромобілів та гібридів. Це сталося в контексті загального збільшення кількості транспортних засобів, що може вплинути на якість повітря, особливо в мегаполісах, де спостерігається висока концентрація автомобілів. Погіршення екології може призвести до зниження імунітету та зростання захворюваності населення [2].

Однією з головних проблем є викид токсичних речовин з вихлопними газами транспортних двигунів. Утворення сірчаних газів і оксидів азоту під час роботи двигунів внутрішнього згорання призводить до утворення кислотних дощів. Крім того, викиди вуглеводнів призводять до утворення смогу та посилення парникового ефекту. Велику роль у цьому відіграє виділення твердого пилу та частинок сажі. Загалом ці фактори сприяють глобальній зміні клімату на Землі [3].

Значний внесок у забруднення атмосфери вносить автомобільний транспорт через викид різних речовин під час роботи, а також проникнення газів у картер двигуна та викид речовин з паливних баків і карбюраторів. Основним джерелом шкідливих викидів є робота двигунів внутрішнього згорання, на яку припадає понад 2/3 загальних викидів шкідливих речовин автомобілями в атмосферу [4].

Крім вихлопних газів двигунів автомобілів, існують і інші джерела викидів шкідливих речовин в атмосферу, такі як випаровування трансмісії, витік паливно-мастильних матеріалів при експлуатації та обслуговуванні автомобілів, а також продукти зносу, такі як накладки фрикційної муфти, накладки та шини гальмівних колодок. Приблизно половину антропогенних викидів в атмосферу спричиняють вихлопні гази, продукти зношування механічних частин і автомобільних шин, а також дорожнє покриття [5].

Викиди газоподібних речовин автотранспортом спричиняють у середньому приблизно 40-45% забруднення атмосферного повітря на території України. Однак у містах ця частка перевищує 50%, а великі міста з населенням від 0,5 млн

до 1-1,5 млн жителів характеризуються понад 55-70% забруднення повітря. Дуже великі міста з кількома мільйонами жителів відповідають за понад 85% загального обсягу забруднення атмосферного повітря [6].

Слід зазначити, що вітчизняні автомобілі менш екологічні порівняно із західними моделями, споживають більше палива на 100 км шляху, що призводить до більшого забруднення повітря. Це особливо важливо, оскільки багато імпортованих автомобілів є старими моделями із зношеними двигунами, які активно викидають забруднюючі речовини в атмосферу [5].

Для кращого уявлення вказано, що для спалювання 1 кг бензину в легковому автомобілі необхідно 2,5 кг кисню. Долаючи в середньому 10 тисяч кілометрів на рік, водій витрачає 10 тонн бензину, споживає 35 тонн кисню і викидає в атмосферу 160 тонн вихлопних газів. З цих вихлопних газів 800 кг – оксид вуглецю (CO), 40 кг – оксиди азоту (NO<sub>x</sub>) і 200 кг – вуглеводні (C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>). При використанні етилованого бензину свинець додається до списку токсичних інгредієнтів [5].

## **1.2 Хімічний склад та основні властивості автомобільних відпрацьованих газів**

Головною причиною забруднення повітря є неповне і нерівномірне згоряння палива. Під час руху автомобіля всього 1,5% палива використовується для його приводу, в той час як 85% палива стає джерелом викидів у "нікуди". Крім того, камера згоряння автомобільного двигуна фактично утворює отруйні речовини і випускає їх у атмосферу.

Основними джерелами забруднення атмосфери є двигуни внутрішнього згоряння, які викидають в атмосферу вихлопні гази та пари палива. У складі вихлопних газів визначено близько 280 компонентів, до складу яких входять продукти повного та неповного згоряння нафтового палива та неорганічні сполуки, що містяться в паливі. (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Складові відпрацьованих газів, що викидаються бензиновими та дизельними двигунами:

Складові відпрацьованих газів	Концентрація, %	
	Бензиновий двигун	Дизельний двигун
Азот	74-77	74-78
Кисень	0,3-8,0	2,0-1,8
Водяна пара	2,0-5,5	0,5-9,0
Оксиди вуглецю	0,5-12	0,005-0,4
Оксиди-азоту	0,01-0,8	0,004-0,6
Діоксид сірки	–	0,002-0,02
Вуглеводні	0,2-3,0	0,01-0,3
Альдегіди	0-0,2	0,001-0,009
Сажа, г/м <sup>3</sup>	0-0,04	0,01-1,1 та більше

Під час руху зі швидкістю 80-90 км/год автомобіль використовує стільки кисню, що еквівалентно кількості, яка задовольнила б потреби 300-350 осіб. Річний викид одного автомобіля становить 800 кг небезпечного оксиду вуглецю, 40 кг оксидів азоту та понад 200 кг різних вуглеводнів. У зв'язку з високою токсичністю, допустима концентрація оксиду вуглецю в атмосферному повітрі не повинна перевищувати 1 мг/м<sup>3</sup>.

Вуглеводні утворюються в результаті неповного згоряння палива. У високорозвинених країнах автотранспорт відповідає за приблизно 39% викидів вуглеводнів. Легкові автомобілі, що працюють на бензині, викидають більше вуглеводнів порівняно з аналогічними дизельними двигунами. Однією з найнебезпечніших речовин серед вуглеводнів є бензопірен, який є природним компонентом сирової нафти. Високі концентрації бензопірену виявлені на міських магістралях і поблизу АЗС.

Автомобілі є основним джерелом викидів чадного газу (CO), який є однією з найбільш токсичних речовин, що негативно впливають на здоров'я людини.



Крім того, в атмосферу викидаються оксиди азоту, такі як NO і N<sub>2</sub>O, які також негативно впливають на здоров'я людей і рослин.

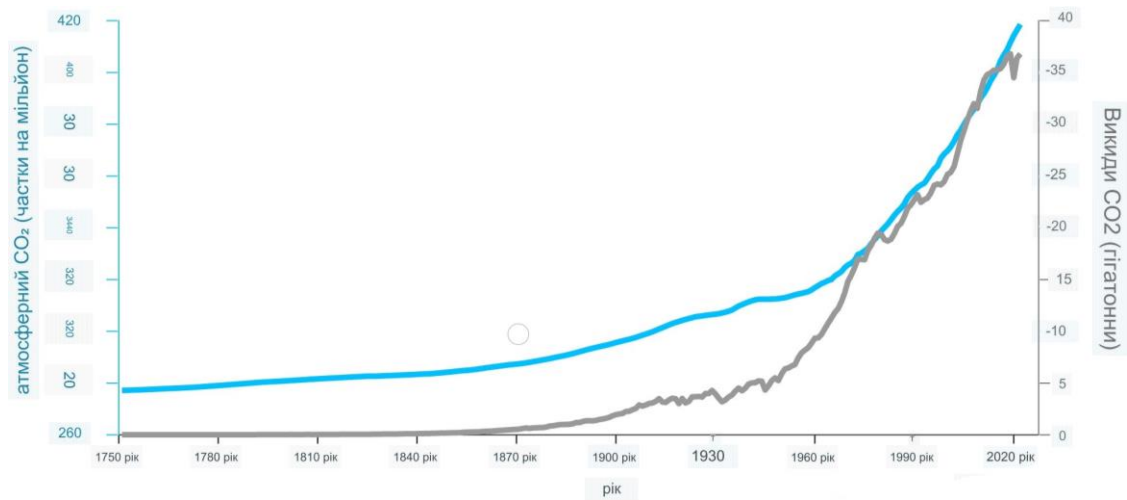


Рисунок 1.2 – Викиди вуглекислого газу в атмосферу

У верхніх шарах атмосфери озон, який утворює озоновий шар, є природним компонентом і служить для захисту Землі від шкідливого космічного випромінювання. У нижніх шарах атмосфери озон стає забруднювачем, завдаючи шкоди здоров'ю людини, природі та природним і штучним будівельним матеріалам.

Утворення поверхневого озону є непрямим наслідком забруднення, спричиненого головним чином автотранспортом. Цей озон утворюється під час фотохімічних реакцій за участю оксидів азоту та вуглеводнів.

Такі сполуки сірки, як SO і SO<sub>2</sub>, спричиняють окислення води та ґрунту, негативно впливаючи на здоров'я людини та стан природних екосистем. Альдегіди, що утворюються при неповному згорянні палива у вихлопних газах автотранспорту, мають різкий запах, пов'язаний з дорожнім рухом. Альдегіди негативно впливають на здоров'я людини, і формальдегід може викликати різні симптоми, такі як подразнення очей, носоглотки, нежить, кашель і утруднене дихання.

Сажа складається в основному з дрібних частинок вуглецю, які можуть містити потенційно небезпечні речовини, зокрема поліароматичні вуглеводні, які можуть викликати рак. Ці мікрочастинки вуглецю досить малі, щоб вони могли проникати глибоко в легені під час дихання. Автомобільний транспорт також викидає важкі метали, такі як нікель, ртуть, хром, кадмій, цинк, залізо, миш'як, марганець і берилій. Деякі з цих металів, такі як миш'як, ртуть, кадмій і свинець, можуть бути дуже токсичними навіть у дуже низьких концентраціях.

Накопичення важких металів у ґрунті може змінити їхні хімічні та біологічні властивості та сприяти їх потраплянню в харчові ланцюги. Важкі метали можуть зберігатися в атмосферному повітрі до 10 днів і долати до 2000 км.

Склад вихлопних газів залежить від багатьох факторів, у тому числі: від виду та якості палива, використовуваних присадок і мастильних матеріалів, режимів роботи двигуна, його технічного стану, умов руху автомобіля та інших факторів. У дизельних двигунах викиди основних забруднюючих речовин значно нижчі, а токсичність вихлопних газів змінюється залежно від типу двигуна та складу газів, що викидаються [7].

### **1.3 Аналіз забруднення довкілля та вплив газових викидів автомобільного транспорту на ґрунти**

Транспортна галузь, зокрема транспортні засоби, такі як пасажирські вагони, тепловози та судна, що використовують як паливо різні види нафтопродуктів, є значним джерелом забруднення навколишнього середовища. Зокрема, рухомі об'єкти спричиняють викиди вихлопних газів, витрати паливно-мастильних матеріалів, витік води після миття та експлуатації, що сприяє погіршенню навколишнього середовища.

Крім того, об'єкти стаціонарної інфраструктури, такі як нафтобази, автозаправні станції та пункти обслуговування, також сприяють забрудненню навколишнього середовища.

Однією з основних причин такого забруднення є викид вихлопних газів автотранспорту, споживання паливно-мастильних матеріалів, води після миття автомобілів та їх частин, а також виділення парів шкідливих речовин і кислот, що використовуються в технологічних процесах. ремонт автомобіля (рис 1.3). Велика витрата палива транспортними засобами зумовлює викид токсичних компонентів у природне середовище [8].

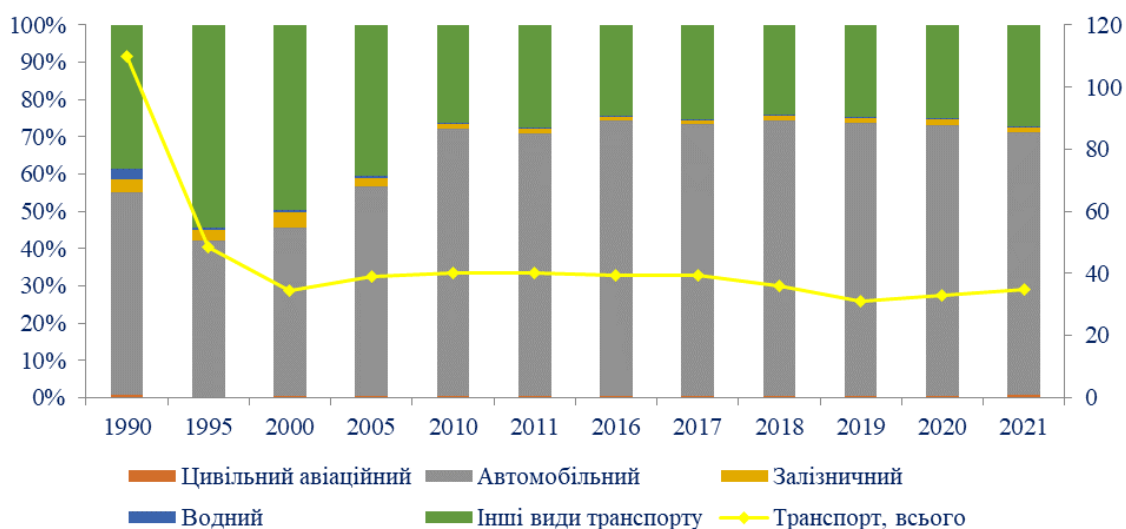


Рисунок 1.3 – Тенденції викидів забруднюючих речовин транспортними засобами в Україні

Автотранспорт випускає в атмосферу різноманітні важкі метали, такі як нікель, ртуть, хром, кадмій, цинк, залізо, миш'як, марганець, берилій. Особливо токсичними виявляються деякі з цих металів, такі як миш'як, ртуть, кадмій і свинець, навіть у малих концентраціях. Ці метали можуть активно накопичуватися в ґрунті, впливаючи на його хімічні та біологічні властивості, і проникати в живі організми через харчові ланцюги. Крім того, важкі метали можуть залишатися в атмосферному повітрі до десяти днів і подорожувати на відстань до 2000 кілометрів. [9].

Ділянки вздовж доріг особливо вразливі до забруднення викидами транспортних засобів. Вміст компонентів викидів у пробах ґрунту, відібраних

на відстані 50–200 м від магістралей і доріг, може значно перевищувати допустимі значення в декілька разів. Це ускладнює використання земель біля доріг для сільськогосподарських потреб, наприклад для випасу худоби та сінокосіння. Факторами, що впливають на розподіл забруднюючих речовин уздовж узбіччя доріг, є погодно-кліматичні умови, інтенсивність руху та частка різних видів транспорту [10].

Забруднення земної поверхні викидами транспорту накопичується повільно і залежить від кількості автотранспорту, що рухається по дорогах і магістралях. Ці забруднювачі можуть залишатися в навколишньому середовищі протягом тривалого часу, навіть після того, як дорожнє покриття закрито або дороги та автомагістралі повністю припинені. Для майбутніх поколінь, які можуть відмовитися від традиційних автомобілів, це забруднення буде одним із найбільш шкідливих і найважчих наслідків минулого.

Різні хімічні речовини, особливо важкі метали, які накопичуються в кілограмах через інтенсивний рух транспорту, можуть поглинатися рослинами та потрапляти до організмів тварин і людей через харчовий ланцюг. Деякі з цих елементів можуть розчинятися у воді та переноситися поверхневими водами. Згодом вони можуть потрапити в річки та озера, а через системи водопостачання – у питну воду людини, що може мати негативний вплив на здоров'я та навколишнє середовище [11].

Транспорт має значний вплив на навколишнє середовище та екосистеми через різні фактори:

1. Споживання природних ресурсів: Транспорт споживає великі обсяги природних ресурсів, таких як паливо (нафтопродукти, газ), вода для охолодження і миття, а також земельні ресурси для інфраструктурних об'єктів транспорту (дороги, аеродроми, порти).

2. Забруднення: Автотранспорт викидає в атмосферу шкідливі речовини, такі як вуглеводні, оксиди азоту, сажу, та інші, що призводить до забруднення атмосфери та водних об'єктів. Це може спричинити зміни в хімічному складі ґрунтів і впливати на мікрофлору.

3. Викиди теплоти: Двигуни внутрішнього згоряння та інші установки, що використовуються в транспорті, виділяють теплоту в довкілля під час роботи, що може впливати на клімат і тепловий баланс.

4. Шум і вібрація: Транспорт створює високий рівень шуму і вібрації, що може завдає шкоди природним середовищам та тваринам.

5. Електромагнітні випромінювання: Деякі види транспорту можуть генерувати електромагнітні випромінювання, які можуть мати вплив на навколишній електромагнітний спектр.

6. Порушення природних процесів: Транспорт може активувати несприятливі природні процеси, такі як ерозія, заболочення, сельові потоки, зсуви і обвали.

7. Аварії та катастрофи: Дорожні аварії та катастрофи транспорту можуть призвести до травмування та загибелі людей, а також завдати значних матеріальних збитків та забруднення навколишнього середовища через викид палива і небезпечних речовин.

8. Вплив на сільське господарство: Транспорт може впливати на сільське господарство через порушення ґрунтово-рослинного покриву, зменшення врожайності сільськогосподарських культур та вплив на рослинний і тваринний світ навколишніх територій.

При науковому аналізі екологічних наслідків зростання автомобільного руху вздовж автомагістралей виявляються важливі виклики. Приблизно 20% викидів транспортних засобів осідає в безпосередній близькості від доріг, і це спричиняє первинне забруднення повітря та ґрунту токсичними та канцерогенними речовинами в обох напрямках від доріг.

Вплив важких металів визначається в смузі шириною до 10 метрів. Рослинність поруч з дорогами може стати об'єктом забруднення важкими металами через проникнення їх в ґрунт та осідання аерозолів, сажі та пилу на поверхні рослин.

Детекція свинцю у поверхні ґрунту фіксується при інтенсивності руху більше 1000 автомобілів на добу. На ділянках з інтенсивністю руху 20-25 тисяч

автомобілів на добу рівень забруднення підвищується в 1-2 порядки. Свинець, як основна компонента викидів, швидко накопичується в посівах поруч з автодорогами, особливо в овочевих культурах, таких як коренеплоди та капуста. Вміст свинцю в соломі пшениці біля автотрас в середньому в 4 рази вищий, ніж в соломі ячменю, і в 10 разів більший. Зменшення врожайності в придорожній зоні через забруднення становить: для зернових – 20-30%, для буряків – 35%, для картоплі – 47% [12].

#### 1.4 Вплив автомобільних відпрацьованих газів на здоров'я людини

Забруднення повітря представляє серйозну загрозу для здоров'я населення та сприяє погіршенню якості життя (рис.1.4). Відпрацьовані гази автомобільних двигунів містять понад 100 різних компонентів, більшість з яких є токсичними. Вплив цих токсичних речовин на повітря може спричинити такі захворювання: рак, лейкемію, астму, ендокринні порушення, захворювання дихальних шляхів, алергії, серцево-судинні захворювання, хвороби печінки, жовчного міхура та органів чуття [1].

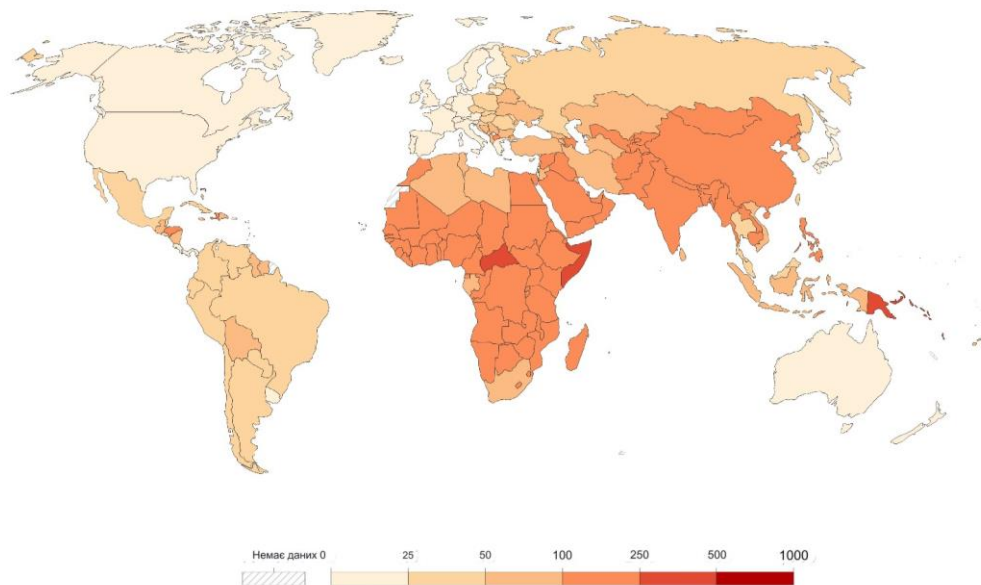


Рисунок 1.4 – Щорічна кількість смертей через забруднення повітря на 100 000 осіб

Основними безпечними компонентами вихлопних газів автомобіля є азот, кисень, водяна пара та вуглекислий газ. Тим не менш, шкідливі забруднювачі повітря становлять серйозну загрозу здоров'ю людини. До токсичних інгредієнтів належать оксид вуглецю, оксиди азоту, альдегіди, вуглеводні, діоксид сірки, сажа, бензапірен та інші [2].

Особливо небезпечним є викид токсичних вуглеводнів і  $C_nH_m$ , які є незгорілими хімічними компонентами палива. Вони можуть випромінюватися в надлишку на перехрестях і світлофорах порівняно з дорожнім рухом, що призводить до численних хронічних захворювань. Серед найнебезпечніших з них варто назвати бензапірен, який має надзвичайно активні канцерогенні властивості.

Оксиди азоту ( $NO_x$ ) утворюються під час спалювання різних видів палива, таких як природний газ, вугілля, бензин і мазут. Особливо небезпечний діоксид азоту ( $NO_2$ ), який у реакції з водяною парою може утворювати азотну та азотну кислоти. Ці речовини сприяють утворенню кислотних хмар і кислотних опадів у верхніх шарах атмосфери. При критично високих концентраціях, особливо в закритих приміщеннях, таких як гаражі, діоксид азоту може викликати набряк легенів, що може призвести до смерті.

Зменшити вплив оксидів азоту за допомогою нейтралізаторів неможливо. Крім того, при з'єднанні з вуглеводнями вони утворюють токсичні нітроолефіни.

Крім вищезазначених компонентів, вихлопні гази містять інші токсичні речовини, такі як вуглекислий газ ( $CO_2$  або вуглекислий газ), діоксид сірки ( $SO_2$ ), альдегіди, сажу та сполуки свинцю. Небезпека отруєння сполуками свинцю ускладнюється тим, що вони, як і канцерогенні речовини, накопичуються в організмі і залишаються там до досягнення небезпечних концентрацій.

Свинець, який накопичується в ґрунті та рослинах у непрямій близькості від автомобільних доріг, викликає певні серйозні проблеми. Наукові висновки свідчать, що в зернових культурах збільшені концентрації свинцю, що

перевищують гранично допустимі норми в 5-10 разів. Цей токсичний метал, проникаючи через різні ланки харчового ланцюга, потрапляє до людини, може викликати різні захворювання.

Викиди парів свинцю негативно впливають на здоров'я людини. Дослідження, проведені в США, свідчать про пониження рівня інтелекту у дітей в районах урбанізації, особливо до введення заборони на використання етилованого бензину, внаслідок високої концентрації вихлопних газів, зокрема парів свинцю.

Фотохімічний смог, відомий як «сухий» туман, є результатом токсичних вторинних забруднювачів, що утворюються під час фотохімічних реакцій в умовах сухої і безвітряної погоди (рис. 1.5). Це явище супроводжується подразненням очей, слизових оболонок носа та горла, проявами отруєння, а також негативно впливає на функцію легень і нервової системи, може спричиняти астму та інші захворювання.



Рисунок 1.5 – Фотохімічний смог



Класифікація відпрацьованих газів, враховуючи їх вплив на організм людини, включає сім категорій.

1. Перший клас включає в себе хімічні сполуки, які є складовими природного складу атмосферного повітря: водяна пара, водень, азот, кисень і діоксид вуглецю. Викиди водяної пари з автотранспорту підвищують вологість атмосферного повітря, збільшують хмарність і зменшують кількість сонячних днів. Це може призвести до збільшення випадків вірусних захворювань і зниження врожайності сільськогосподарських культур.

2. Другий клас представлений оксидом вуглецю (CO). Це безбарвний газ без смаку і запаху, який слабозчинний у воді. Утворення оксиду вуглецю у бензинових двигунах стає можливим через недостачу кисню для повного окиснення вуглецю, який міститься в паливі.

3. Третій клас включає оксид азоту (NO) і діоксид азоту (NO<sub>2</sub>), які узагальнюються як NO<sub>x</sub>. В організмі людини та реагуючи з вологою, вони можуть утворювати азотисту та азотну кислоти. Порушення здоров'я внаслідок їх впливу залежать від концентрації газів та можуть включати подразнення слизових оболонок та набряк легенів. Ці гази також можуть призвести до утворення смогу.

4. Четвертий клас включає вуглеводні (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>), які містяться у відпрацьованих газах. Вони різняться за токсичністю, і однією з найнебезпечніших сполук є бенз(а)пірен, який є сильним канцерогеном.

5. П'ятий клас включає альдегіди (R-CHO). Альдегіди відомі своєю високою токсичністю і неприємним запахом. Найбільш небезпечні серед них - акролеїн і формальдегід.

6. Шостий клас представлений сажею (C), яка утворюється внаслідок неповного згоряння вуглеводнів. Сажа негативно впливає на органи дихання і може бути носієм канцерогенних речовин.

7. Сьомий клас включає свинець (Pb) і його сполуки. Свинець може накопичуватися в організмі та мати шкідливий вплив на здоров'я і навколишнє середовище [12].

## 2. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА АВТОМОБІЛЬНИХ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ

### 2.1 Система оцінки якості повітря Air Quality Index у м. Вінниця

У місті Вінниця, як і в багатьох інших населених пунктах, проблема якості повітря стає все більш актуальною. Забруднення повітря може виникати через автомобільні викиди, промисловість та інші джерела. У цьому контексті, система AQI (Air Quality Index) та станції моніторингу грають важливу роль у визначенні рівня забруднення та його впливу на здоров'я мешканців.

AQI (Air Quality Index) є системою оцінки якості повітря, розробленою Агенцією з охорони довкілля США, яка знаходить широке застосування у багатьох країнах світу. Цей індекс визначає рівень забруднення повітря і негативний вплив на здоров'я людей.

AQI визначається на основі рівня концентрації різних часток у повітрі, таких як PM 1, PM 2.5, та PM 10. Кожен з цих типів часток може мати вплив на здоров'я людини, особливо дихальної системи. Чим більше значення AQI, тим вищий рівень забруднення повітря та тим сильніший його негативний вплив.

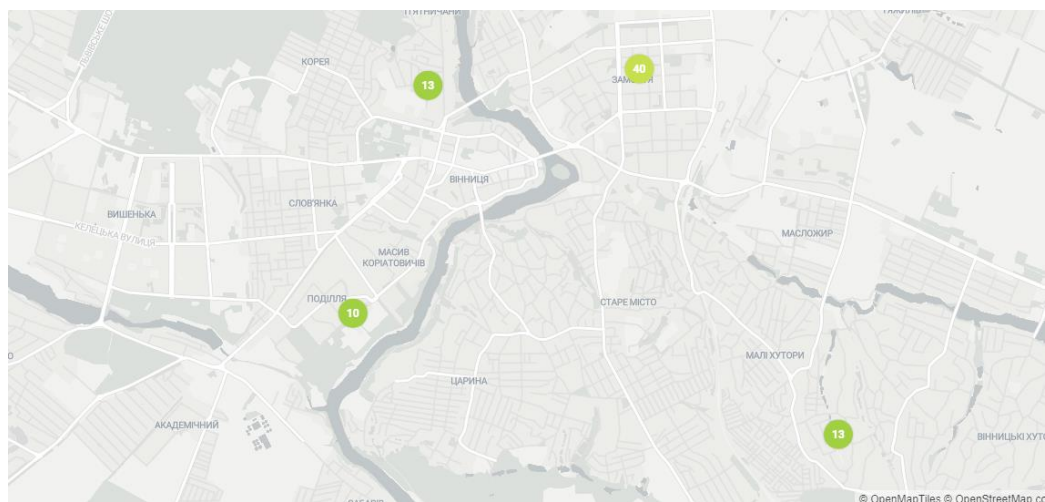


Рисунок 2.1 – Розташування станцій моніторингу якості повітря з системою система AQI (Air Quality Index)

В місті розташовані станції моніторингу якості повітря, зокрема у районах Вишеньці, Поділля, П'ятничани, Вінницькі Хутори, Замості, та Слов'янці (рис. 2.1). Ці станції проводять систематичні вимірювання рівня концентрації дрібних часток, температури, вологості та інших параметрів для отримання об'єктивної карти якості повітря в різних частинах міста.

Станції призначені для фіксації рівнів забруднення повітря, спричиненого різними джерелами, такими як автомобільні викиди, промисловість, пожежі та інші. Вони мають на меті надавати точні дані про якість повітря в різних частинах міста чи області.

Станції проводять вимірювання концентрації дрібних часток, таких як  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ , та  $PM_1$ , що виникають внаслідок забруднюючих викидів. Додатково вимірюється температура, вологість та атмосферний тиск для повнішого розуміння атмосферних умов.

Протягом 2023 року станції моніторингу в Вінниці проводили систематичні вимірювання концентрації дрібних часток, температури, вологості та інших параметрів (рис. 2.2). Отримані дані дозволяють нам краще розуміти якість повітря в місті та її вплив на громадське здоров'я.

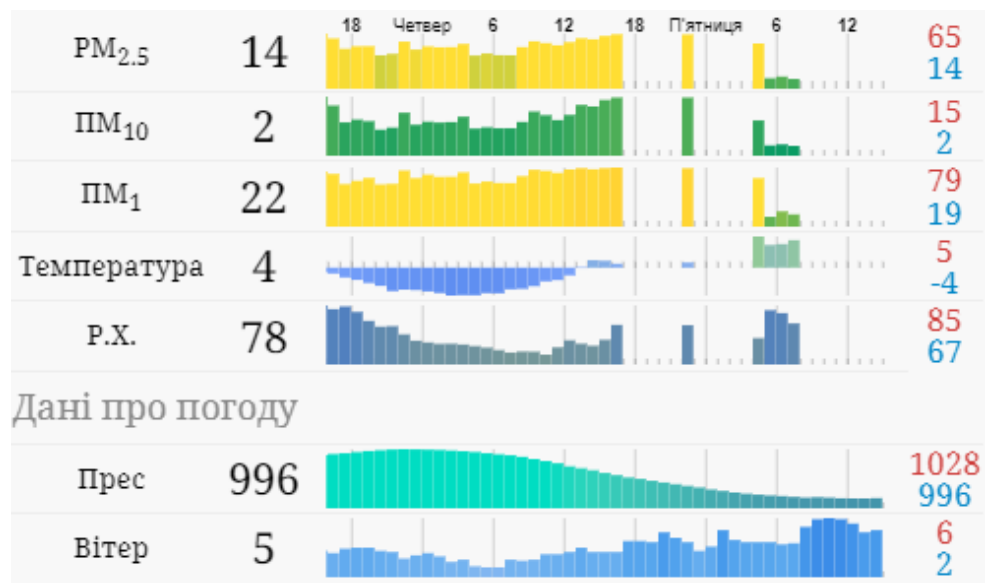


Рисунок 2.2 – Вимірювання концентрації дрібних часток, температури, вологості та інших параметрів

Зібрані дані були використані для розрахунку AQI (Air Quality Index). Результати аналізу вказують на те, що рівень забруднення повітря у Вінниці за останній місяць знаходиться в межах припустимих нормативів. Помітно, що значення AQI не перевищує граничних значень, враховуючи специфіку цього показника для аналізу якості повітря.

Регулярний аналіз даних дозволить вчасно виявляти будь-які зміни та при необхідності вживати заходів для покращення якості повітря в майбутньому.

Якість повітря у Вінниці на даний момент не перевищує граничних значень та знаходиться на прийнятному рівні. Проте, необхідно продовжувати моніторинг та вживати заходів для уникнення можливих погіршень в майбутньому.

## **2.2 Аналіз забруднення атмосферного повітря в м. Вінниця**

У 2021 році в м. Вінниці проводились систематичні дослідження вмісту шкідливих речовин в атмосферному повітрі. Лабораторією спостережень за забрудненням атмосфери Вінницького ЦГМ встановлено дві стаціонарні станції: №1 на вулиці Київська, 25 та №2 на вулиці Немирівське шосе, 29.

Згідно з комплексним індексом забруднення атмосферного повітря (СІРА), загальний рівень забруднення міста склав 6,7, що свідчить про підвищений рівень забруднення. Цей показник характерний для всіх міст України за даними КІЗА і спостерігалось зниження порівняно з попереднім роком, коли рівень знизився з «високого» до «підвищеного» (з 7,1 до 6,9), особливо за рахунок зниження вмісту фтористого водню. вміст .

У вересні 2021 року в атмосфері зафіксували підвищені рівні діоксиду азоту та фтористого водню. Середні концентрації у вересні перевищували гігієнічні нормативи в 2,0 раза по діоксиду азоту та в 1,4 раза по фтористому водню. У ПСЗ №2 за адресою вул. Немирівське шосе 29, середньомісячна концентрація діоксиду азоту перевищувала ГДК. у 2,2 рази, а фтористий

водень – у 1,8 рази. У ПСЗ №1 за адресою вул. Київська 25, викиди також перевищили, тобто в 1,8 рази для діоксиду азоту та в 1,4 рази для фтористого водню.

Максимальні концентрації становили 1,4 ГДК по діоксиду азоту та 1,1 ГДК для фтористого водню. У вересні зафіксовано 9 випадків перевищення допустимої норми. для діоксиду азоту та 12 випадків для фтористого водню.

Середньомісячні та максимальні концентрації інших забруднюючих речовин залишалися в межах санітарно-гігієнічних нормативів. Вміст важких металів у повітрі був значно нижчим за допустимий. Згідно з індексом забруднення повітря (АІР), загальний рівень забруднення у вересні становив 5,3, що свідчить про підвищений рівень забруднення.

Загалом забруднення атмосферного повітря у м. Вінниця у вересні 2021 року має тенденцію до зменшення порівняно з попереднім роком (Таблиця Б 8). Аналіз індексу забруднення, викидів забруднюючих речовин та їх впливу на здоров'я населення є важливим завданням для підтримки екологічної рівноваги міста.

Таблиця 2.1. – Динаміка викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря у Вінницькій області у 2010-2021 роках

	2010р	2013р	2016р	2017р	2018р	2019р	2020р	2021р
Викинуто, всього, тис. т	185,4	229	196,6	185	165,4	202,3	148,6	164,9
Викиди забруднюючих речовин від пересувних джерел забруднення, тис. т	82,1	79,5	72,1	50,3	45,6	46,5	51,3	65,2
Викиди діоксиду вуглецю (стаціонарні джерела), млн.т	4,9	7	6,4	6,5	5,1	6,4	5,3	-

Атмосферне повітря насичене різноманітними забруднюючими речовинами, і серед них важливе місце займає діоксид сірки, складаючи 55,9% в обсязі забруднення. Тверді суспендовані частки вносять свій внесок на рівень у 14,6%, тоді як сполуки азоту, метан і оксид вуглецю відповідають за 10,6%, 9,5% і 6,7% відповідно (рис. 2.3).

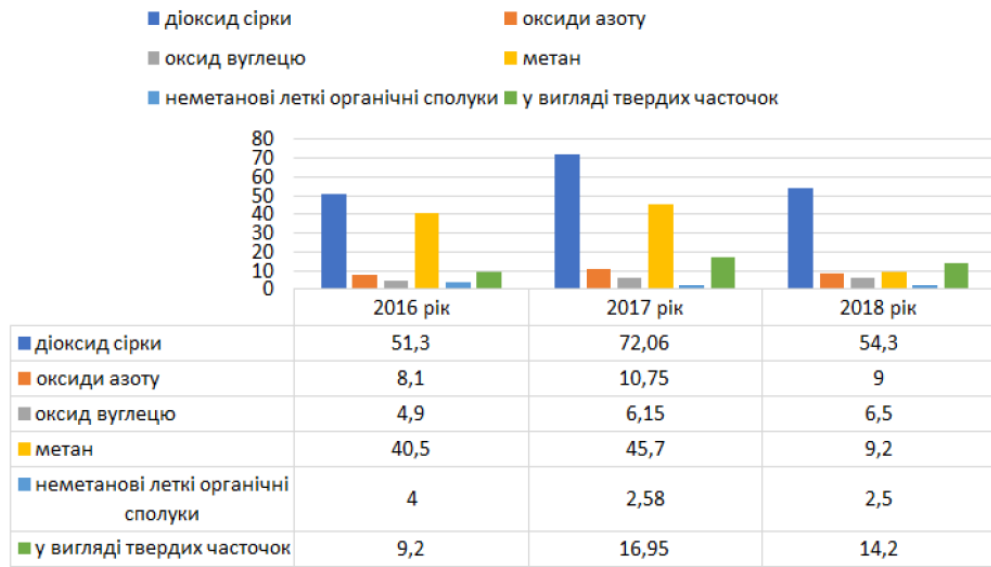


Рисунок 2.3 – Обсяги викидів основних забруднюючих речовин в атмосферне повітря від стаціонарних джерел забруднення у Вінницькій області

Система моніторингу якості атмосферного повітря надається Державним управлінням «Вінницький лабораторний центр МОЗ України». Протягом 2021 року центр здійснив збір 5803 проб атмосферного повітря у 219 населених пунктах області (табл.2.1).

Високі рівні забруднення атмосферного повітря у 2020 році зафіксовано у містах Вінницької (18,2% проб із понаднормативним вмістом забруднюючих речовин), Жмеринської (11,8%) та Чернівецької областей (8,3%), а також у сільських населених пунктах с. Гайсинський (15,4%), Чернівецький (8,3%) та Томашпільський (7,1%) [13].

Таблиця 2.2 – Вміст забруднюючих речовин в атмосферному повітрі м. Вінниця

Назва забруднюючої речовини	Місто	Середньорічний вміст, мг/м <sup>3</sup>	Середньодобові ГДК, мг/м <sup>3</sup>	Максимальні і разові ГДК, мг/м <sup>3</sup>	Максимальний вміст, мг/м <sup>3</sup>
1	2	3	4	5	6
Пил	м. Вінниця	0,1	0,7	0,4	0,2
Діоксид сірки	"-	0,001	0,03	0,08	0,03
Оксид вуглецю	"-	1	0,3	0,66	2
Діоксид азоту	"-	0,1	2,8	4,0	0,7
Фтористий водень	"-	0,005	1,2	1,5	0,006
Аміак	"-	0,01	0,3	0,1	0,03
Формальдегід	"-	0,004	0,3	1,0	0,03
Кадмій	"-	0,00	0,02	1,0	0,0
Залізо	"-	0,81	4,30	40,0	1,21
Марганець	"-	0,03	0,05	0,63	0,04
Мідь	"-	0,04	0,19	2,0	0,06
Нікель	"-	0,03	0,04	1,0	0,04
Свинець	"-	0,03	0,04	0,3	0,05
Хром	"-	0,03	0,06	0,78	0,05
Цинк	"-	0,11	0,21	50,0	0,178

Перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) у населених пунктах за пилом (2020 р. – 5,8%, 2019 р. – 13,5%), оксидом вуглецю (2020 р. – 3,8%, 2019 р. – 5,6%), фенолом та його похідними (2020 р. – 4,2%, 2019 р.) – 1,7%), сірководень (2020 – 13,8%), діоксид азоту (1,9%), формальдегід (2020 – 2,0%). У сільській місцевості перевищення ГДК мають місце за пилом (2020 р. – 5,7%, 2019 р. – 14,9%), оксидом вуглецю (2020 р. – 5,2%, 2019 р. – 5,0%), сірководнем (2020 р. – 3,7%) та азотом вуглекислого газу (2020 р. – 1,2%) [13].

З усіх видів транспорту автомобілі завдають найбільшої шкоди навколишньому середовищу. До найважливіших факторів негативного впливу автомобільного транспорту на навколишнє середовище та здоров'я людей належать забруднення повітря та ґрунтів, шум та вібрація, а також теплоутворення.

Таблиця 2.3 – Динаміка середньорічних концентрацій забруднюючих речовин в атмосферному повітрі м. Вінниця.

Домішки	2017	2018	2019	2020	2021
1 Пил, мг/м <sup>3</sup>	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
2 Діоксид сірки, мг/м <sup>3</sup>	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
3 Оксид вуглецю, мг/м <sup>3</sup>	1	1	1	1	1
4 Діоксид азоту, мг/м <sup>3</sup>	0,08	0,13	0,05	0,05	0,1
5 Фтористий водень, мг/м <sup>3</sup>	0,002	0,003	0,005	0,005	0,005
6 Аміак, мг/м <sup>3</sup>	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
7 Формальдегід, мг/м <sup>3</sup>	0,002	0,002	0,003	0,004	0,004
9 Кадмій, мг/м <sup>3</sup>	0,001	0,001	0,002	0,001	0,00
10 Залізо, мг/м <sup>3</sup>	4,86	3,19	0,78	0,64	0,81
11 Марганець, мг/м <sup>3</sup>	0,08	0,04	0,02	0,01	0,03
12 Мідь, мг/м <sup>3</sup>	0,06	0,04	0,04	0,03	0,04
13 Нікель, мг/м <sup>3</sup>	0,04	0,02	0,02	0,01	0,03
14 Свинець, мг/м <sup>3</sup>	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03
15 Хром, мг/м <sup>3</sup>	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03
16 Цинк, мг/м <sup>3</sup>	0,24	0,12	0,06	0,06	0,11

Забруднення атмосферного повітря важкими металами у м. Вінниці у 2017-2021 роках було зумовлене переважно автотранспортом. Аналізуючи цей період, можна помітити тенденцію до зниження вмісту кадмію, марганцю, міді, хрому, заліза та нікелю в атмосферному повітрі м. Вінниці. Тим не менш, показники залишаються стабільно високими, хоча незначне зростання було зафіксовано для свинцю та цинку. (табл.2.2).

Таблиця 2.4 Динаміка викидів в атмосферне повітря Вінницька область

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Загальна кількість викидів в атмосферу, тис. т, у т. ч.:	218,1	186,4	185,2	169,9	182,7	229,0	196,6	194,6
- від пересувних джерел, тис.т	87,8	80,4	82,1	82,6	81,4	79,5	72,1	59,9
в т.ч. автотранспорт	78,5	72,1	73,5	74,17	71,6	70,4	62,0	50,6

У 2021 році від пересувних джерел в атмосферу було викинуто 50,6 тис. тонн забруднюючих речовин, тобто на 12,2 тис. тонн (тобто на 17%) менше, ніж у 2020 році. Зокрема, на 11,4 тис. тонн (тобто на 18,4%) зменшилися викиди парникових газів від автотранспорту. (табл. 2.5)



Таблиця 2.5 – Динаміка викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від пересувних джерел

	2020	2021 рік			
	рік	тон	у % до підсумку	у розрахунку на 1 особу, кг	на 1 км <sup>2</sup> площі регіону, кг
Усього	72,1	59,9	100,0	37,3	2300
сірчистий ангідрид	1,1	1,0	1,6	0,6	38,4
оксид азоту	10,1	8,7	14,6	5,4	334,1
оксид вуглецю	51,5	42,6	71,0	26,5	1635,7
легкі органічні сполуки	7,8	6,3	10,5	3,9	241,9
речовини у вигляді суспендованих твердих частинок	1,3	1,1	1,8	0,7	42,2

Токсичними компонентами, які потрапляють в атмосферу області транспортом, є переважно оксид вуглецю, тобто 42,6 тис. тон, що становить 71,0% від загального обсягу викидів. Крім того, оксиди азоту становлять 8,7 тис. тон (14,6%), неметанові леткі органічні сполуки – 6,3 тис. тон (10,5%), сажа і діоксид сірки – по 1 тис. тон (1,8% і 1,6% відповідно). Слід зазначити, що метан має невеликий внесок, а саме 188 т (0,3%). Крім того, обсяг викидів вуглекислого газу становить 902,6 тис. тон. [14].

### **3 АНАЛІЗ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ АВТОМОБІЛЬНИМИ ВІДПРАЦЬОВАНИМИ ГАЗАМИ НА ТЕРИТОРІЇ М. ВІННИЦЯ**

#### **3.1 Характеристика автомобільного парку міста Вінниця.**

У 2020 році автотранспортний парк Вінниці становив трохи більше 377 тис. автомобілі. 89% цього автопарку становили жителі області, а це майже 310 тис. штук і збільшився на 20% порівняно з попереднім роком. У структурі автотранспорту населення воєводства легкові автомобілі становили 85%, що в порівнянні з минулим роком зросло майже на 2 відсоткові пункти.

В останні роки попит на іномарки зріс. Вони складають 40% автопарку проти 31% у 2019 році. Лідерами серед іномарок у Вінницькій області є Opel, Volkswagen, Mercedes, Ford, Skoda та Toyota.

Автобусний парк області нараховує 3,5 тис. одиниць, більшість з яких (55%) – іномарки, лідируючі з «Мерседес». Серед вітчизняних автобусів переважають «Богдан», ГАЗ-32213 («Газель»), БАЗ-А079.04 «Еталон» і модифікації, ПАЗ різних типів і РАФ-2203 і модифікації, рівномірно розподілені по 20%.

Автопарк вантажного транспорту області нараховує 23 тис. одиниць, з яких більшість – бортова та спеціальна техніка (66%), 27% – самоскиди, також включає приблизно 22 000 причепів для легкових автомобілів, 4 000 причепів для вантажівок і 2 000 напівпричепів.

Жителі області мають 7 тис. мотоциклів вітчизняного виробництва та майже 5 тис. іномарок.

Станом на 2020 рік в області було 244 541 транспортних засобів: 194 158 легкових, 8 380 вантажних. З них 204 020 – бензин, 32 917 – дизельне паливо, 7 594 – стиснений природний газ і бензин.

Всього 46 324 автомобілі були віком до 3 років (18,9%), 17 807 - від 3,1 до 5 років (7,4%), 27 669 - від 5,1 до 10 років (11,3%). та 152 741 – понад 10 років (62,4%).

Лінійний транспорт негативно впливає на якість атмосферного повітря у Вінниці та на стан міського громадського транспорту в цілому. На даний час місто Вінниця має парк маршрутних автобусів таких марок як «Богдан», БАЗ-А079.04 «Еталон» та Mercedes Sprinter.

Таблиця 3.1 – Кількість автомобільного транспорту у Вінницькій області

Роки \ Тип транспорту	Автомобільний транспорт	Інше*	Всього
2018	247250	37598	284848
2019	244541	37969	282510
2020	309736	67041	376777

\*Примітка: графа «Інше» у таблиці 3.1 означає кількість усіх інших видів транспорту, крім автомобілів (мотоциклів, тракторів, самохідних машин і механізмів).

### 3.2 Оцінка викидів забруднюючих речовин

Для розрахунків використовуємо положення теорій ймовірності й статистики. Із загального (зведеного) обсягу автопального, що було реалізовано АЗС у місті, те, що було використано для пересування автомашинами в межах міста визначається за формулою 3.1:

$$M_{ЗВ} = M_{АЗС} \cdot P_M, \quad (3.1)$$

де  $M_{ЗВ}$  і  $M_{АЗС}$  – маса зведеного автопального, що використано для пересувних автомобілів у межах міста, і того, що реалізовано на АЗС відповідно, т (кг);

$P_M$  – імовірність використання автопального усередині території міста, прийнята такою, що дорівнює 2/3.

Тоді, зведену густину автопального, реалізованого для автомобілів, що пересуваються тільки в межах міста, можна визначити за формулою 3.2:

$$\rho_{ЗВ} = \rho_б \cdot \varepsilon_б + \rho_д \cdot \varepsilon_д + \rho_г \cdot \varepsilon_г, \quad (3.2)$$

де  $\rho_б, \rho_д, \rho_г$  – густина бензину, дизпалива і газу відповідно;

$\varepsilon_б, \varepsilon_д, \varepsilon_г$  – частка спожитого бензину, дизпалива і газу, що реалізована через АЗС.

Сумарний викид АТЗ, що використовують різні види палива, можна визначити за формулою 3.3:

$$Q_a = M_{ЗВ} (\varepsilon_б \cdot q_б + \varepsilon_д \cdot q_д + \varepsilon_г \cdot q_г), \quad (3.3)$$

де  $q_б, q_д, q_г$  – питомі коефіцієнти викидів забруднюючих речовин із відпрацьованими газами двигунів автомобілів, прийняті згідно таблиці 3.2.

Зведений питомий викид  $q_{ЗВ}$  на одиницю зведеної маси автопального  $M_{ЗВ}$  визначаємо, виходячи з рівняння 3.4:

$$q_{ЗВ} = \frac{Q_a}{M_{ЗВ}}, \quad (3.4)$$

Підставивши значення  $Q_a$  з формули 3.3 отримаємо:

$$q_{ЗВ} = \varepsilon_б \cdot q_б + \varepsilon_д \cdot q_д + \varepsilon_г \cdot q_г, \quad (3.5)$$

з ймовірністю 95%.

Таблиця 3.2 – Питомі коефіцієнти викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами двигунів автомобілів, г/т

Значення коефіцієнтів	Вид автомобільного палива		
	Бензин	Дизельне паливо	Природний газ
Оксид вуглецю, CO	0,42	0,05	0,09
Вуглеводні, CH	0,046	0,019	0,021
Альдегіди, RCHO	0,0012	0,0034	0,0019
Тверді частки	0,0011	0,0092	-
Бенз[а]пірен	$0,1 \cdot 10^{-12}$	$0,14 \cdot 10^{-12}$	$0,01 \cdot 10^{-12}$
Оксиди азоту, NO <sub>x</sub>	0,027	0,033	0,016
Оксиди сірки, SO <sub>x</sub>	0,0015	0,022	0,0011
Сполуки свинцю	$0,37 \cdot 10^{-3}$	-	-
Усього	0,5	0,2	0,13

Питомий викид на одиницю автотранспорту розраховується за співвідношенням 3.6:

$$q_a = \frac{Q_a}{n_a}, \quad (3.6)$$

Проведений аналіз показує, що кількість автотранспортних засобів залежить від багатьох факторів, що характеризують діяльність міста (промислова, культурна, туристична, курортна, освітня, фінансова і т.д.), його ролі в регіоні, країні, природно-кліматичних умов, історичної або сучасної спрямованості у містобудуванні і т.д., тому величина питомого викиду одиниці АТЗ є практично постійною величиною для будь-якого міста. У світовому просторі цей показник складає біля 0,286 т/одиницю, і він може змінитися тільки у результаті докорінних змін. Наприклад, тотального переходу до тотально чистих видів транспорту (електромобілі, велосипеди), або внаслідок катастрофічних явищ. Останнє твердження можна проілюструвати недавньою повинню у Західній Європі, що призвела до заміни

старих застрахованих автомобілів на нові, в результаті чого питомий викид в цих країнах знизився на 10 – 20%.

За розробленою методикою валовий викид від пересувних джерел (автотранспорту) можна визначити за формулою 3.7:

$$Q_a = q_a \cdot n_a, \quad (3.7)$$

Ця формула дає тільки сумарні значення викиду забруднюючих речовин і несе інформацію для аналізу екологічного стану структурних елементів (наприклад, за обраним об'єктом дослідження – кварталом  $k$ ). Без цього важко надати оцінку по зонах, секторах і кварталах селітебних зон міста, що оточені автомагістралями й дорогами різної категорії й технічного стану.

Виходячи із принципу адитивності, викиди (л/100 км) шкідливих речовин (витрата пального) на 100 км транспортним потоком визначають за формулою 3.8:

$$Q_j = \sum j \cdot \sum i \cdot \sum n \cdot Q_i \cdot P_{in} \cdot N_a, \quad (3.8)$$

де -  $Q_i$  – пробігова витрата пального або викиди  $i$  – го виду АТЗ, л/100 км;

$P_{in}$  - імовірність потрапляння  $i$ -ї групи АТЗ в  $n$  – й діапазон швидкостей руху потоку;

$N_a$  - інтенсивність потоку, авт./год.

Переходимо до розгляду  $k$  – го кварталу який оточений автодорогами з інтенсивністю потоку  $N_{ik}$ , і по якому пересуваються автотранспортні засоби  $i$  – групи. З урахування рівнянь наведених вище одержимо формулу 3.9:

$$Q_k = \sum k \cdot \sum i \cdot q_{ki} \cdot N_{ik}, \quad (3.9)$$

де  $Q_k$  - загальний викид від усіх груп АТЗ в  $k$  – му кварталі, т/год;

$q_{ki}$  – питомий викид  $i$ -групи АТЗ навколо кварталу, од./год;

$N_{ik}$  – інтенсивність руху і-групи автотранспортних засобів навколо кварталу, од./год.

Питомий викид і-групи автотранспортних засобів, що проїжджають навколо к-кварталу  $q_{ki}$  можна визначити за виразом 3.10:

$$q_{ki} = K_p (\varepsilon_{бik} + \varepsilon_{дик} + \varepsilon_{Гik}) \cdot q_a, \quad (3.10)$$

де  $K_p$  – режимно-технічний коефіцієнт, що враховує швидкісні (аеродинамічні режими руху АТЗ, технічний стан доріг і автомобілів, оснащеність вулично-дорожньої мережі і розв'язки доріг навколо к-го кварталу;

$\varepsilon_{бik}$   $\varepsilon_{дик}$   $\varepsilon_{Гik}$  – частка і-групи АТЗ із бензиновим, дизельним і газовим паливом.

Надалі слід визначати питому величину викидів від пересувних джерел міста на 1 га або 1 км<sup>2</sup> території розглянутого кварталу міста за формулою 3.11:

$$S_k = \frac{Q_k}{F_k}, \quad (3.11)$$

де  $F_k$  – площа території кварталу, км<sup>2</sup> або га.

Для проведення подальших розрахунків вихідними даними визначаємо питому величину викидів на одиницю площі території міста за формулою 3.12:

$$S_k = \frac{Q_a}{F_r}, \quad (3.12)$$

де  $F_r$  – територія міста, км<sup>2</sup> або га.

З формул 3.11 і 3.12 маємо формулу розрахування коефіцієнту відносного забруднення 3.13:

$$K_{з.к.} = \frac{S_{к.}}{S_{Г}} = \frac{Q_{к.}}{Q_{Г}}, \quad (3.13)$$

де  $K_{з.к.}$  – коефіцієнт відносного забруднення повітря кварталу, т/т.

Таким чином, за коефіцієнтом  $K_{з.к.}$  можна оцінити забруднення повітряного басейну будь-якого кварталу, мікрорайону, району міста порівняно із загальною середньою величиною стану атмосферного повітря.

У місті Вінниця на сьогоднішній день розташовано 29 АЗС. У таблиці Б 1 наведено середній рівень реалізації пального у м. Вінниця за добу.

1. За формулою 3.1 визначимо масу зведеного автопального, що використано для пересувних автомобілів у межах міста:

$$M_{зв} = 50500 \frac{\text{дм}^3}{\text{добу}} \cdot \frac{2}{3} = 336667 \text{дм}^3 / \text{добу}.$$

2. За формулою 3.2 знайдемо зведену густину автопального, реалізованого для автомобілів:

$$\rho_{зв} = 0,7 \frac{\text{кг}}{\text{дм}^3} \cdot 424120 \frac{\text{дм}^3}{\text{добу}} + 0,88 \frac{\text{кг}}{\text{дм}^3} \cdot 73860 \frac{\text{дм}^3}{\text{добу}} + 0,002 \frac{\text{кг}}{\text{дм}^3} \cdot 5920 \frac{\text{дм}^3}{\text{добу}} = 361892,64 \frac{\text{кг}}{\text{добу}}.$$

3. За формулою 3.3 оцінюємо значення сумарного викиду АТЗ, що використовують різні види палива:

$$Q_a = 336667 \text{дм}^3 / \text{добу} \cdot (424120 \text{дм}^3 / \text{добу} \cdot 0,5 \text{т/т} + 73860 \text{дм}^3 / \text{добу} \cdot 0,2 \text{т/т} + 5920 \text{дм}^3 / \text{добу} \cdot 0,13 \text{т/т}) = 7,9 \cdot 10^{10} \text{т}$$



4. За формулою 3.4 визначаємо зведений питомий викид:

$$q_{зв} = \frac{7,9}{336667} \cdot 10^{10} = 23,5 \cdot 10^4 \frac{\text{Т} \cdot \text{добу}}{\text{дм}^3}.$$

5. За формулою 3.6 оцінюємо питомий викид на одиницю транспорту:

$$q_a = \frac{7,9}{244541} \cdot 10^{10} = 32,3 \cdot 10^4 \frac{\text{Т}}{\text{одиницю}}.$$

6. Визначаємо яким буде питомий викид на одну одиницю транспорту за рік:

$$q_{a(\text{річне})} = 32,3 \frac{\text{Т}}{\text{одиницю}} \cdot 365 \cdot 10^{10} = 365 \cdot 10^4 = 11790 \cdot 10^4 \frac{\text{Т} \cdot \text{добу}}{\text{дм}^3}.$$

7. Оцінимо сумарне забруднення повітряного басейну м. Вінниця за рахунок автотранспортних викидів за рік:

$$Q_{a(\text{річне})} = 11790 \frac{\text{Т}}{\text{одиницю} \times \text{рік}} \cdot 244541 = 28,8 \cdot 10^{12} \frac{\text{Т}}{\text{рік}}.$$

Таким чином на основі проведених розрахунків треба зазначити, що повітряний басейн м. Вінниця зазнає значного пошкодження за рахунок функціонування автомобільного транспорту і, відповідно, необхідно негайно проводити заходи щодо зниження шкідливих викидів ДВЗ.

### 3.3 Визначення вмісту чадного газу у викидах автотранспорту

Спершу визначаємо інтенсивність руху автотранспорту методом підрахунку кількості автомобілів різних типів на трьох перехрестях (табл. 3.3). Підрахунок проводився у листопаді 2023 році.

Таблиця 3.3 – Кількість автомобілів на перехрестях

Тип автомобіля	Кількість автомобілів, шт		
	вул. Воїнів-Інтернаціоналістів-Хмельницьке шосе	вул. Воїнів-Інтернаціоналістів-Порика	вул. Воїнів-Інтернаціоналістів-Келецька
Легкої вантажності	220	114	99
Середньої вантажності	101	38	36
Важкої вантажності	70	7	15
Автобус	145	43	202
Легковий	1520	876	857
Разом	2057	1077	1209

За відомостями гідрометеорологічного центру та планами місцевості визначені наступні параметри:

Таблиця 3.4 – Параметри гідрометеорологічного центру на перехрестях

Параметр	Воїнів-Інтернаціоналістів – Хмельницьке шосе	Воїнів-Інтернаціоналістів – Порика	Воїнів-Інтернаціоналістів – Келецька
Швидкість вітру (м/с)	2	2	2
Кут нахилу місцевості (°)	3	2	3
Вологість (%)	48	48	48

Для розрахунку концентрації СО використаємо формулу (3.14).

Вплив різних чинників під час визначення концентрації СО враховує наступна формула:

$$C_{co} = (A + 0,01 \cdot N \cdot K_T) \cdot K_a \cdot K_n \cdot K_c \cdot K_v \cdot K_p, \quad (3.14)$$

де  $A$  – фонове забруднення атмосферного повітря для СО (приймається  $0,5 \text{ мг/м}^3$ );

$N$  – сумарна інтенсивність руху автомобілів на ділянці вулиці (шт./год.);

$K_T$  – коефіцієнт токсичності автомобілів за викидами в повітря СО;

$K_a$  – коефіцієнт, що враховує аерацію місцевості;

$K_n$  – коефіцієнт, що враховує зміну забруднення атмосферного повітря карбон (II) оксидом залежно від величини поздовжнього нахилу;

$K_c$  – коефіцієнт, що враховує зміну забруднення атмосферного повітря карбон (II) оксидом в залежності від швидкості вітру;

$K_v$  – коефіцієнт, що враховує зміну забруднення атмосферного повітря карбон (II) оксидом в залежності від вологості повітря;

$K_p$  – коефіцієнт збільшення забрудненості атмосферного повітря СО біля перехресть.

Коефіцієнт токсичності автомобілів визначається як середньозалежний для потоку автомобілів за формулою:

$$K_T = P_i \cdot K_T', \quad (3.15)$$

де  $P_i$  – частка автомобілів  $i$ -го типу; значення  $K_T'$  визначається за таблицею Б 2.

Сумарну інтенсивність руху автомобілів на відповідній ділянці визначаємо як суму автомобілів усіх типів, які проїжджали через відповідні перехрестя. Решту коефіцієнтів наведено в таблицях Б 3 – Б 7. В результаті отримано такі дані:

Таблиця 3.5 – Дані для розрахунку

Перехрестя	A (мг/м)	K <sub>н</sub>	N (шт/год)	K <sub>с</sub>	K <sub>т</sub>	K <sub>в</sub>	K <sub>а</sub>	K <sub>п</sub>
Воїнів- Інтернаціоналістів – Хмельницьке шосе	0,5	1,06	2057	2	0,247	0,75	1	1,8
Воїнів- Інтернаціоналістів – Порика	0,5	1,06	1077	2	0,22	0,75	1	1,8
Воїнів- Інтернаціоналістів – Келецька	0,5	1,06	1209	2	0,304	0,75	1	1,8

У підсумку отримано такі значення концентрації СО:

– для перехрестя вулиць Воїнів-Інтернаціоналістів – Хмельницьке шосе:

$$C_{CO} = (0,5 + 0,01 \cdot 2057 \cdot 0,247) \cdot 1 \cdot 1,06 \cdot 2 \cdot 0,75 \cdot 1,8 = 15,97 \text{ мг/м}^3 .$$

– для перехрестя вулиць Воїнів-Інтернаціоналістів – Порика:

$$C_{CO} = (0,5 + 0,01 \cdot 1077 \cdot 0,22) \cdot 1 \cdot 1,06 \cdot 2 \cdot 0,75 \cdot 1,8 = 9,04 \text{ мг/м}^3 .$$

– для перехрестя вулиць Воїнів-Інтернаціоналістів – Келецька:

$$C_{CO} = (0,5 + 0,01 \cdot 1209 \cdot 0,304) \cdot 1 \cdot 1,06 \cdot 2 \cdot 0,75 \cdot 1,8 = 11,95 \text{ мг/м}^3 .$$

Також були здійснені експериментальні вимірювання.

Газоаналізатором Vosean T-Z01Pro визначили концентрацію СО на кожній ділянці. Для перерахунку вмісту СО із ppm у в мг/м<sup>3</sup> використали онлайн калькулятор врахувавши тип газу який визначався.

Таблиця 3.6 – Дані вимірювань:

Перехрестя	C <sub>co</sub> (ppm)	C <sub>co</sub> (мг/м <sup>3</sup> )
Воїнів-Інтернаціоналістів – Хмельницьке шосе	12	13,97
Воїнів-Інтернаціоналістів – Порика	6	8,15
Воїнів-Інтернаціоналістів – Келецька	10	11,64

Таблиця 3.7 – Розрахункова та виміряна концентрації

Перехрестя	Розрахована концентрація (мг/м <sup>3</sup> )	Виміряна концентрація (мг/м <sup>3</sup> )
Воїнів-Інтернаціоналістів – Хмельницьке шосе	15,97	13,97
Воїнів-Інтернаціоналістів – Порика	9,04	8,15
Воїнів-Інтернаціоналістів – Келецька	11,95	11,64

Теоретичні розрахунки відповідають експериментальним даним. З урахуванням похибки газоаналізатора в 25%, отримані дані відносно близькі до розрахункових значень.

Згідно з наданими даними, ГДК СО становить 3 мг/м<sup>3</sup>, а виміряні результати показують перевищення ГДК в 2,5 - 4 рази.

Далі, проведем порівняльну характеристику виміряних результатів 2023 року з результатами вимірювання чадного газу 2021 року.

Таблиця 3.8 – Дані вимірювання у 2021 році

Перехрестя	Виміряна концентрація (мг/м <sup>3</sup> )
Воїнів-Інтернаціоналістів – Хмельницьке шосе	20
Воїнів-Інтернаціоналістів – Порика	12,5
Воїнів-Інтернаціоналістів – Келецька	12,5

Порівнюючи дані про рівні CO на різних перехрестях у 2021 та 2023 роках, можна визначити, що існує деяке зменшення концентрацій оксиду вуглецю в атмосферному повітрі на вказаних місцях (рис 3.1).

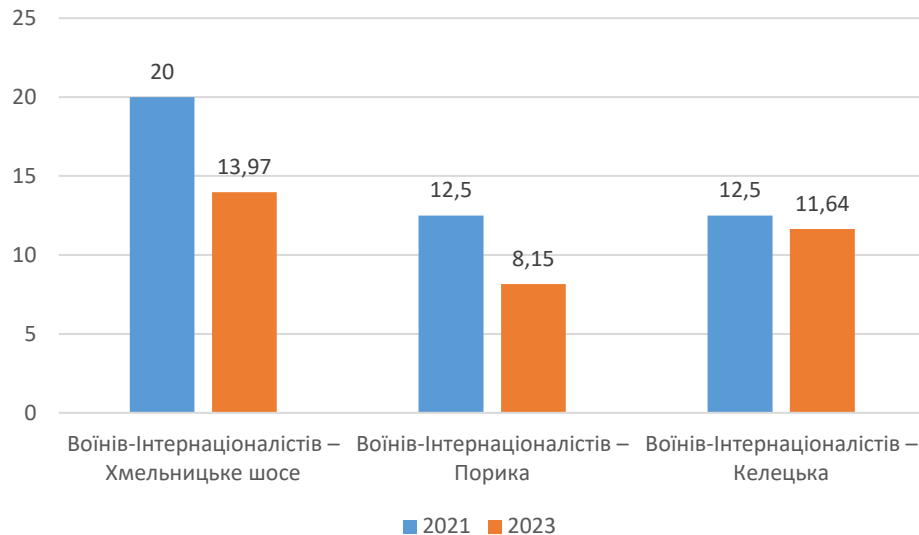


Рисунок 3.1 – Порівняння рівня концентрації чадного газу у 2021 та 2023 роках

Загальний аналіз рівнів оксиду вуглецю (CO) на трьох перехрестях від 2021 до 2023 року вказує на певне поліпшення якості повітря в досліджених районах. Значення CO вимірювано нижчими, ніж у 2021 році, що може бути результатом реалізації заходів для зменшення викидів та поліпшення екологічної ситуації.

Розрахункові та виміряні концентрації показали близькість, підтверджуючи точність теоретичних розрахунків. Однак, навіть при зменшенні рівнів CO, виміряні дані все ще свідчать про перевищення ГДК у 2,5 - 4 рази. Це вказує на необхідність подальших заходів для зниження викидів та поліпшення якості повітря.

Порівняння даних 2023 року з 2021 роком показує загальний тренд до зменшення рівнів CO, що може бути наслідком заходів з екологічної безпеки. Однак, перевищення ГДК свідчить про необхідність продовження заходів для зниження викидів та поліпшення якості повітря.

Важливим фактором, що може вплинути на зменшення забруднення, є збільшення використання автотранспорту на газу. Газ є більш екологічно чистим видом пального, що може сприяти зниженню викидів CO. Також, розвиток електротранспорту може відігравати ключову роль у зменшенні забруднення повітря, оскільки електромобілі не викидають вуглецеві оксиди під час руху.

Усе зазначене свідчить про те, що хоча досягнуті певні позитивні зміни у якості повітря, необхідно продовжувати зусилля для досягнення стандартів екологічної безпеки та зменшення негативного впливу транспортного сектору на довкілля.

### **3.4 Визначення рівня забруднення повітря викидами від маршрутного автотранспорту у м. Вінниці**

Необхідні для розрахунків технічні характеристики автомобіля: маса автомобіля – 3500 кг; об'єм двигуна – 3,8 дм<sup>3</sup>; споживання палива у міському режимі – 17,1 л/100 км.

Для маршрутних автомобілів парку м. Вінниця маса викинутої за один повний маршрут шкідливої j-ої речовини  $M_j$ , г визначається за формулою 3.16:

$$M_j^r = \sum_j m_j \cdot z_j \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot N_i \quad (3.16)$$

де  $m_j$  – питомий викид j-ої шкідливої речовини автомобілем за розрахунковий період (включає в себе пробіговий викид з урахуванням картерних викидів і випаровувань палива), г/км;  $z_j$  – пробіг автомобілів за розрахунковий період, млн. км;  $K_1 \cdot K_2$  – добуток коефіцієнтів впливу технічного стану і середнього віку автомобілів на викид j-ої шкідливої речовини автомобілем і в даному місті (табл. 3.9);  $N_i$  – кількість автомобілів на i-му маршруті.

Таблиця 3.9 – Вплив середнього віку парку і рівня технічного стану на викид шкідливих речовин:

Група автомобілів	Викид оксидів вуглецю		Викид вуглеводнів		Викид оксидів азоту	
	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>
Автобуси дизельні	1,27	1,80	1,17	2,0	1	0,85

Питомі викиди  $m_j$ , г/км, оксиду вуглецю, вуглеводнів, оксидів азоту для всіх груп автомобілів залежно від розрахункового року прийняті постійними і наведені в табл. 3.8.

Таблиця 3.10 - Питомі викиди для автобусів з дизельним двигуном, г/км

Група автомобілів	CO <sub>x</sub>	C <sub>x</sub> H <sub>y</sub>	NO <sub>2</sub>
Автобуси дизельні	15,0	6,4	8,5

Для маршрутних автомобілів парку м. Вінниця маса викинутої за повну робочу зміну шкідливої  $j$ -ої речовини  $M_j$ , г визначається за формулою 3.17:

$$M_j^r = \sum_j m_j \cdot z_j \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot N_i \cdot n_i, \quad (3.17)$$

де  $n_i$  – кількість повних зроблених маршрутів за зміну.

Для маршрутних автомобілів парку м. Вінниця маса викинутої за 1 рік шкідливої  $j$ -ої речовини  $M_j$ , г визначається за формулою 3.18:

$$M_j^r = \sum_j m_j \cdot z_j \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot N_i \cdot 365, \quad (3.18)$$

Відповідно до вище наведеної методики проведемо розрахунок маси шкідливих речовин за зміну, за добу та за 1 рік. Отримані дані занесемо до Таблиці Б 10.

Загальну масу викидів в атмосферу міста Вінниця від маршрутного автотранспорту становить 4116 тон за рік. Масштабні викиди свідчать про серйозний вплив на екологічну ситуацію та здоров'я мешканців.



Для зменшення впливу автотранспорту на довкілля важливо розглядати та впроваджувати екологічно чисті технології, які включають в себе вдосконалення двигунів, використання альтернативних джерел енергії та покращення ефективності палива. Підтримка громадського транспорту та впровадження ініціатив для зменшення використання особистих автомобілів також може виявитися важливою.

## **4 ЗАХОДИ ЩОДО РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ У СФЕРІ ТРАНСПОРТУ ТА ЗМЕНШЕННЮ ШКІДЛИВОГО ВПЛИВУ ВІДПРАЦЬОВАНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ГАЗІВ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ.**

### **4.1 Рекомендації для збільшення економічної та екологічної ефективності автотранспорту**

Зниження ваги автомобіля: Найбільш очевидним і доступним способом економії палива є зниження ваги автомобіля під час експлуатації. Чим легший автомобіль, тим менше палива він споживає. На кожні 100 кілограмів ваги машини, споживають близько 160 літрів бензину на рік (при дистанції пробігу близько 20-25 тисяч кілометрів).

Перевірка тиску в шинах: Регулярна перевірка тиску в шинах коліс допомагає знизити витрату палива. Не їздіть на недокачаних шинах, оскільки це підвищує споживання палива. Залежно від рівня недокачаності витрата може збільшитися на 5-7%.

Кондиціонер і витрата палива: Використання кондиціонера в автомобілі може підвищити витрату палива на 10-12%. Особливо це помітно на автомобілях із невеликим об'ємом двигуна. Тоновані стекла можуть зменшити необхідність у кондиціонері, забезпечуючи економію палива[15].

Стиль керування: Спокійний і збалансований стиль керування може суттєво зменшити споживання палива. Уникайте частого гальмування та різкого прискорення, оскільки це вимагає більше пального. Вчасне перемикання передач також сприяє економії палива.

Закриті вікна при високій швидкості: При русі зі швидкістю понад 60 кілометрів на годину, тримайте вікна та люк автомобіля закритими, оскільки відкриті вікна погіршують аеродинаміку і збільшують споживання палива.

Чистота автомобіля: Чисто вимитий автомобіль має менший коефіцієнт аеродинамічного опору, що призводить до економії палива. Полірування

кузова спеціальним автомобільним воском також може підвищити ефективність пального в русі в суху погоду.

Рух за автомобілем попереду: При подорожах на декількох машинах, рухайтесь близько (20-30 метрів) за автомобілем, що їде попереду. Лідер колони розсікає повітря і такий рух веде до економії палива.

Повітряний фільтр двигуна: Вчасна заміна повітряного фільтра двигуна важлива, оскільки забруднений фільтр може збільшити витрату палива.

Розвал-сходження коліс: Перевірка і налаштування розвал-сходження коліс є важливим фактором витрати палива. Від правильного розвал-сходження залежить витрата палива.

Стан свічок запалення: Свічки запалення впливають на витрату палива. Вони повинні бути належно налаштовані, і непрацююча свічка запалення може підвищити споживання палива на 15-25% [16].

#### **4.2 Аналіз конструктивних особливостей бензинових автомобілів для поліпшення екологічності автомобіля**

При роботі двигуна на холостому ході та при малому навантаженні можна спостерігати підвищену нестабільність процесу згоряння. Ця нестабільність обумовлена високим вмістом залишкових газів та погіршенням у процесі утворення паливно-повітряної суміші. У бензинових двигунах це вимагає переходу на багаті паливно-повітряні суміші, що негативно впливає на паливну економічність і підвищує рівень токсичних викидів. Крім того, неефективна робота системи нейтралізації вихлопних газів у цих режимах також сприяє погіршенню екологічних показників бензинових двигунів.

Під час роботи двигуна при низьких навантаженнях і на холостому ходу основними токсичними компонентами є продукти неповного згоряння, незгорілі вуглеводні ( $C_mN$ ) і оксид вуглецю (CO).

Для покращення паливної ефективності та екологічних характеристик бензинових двигунів, що працюють у цих режимах, існує кілька методів, включаючи:

- Відключення групи циліндрів ( рис. 4.1). Цей метод полягає в можливості відключення певної кількості циліндрів двигуна під час малого навантаження або на холостому ходу. Це дозволяє зменшити споживання палива та покращити паливну економічність.

- Інтенсифікація процесу горіння. Цей метод спрямований на поліпшення якості згоряння пального, що допомагає зменшити викиди шкідливих речовин та підвищити паливну ефективність. Це може включати в себе вдосконалення системи запалювання, використання більш ефективних свічок запалювання та інші технології.

- Робота двигуна на збідненій паливно-повітряній суміші. Збіднені суміші мають більше повітря в порівнянні з паливом. Це допомагає зменшити кількість палива, яке споживає двигун, та знизити рівень токсичних викидів.

- Використання регульованих фаз газорозподілу. Змінюючи момент відкриття та закриття клапанів газорозподілу, можна досягти кращого керування процесом згоряння і покращити ефективність двигуна.

- Системи рециркуляції відпрацьованих газів є важливою частиною сучасних технологій для зменшення викидів шкідливих речовин у атмосферу, зокрема в промислових процесах та автотранспорті (Рисунок Б1-Б2). Рециркуляція відпрацьованих газів полягає в повторному введенні частини відпрацьованих газів або вихлопів у процес для подальшого споживання чи обробки.

Ці методи спільно або окремо можуть бути використані для покращення показників бензинових двигунів у режимах малих навантажень і на холостому ходу.

Використання методу регулювання потужності через відключення групи циліндрів або окремих циліндрів у режимах легкого та середнього

навантаження сприяє підвищенню паливної економічності бензинових двигунів [17]. Суть цього підходу полягає в регулюванні потужності двигуна не лише за допомогою дроселювання, але також відключенням групи циліндрів.

Використання відключення групи циліндрів призводить до скорочення тривалості процесу згоряння за рахунок скорочення тривалості першої та другої фаз згоряння. Це призводить до максимального підвищення коефіцієнта використання тепла та підвищення індикаторного ККД. В результаті цього зменшується потужність механічних втрат, і необхідна індикаторна потужність для досягнення такої самої активної потужності зменшується [18].



Рисунок 4.1 – Система відключення групи циліндрів

За рахунок підвищення ефективного ККД досягається поліпшення паливної економічності двигуна. Система, що використовується на багатьох автомобілях, зокрема компаній Volkswagen, SKODA, Chevrolet, BMW, продемонструвала свою ефективність і отримала визнання на автомобільному ринку.

Ще одним способом поліпшення характеристик бензинових двигунів є їх робота на збідненій паливно-повітряній суміші. Зазначено, що індикаторний ККД робочого циклу двигуна зростає зі збільшенням ступеня стискання та

збідненням паливоповітряної суміші шляхом додавання повітря та рециркуляції відпрацьованих газів.

Цей підхід допомагає знизити втрати на газообмін під час роботи на часткових навантаженнях та зменшити температуру згорання. Це в свою чергу призводить до зменшення втрат тепла на дисоціацію і в стінки циліндра, зниження ризику детонації та утворення оксидів азоту ( $\text{NO}_x$ ).

Такий підхід сприяє покращенню показників бензинових двигунів, зменшенню викидів та підвищенню їх паливної ефективності.

При використанні збіднених паливно-повітряних сумішей, рекомендується вживати заходи, що сприяють створенню додаткової турбулентності в заряді з метою інтенсифікації переносу тепла із зони горіння в свіжий заряд, а також збільшення площі поверхні фронту полум'я. Це призводить до підвищення швидкості і повноти згорання.

У випадку двигуна з плоскою камерою згорання, центрально розміщеною свічкою запалювання та тангенційним впускним каналом, зниження підйому впускного клапана з 10,3 до 2,5 мм не суттєво впливає на напрямок руху заряду, проте сприяє збільшенню інтенсивності турбулентності, що призводить до підвищення швидкості вигорання палива.

Подача регульованої потужності двигуна через зменшення підйому клапана, замість традиційного дроселювання, сприяє покращенню паливної економічності та розширенню можливостей ефективного збіднення паливно-повітряної суміші [17].

Інтенсифікація процесу згорання у двигунах з іскровим запалюванням може бути досягнута за допомогою використання добавок водню та водневмісних сполук. Застосування активуючих добавок, які підсилюють процес згорання, сприяє покращенню паливної економічності та екологічних показників автомобільних двигунів. Цей метод є дуже перспективним, оскільки він не вимагає змін у конструкції двигуна і може бути реалізований в умовах експлуатації. До 23 таких активуючих добавок входять речовини, чия швидкість згорання перевищує швидкість згорання основного палива.

Найбільш перспективним є використання водню в якості добавки, оскільки швидкість його згоряння перевищує швидкість згоряння бензину в 9 разів [19].

Використання каталітичного фільтра. Це пристрій, призначений для зменшення викидів шкідливих речовин у вихлопних газах системи внутрішнього згоряння, зокрема у вихлопних газах легкових автомобілів. Основним принципом роботи каталітичного фільтра є використання каталізаторів для зміни хімічного складу вихлопних газів.

Типовий каталітичний фільтр містить спеціальне покриття, яке містить такі каталізатори, як платина, паладій і родій. Ці речовини полегшують хімічні реакції, які перетворюють оксиди азоту ( $\text{NO}_x$ ), вуглеводні та вуглекислий газ у менш токсичні сполуки, такі як азот і вода.

Цей процес значно зменшує кількість шкідливих викидів у вихлопних газах, що сприяє зниженню впливу вихлопних газів автомобіля на навколишнє середовище та здоров'я людини. Каталітичні фільтри широко використовуються в сучасних автомобілях з бензиновим двигуном для відповідності екологічним нормам.

Каталітичні нейтралізатори, або каталітичні фільтри, зазвичай мають керамічну основу, покриту тонким шаром платини, паладію та родію, які виконують роль каталізаторів хімічних реакцій вихлопних газів (рис. 4.2). Основним матеріалом для виготовлення керамічних підкладок є оксид цирконію або оксид алюмінію.

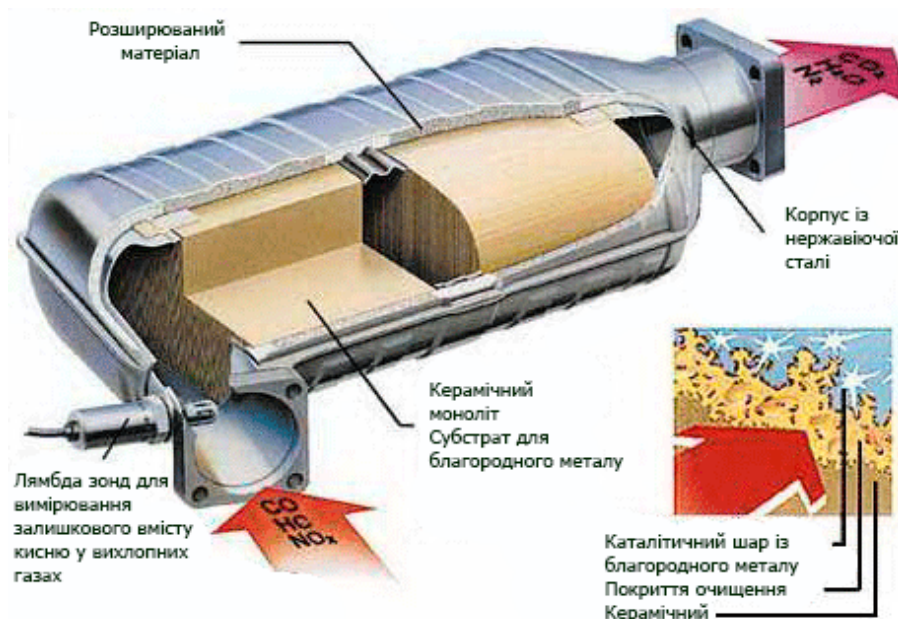


Рисунок 4.2 – Каталітичний нейтралізатор

Основа фільтра керамічна, яка найчастіше виготовляється з оксиду цирконію або оксиду алюмінію. Кераміка характеризується високою термо- і хімічною стійкістю, що робить її ідеальним матеріалом для цієї мети.

Каталітичні покриття з платини, паладію та родію є благородними металами, які каталізують хімічні реакції у вихлопних газах. Ці метали тонким шаром покривають поверхню керамічної основи.

Такий склад матеріалів дозволяє каталітичним нейтралізаторам ефективно знижувати кількість шкідливих речовин у вихлопних газах, забезпечуючи екологічні стандарти транспортних засобів[20].

### 4.3 Використання водню як альтернативне паливо

Використання водню на транспорті, промисловості та побуті є важливим кроком у зниженні забруднення повітря оксидами вуглецю, азоту, сірки та вуглеводнів. Присутність водню в природі приблизно на рівні 0,88% маси Землі та його присутність у земній корі у співвідношенні 17 атомів на 100 атомів робить його важливим і чудовим ресурсом.



Здатність водню повсюдно замінювати інші види палива робить його особливо цінним у різних сферах промисловості та домашнього господарства.

Водень успішно використовується як альтернатива бензину в двигунах автомобілів, ацетилену в процесах зварювання і різання металів, газу в реактивних двигунах, природного газу для побутових потреб, коксу в металургійних процесах (пряме відновлення руд), метану в паливних елементах, а також як і в багатьох мікробіологічних процесах.

Простота транспортування водню по трубопроводах і його розповсюдження дрібним споживачам, а також можливість його отримання і зберігання в будь-яких кількостях роблять його універсальним джерелом енергії.

Крім того, водень використовується як сировина у важливих хімічних процесах, таких як аміак, гідразин, метанол, і використовується для виробництва синтетичних вуглеводнів [21-22].

В даний час існує два промислових джерела отримання водню: електроліз води (рис. 4.3) і хімічне перетворення органічних речовин (біомаси або продуктів її переробки - спиртів, викопного палива) в синтез-газ (суміш CO і H<sub>2</sub>) [23].

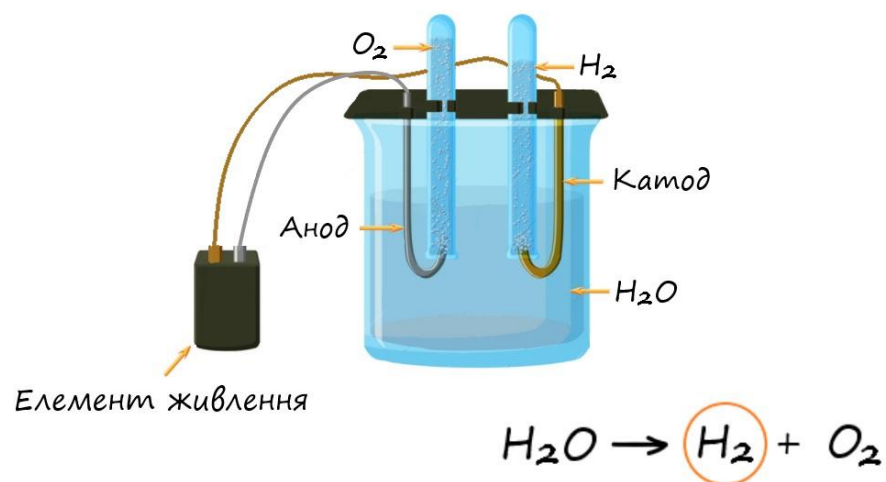


Рисунок 4.3 – Отримання водню електролізом води

У порівнянні з іншими видами автомобільного палива водень у чистому вигляді має багато переваг:

1. Висока теплота згорання: водень має високу теплоту згорання (28620 ккал/кг).

2. Хороша займистість воднево-повітряної суміші: водень має гарну займистість у широкому діапазоні температур, що забезпечує ефективний запуск двигуна при будь-якій температурі навколишнього середовища.

3. Нешкідливість вихлопних газів: водень, як продукт згорання, виділяє воду, що робить вихлопні гази нешкідливими для навколишнього середовища.

4. Висока ударостійкість: водень має високу ударостійкість і може працювати при високих ступенях стиснення.

5. Висока швидкість згорання: Швидкість згорання водню вдвічі більша, ніж швидкість згорання бензину, що призводить до кращої повноти згорання та вищого теплового ККД (в середньому 20...25%).

6. Гнучкість регулювання складу суміші: Використання водню дозволяє якісно регулювати сумішоутворення в двигуні шляхом зміни кількості подаваної суміші певного складу.

7. Можливість відмови від дроселювання: При використанні водню можлива відмова від дроселювання потоку повітря на впуску, що дозволяє підвищити теплову ефективність двигуна в режимах часткового навантаження. Основною перевагою автомобілів з двигунами на водень є їх висока екологічність, оскільки водень згорає, утворюючи воду, яка є чистою екологічною реакцією.

Звичайно, коли двигун працює на водні, не вся використана суміш є абсолютно нетоксичною. Необхідно врахувати кілька додаткових аспектів. Зокрема, крім палива (водню) в двигуні може також згоріти невелика кількість моторного масла [3].

Що стосується паливних елементів, то це електрохімічні генератори, які забезпечують пряме перетворення хімічної енергії в електричну. Вони працюють на основі хімічних реакцій, під час яких паливо (відновник) і

окислювач надходять із зовнішнього джерела. Однією з важливих відмінностей між паливними елементами та звичайними батареями є те, що паливні елементи можуть працювати, доки подається паливо й окислювач, а хімічний склад електроліту залишається незмінним. Це означає, що їх не потрібно заряджати [26].

Паливні елементи забезпечують ефективний і екологічно чистий спосіб перетворення хімічної енергії, що міститься в паливі, безпосередньо в електричну. Як і акумулятори, вони складаються з анода, катода та електроліту. Різниця полягає в тому, що паливні елементи забезпечують постійний потік електроенергії до тих пір, поки є паливо. Вони використовують електрохімічні реакції, уникаючи механічних процесів, типових для двигунів внутрішнього згорання. Зокрема, водень як паливо виробляє лише воду як єдиний відхід. Однак технологія водневих паливних елементів стикається зі значними економічними труднощами та проблемами безпеки, пов'язаними із зберіганням газоподібного водню під високим тиском у паливних баках [25].

#### **4.4 Електротранспорт**

Електромобілі та електротранспорт в цілому є одним із найперспективніших видів транспорту, особливо в умовах дефіциту енергоресурсів та інтенсивного забруднення навколишнього середовища. Електромобілі мають ряд переваг перед автомобілями з традиційними двигунами внутрішнього згорання:

Дешева заправка, зарядка електромобіля в середньому дешевша, ніж заправка дизелем або бензином. Електромобілі споживають набагато менше енергії.

Проста конструкція, електричні транспортні засоби мають просту конструкцію, що полегшує їх обслуговування та ремонт. У них менше тертьових деталей і дорожчі компоненти системи живлення (рис.4.4).

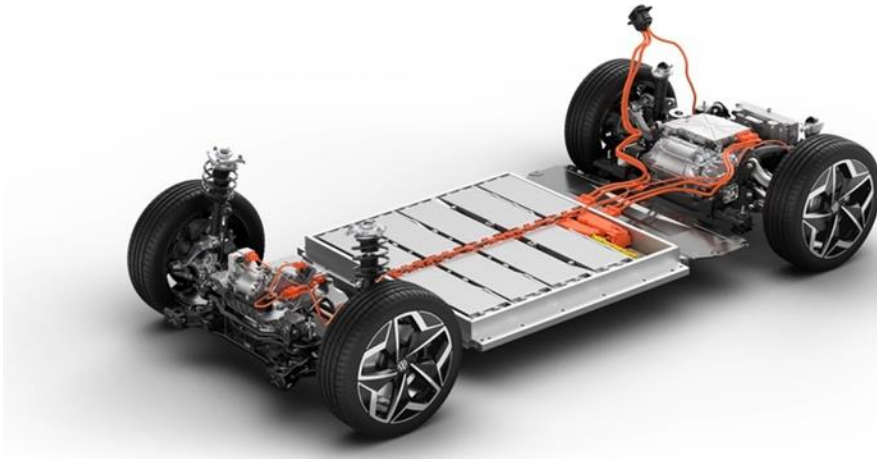


Рисунок 4.4 – Акумулятор в електроавтомобілі

Зручність управління та простота експлуатації, електроавтомобілі не мають коробки передач, двигуна внутрішнього згоряння та різних типів насосів, що робить їхню експлуатацію більш зручною[26].

Екологічність, електроавтомобілі не виділяють шкідливих викидів під час роботи, що робить їх екологічно чистими.

Менше шуму, електричні автомобілі виробляють менше шуму порівняно з традиційними автомобілями, оскільки вони мають менше технічних частин, які викликають шум.

Енергоефективність, ефективність електродвигуна та загальна енергоефективність значно вищі порівняно з двигунами внутрішнього згоряння.

Недоліками електроавтомобілів є, висока ціна, обмежений запас ходу на одному заряді, погано розвинена інфраструктура зарядних станцій, тривалий час зарядки та висока вартість заміни акумулятора. Однак із розвитком технологій та державною підтримкою електроавтомобілі стають дешевшими та ефективнішими в різних країнах світу [27-28].

## 4.5 Особливості біодизельного пального для досягнення паливної економічності та екологічних показників

Використання біодизеля, виробленого з рослинних олій або тваринних жирів, може бути корисним для покращення економічних та екологічних показників дизельних автомобілів (рис. 4.5). Однак, як справедливо було зазначено, при тривалому використанні без модернізації або зміни конфігурації двигуна можуть виникнути деякі проблеми.

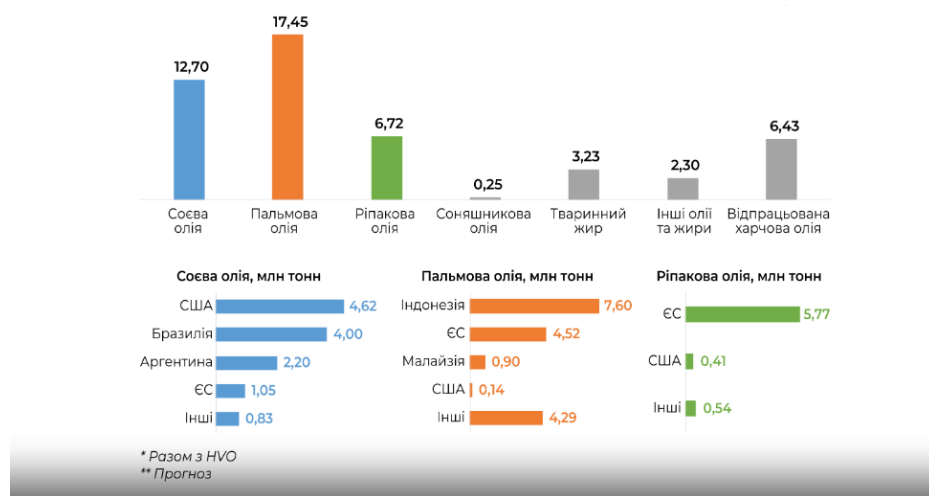


Рисунок 4.5 – Використання сировини для виробництва біодизелю у 2022 році

Біодизель також допомагає зменшити викиди вихлопних газів, включаючи кількість сажі та «токсичних речовин», які потрапляють в атмосферу. Дослідження Агентства з охорони навколишнього середовища (ЕРА) показують, що біодизельне паливо виділяє на 11% менше чадного газу та на 10% менше твердих частинок, ніж дизельне паливо. Як повідомляє Car Talk, дослідження Департаменту енергетики та сільського господарства показало, що біодизель зменшує чисті викиди вуглекислого газу на 78%.

Порівняно з дизельним паливом, яке містить сірку та канцерогенний бензол – два інгредієнти, які регулюються державними агентствами з питань викидів та ЕРА – біодизель нетоксичний і піддається біологічному розкладанню.

#### Переваги біопалива:

1. Низький вміст сірки та бензолу, біодизель практично не містить сірки та канцерогенного бензолу, тому його легко спалювати, не завдаючи шкоди навколишньому середовищу. Викиди  $\text{CO}_2$  під час спалювання можуть бути на 50-80% нижчими, ніж при використанні традиційного мінерального дизельного палива.

2. Хороша горючість, біодизель можна виробляти з різноманітної сировини, і його виробництво можна покращити з точки зору енергетичної та екологічної стійкості.

3. Відновлювані ресурси, потужності з виробництва біодизеля можна оновлювати щороку, що може допомогти вирішити проблеми енергетичної безпеки.

4. Побічні продукти, процес переробки нафти для виробництва біодизеля може давати побічні продукти, такі як гліцерин і сульфат натрію.

#### Недоліки використання біодизеля:

1. Корозійна дія, ефіри ріпакової олії можуть мати значну корозійну дію, що призводить до втрати стійкості ущільнювачів і гумових прокладок, утворення твердих відкладень в форсунках і форсунках, забруднення паливних фільтрів і насосів високого тиску.

2. Нижча теплота згоряння, теплота згоряння біодизеля нижча, ніж мінерального дизеля, що може призвести до зниження потужності двигуна та збільшення споживання палива.

3. Зменшення потужності та збільшення споживання палива, кількість біодизеля в суміші може зменшити потужність двигуна та збільшити споживання палива, особливо під час часткового навантаження.

Для досягнення найкращих результатів і мінімізації негативного впливу біодизельного палива необхідно враховувати його властивості і використовувати відповідно до рекомендацій виробників автомобілів і інструкції з експлуатації.

## **5. ЕКОЛОГО -ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПЕРЕХОДУ НА СУМІШ БІОДИЗЕЛЬ В20 ДЛЯ МІСЬКОГО ТРАНСПОРТУ У ВІННИЦІ**

### **5.1 Екологічні аспекти використання суміші біодизеля В20.**

Вирішення проблеми викидів чадного газу (СО) від міського транспорту у Вінниці може бути спрощено шляхом переходу на використання біодизелю В20, тобто 20% суміші біодизелю з дизелем. Це не лише зменшить негативний вплив на довкілля, але й стане економічно вигідним рішенням.

Зазвичай, В20 і більш низькі рівні змішування можуть використовуватися в поточних двигунах без модифікацій. Багато виробників оригінального обладнання дизельних двигунів (ОЕМ) схвалюють використання В20.

Використання суміші В20, яка складається з 20% біодизелю та 80% дизельного палива, може мати невеликий вплив на різницю паливної енергетичності. Двигуни, що працюють на В20, мають подібне споживання палива, потужність та крутний момент, як і двигуни, що працюють на звичайному дизельному паливі.

Хоча суміш дизельного палива та біодизелю, така як В20, зазвичай має невеликий вплив на паливну економіку, вона має вищу цетанову чисельність та здатність до змащування. Це дозволяє полегшити запуск двигуна та зменшити затримку запалювання<sup>4</sup>.

Біодизель підвищує цетанове число палива та покращує його змащувальність. Вище цетанове число означає, що двигун легше запустити та зменшує затримку запалювання. Для двигунів, обладнаних системами селективного каталітичного відновлення (SCR), переваги якості повітря однакові, незалежно від того, працюють вони на біодизелі чи нафтовому дизелю. Однак біодизель все ще пропонує більші переваги щодо викидів парникових газів, ніж звичайне дизельне паливо.

1.1 Розрахунок викидів забруднюючих речовин (чадного газу CO) у повітря маршрутними транспортними засобами у м. Вінниця:

$$V_{ij}=0.001 \cdot \Pi_{i\text{нп}} \cdot K_{ji} \cdot K_{j\text{тс}} \quad (5.1)$$

$V_{ij}$  – обсяги викидів  $j$ -ї забруднюючої речовини та парникового газу: оксиду вуглецю, аміаку, метану, оксиду азоту, сажі, діоксиду азоту, діоксиду сірки, свинцю, неметанових летких органічних сполук, бенз(а)пірену (крім свинцю) від використання  $i$ -го виду палива;

$\Pi_{i\text{нп}}$  – річне споживання  $i$ -го виду палива (бензину автомобільного, газойлів (дизельного палива), стисненого і скрапленого природного газу) на потреби транспортних засобів у приватній власності населення, у населеному пункті (Таблиця Б 9 );

$K_{ji}$  – усереднений питомий викид  $j$ -ї забруднюючої речовини (крім свинцю) та парникового газу для транспортних засобів населення від споживання  $i$ -го виду палива;

$K_{j\text{тс}}$  – коефіцієнти впливу технічного стану автотранспорту на викиди  $j$ -ї забруднюючої речовини від використання  $i$ -го виду палива. (1,5)

$$V_{ij}= 0.001 \cdot 13442141 \cdot 36,6 \cdot 1,5 = 737\,973,6 \text{ т CO}$$

Викиди забруднюючих речовин, таких як чадний газ (CO), маршрутним транспортом у м. Вінниця є суттєвим аспектом, який впливає на якість повітря та екологічну стабільність міста. Згідно з проведеним розрахунком, встановлено, що щорічно маршрутний транспорт у Вінниці викидає в атмосферу значну кількість чадного газу (CO) у розмірі 737 973,6 тонн.

Це висока кількість викидів може викликати серйозні проблеми для довкілля та здоров'я мешканців міста. Чадний газ є небезпечною речовиною, і його велика кількість у повітрі може призвести до забруднення атмосферного



повітря та спричинити різноманітні проблеми здоров'я, зокрема респіраторні захворювання.

Дослідження Агентства з охорони навколишнього середовища (EPA) показують, що біодизель виділяє на 11% менше чадного газу

Якщо використовується суміш з 20% біодизелю (B20), і викиди зменшуються на 11%.

1.2 Розрахунок зменшення викидів CO:

$$20\% \cdot 11\% = 2.2\%$$

Отже, зменшення викидів очікується на рівні 2.2%.

1.3 Тепер, щодо обсягу викидів 737 973,6 тонн, ми можемо розрахувати зменшення викидів в абсолютних значеннях:

$$2.2\% \cdot 737973,6 \text{ т} = 16234,5 \text{ т}$$

Отже, при використанні B20 очікується зменшення викидів CO на приблизно 16 234,5 тонн.

## **5.2 Економічні аспекти переходу маршрутного транспорту м. Вінниця на суміш біодизеля B20.**

1. Розрахунок вартості 1 літра при переході на біодизель в20:

де ціна на біодизель: 35,98 грн за 1 літр.

ціна на дизель: 54,90 грн за 1 літр.

відсоток біодизелю в суміші (в20): 20%.

$$\text{Вартість 1 літра суміші біодизелю в20: } (0,20 \cdot 35,98) + (0,80 \cdot 54,90) = 7,196 + 43,92 = 51,116 \text{ грн.}$$

2. Тепер розрахуємо економію за літр при використанні біодизелю в20 порівняно з чистим дизелем:

$$\begin{aligned} \text{Економія} &= \text{Ціна дизеля} - \text{Ціна суміші біодизелю В20} \\ \text{Економія} &= 54,90 - 51,116 = 3,784 \text{ грн} \end{aligned}$$

Отже, економія на кожному літрі пального при використанні суміші біодизелю В20 становить 3,784 грн.

3. Розрахунок річної економії для міського транспорту, враховуючи обсяг спожитого палива за рік у розмірі:

$$\begin{aligned} \text{Річна економія} &= \text{Економія на літр} \cdot \text{Об'єм спожитого пального} \\ \text{Річна економія} &= 3,784 \cdot 15\,630\,395 = 59\,145\,414,68 \text{ грн} \end{aligned}$$

Використання суміші В20 виявляється вигідним з економічної точки зору для міського транспорту у Вінниці. Річна економія більше 59 мільйонів гривень свідчить про ефективність переходу на біодизель В20. Крім того, це рішення сприятиме зменшенню викидів чадного газу в атмосферу, що позитивно впливає на екологічну ситуацію у місті Вінниця.

## ВИСНОВКИ

У ході даного дослідження було проведено аналіз викидів відпрацьованих автомобільних газів в динамічних умовах на великих перехрестях міста Вінниця.

Досліджено хімічний склад приземних газів атмосферних в міській зоні, також проведено аналіз забруднення атмосфери та вплив газових викидів на ґрунти.

Результати аналізу вказують на серйозні екологічні проблеми, пов'язані із забрудненням повітря викидами автомобільного транспорту. Виявлено постійне збільшення викидів забруднюючих речовин, а саме високі концентрації чадного газу, що найбільш імовірно пов'язано із значним зростанням кількості автомобільного транспорту в місті Вінниця.

Однією з ключових рекомендацій, що випливають із проведених досліджень, є необхідність розробки та впровадження стратегій для зменшення негативного впливу автомобільних викидів на навколишнє середовище. Зокрема, в роботі проаналізовано можливість переходу на використання біопалива, зокрема суміші біодизелю В20, для міського транспорту у Вінниці. Це дозволить знизити рівень забруднення повітря, сприяти створенню більш екологічно чистого і безпечного середовища для мешканців міста; покращити загальний стан довкілля та забезпечити більший рівень екологічної безпеки.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Трофімов І. Л. Зниження шкідливого впливу викидів моторного транспорту на стан атмосферного повітря / І. Л. Трофімов // Наукоємні технології. – 2014. – №3. – С.364–369
2. Веб сайт [Електроннийресурс ] – режим доступу: <http://ecology.zt.gov.ua/StanDov1.html>
3. Берінг М. Екологічна безпека автомобільного транспорту: Матеріали І науково-практичної онлайнконференції / Відп.ред.канд.філос.наук М.Брегін. – Львів: 2016. – 79 с.
4. Корсак К.В. Основи екології / К.В. Корсак, О.В. Плахотнік. – К. : МАУП, 2004 –340 с.
5. Рудька Г.І. Вступ до медичної геології / Г.І. Рудька, О.М. Адаменка. – К. : Академпрес, 2010. – Т.1. – С.124–130.
6. Веб сайт [Електронний ресурс ] – <http://avtosovet.com.ua/remontavto/sazhovij-filtr-princip-diyi-ta-vidi>
7. Гутаревич Ю.Ф. Екологія автомобільного транспорту: Навч. посіб. / Ю.Ф. Гутаревич, Д.В. Зеркалов, А.Г. Говорун та ін. -К.: Основа, 2002. – 312 с.
8. Постанова Верховної Ради України Про Основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки, 5 березня 1998 року, м. Київ, №188/98 – ВР
9. Лиговська В.В. Вплив автомобільного транспорту на якість ґрунтів червоноармійського району / Н.С.Бордюг, В.В. Лиговська // Сучасні проблеми збалансованого природокористування. – 2014. – С.169–170.
10. Корсун С.Г. Забруднення сільськогосподарських рослин свинцем в умовах різних типів ґрунтів / С.Г. Корсун, О.О. Мухачова // Агроекологія та біотехнологія. –1998. – № 2. – С.98–102.

11. Моніторинг довкілля: підручник – Том 1 / [А.К. Запольський, А.П. Войцицький, І. А. Пількевич, П. М. Малярчук та ін.]. – Кам'янець-Подільський: ПП Медобори–2006, 2012. – 408 с.
12. Транспортна екологія. Методично-інформаційні матеріали до самостійного вивчення дисципліни та виконання індивідуальних завдань для студентів напряму підготовки 6.070101 Транспортні технології (за видами транспорту) /А.В. Павличенко, С.М. Лисицька, О.О. Борисовська, О.В. Деменко. – Д.: Національний гірничий університет, 2012. – 39 с.
13. Звіт про стратегічну екологічну оцінку Стратегії збалансованого регіонального розвитку Вінницької області на період до 2027 року. – 2020 р. – 44с.
14. Доповідь про стан навколишнього природного середовища у Вінницькій області 2016 рік/ Вінницька обласна державна адміністрація /Департамент екології та природних ресурсів. – 2017 р. – 259 с.
15. Кофанова О.В. Заходи з поліпшення екологічних характеристик моторного палива / О.В. Кофанова, О.Є. Кофанов // НТІ. – 2015. – №2. – С.53 – 58.
16. Болтянський О.В., Болтянська Н.І. Аналіз шляхів підвищення ефективності використання машинотракторного парку. Праці ТДАТУ. 2014. Вип.14. Т.4. С. 204–209.
17. Nagel, John (2002). Diesel Engine and Fuel System Repair, ISBN 0130929816. –2001р. – 856 с.
18. Сирота О.В. Покращення паливної економічності і екологічнихпоказників багатоциліндрового бензинового двигуна застосуванням комбінованого методу регулювання потужності: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Сирота Олександр Вадимович. – К., 2011. – 182 с.
19. Дядченко В.Л. Підвищення паливної економічності багатоциліндрових двигунів з впорскуванням бензину в режимах малих навантажень і холостого ходу: дис. канд. техн. наук: 05.05.03 / В.Л. Дядченко. – К., 2010. – с. 150-156.

20. 33. Веб сайт [Електронний ресурс ] – <http://autosteam.ua/helpful-info/303-sazhevyj-filtr-i-ego-regeneratsiya>

21. Н. Грінвуд, А. Ерншо. Хімія елементів: у 2-ох томах. – БІНОМ. Лабораторія знань, 2008. – Т. 1. – С. 11. – (Найкращий зарубіжний підручник). — ISBN 978-5- 94774-373-9.

22. Довідник. "Водень. Властивості, отримання, зберігання, транспортування, застосування ". Москва "Хімія" - 1989 р. – 672с.

23. National Academy of Engineering, «The Hydrogen Economy: Opportunities, Costs, Barriers, and R&D Needs» 2004, Fig 7-1

24. Альтернативні палива: підручник : підручник / А. Д. Кустовська, С. В. Іванов, Є. О. Бережний. — К. : НАУ, 2014. — 624 с.

25. Автомобілі на твердооксидних паливних елементах – екологічна альтернатива ДВЗ? [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<http://autoexpert-consulting.com/stati/rynok-auto/11687-avtomobili-na-tverdooksidnikh-palivnikh-elementakh-ekologichna-alternativa-dvz.html>

26. Ковтун Г. Паливний елемент — основа водневої енергетики / Г. Ковтун, Є. Полункін // Вісник Національної академії наук України – 2006. – № 3. – С. 78–83.

27. Шевчук Я.В. Перспективи експлуатації та конкурентна спроможність електромобілів в Україні / Шевчук Я.В. Лалакулич М.Ю. Шевчук О.І. // Науковий вісник Херсонського державного університету. – 2016. – № 21. – С. 43–46.

28. Сніжко Л. Л. Перспективи розвитку ринку електромобілів Nissan Life в Україні / Сніжко Л. Л. Олійник А. С. // International Scientific Journal “Internauka”. – 2018. – с.– 11.

## Додаток А

**ПРОТОКОЛ  
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

Назва роботи: Дослідження завантаженості міських вулиць автотранспортом та приземних викидів в атмосферу

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ екології, хімії та технологій захисту довкілля

**Показники звіту подібності Unicheck**

Оригінальність 88,8%

Схожість 11,2%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне)

1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.

3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку  Матусяк М.В.

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unicheck щодо роботи

Автор роботи  Мусінкевич І.В.

Керівник роботи  Сакалова .Г.В.

## Додаток Б

### ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАВАНТАЖЕНОСТІ МІСЬКИХ ВУЛИЦЬ  
АВТОТРАНСПОРТОМ ТА ПРИЗЕМНИХ ВИКИДІВ В АТМОСФЕРУ



Таблиця Б.1 – Середній рівень реалізації пального АЗС у м. Вінниці за добу

Назва компанії АЗС	Кількість	Середній рівень реалізації пального, дм <sup>3</sup> /добу			
		Бензин	Дизельне паливо	Газ	Всього
Укрнафта	1	10000	1620	380	12000
TNK	3	32760	5240	1000	39000
Wels	9	143640	25710	1650	171000
ОККО	6	70560	11590	850	84000
WOG	4	57120	10300	580	68000
Shell	6	100800	18000	1200	120000
Лукойл	1	9240	1400	260	11000
Всього	29	424120	73860	5920	505000

Таблиця Б.2– Коефіцієнт токсичності автомобіля  $K_T$  '.

Тип автомобіля	Коефіцієнт $K_T$ '.
Легкої вантажності	0,2
Середньої вантажності	2,9
Важкої вантажності	2,3
Автобус	3,7
Легковий	1,0

Таблиця Б. 3 – Розподіл територій за ступенем аерації.

Тип місцевості за ступенем аерації	Коефіцієнт $K_a$
Транспортні тунелі	2,7
Транспортні галереї	1,5
Магістральні вулиці і дороги з багатоповерховою забудовою з обох боків	1,0
Вулиці та дороги з одноповерховою забудовою	0,6
Міські вулиці та дороги з одnobічною забудовою, набережні, естакади, висотні насипи	0,4
Пішохідні тунелі	0,3

Таблиця Б.4 – Залежність зміни концентрації CO від кута нахилу.

Повздовжній нахил, град.	Коефіцієнт $K_H$
0	1,00
2	1,06
4	1,07
6	1,18
8	1,55

Таблиця Б.5 – Залежність зміни вмісту CO від швидкості вітру.

Швидкість вітру, м/с	Коефіцієнт $K_c$
1	2,70
2	2,00
3	1,50
4	1,20
5	1,05
6	1,00

Таблиця Б.6 – Залежність зміни вмісту CO від відносної вологості.

Відносна вологість повітря, %	Коефіцієнт $K_B$
100	1,45
90	1,30
80	1,15
70	1,00
60	0,85
50	0,75
40	0,60

Таблиця Б.7 – Залежність зміни вмісту СО в повітрі від типу перехрестя.

Тип перехрестя	Коефіцієнт $K_{\Pi}$
Регульоване перехрестя:	
світлофорами звичайне	1,8
світлофорами регульоване	2,1
саморегульоване	2,0
Нерегульоване:	
зі зниженою швидкістю	1,9
кільцеве	2,2
з обов'язковою зупинкою	3,0

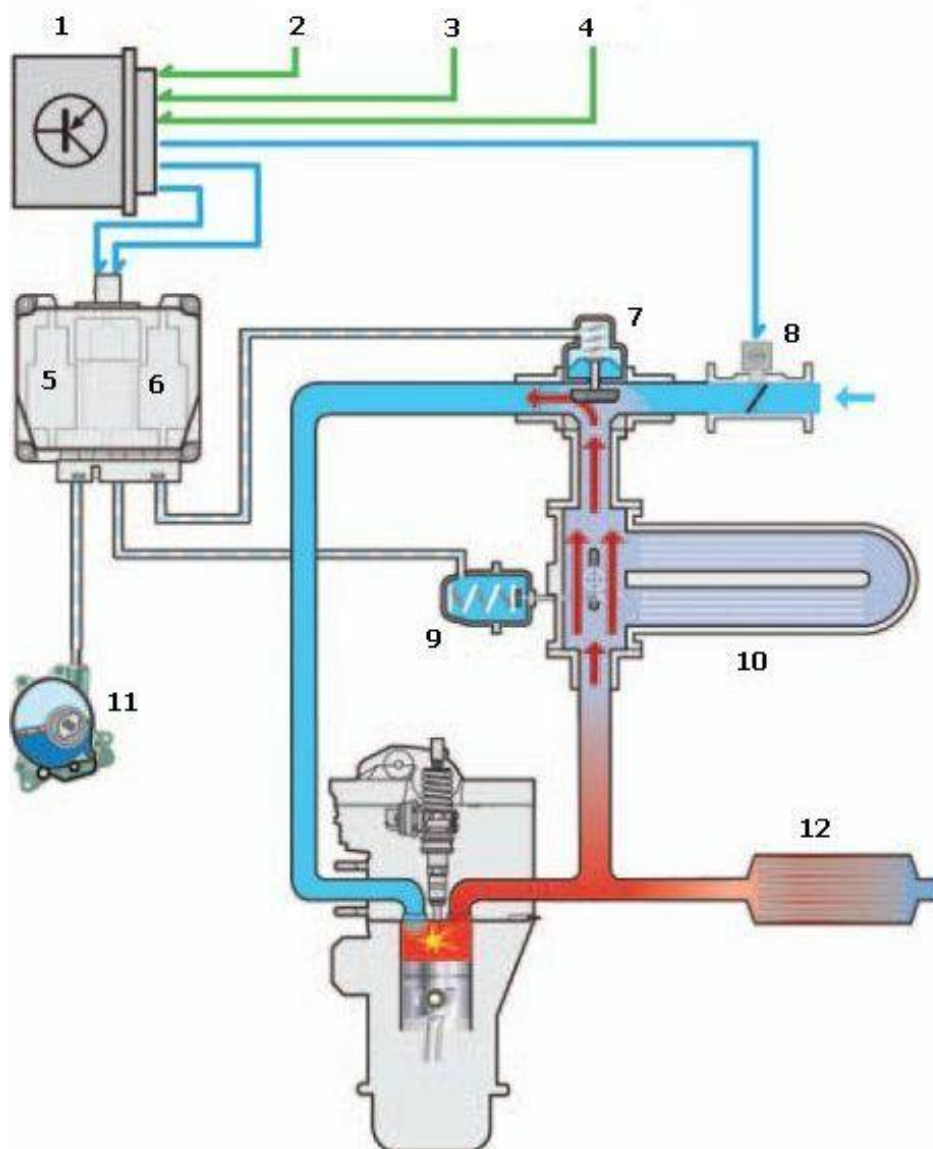


Рисунок Б.1 – Система рециркуляції відпрацьованих газів високого тиску: 1 - блок управління двигуном; 2 - сигнал датчика частоти обертання колінчатого валу; 3 - сигнал датчика масового витрати повітря; 4 - сигнал датчика температури рідини охолодження; 5 - електромагнітний клапан управління рециркуляцією; 6 - електромагнітний клапан управління заслінкою охолоджувача; 7 - клапан рециркуляції відпрацьованих газів; 8 - електропривод впускної заслінки; 9 - вакуумний привод заслінки охолоджувача; 10 - охолоджувач перепускних відпрацьованих газів; 11 - вакуумний насос; 12 - каталітичний нейтралізатор.

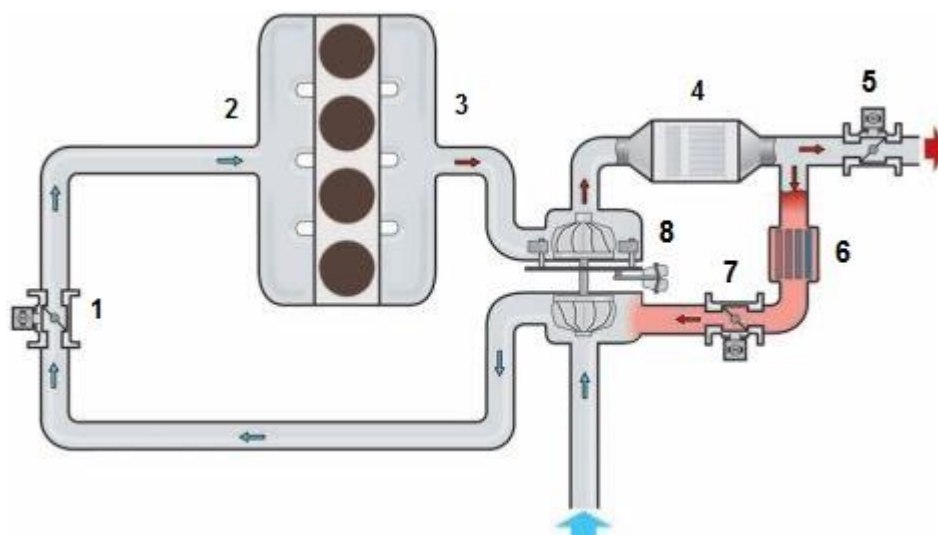


Рисунок Б.2 – Система рециркуляція відпрацьованих газів низького тиску:  
 1- дросельна заслінка; 2 - впускний колектор; 3 - випускний колектор;  
 4 - сажевий фільтр; 5 - випускна заслінка; 6 - радіатор системи рециркуляції;  
 7 - заслінка рециркуляції; 8 - турбонагнітач

Таблиця Б.8 – Обсяги викидів забруднювальних речовин в атмосфері у 2020 році в м. Вінниця

	Кількість підприємств мр		Обсяги викидів			
	всього, одиниць	у % до 2019 р.	тонн	збільшення/ зменшення проти 2019 року	у % до 2019 р.	Роз-поділ, %
А	1	2	3	4	5	6
Всього забруднювальних речовин	91	97,85	2663,204	-223,885	92,25	100,00
Метали та їх сполуки	40	100,00	2,663	-0,100	96,38	0,10
Залізо та його сполуки (у перерахунку на залізо)	36	97,30	2,358	0,554	130,71	0,09
Мідь та її сполуки (у перерахунку на мідь)	2	50,00	0,063	-0,639	8,97	0,00
Ртуть та її сполуки (у перерахунку на ртуть)	2	0	0,002	0,002		0,00
Хром та його сполуки (у перерахунку на триоксид хрому)	3	100,00	0,011	0,003	137,50	0,00
Цинк та його сполуки (у перерахунку на цинк)	1	100,00	0,003	0,002	300,00	0,00
Алюмінію оксид	4	100,00	0,043	0,000	100,00	0,00
Манган та його сполуки (у перерахунку на діоксид мангану)	16	88,89	0,079	-0,044	64,23	0,00
Стибій та його сполуки (у перерахунку на стибій)	1	100,00	0,080	0,000	100,00	0,00
Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок (мікрочастинки та волокна )	67	106,35	262,005	17,906	107,34	9,84
Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок більше 2,5 мкм та менше 10мкм	42	127,27	135,378	37,737	138,65	5,08

Речовини у вигляді суспендованих твердих частинок менше 2,5мкм	19	111,76	108,365	13,637	114,40	4,07
Сажа	15	107,14	10,386	-3,328	75,73	0,39
Сполуки азоту	84	96,55	588,426	-69,482	89,44	22,09
Оксид азоту (у перерахунку на діоксид азоту)[NO+NO <sub>2</sub> ]	83	96,51	573,141	-69,518	89,18	21,52
Азоту (1) оксид [N <sub>2</sub> O]	45	100,00	8,211	-0,063	99,24	0,31
Аміак	10	111,11	6,684	0,100	101,52	0,25
Азотна кислота	3	75,00	0,390	-0,001	99,74	0,01
Діоксид та інші сполуки сірки	48	104,35	108,704	7,705	107,63	4,08
Сірки діоксид	45	104,65	107,246	7,768	107,81	4,03
Сірководень (H <sub>2</sub> S)	2	100,00	0,240	0,013	105,73	0,01
Сульфатна кислота (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ) [сірчана кислота]	9	100,00	1,218	-0,076	94,13	0,05
Оксид вуглецю	82	96,47	779,180	-44,921	94,55	29,26
Вуглецю діоксид	79	97,53	384425,216	11200,137	103,00	14434,69
Неметанові леткі органічні сполуки (НМЛОС)1	62	103,33	743,947	-135,041	84,64	27,93
Акрилонітрил	4	200,00	10,019	9,529	2044,69	0,38
Ангідрид малеїновий	1	#DIV/0	0,104	0,104		0,00
Акролеїн	1	100,00	2,201	-1,489	59,65	0,08
Ацетальдегід	2	100,00	0,676	-0,027	96,16	0,03
Ацетон	7	77,78	0,510	-0,014	97,33	0,02
Бензол	3	150,00	0,590	0,403	315,51	0,02
Бутиловий ефір оцтової кислоти (бутилацетат)	8	160,00	15,196	15,152	34536,36	0,57
Діетиловий ефір	2	100,00	0,061	-0,069	46,92	0,00
Етилцелозольв	3	75,00	0,461	0,088	123,59	0,02
Етилацетат	11	84,62	1,478	0,169	112,91	0,06

Етилену оксид	0	0,00		-0,031		
Кислота оцтова	10	90,91	5,263	-0,103	98,08	0,20
Ксилол	10	142,86	1,330	-0,250	84,18	0,05
Спирт метиловий	1	100,00	23,402	13,427	234,61	0,88
Стирол	3	100,00	0,050	-0,012	80,65	0,00
Толуол	10	125,00	1,160	0,859	385,38	0,04
Фенол	2	66,67	0,030	-0,003	90,91	0,00
Формальдегід	0	0,00		-0,010		
1-Хлор-2,3- епіксипропан (епіхлоргідрин)	1	0	0,010	0,010		0,00
Метан	67	98,53	173,309	0,325	100,19	6,51
Хлор та сполуки хлору (у перерахунку на хлор)	12	109,09	1,508	-0,052	96,67	0,06
Вініл хлористий	1	100,00	0,001	0,000	100,00	0,00
Водню хлорид (соляна кислота по молекулі на HCL)	10	111,11	1,478	-0,042	97,24	0,06
Фтор та його сполуки (у перерахунку на фтор)	3	100,00	0,017	0,003	121,43	0,00
Фтористий водень	3	150,00	0,005	0,002	166,67	0,00
Фреони	9	112,50	3,445	-0,228	93,79	0,13
Гідрохлорфторвуглеці (ГХВ)	3	100,00	1,810	-0,338	84,26	0,07
Хлорфторвуглеці (ХФВ)	3	100,00	0,185	0,094	203,30	0,01



Таблиця Б.9 – Кількісна оцінка витрати палива маршрутним автотранспортом м. Вінниця

Номер маршруту	Кількість автомобілів на маршруті, шт.	Кількість повних маршрутів за зміну	Витрати палива окремого маршруту за 1 коло, л	Витрати палива окремого маршруту за 1 добу, л	Витрати палива окремого маршруту за 1 рік, л	Маса витраченого палива окремого маршруту за 1 рік, т
1А	3	45	6	270	98550	84753
2А	6	60	12	720	262800	226008
2Б	10	60	34	2040	744600	640356
3А	10	45	44	1980	722700	621522
3Б	12	90	30	2700	985500	847530
5А	4	45	6	270	98550	84753
6А	4	36	4	144	52560	45202
7А	4	45	5	225	82125	70628
8А	11	60	34	2040	744600	640356
8Б	4	30	10	300	109500	94170
9А	2	28	4	112	40880	35157
10А	6	60	10	600	219000	188340
11А	4	36	10	360	131400	113004
11Б	6	45	10	450	164250	141255
12А	6	45	16	720	262800	226008
13А	4	45	4	180	65700	56502
13Б	4	45	4	180	65700	56502
14А	4	45	10	450	164250	141255
16А	12	45	44	1980	722700	621522
16Б	5	90	10	900	328500	282510
17А	15	36	78	2808	1024920	881431
17Б	12	45	64	2880	1051200	904032
18А	6	60	10	600	219000	188340
18Б	6	60	16	960	350400	301344
19А	6	36	20	720	262800	226008
20А	20	90	108	9720	3547800	3051108
21А	6	36	14	504	183960	158206
22А	6	45	14	630	229950	197757
23А	18	90	82	7380	2693700	2316582
Разом	212	–	699	42823	15630395	13442140

Таблиця Б.10 – Оцінка забруднення атмосферного середовища м. Вінниця маршрутним автотранспортом

Номер маршруту	Довжина маршруту в 1 бік, км	Кількість автомобілів на маршруті, шт	Викиди в атмосферу за 1 коло, кг	Викиди в атмосферу за 1 зміну, кг	Викиди в атмосферу за 1 рік, кг
1А	5,8	3	2	90	32850
2А	5,4	6	3,7	222	81030
2Б	9,9	10	11	660	240900
3А	12,6	10	14,2	639	233235
3Б	7,4	12	10	900	328500
5А	4,5	4	2	90	32850
6А	4,5	4	2	90	32850
7А	7,5	4	3,4	122,4	44676
8А	9,0	11	11	660	240900
8Б	7,0	4	3,2	96	35040
9А	5,8	2	1,3	36,4	13286
10А	5,0	6	3,4	204	74460
11А	7,0	4	3,2	115,2	42048
11Б	4,5	6	3	135	49275
12А	8,0	6	5,4	243	88695
13А	3,3	4	1,5	67,5	24638
13Б	3,3	4	1,5	67,5	24638
14А	7,5	4	3,4	156,4	57086
16А	10,5	12	14	630	229950
16Б	6,3	5	3,6	324	118260
17А	15,0	15	25	900	328500
17Б	15,6	12	21	945	344925
18А	4,5	6	3	180	65700
18Б	7,5	6	5	300	109500
19А	10,1	6	6,8	244,8	89352
20А	16,0	20	36,2	3258	1189170
21А	6,5	6	4,4	158,4	57816
22А	7,2	6	4,8	216	78840
23А	13,4	18	27,3	2457	896805
Разом:					4115631