

Наукова робота на тему:

**Аналіз забруднення атмосферного повітря від автомобільного транспорту  
(на прикладі Шевченківського району м. Полтава)**

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Наряду з розвитком науки і технологій виникає гостра проблема погіршення екологічного стану навколишнього середовища. Зокрема, для сучасних великих міст дана проблема є досить актуальною. З розбудовою та розвитком міста зростає і частка міського населення, яке безпосередньо проживає в умовах забруднення як атмосферного повітря, так і ґрунтового покриву і водних ресурсів.

Відповідно, з розбудовою міст зростає і кількість автомобільного транспорту, що сприяє збільшенню протяжності та розгалуженості мережі автомобільних доріг, а також високій завантаженості транспортних потоків разом із постійно зростаючою кількістю транспортних засобів. Велика протяжність і продуктивність автомобільних доріг забезпечує можливість організації місцевих перевезень та високою швидкістю доставки вантажів в будь-яку точку міста.

Разом з тим автотранспортні мережі мають низку негативних факторів, що пов'язані з погіршенням стану навколишнього середовища. Суттєвий вплив автотранспорт спричиняє на атмосферне повітря, яке забруднюється відпрацьованими газами двигунів, що містять в собі складну суміш компонентів і забруднюючих речовин, серед яких присутні канцерогени. Шкідливі речовини надходять приземний шар повітря, де зосереджена життєдіяльність населення і де умови для їх розсіювання є найгіршими.

**Мета роботи** – визначення рівнів забруднення атмосферного повітря від автотранспорту та розроблення пропозицій щодо його зменшення .

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні **задачі**:

- 1) виконати аналіз відомих досліджень інгредієнтного забруднення атмосферного повітря від автомобільного транспорту;
- 2) визначити завантаженість вулиць автотранспортом та рівень забруднення повітря в Шевченківському районі міста Полтава;
- 3) скласти карти забруднення вулично-дорожньої мережі на основі розрахункових даних;

4) розробити пропозиції щодо зменшення забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту.

**Об'єкт дослідження** – процес утворення інгредієнтного забруднення повітря автомобільним транспортом у Шевченківському районі м. Полтава.

**Предмет дослідження** – визначення величини забруднення атмосферного повітря викидами автотранспорту та візуалізація результатів.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ВІДОМИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА СУЧАСНОГО СТАНУ ПИТАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВІД АВТОТРАНСПОРТУ

#### 1.1. Вихлопні гази автомобілів їх склад, властивості та специфіка

За останній час проблема забруднення навколишнього середовища двигунами внутрішнього згоряння стає дедалі актуальнішою через вагомий вплив на здоров'я населення, що перебуває поблизу великих автотранспортних потоків.

Не зважаючи на те, що основну частку викидів складають відносно неотруйні та безпечні оксиди вуглецю в загальній кількості антропогенних джерел, автотранспорт займає майже половину викидів, особливо у великих містах.

За виключенням атмосферного повітря, автотранспорт впливає і на воду (нафта, розчинники, масла) та ґрунт (нафта та нафтопродукти, важкі метали і гума, що утворюється внаслідок стирання шин).

У зв'язку зі значним збільшенням автомобільного парку постійно зростає його роль в забрудненні атмосферного повітря. На забруднення атмосфери автотранспортом припадає приблизно 60% всіх викидів. Особливо високу концентрацію СО в повітрі відзначено на вуличних перехрестях, де двигуни автомобілів працюють на холостому ходу перед світлофором. У районах з вузькими вулицями з високими будинками велика концентрація оксиду вуглецю розсіюється повільно і викликає хронічні отруєння людей, які довго перебувають в цих зонах, особливо на перехрестях [9].

Джерелами виділення забруднювальних речовин в автомобілі є:

- енергоустановки (відпрацьовані гази, деталі апаратури, що подає паливо, системи змащення й охолодження, акумуляторна батарея);
- елементи ходової частини (шини, гальмівні накладки);
- трансмісія (диск зчеплення, картери коробки передач, головної передачі);
- покриття (фарби, лаки, пластики, антикорозійні покриття і т.п.) [50].

Основними джерелами випаровування палива є карбюратор і паливний бак. Але це стосується більше бензинових двигунів, дизельне пальне має меншу здатність випаровуватися, і паливна система дизеля герметичніша [20].

Картерні гази – це гази, що утворюються в результаті прориву їх крізь нещільності циліндро-поршневої групи з камери згоряння в картер. Потім змішуються з парами масла і палива, що змивається зі стінок циліндру. Картерні гази дизельного двигуна у десять разів менш токсичні за картерні гази бензинових двигунів. Сучасні автомобілі мають в більшості замкнуту систему вентиляції картеру, що майже унеможливило викиди шкідливих речовин в атмосферне повітря. Вони також надходять до циліндрів двигунів, де і згорають. Картерні гази та гази, що утворилися внаслідок випаровування складаються в основному з вуглеводнів [20].

У відпрацьовані гази входить більшість як тисяча різноманітних шкідливих речовин, які мають згубний вплив на людину і довкілля, 200 з них уже розпізнано. Основні з цього списку такі, як: оксид вуглецю (CO), оксиди азоту (NO<sub>x</sub>), вуглеводні (C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>), сполуки сірки (основна сполука – двооксид сірки SO<sub>2</sub>), тверді частинки (в основному сажа, що складається з вуглецю C), альдегіди (загальна формула RCHO), канцерогенні речовини, до яких належать складні ароматичні вуглеводні поліциклічної будови (основний елемент – найтоксичніший і якого найбільше, бенз(α)пірен – C<sub>20</sub>H<sub>12</sub>), сполуки свинцю (PbO<sub>4</sub>) [20].

Оксид вуглецю (CO) або чадний газ, (2–10 % його концентрація в викидах) виникає в результаті неповного згоряння вуглецю в пальному. При вдиханні оксид вуглецю зв'язується з гемоглобіном в крові, заміщаючи кисень, як наслідок виникає кисневе голодування. Великий вміст оксиду вуглецю в повітрі, навіть при недовгому контакті може призвести до летальних випадків. Порівняно невеликі дози викликають вповільнення реакції, головний біль, запаморочення і відчуття втоми [46].

Вуглеводні (C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>) (частка у викидах 0,1–1,0 %) — незгорілі хімічні паливні складники. Саме біля перехресть і світлофорів викидів цієї речовини найбільше в порівнянні з магістральними ділянками транспортних доріг. Вони можуть бути

причиною низки хронічних захворювань. Найнебезпечнішим вважається бенз(*a*)пірен, який має досить активні канцерогенні властивості [46].

Оксиди азоту ( $\text{NO}_x$ ) (вміст у викидах приблизно 0,1–0,5 %) утворюються при спалюванні будь-яких видів палива — вугілля, природного газу, бензину чи мазуту. Найбільш токсичний діоксид азоту  $\text{NO}_2$ , який за наявності взаємодії з парами води в атмосфері утворює азотисту й азотну кислоти. Надходячи у верхні шари атмосфери, діоксид азоту сприяє появі кислотовмісних хмар і кислотних опадів. Вплив оксидів азоту неможливо послабити жодними нейтралізуючими засобами. У поєднанні з вуглеводнями вони утворюють токсичні нітроолефіни, які влітку за сприяння високих температур можуть продукувати фотохімічні смоги [46].

## **1.2. Фактори, що впливають на інтенсивність та токсичність вихлопних газів від автотранспорту**

При використанні транспортних засобів їх двигуни знаходяться в таких режимах роботи:

- холостий хід (періоди прогріву двигуна і зупинки на світлофорах);
- розгін (т. н. прискорення - несталий режим, характеризується зміною як частоти обертання колінчастого валу, так і навантаження);
- сталі режими (рух без зміни частоти обертання колінчастого валу і кількості палива, що подається);
- гальмування (несталий режим, що характеризується зниженням частоти обертання колінчастого валу внаслідок збільшення навантаження - опору руху) [30].

Під час протікання кожного режиму спостерігається зміна характеру робочого процесу двигуна: змінюються об'єм палива, що подається, коливання співвідношень "паливо-кисень", абсолютний час, за який відбувається процес згоряння пального. Останній особливо характерний для двигуна внутрішнього згоряння з наддувом. У свою чергу, режим автотранспорту безпосередньо залежить від багатьох чинників: щільності руху, розвитку транспортної мережі,

особливостей клімату регіону та рельєфу певної місцевості, часу доби і року, метеорологічних умов, дорожніх знаків та дорожніх розміток. Не останню роль відіграє спосіб водіння автомобіля. Також впливає стан дороги, розміщення АЗС та точок технічного обслуговування. Відповідно, в різних країнах і містах одна машина переміщатиметься в різних режимах і за різних умов (і викидати в навколишнє середовище неоднорідні кількості шкідливих речовин) [30].

Матеріал і текстура (шорсткість) доріг істотно впливають на потребу автомобільного палива при русі транспорту, а отже така динаміка буде відображатись і на кількості вихлопних газів. Найбільш явно можна прослідкувати цю залежність у легкових автомобілях [58].

Природа залежності споживання палива від матеріалів на дорожніх поверхнях змінюється при керуванні різними передачами та різними швидкостями [58].

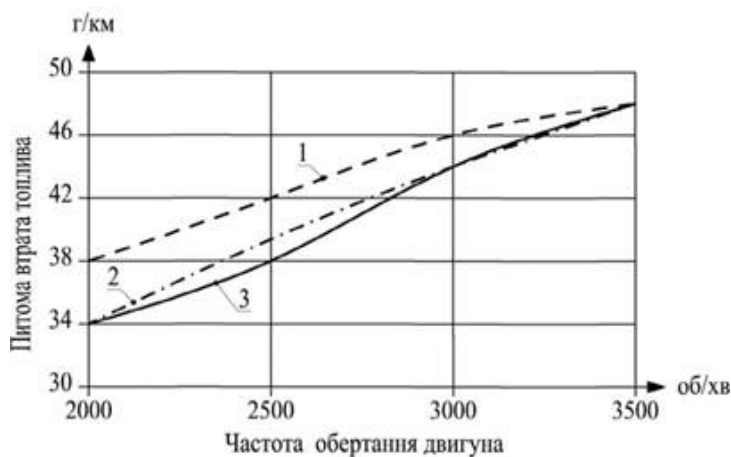


Рис. 1.1. Залежність витрати пального малолітражних легкових автомобілів від типу дорожнього покриття (рух на третій передачі):

- 1 – цементобетон ;
- 2 – асфальтобетон гладкий;
- 3 – поверхнева обробка

Зі збільшенням шорсткості поверхні виросте і споживання палива. У середньому, збільшення глибини макро-жорсткості на 1 мм призводить до збільшення споживання палива автомобіля на легкових малолітражних авто на 1,6-2,4% в залежності від його швидкості. Шини вантажних автомобілів значно

більші в діаметрі, ніж легкових автомобілів. Істотні відмінності існують, також, в «рисунку» їх протекторів. Тому, споживання енергії при контакті з покриттям, а отже, споживанням палива більше впливає не на висоту нерівностей, а на радіус вершин, що залежить від збільшення ступеня зносу поверхні покриття [58].

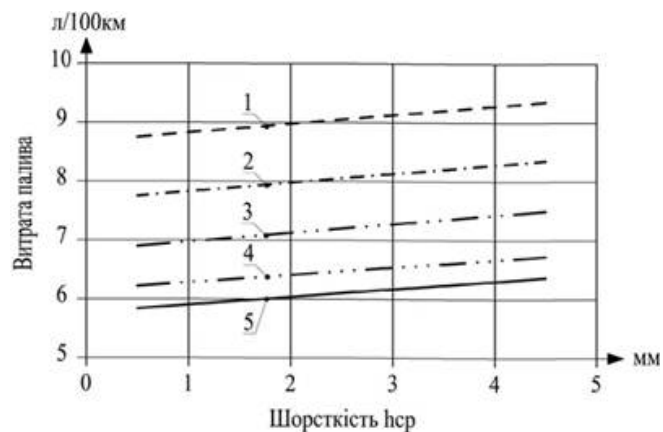


Рис. 1.2. Вплив висоти нерівностей асфальтобетонного покриття на витрати пального (малолітражний легковий автомобіль):

- 1 – рух на першій передачі;
- 2 – рух на другій передачі;
- 3 – рух на третій передачі;
- 4 – рух на четвертій передачі;
- 5 – рух на п'ятій передачі.

Відповідно, з цього слідує, що зміна шорсткості поверхні доріг буде впливати, безпосередньо, і на величину викидів відпрацьованих газів та їх токсичність.

Викиди на кілометр, в середньому, значно збільшуються при низьких середніх швидкостях, характерних для сильно навантаженої міської мережі транспортних доріг. Проте, їх зменшення відбувається під час вільного руху при помірних швидкостях, а потім знову мають здатність зростати при високошвидкісній манері водіння, яка є характерною для автобанів та потужних автострад [70].

Крім того, збільшення рівня забруднення повітря може спостерігатися на перехрестях перед світлофорами. У порівнянні з вільним пробігом у ситуації затримки перед світлофором на пішохідному переході має місце спостерігається збільшення концентрації забруднюючих речовин у повітрі: CO, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub> – в 10-14



разів, С – в 5-7 разів,  $\text{NO}_2$  – в 1,5-2 рази, Pb – в 5-7 разів. У зоні зупинки перед світлофором інтенсивність руху в 500 автомобілів на годину є критичною, відповідно до перевищення санітарних норм концентрації свинцевих сполук. Для інших інгредієнтів, за виключенням сажі завантаженість доріг становить 1,6-5 тис. автомобілів за годину [53].

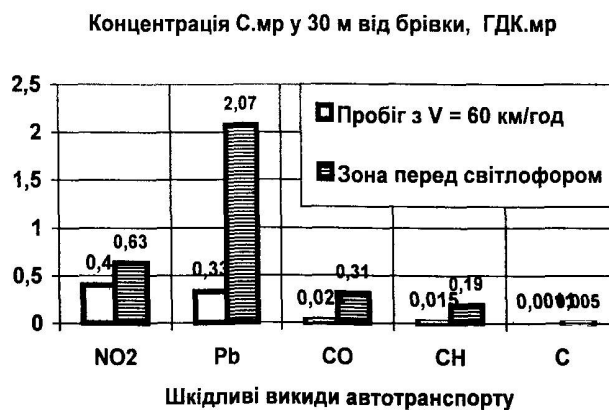


Рис. 1.4. Склад викидів автотранспортних потоків в умовах вільного пробігу та в зоні наземного пішохідного переходу з світлофором

Склад та характеристики палива впливають не тільки на роботу двигунів, а і на характеристики відпрацьованих газів, що викидаються в довкілля. Незважаючи на складність співвідношень між технологіями двигунів, властивостями палива та викидами вихлопів, зміна складу та властивостей бензину та дизельного палива суттєво можуть вплинути на склад викидів транспорту. Зміни у характеристиках палива можуть зменшити викиди забруднювальних речовин, але разом з тим можуть і збільшити вміст забруднювачів у самому паливі (при зменшенні у бензині вмісту ароматичних речовин скорочуються викиди  $\text{CO}$  і  $\text{H}_m\text{C}_n$ , але викиди  $\text{NO}_x$  при цьому зростають) [70].

У всьому світі вжито значних заходів для поступового видалення свинцю з бензину, як для зменшення його викидів, так і для використання технологій контролю викидів транспортного засобу, таких як каталітичні перетворювачі. Можливі подальші зміни для зменшення викидів з бензину, що включають знижену летючість, збільшення вмісту кисню та зменшення ароматичних сполук в складі палива. Звичайне дизельне паливо також може бути покращено шляхом

зменшення вмісту сірки та ароматичних речовин і використанням детергентних добавок [60].

Заміна альтернативних видів палива привернула велику увагу протягом останніх двох десятиліть. Мета такої заміни – збереження нафтопродуктів та енергетичну безпеку, а також скорочення викидів газоподібних і твердих часток та видимого диму. Хоча багато альтернативних видів палива значно зменшують викиди, це не завжди так. У деяких випадках викиди CO, HC, NO<sub>x</sub> та альдегіду можуть збільшуватися з використанням альтернативних видів палива [60].

Альтернативні види палива, які зазвичай розглядаються для автомобільного використання – це природний газ (у стислій або зрідженій формі), зріджений нафтовий газ, метанол (виготовлений з природного газу, вугілля або біомаси), етанол (з зерна або цукру), рослинні масла, водень, синтетичне рідке паливо, отримане з гідрування вугілля, і різні суміші, такі як газоглік [60].

### **1.3. Аналіз відомих досліджень**

Проаналізувавши відомі дослідження пов'язані з темою моєї дипломної роботи, можна зробити висновок, що подібних досліджень рівня забруднення атмосферного повітря від автотранспорту проводилося достатньо. Проте, в м. Полтава напрацювань в цьому напрямі не так багато чи дані досліджень досить застарілі. Також, при визначенні рівня викиду від автомобілів не завжди конкретно вказані кількість і розміщення ділянок дослідження або мала їх кількість. Деякі наведені математичні моделі дослідження є досить об'ємними та складними для розрахунку.

Було знайдено наступні роботи, на основі яких можна було оцінити постановку питання в даній галузі:

1. *Робота на тему «Підвищення рівня екологічної безпеки міських автотранспортних мереж (на прикладі м. Івано-Франківськ)» виконана Забишним Я.О. [23].*

Дисертацію присвячено питанням підвищення екологічної безпечності пересування транспорту шляхом упорядкування руху міських систем. На основі

аналізу методологій впливу транспортних засобів на навколишнє середовище теоретично та практично досліджено зв'язок між системою "дорожні умови - транспортні потоки - навколишнє середовище". Наведено природні та техногенні чинники, які утворюють хімічне та фізичне забруднення навколишнього середовища автомобільним транспортом міських агломерацій [23].

За допомогою статистичної обробки, а саме багатофакторного кореляційно-регресійного аналізу досліджується компонентний склад шкідливих речовин в атмосферному середовищі на перехрестях залежно від кількості та типів автомобілів на основі лінійного шестифакторного регресійного рівняння:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + a_5x_5 + a_6x_6$$

Кількість автобусів з бензиновим та дизельним двигуном мають найбільший вплив на концентрацію шкідливих викидів, що характерно для всіх груп шкідливих викидів. На рівень концентрацій NO<sub>2</sub> мають досить суттєвий вплив автобуси та вантажівки з дизельним двигуном [23].

Отже, алгоритм проведення регресійного аналізу та розробка математичної моделі може бути використаний при дослідженні Шевченківського району м. Полтава.

*2.«Удосконалення методу визначення інгредієнтно-параметричного забруднення автомобільних доріг та обґрунтування параметрів захисних екранів», виконана Малишевою В.В. [32].*

В роботі проведено теоретичне дослідження екологічних показників функціонування автомобільної дороги з моделюванням складу транспортного потоку. Здійснений розрахунок концентрації забруднюючих речовин, що викидаються автотранспортним потоком за залежністю:

$$C_j = \frac{0,01H_i(\sum_{k=1}^n P_k(T + L_k))(1 + 0,01k_{\text{кор}}) \cdot k_i \cdot k_{\text{пвжк}} \cdot k_{\text{мсжк}}}{75\sigma \cdot v \cdot \sin\varphi}$$

Отже, в роботі визначено, що зростання кількості вантажних транспортних засобів в 4 рази призводить до підвищення концентрації забруднювальних речовин, що знаходяться у викидах відпрацьованого пального.

У монографії [5] та статті [6] Беяєва Н.Н. розглянуті нові математичні моделі для експертної оцінки рівня забруднення повітряного середовища викидами автотранспорту. Для моделювання процесу обтікання будівель потоком повітря використовувалося рівняння переносу завихреності (1) та рівняння Пуасона для розрахунку функції потоку (2):

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial u\omega}{\partial x} + \frac{\partial v\omega}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = -\omega \quad (2)$$

Отже, зазначені залежності в роботі є досить складними при розрахунках та містять низку специфічних даних, які досить складно визначити для проведення подібних досліджень на прикладі Шевченківського району м. Полтава.

В роботі Гребняк М.П., Федорченко Р.А. [16] було вивчено забруднення атмосферного повітря м. Запоріжжя пересувними джерелами. Визначено, що найбільше викидів шкідливих речовин у місті — від вантажних автомобілів, пасажирських легкових та пасажирських автобусів.

У статті Лежнева О.І. [31] представлено результати дослідження забруднення атмосферного повітря примагістральної території селітебної зони при функціонування автомобільного транспорту та надано архітектурно-плавнувальні заходи щодо покращення екологічних характеристик локальної ділянки м. Харкова.

Стан повітряного басейну Полтавщини залишається однією з важливих регіональних екологічних проблем. Рівень забруднення атмосферного повітря в регіоні характеризується через обсяги викидів забруднюючих речовин із стаціонарних та пересувних джерел. Співвідношення між цими викидами за 2010–2015 роки коливалося в межах 38-42% та 62-58% [49].

У 2015 році атмосферне повітря потрапило 140,983 тисячі тонн забруднюючих речовин від стаціонарних та пересувних джерел. У порівнянні з обсягами викидів, отриманих у період до 2014 року, вони скоротилися майже на 35 тисяч тонн (25%). Від загальної кількості забруднюючих речовин, що

потрапляють в атмосферу Полтавської області до 2014 року, викиди метану та оксиду азоту, що належать до парникових газів, становили відповідно 14,8 тис. тон та 0,1 тис. тон. Крім цих речовин, в атмосферу викинуто 3363,8 тис. тон вуглекислого газу, що суттєво впливає на зміну кліматичного стану довкілля [49].

Періодичні спостереження за вмістом забруднювальних речовин в атмосферному повітрі м. Полтава проводяться лабораторією Полтавського центру з гідрометеорології на 4-х стаціонарних постах, Кременчуцькою лабораторією спостережень за забрудненням атмосферного повітря Полтавського центру з гідрометеорології на 4-х стаціонарних постах в м. Кременчук і на одному стаціонарному посту в м. Горішні Плавні [49].

На Рис. 1.7. за даними Головного управління статистики у Полтавській області [10] наведено динаміку викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря.

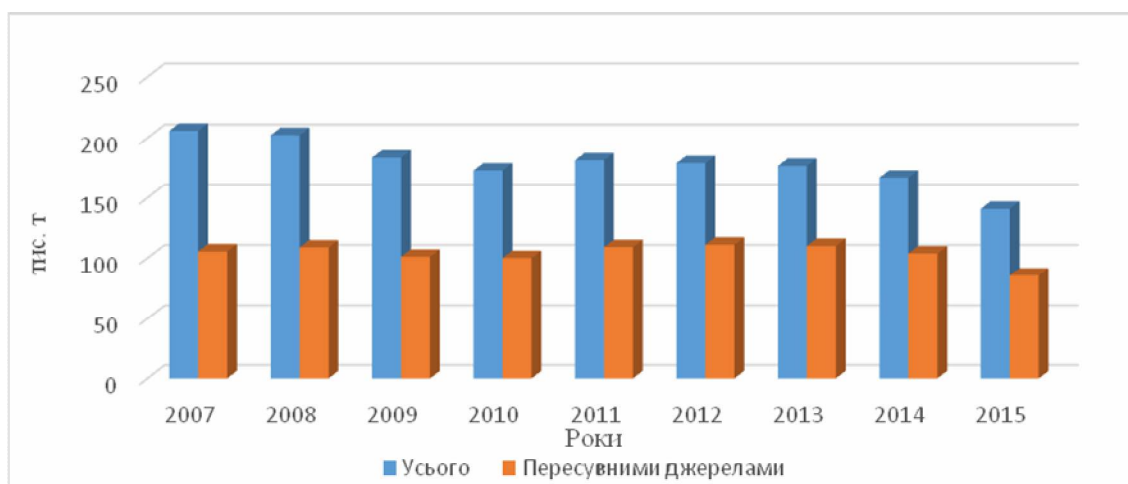


Рис. 1.7. Викиди забруднюючих речовин у атмосферне повітря (2007–2015 роки)

Як можна побачити з діаграми, значну частку від загальних викидів становлять саме викиди від пересувних джерел, а деякі роки частка сягала більше половини від загальної кількості.

У роботі [57] авторами визначені райони ризику на території Полтавської області на захворювання органів дихання: м. Полтава, м. Кременчук, м. Комсомольськ, Диканський, Лубенський, Глобинський райони. У доступній звітній документації проаналізовано щорічні показники забруднення

атмосферного повітря від пересувних та стаціонарних джерел по містам та районам області. Найбільш повно висвітлена інформація про забруднення атмосферного повітря по обласному центру [57].

В матеріалах [20] при проведенні аналізу відповідних даних можна сказати, що за період з 2006 по 2010 рр. у повітряний басейн області надійшло 958,5 тис.т забруднювачів. З них 46% – стаціонарні джерела, 54% – пересувні.

Найбільшим джерелом забруднення атмосферного повітря в області продовжує бути автотранспорт, за 2013 рік викиди якого складають більше половини викидів області. У Полтаві і Миргороді цей відсоток складає 87,4 та 85,4 відповідно [35].

Ситуація з контролем екологічного стану в галузі автомобільного транспорту в Україні є складною. Незважаючи на наявність законодавчої бази, що регулює відносини в області екології, контроль за її виконанням залишається низьким [12].

З лютого 2010 року Україна приєдналася до Женевської Угоди про технічні вимоги до конструкції транспортних засобів, які частіше називають у пресі екологічними стандартами Еуро. 1 січня 2012 року в Україні вступили в дію екологічні норми Євро-3, Євро-4 — з 1 січня 2014 року, Євро-5 — з 1 січня 2016 року, Євро-6 планували законодавчо впровадити починаючи з 1 січня 2018 року, проте введення стандарту відклали ще на 2 роки [12].

Відтак, на Рис. 1.5 і 1.6. можна спостерігати динаміку [63], що вказує на поступове введення жорсткіших стандартів.

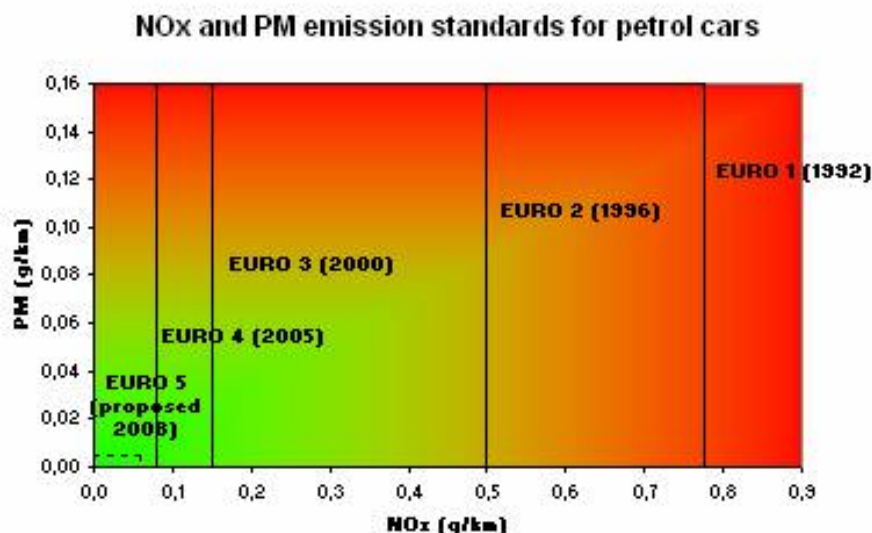


Рис. 1.5. Спрощена діаграма, що показує як жорсткішають європейські норми викидів для бензинових автомобілів

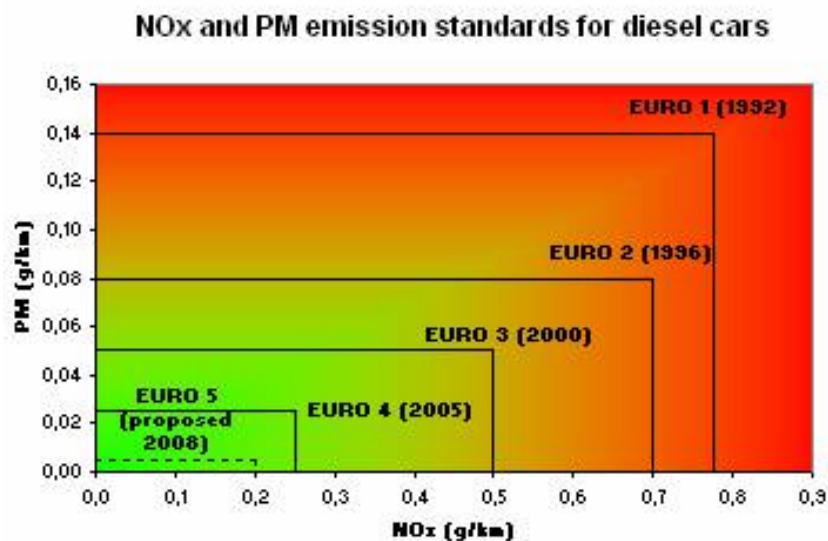


Рис. 1.6. Спрощена діаграма, що показує як жорсткішають європейські норми викидів для дизельних автомобілів

Але це на законодавчому рівні, а у повсякденному житті відповідність конкретного автотранспортного засобу екологічним нормам контролюється тільки один раз, при сертифікації на заводі, а в подальшому залежить тільки від сумлінності експлуататорів [12].

В документі затвердженим, головним державним санітарним лікарем України С.В. Протасом [15] вказано нормативи ГДК для спектру речовин в атмосферному повітрі населених місць. В переліку вказані 514 речовин, зокрема CO, NO<sub>2</sub>, C<sub>m</sub> H<sub>n</sub>

Таблиця 1.1

**Гранично допустимі концентрації хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць (фрагмент)**

№ п/п	Найменування речовини	ГДК <sub>МР</sub>	ГДК <sub>СД</sub>	Клас небезпеки
1	Азоту діоксид	0,2	0,04	3
2	Вуглецю оксид	5	4	3
3	Вуглеводні граничні C12-	1	-	4

	С19 у перерахунку на сумарний органічний вуглець			
--	--	--	--	--

На даний момент проблема нормування і інструментального контролю викидів відпрацьованих газів автомобілів носить глобальний світовий характер, більшість країн світу ведуть дослідження впливу викидів на довкілля, визначають відповідні економічні збитки впроваджують свої національні стандарти, які регламентують рівні викидів автотранспортних засобів [65;67].

Також при вирішенні питання мінімізації негативного впливу на атмосферне повітря розроблено ряд патентів:

1. Патент України на корисну модель № 29435, В 01, D 53/74 [40];

Корисна модель належить до транспортної екології, зокрема до споруд, що сприяють зниженню концентрації забруднюючих речовин у повітрі автомагістралей.

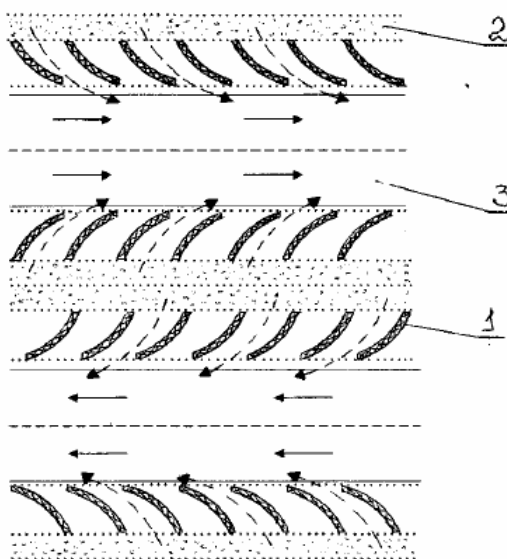


Рис. 1.8. Схема захисного екрану:

1 - секція екрану;

2 - придорожня територія;

3 - автомагістраль;

—————▶ - рух повітря, викликаний автотранспортом;

.....▶ - повітря, що підсмоктує автомагістраль.



2. Патент України на винахід № 56431, F 01, N 3/10 [41];

Спосіб очищення вихлопних газів двигуна внутрішнього згоряння, який містить підготовку каталіза, контакт каталізатора та вихлопних газів, який відрізняється тим, що як каталізатор використовують пил, який утворюється під час абразивної обробки виробів з міді та/або мідних сплавів.

3. Патент України на винахід № 76497, F 02, B 5/00 [42];

Спосіб забезпечення роботи водо-водневого двигуна. У порівнянні з існуючими, запропонованим винаходом притаманні наступні переваги:

1. Спрощення загальної схеми системи подачі водяного пилу в камеру згоряння двигуна.

2. Покращення паливної економічності за рахунок зменшення витрат енергії, що необхідно затратити для приводу водяного насоса.

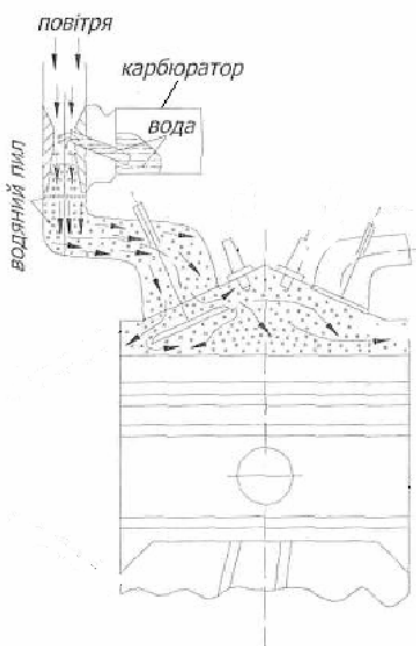


Рис. 1.9. Схема роботи двигуна

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИ ЗНИЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ ВІД АВТОТРАНСПОРТУ

#### 2.1 Технічні методи зі зменшення негативного екологічного впливу автотранспорту

##### 2.1.1 Підвищення паливної економічності двигуна

###### *Карбюраторні двигуни*

Процеси економії палива двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ) нерозривно пов'язані з підвищенням екологічності їх функціонування (нормалізація та скорочення токсичних викидів у навколишнє середовище) [33].

Удосконалення робочого процесу двигуна досягається використанням різноманітних пристроїв у карбюраторі. Ці пристрої включають обмежувач розрідження, економайзер примусового холостого ходу, електронний контроль процесу створення робочої суміші, системи живлення з електронним упорскуванням пального [58].

При використанні обмежувача розрідження викиди монооксиду вуглецю (СО) практично припиняються. Проте робота автомобільного двигуна з використання даного пристрою супроводжується збільшенням вмісту  $C_mH_n$  у вихлопних газах, що обумовлено надходженням паливної плівки у паливний циліндр, що залишається на впускному трубопроводі з попередніх робочих циклів. Потрапляючи в циліндри двигуна, в якому немає спалювання пального, вона продовжує входити в вихлопну систему у вигляді незгорілого  $C_mH_n$ . Використання обмежувача розрідження дозволяє зменшити: споживання моторного масла і утворення сажі в двигуні, усуває хлопкові звуки в глушнику при використанні цих режимів [53].

Економія двигуна та токсичність вихлопних газів забезпечується електронною системою управління економайзером примусового холостого ходу. Названа система дезактивує впорскування пального двигуна у примусових

режимах холостого ходу, коли управління педаллю дросельним заслоном випускається, а двигун, перебуваючи приєднаним до трансмісії, має збільшену швидкість колінчастого валу у порівнянні з режимом холостого ходу. У цьому випадку двигун гальмується. За відсутності економайзера примусового холостого ходу двигун в цьому режимі роботи продовжує споживати пальне, а його об'єм споживання пропорційний споживанню холостого ходу з урахуванням підвищеної частоти обертання колінчастого валу [2].

Коли машина використовує, економайзер вимушеного холостого ходу після випуску педалі акселератора, всупереч на збільшену частоту двигуна, вимикає впорскування пального. При відключенні подачі пального в режимі примусового холостого ходу, згоряння суміші палива в циліндрах двигуна зупиняється, а двигун гальмується більш ефективно [2].

Позитивною якістю економайзера примусового холостого ходу є також автоматизоване припинення подачі пального після вимкнення запалювання, що ліквідує безконтрольну роботу двигуна при самостійному запалюванні суміші в циліндрах двигуна, що виникає при використанні автомобілів, не обладнаних системою економайзера примусового холостого ходу [2].

Електронний контроль процесу створення робочої суміші. Практично кожен сучасний карбюратор обладнаний такою системою. Це стимулює підтримання оптимального складу суміші пального з повітрям при різних робочих умовах двигуна, збільшуючи його ефективність та зменшуючи викиди забруднювальних речовин до 5% [58].

Змішування та дозування пального на бензинових двигунах є найважливішими процесами, що визначають ефективність палива, токсичність вихлопних газів, динамічні якості та в деяких випадках, також, надійність автомобілів. При удосконаленні процесу змішування паливної суміші, варто враховувати умови роботи кожного двигуна і, в першу чергу, дуже широкий діапазон режимів роботи як за навантаження, так і для швидкості обертання колінчастого валу [27].

Щоб забезпечити більш повне згоряння суміші палива з повітрям, можливе використання активаційних добавок, які дадуть можливість достатньо сильно розширити границі стабілізованого займання та пришвидшити окислення в певних фазах згоряння [25].

Зокрема, успішно використовуються каталізатори, що використовуються для посилення процесів спалювання пального. Адже, під час постійної роботи двигуна, відбувається поступове зниження його потужності, збільшення споживання палива та кількості токсичних речовин у відпрацьованому пальному, що призводить до певних технологічних робіт по відновленню нормального функціонування двигуна внутрішнього згоряння. Тому оптимізування процесу згоряння пального дозволить безпосередньо вирішити проблему ефективності використання палива, ефективності двигунів та підвищенню їх екологічних характеристик, зменшуючи кількість токсичних викидів. Ефективне формування каталітичних матеріалів на високолегованих сплавах з алюмінію з кремнієм може бути в режимі ПЕО в кобальт-пірофосфатних та лужноперманганатних електролітах [25].

Крім того, перспективним є використання водню як добавки. Додавання водню в пальне показало, що, коли двигун працює на бензині з 5% водневою добавкою (за масою загального споживання палива) і співвідношенням надлишку повітря  $\alpha=1,05$ , максимальна потужність підтримується на рівні потужності стандартного двигуна. Відповідно, це зменшує споживання бензину, значно зменшує викиди окислів вуглецю та вуглеводнів, підвищує ефективність використання палива. Однією з особливостей процесу згоряння при додаванні водню також є значне збільшення швидкості поширення полум'я у всіх фазах згоряння. Було також виявлено, що в присутності вільного водню в паливній суміші стійкість запалювання значно збільшується [18;28].

По закінченню низки досліджень визначено, що внесення  $H_2/O_2$  викликає зростання теплової ефективності (ККД). Було також встановлено, що додавання  $H_2/O_2$  зменшує загальну кількість спожитого палива двигуном у всіх використовуваних режимах навантаження. Зниження викидів  $CH_4$ ,  $CO_2$  і  $CO$  було

виявлено внаслідок кращого згорання, в той час як викиди  $\text{NO}_x$  збільшилися внаслідок підвищення температури, досягнутої при спалюванні [18;28].

Проте залучення водню характеризується певною низкою обмежень, такими як безпечність в зберіганні, відсутність компактних високоефективних водневих генераторів тощо. Як наслідок завжди існує пошук способів заміни водню на дешевий газ, виробництво якого є простішим і його можна видобувати у великих кількостях, забезпечуючи масові потреби [18;28].

Панівне положення як системи двигунів внутрішнього згорання на бензині, яка готує паливно-повітряну суміш потрібного складу для різних режимів роботи двигуна, дотепер була зайнята карбюраторним способом змішування, хоча вона не досягла бажаної досконалості, оскільки традиційні способи поліпшення двигунів з карбюраторними енергосистемами майже вичерпані. У пошуках альтернативи карбюраторним системам живлення, слід звернути увагу на електронні системи інжекції бензину вони набувають поширення ще з 90-х років минулого століття. Згідно з опублікованими матеріалами, 76% легкових автомобілів, виготовлених у 1995 році, оснащені такими системами. У майбутньому вони майже повністю витіснили карбюраторні системи живлення (СЖ). В Україні виробництво двигунів з карбюраторними СЖ було зупинено з 1.06.06 [1].

Велика кількість автомобільних двигунів в наші дні обладнані системами з мікропроцесорним управлінням введення бензину та системою електронного запалення. Причини такої розповсюженості інжекторних систем – підвищення економії палива та зниження токсичності вихлопних газів. Застосування електронних систем вприскування палива з точним дозуванням споживання палива окремими циліндрами при всіх режимах роботи двигуна дозволяє збільшити потужність двигуна на  $10 \div 30\%$  і зменшити споживання палива на  $20 \div 30\%$  [58].

*Дизельні двигуни*

Одним із головних впливових аспектів виникнення токсичних речовин є процес згоряння вуглеводного пального в циліндрах, в якому головним токсичним компонентом є сажа [7].

Факторами, що визначають дизельне займання, є: кут впорскування палива форсунками, технічний стан групи циліндричних деталей, якість дизельного палива та циклічна подача. Зростання упорскування пального, яке використовується для збільшення потужності двигуна, зміщає відношення кількості пального до кількості повітря в паливній суміші. Тривалість горіння, об'єм неокиснених вуглеводнів і сажі у вихлопних газах зростає (збільшується задимленість вихлопних газів) [7].

Існує безпосередньо пряма залежність між задимленістю вихлопу і вмістом сажі в ньому, що базується на принципі роботи пристроїв для діагностики живильних систем для дизельних двигунів. Знизити димність і підвищити ефективність дизелів з наддувом у перехідних режимах та режимі розгону (коли тиск піддуву недостатній, а кількість палива, що подаються в циліндри, не відповідає кількості повітря, внаслідок чого, виникає неповне згоряння палива), призначений обмежувач димлення [7].

Він встановлений в задню панель регулятора паливного насоса високого тиску, керується тиском наддуву. Використання дизельного палива з високою спроможністю самозаймання (що характеризується цетановим числом) забезпечить інтенсифікацію процесу горіння і відповідно зменшення викиду  $\text{NO}_x$ : чим більше дизельне паливо має легких фракцій, тим менше буде задимлення та вміст  $\text{NO}_x$ . Використання присадок також спрямоване на зменшення викидів  $\text{NO}_x$  та твердих частинок сажі. Можливо, наприклад, застосування протидимних добавок на основі барію (1% присадок зменшує вміст сажі у ВГ на 70-80%) [7].

Разом з тим, використовуються нейтралізатори. Покращення параметрів екологічності дизельних двигунів ускладнюється, тим що заходи, спрямовані на мінімізацію  $\text{NO}_x$ , зазвичай, збільшують викиди частинок. Застосуванню нейтралізаторів заважає велика кількість сажі та кисню у вихлопних газах та їх низька температура. Як і в двигунах із іскровим запалюванням, рециркуляція

вихлопних газів у дизельних двигунах використовується для зменшення викидів  $\text{NO}_x$  (розповсюджена на європейських автомобілях, що не мають наддуву). У дизельних двигунах легкових автомобілів поширені каталітичні окислювальні нейтралізатори. Це пов'язано з тим, що температура вихлопних газів таких дизелів достатня для окислення  $\text{CO}$ ,  $\text{C}_m\text{H}_n$  та розчинних органічних частинок, але є недостатньою для утворення великої кількості сульфатів: при температурах вище  $300^\circ\text{C}$  концентрація  $\text{CO}$  зменшується на 85-90%,  $\text{C}_m\text{H}_n$  – на 75-80%. Використання стартових (додаткових) нейтралізаторів в режимах пуску та прогріву також забезпечує зниження викидів  $\text{NO}_x$ . Використання звичайних трикомпонентних нейтралізаторів для дизельних двигунів не дає ефекту зменшення викидів  $\text{NO}_x$  [7].

Достатньо високу ефективність палива можна досягти за допомогою гібридних газодизельних та дизельно-газових двигунів. Дизельно-газові двигуни дозволяють працювати на дизельному та газовому пальному. Газодизельні двигуни призначені для дизельного палива з додаванням газу і не можуть працювати на циклі чистого газу. Газодизельний двигун не поступається потужності дизельному і дозволяє заощадити до 80% дизельного палива [58].

Отже, одним із головних шляхів підвищення ефективності двигунів є:

- створення нових типів двигунів, що забезпечать мінімальне споживання пального з мінімальним впливом на довкілля;
- використання спеціальних засобів та модернізація систем запалювання та енергосистеми, з метою зменшення викидів та посилення процесу згоряння в двигунах;
- винайдення двигунів з оновленим робочим процесом, що дозволить застосувати пальне, що не має у своєму складі нафту;
- застосування електронного регулювання складу паливної суміші з оборотним зв'язком;
- розробка засобів та систем примусового відключення подачі пального, коли двигун працює на холостому ході, турбонагнітач, використання

присадок до моторних масел, збільшення обертового моменту в зоні низької частоти обертання колінчастого валу та зменшення передавального відношення головної передачі [27].

### **2.1.2 Застосування альтернативних привідних механізмів**

Двигун Стерлінга (двигун зовнішнього згоряння). Він вперше запатентований в 1816 році у Шотландії як альтернатива низькопродуктивному паровому двигуну. Принцип роботи такого двигуна досить простий, але сучасна його конструкція досить складна. Робота базується на змінному нагріванні та охолодженні робочого тіла (газ, рідше рідина) та використанні енергії температурного розширення. У цьому випадку робоча рідина циркулює в замкнутому контурі всередині двигуна, а теплова енергія для нагріву заводитьсь ззовні [58].

В даний час двигун зовнішнього згоряння являє собою наповнений стисненим гелієм або воднем герметичний циліндр над поршнем. При спалюванні паливного газу він через стінку циліндра нагрівається і призводить до опускання поршня. Вихлопний газ відправляється в камеру охолодження, а поршень повертається в вихідне положення. Після цього частина холодного газу надходить у розширювальну камеру (над поршнем) для нагріву та робочого ходу [44].

На додаток до високої ефективності (ККД) 35 ... 40% і більше, двигун зовнішнього згоряння може працювати на будь-якому пальному та забезпечує незначне забруднення повітря монооксидом вуглецю та вуглеводнями, оскільки паливник працює в стабілізованому режимі з оптимальним співвідношенням паливної суміші. Також, практично безшумний [44].

Електродвигуни застосовуються для перетворення електричної енергії в механічну. Електродвигун складається з двох частин: електромеханічного перетворювача енергії (ЕМП), який перетворює електроенергію в електромагнітну, і ротора двигуна (РД), де електромагнітна енергія перетворюється на механічну [19].



У електричних транспортних засобах практично немає викидів шкідливих речовин з двигунів під час руху. Є лише підвищений рівень електромагнітного випромінювання [58].

Електромобілі є перспективною технологією для скорочення викидів парникових газів та інших наслідків автомобільного транспорту, що впливають на довкілля. Водночас, виробництво електричних транспортних засобів ще далеке від перевіреної сталого технології. Є багато неоднозначностей стосовно ключових питань:

- технологія батареї (споживання енергії стосовно до транспортних засобів, швидкість зарядки, довговічність, наявність та вплив матеріалів на навколишнє середовище).
- вплив колес транспорту на викиди.
- взаємодія з підприємствами для виробництва електроенергії.
- вартість та приклад масового комерційного запровадження даної технології [58].

У середньому електромобілі в експлуатаційному періоді виробляють менше викидів парникових газів, у порівнянні з звичайними транспортними засобами з двигунами внутрішнього згорання. Проте, розподіл викидів протягом життєвого циклу дещо відрізняється для електромобілів. Частка викидів на виробничій фазі вище через збільшення енерговитрат на виробництво транспортних засобів (через виготовлення акумулятора та споживання енергії на етапі використання автомобіля). Енергія, необхідна для виробництва батареї, залежить від типу батареї: акумулятори NiMH, які в основному використовуються для поточних електромобілів, потребують більшої енергії для виробництва, ніж наступне покоління – батареї типу Li-Ion [62].

Проблема електромобілів не тільки у завищеній вартості, а й в ситуації коли власник такого транспортного засобу, проживаючи у приватному секторі, зможе забезпечити постійну підзарядку свого авто. Люди, що проживають у багатоповерхівках з об'єктивних причин не мають змогу заряджати електричні

транспортні засоби вночі. Адже, для створення оптимальних умов для щоденної експлуатації електромобілів, потрібно розбудувати широку мережу зарядних станцій. Слід враховувати, що швидка підзарядка дещо вирішує проблему поїздок на далекі відстані, проте не розв'язує її повністю [13].

Набагато краща продуктивність може бути надана гібридними установками. Найбільш популярними сьогодні є комбінації двигунів внутрішнього згорання та електродвигунів. Найефективніша така силова установка є в умовах міста, коли автомобіль рухається з частою зміною режимів руху [58].

При стійкому русі та при відносно невеликій швидкості тяговий двигун запускається від акумулятора. Двигун внутрішнього згорання взагалі не працює. Коли рівень заряду акумулятора падає, активується двигун внутрішнього згорання, який приводить в дію електричний двигун через електричний генератор і заряджає акумуляторну батарею. Коли повністю заряджений акумулятор, двигун внутрішнього згорання знову вимикається [58].

Мінуси комбінованих технологічних рішень з електричними двигунами включають:

- високу вартість таких установок;
- необхідність утилізації використаних акумуляторів [58].

Альтернативний варіант таких гібридних установок – поєднання двигуна внутрішнього згорання з інерційним двигуном (маховиком). Це такий двигун, в якому механічна енергія зберігається обертовим диском або циліндром. Такий двигун має високу ККД і дозволяє передавати енергію на ведучі колеса з мінімальними втратами [58].

Така гібридна установка з маховиком має можливість працювати як електрична батарея. Перед запуском автомобіля, маховик розкручується за допомогою двигуна внутрішнього згорання, зберігаючи таким чином енергію. Тільки двигун внутрішнього згорання працює на постійних режимах руху. У перехідних режимах, коли потрібна додаткова потужність, вона покривається енергією маховика. У той же час в режимах прискорення відбирається енергія з маховика (швидкість обертання зменшується), а в режимах гальмування, завдяки

спеціальній передачі, енергія повертається до маховика (швидкість обертання збільшується) Як і в попередньому випадку, в гібридному двигуні такого типу можна забезпечити роботу двигуна внутрішнього згоряння в одному безперервному режимі, в якому легше забезпечити оптимальні умови для спалювання палива, відповідно, для підвищення ефективності двигуна та зменшити споживання палива та викиди шкідливих речовин із вихлопними газами [58].

### **2.1.3 Якість та склад паливно-мастильних матеріалів**

Відповідність транспортного засобу нормам вмісту у відпрацьованих газах забруднювальних речовин безпосередньо залежить від відповідності екологічним нормам споживання палива [12].

В нашій країні досить широко розвинений так званий «підпільний ринок» паливно-мастильних матеріалів, де їх якість взагалі не контролюється.

За 2012 рік водії в Україні використовували на третину більше бензину, ніж той об'єм, який офіційно виробляють підприємства та завезено з-за кордону. Якість та відповідність цього палива екологічним стандартам неможливо контролювати [12].

Парк автобусів, що залучений до перевезення пасажирів, складається головним чином з транспорту, оснащеного дизельною силовою установкою. Є цілий ряд об'єктивних причин: дизельні двигуни найбільш ефективні (ККД до 40%); зниження споживання палива у порівнянні з бензиновими та газовими автобусами. В середньому витрата дизпалива автобуса «Богдан» — 16 л на сто кілометрів у літній період та від 17 л до 19 л на сто кілометрів взимку. Автомобілі на скрапленому природному газі мають витрату пального приблизно 19-25 л на 100 км. [12].

Одним із основних індикаторів екологічності пального є вміст у ньому сірки. Сірка в паливі підвищує токсичність вихлопних газів не через зростання концентрації оксидів сірки та твердих частинок, а також через зменшення ефективності та надійності роботи системи контролю за відпрацьованими газами.

Як наслідок, викиди токсичних сполук, твердих часток та інших забруднювачів повітря зростають [12].

Дизельне паливо також повинне відповідати певним екологічним показникам, які регламентує ГОСТ 305-82. При цьому масова частка сірки допускається (залежно від виду палива) не більше 0,2 або не більш 0,5%, концентрація фактичних смол – не більше 40 мг/100 см<sup>3</sup>, зольність – не більше 0,01% [39].

Можна виділити низку нетрадиційних видів пального, використання яких можливе в дизельних двигунах, а саме це нафтові палива та паливо виготовлене з альтернативних енергетичних джерел. Нафтові та альтернативні види палива умовно діляться на три групи [11].

Перша група може включати змішане паливо, яке містить нафтове паливо з добавками не нафтового походження (спирти, ефіри тощо). Комбіноване паливо по експлуатаційних властивостях, як правило, близьке до традиційного нафтового палива. До другої групи можна віднести синтетичні рідкі палива, які наближаються до властивостей традиційних нафтових палив. Таке паливо отримують із перероблення твердих, рідких і газоподібних корисних копалин (вугілля, пального сланцю, природного газу та газового конденсату тощо). Третя група складається з не нафтового пального (спиртів, ефірів, газоподібного палива), яке істотно відрізняється своїми фізичними та хімічними властивостями від традиційних нафтових палив [11].

Одними з найбільш перспективних видів альтернативного палива для автомобільних та інших видів транспорту в даний час є: - біоетанол, біодизельне паливо та біометанол. У короткостроковій перспективі може бути: - синтетичний бензин та дизельне паливо. У майбутньому можна очікувати широкого використання: - водневих та енергетичних установок з паливними елементами [11].

## ВИСНОВКИ

Забруднення навколишнього середовища викидами автомобільного транспорту представляє в останні роки все більшу небезпеку через зростання

транспортних мереж з розбудовою міст і, відповідно, збільшення загрози здоров'ю людини і навколишньому середовищу. Тому, виникає необхідність дослідити рівень забруднення атмосферного повітря від автотранспорту та надати пропозиції щодо покращення екологічних параметрів повітря придорожніх територій Шевченківського району м. Полтава. В даній магістерській роботі було проведено дослідження відповідно до даної проблеми.

1. Аналіз літературних джерел показав, що існує низка факторів, які можуть суттєво впливати на рівень викиду шкідливих речовин в атмосферне повітря від автотранспорту. Роботи науковців, які досліджували проблему забруднення атмосферного повітря від автомобільного транспорту підтверджують, що значна частка всіх забруднень атмосферного повітря у містах припадає саме на пересувні джерела викиду, зокрема, в м. Полтава.

2. Проведений аналіз методик та порівняння розрахованих за ними результатів з практичними замірами дав змогу обрати методику, за якою було проведено основне дослідження.. Таким чином на основі проведеного аналізу в подальших розрахунках використовуємо методику № 2 по визначенню кількості шкідливих речовин при спалювання одиниці палива.

3. Наведено основні пропозиції урегулювання та зменшення фактичних викидів від автотранспорту та їх вплив на навколишнє природне середовище. На основі дослідженої інформації, визначено основні напрямки урегулювання даної проблеми шляхом технологічних рішень, організаційних засобів та способів впливу на законодавчо-правовому рівні.

**ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА**

1. Абрамчук Ф.І. Автомобільні двигуни: підручник / Ф.І. Абрамчук, Ю.Ф. Гутаревич, К.Є. Долганов, І.І. Тимченко. – К.: Арістей, 2004. – 476 с.
2. Автомобиль АЗЛК-2141 / Л. И. Белкин, Н. С. Бученков, Л. Р. Горелов и др.; под ред. А. Е. Сорокина. - Москва : Машиностроение, 1989 - 426 с.
3. Білявський Г.О. Основи загальної екології. Підручник: 2-е вид. / Г.О Білявський., М.М. Падун, Р.С. Фурдуй. — К.: Либідь, 1995.
4. Безлюбченко О.С. Планування міст і транспорт: Навчальний посібник /О.С. Безлюбченко, С.М. Гордієнко, О.В. Завальний. – Харків: ХНАМГ, 2006. – 138 с.
5. Беляев Н. Н. Моделирование загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта на улицах городов / Н. Н. Беляев, Т. И. Русакова, П. С. Кириченко. Днепропетровск: Акцент ПП, 2014. - 159 с.
6. Беляев Н. Н. Прогноз уровня загрязнения атмосферного воздуха в зоне влияния городских автомагистралей / Н. Н. Беляев, Т. И. Русакова, В. Е. Колесник, А. В. Павличенко // Науковий вісник НГУ. - 2016. - № 1. - С. 90-97.
7. Білоконь Я. Засоби зниження токсичності автомобільних (тракторних) двигунів/ Я. Білоконь, А. Окоча– Пропозиція – Головний журнал з питань агробізнесу [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://propozitsiya.com/ua/zasobi-znizhennya-toksichnosti-avtomobilnih-traktornih-dviguniv>
8. Бригадир І. В. Правові засоби забезпечення зменшення негативного впливу відпрацьованих газів автомобіля на людину та довкілля / І. В. Бригадир // Вісн. Харк. нац. ун-ту внутр. справ. – № 38. – 2007. – С. 255–262
9. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты газоочистки. Учебное пособие. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2006. – 201 с.
10. Викиди забруднюючих речовин та діоксиду вуглецю у атмосферне повітря (1990–2017 роки) / Статистичні дані Головного управління статистики у Полтавській області [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://www.pl.ukrstat.gov.ua/main/stat\\_info/ns/ns2.htm](http://www.pl.ukrstat.gov.ua/main/stat_info/ns/ns2.htm)

11. Внукова Н. В. Альтернативне паливо як основа ресурсозбереження і екобезпеки автотранспорту / Н. В. Внукова, М. В. Барун. – 2011. – № 9. – С. 45–54.
12. Вплив транспорту на екологію міста. Аналіз та стратегії для України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://urbanreform.org.ua/wp-content/uploads/2016/09/transport-ukr4\\_small.pdf](http://urbanreform.org.ua/wp-content/uploads/2016/09/transport-ukr4_small.pdf)
13. Гірін В.С. Сучасний стан електромобільного транспорту та його перспективи в Україні / В.С. Гірін, І.В. Гірін // Гірничий вісник. – Кривий Ріг: ДВНЗ «Криворізький національний університет» – вип.№ 102, 2017. – С. 21-26.
14. Говорущенко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте / Н.Я. Говорущенко. – М.: Транспорт, 1990. – 135 с.
15. Гранично допустимі концентрації хімічних і біологічних речовин в атмосферному повітрі населених місць [Електронний ресурс]. від 03.03.2015 р. – Режим доступу: <https://goo.gl/wAQ658>
16. Гребняк М. П. Пересувні джерела забруднення атмосферного повітря індустріального міста у сучасних умовах / М. П. Гребняк, Р. А. Федорченко // Довкілля та здоров'я. - 2015. - № 4. - С. 26-29.
17. Грищенко В.С. Оптимальне керування рухом на перехресті/ В.С Грищенко. – Електроніка та системи управління, 2012. – №2(32). – С: 107-111.
18. Гутаревич Ю. Ф. Вплив додавання суміші водню з киснем на паливну економічність і токсичність бензинового двигуна в режимі холостого ходу / Ю. Ф. Гутаревич, А. О. Корпач, Є.В. Шуба та ін. – К. : НТУ, 2014. – Вип. 29.
19. Дементьев Ю. Н. Электрический привод: учебное пособие / Ю. Н. Дементьев, А. Ю. Чернышев. – Томск: ТПУ, 2010 – 232 с.
20. Екологічний атлас Полтавщини: навчальне видання / Голік Ю.С., Барановський В.А., Ілляш О.Е. – Полтава: Полтавський літератор, 2007. – 128 с.

21. Екологія автомобільного транспорту: Навч. посіб. / Ю.Ф. Гутаревич, Д.В. Зеркалов, А. Г. Говорун, А. О. Корпач — К. : Основа, 2002. — 312с.; Павлова Е.И. Экология транспорта: Учебник для вузов. М.: Транспорт, 2000. – 248с.
22. Євтушенко В. У Полтаві на вулиці Фрунзе для автомобілів існує «зелена хвиля». – Інтернет видання «Полтавщина» [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://poltava.to/news/23181/>
23. Забишний Я. О. Підвищення рівня екологічної безпеки міських автотранспортних мереж (на прикладі м. Івано-Франківськ): автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 21.06.01 «Екологічна безпека» / Я. О. Забишний– Івано-Франківськ, 2017. – 21 с.
24. Заходи по підвищенню ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міст / О. В. Степанчук, А. О. Белятинський. – Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції «Авіа-2011» – Том III – Київ, 2011 – С:11-14.
25. Каракуркчі Г.В. Підходи щодо підвищення паливної економічності двигунів внутрішнього згорання бронетанкового озброєння та автомобільної техніки / Г.В. Каракуркчі, М.Д. Сахненко, М.В. Ведь, А.С. Горохівський, В.М. Щокін// Системи озброєння і військова техніка – 2016 – №2(46) – С:26-31.
26. Кашканов В. А. Перспективні види міського пасажирського транспорту [Електронний ресурс]./ В. А. Кашканов, В. В. Василик. – Вінниця, 2017. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2017/paper/view/2840>
27. Кисликов В. Ф. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник / В. Ф. Кисликов, В. В. Лущик. — 6-тевид. - К.: Либідь, 2006. — 400 с.
28. Корпач А. О. Вплив добавки водневмісного газу на зміну показників двигуна автомобіля в умовах експлуатації/ А. О. Корпач, О. Д. Філоненко. – Житомир:ЖДТУ – 2016. – № 2. – С. 122-126.
29. Краснова Ю.А. Правові аспекти екологічно небезпечної діяльності на транспорті у системі глобального екологічного убезпечення / Ю.А. Краснова //



- Науковий вісник: Проблеми створення Екологічної Конституції Землі. – Львів: НЛТУУ. – 2006, вип. 16 (8). – С. 126 – 133.
30. Кульчицкий А. Р. Токсичность поршневых ДВС. Экспериментальная оценка экологического уровня двигателей: учеб. пособие / А. Р. Кульчицкий – Владимир: ВлГУ, 2011. – 116 с.
31. Лежнева О. І. Результати дослідження забруднення атмосферного повітря автомобільним транспортом на вулицях м. Харкова / О. І. Лежнева // Автомобильный транспорт. – 2013. – Вып. 33. – С. 110-114.
32. Малишева В. В. Удосконалення методу визначення інгредієнтно-параметричного забруднення автомобільних доріг та обґрунтування параметрів захисних екранів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.22.11 «Автомобільні шляхи та аеродроми» / В. В. Малишева – К., 2016. – 20 с.
33. Марченко А.П. Двигуни внутрішнього згоряння: серія підручників у 6 томах. Т.1. Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин / А.П. Марченко, М.К. Рязанцев, А.Ф. Шеховцов; за ред. А.П. Марченко та проф. А.Ф. Шеховцова – Харків: Прапор, 2004 – 384с.
34. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий ОНД-86 – Л: Гидрометеиздат. – 1987 – 92 с.
35. Мироненко С.Г. Екологія міста Полтави: якість атмосферного повітря // Вісник проблем біології і медицини. – 2014. – Вип. 3, Том 1. – С. 222-225.
36. Огляд стану довкілля Полтавської області [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.eco-poltava.gov.ua/>
37. Офіційний сайт Полтавської міської ради та виконавчого комітету [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.rada-poltava.gov.ua/city/districts/>
38. Офіційний сайт. Шевченківська районна рада у м. Полтава [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://okt-rada.gov.ua/>

39. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення./ Упор. В.Я.Чабанний. – Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2008. – 500с.
40. Патент 29435 Україна, МПК (2006) В 01 D 53/74. Споруда для зниження концентрації вихлопних газів на автомагістралях / Прищепов О. Ф., Левицька О. С.; заявник Миколаївський державний гуманітарний університет імені Петра Могили. – № u200710906; заявл. 02.10.2007; опубл. 10.01.2008.
41. Патент 56431 Україна, МПК F01N 3/10. Спосіб очищення вихлопних газів двигуна внутрішнього згоряння / Гречка В. О., Бондаренко Б К., Попова Н.В.; заявник Східноукраїнський національний університет. – № 2002043322; заявл. 22.04.2002; опубл. 15.05.2003, Бюл. № 5, 2003 р.
42. Патент 76497 Україна, МПК F02В 5/00. Спосіб забезпечення роботи водоводневого двигуна / Скалига М. М.; заявник Луцькай державний технічний університет. – № 20040402709; заявл. 15.04.2004; опубл. 15.08.2006, Бюл. № 8, 2006 р.
43. Перович Л. М. Вплив автомобільного транспорту на забруднення земельних ресурсів / Л. М. Перович, Р. Ванчура .// Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Вип. 73. – Л., 2010 – С. 102-109.
44. Петрук В.Г. Природоохоронні технології. Захист атмосфери. Частина 1. / В.Г. Петрук, Л.І. Северин, І.В. Васильківський, І.І. Безвозюк. – Вінниця: „Універсум-Вінниця“, 2010. – 318 с.
45. Практикум з екології : навч. посіб. [для студ. ВНЗ] туристичної галузі / укл. М.Я. Бомба, Н.Є. Паньків, Н.М. Шувар. – Львів : ЛІЕТ, 2015. – 132 с.
46. Приміський І. В. Нормування викидів відпрацьованих газів автомобілів та перехід до стандартів Євро / І. В. Приміський // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 4. – С. 43-48.
47. Природоохоронні технології : навчальний посібник. Ч. 1 : Захист атмосфери / Л. І. Северин, В. Г. Петрук, І. І. Безвозюк, І. В. Васильківський. - Вінниця : ВНТУ, 2012. - 388 с

48. Прогноз погоди [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.gismeteo.ru/diary/4957/2017/7/>
49. Регіональна програма охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки з урахуванням регіональних пріоритетів Полтавської області на 2017–2021 роки («Довкілля – 2021»). – Полтава, 2017. – С. 7-9.
50. Рябчинский А.И. Экологическая безопасность автомобиля / А.И. Рябчинский, Ю.В. Трофименко, С.В. Шелмаков; Под ред. Член-корр. РАН В.Н. Луканина – М: МАДИ-ТУ, 2000. – 95 с.
51. Сигнализатор-анализатор газов многокомпонентный индивидуальный ДОЗОР-С-М. Руководство по эксплуатации. РЭ АГАТ.468514.004-159. – Харьков: Научно-производственное предприятие «ОРИОН»: ПКВ. – 52 с.
52. Силуков Ю.Д. Экологическая безопасность на автомобильных дорогах: учеб пособие/ Ю.Д. Силуков.. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2004. – 173 с.
53. Славін В. В. Дослідження показників бензинового двигуна з різними системами живлення в режимі примусового холостого ходу// Автошляховик України – 2013. – №2 – С.:6-9.
54. Солуха Б.В. Міська екологія. Навчальний посібник / . Б.В. Солуха,Г.Б. Фукс – К.: КНУБА, 2004. – 338 с.
55. Сухорукова С.А. Картографирование природопользования: учебн.-метод. пособие / С.А. Сухорукова, С.С. Дышлюк, М.А. Креймер. – Новосибирск: СГГА, 2011.
56. Тарасенко О. В. Аналіз ефективності сучасних та перспективних методів і засобів зниження шкідливих викидів автомобільного транспорту / О.В Тарасенко, В.П. Юдін, А.М. Каплуновська, О. В. Тарасенко, Г. А. Золотарев// «ScienceRise». – 2015. - № 9/2(14). – С. 18-22.
57. Торонченко О.М. Вплив забруднення атмосфери на розвиток хвороб органів дихання в Полтавській області / О.М. Торонченко, І.І. Сараненко, В.В. Рома // Людина та довкілля. Проблеми неоекології. – 2012. – № 3-4 – С. 128-136.