

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»

---

Навчально-науковий інститут Природокористування  
Кафедра екології та технологій захисту навколишнього середовища  
**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
кваліфікаційної роботи ступеня бакалавра

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**  
кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра

студента Стельмаха Олега Анатолійовича  
(ПІБ)

академічної групи 101-19-1  
(шифр)

спеціальності – 101 «Екологія»  
(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою – Екологія

**на тему:** Оцінка впливу на довкілля від експлуатації автомобільних двигунів різних типів в умовах Дніпропетровської області

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
Кваліфікаційної роботи	Бучавий Ю.В.		
<b>розділів:</b>			
Теоретичного	Бучавий Ю.В.		
Практичного	Бучавий Ю.В.		
Охорона праці	Чеберячко Ю. І.		
Рецензент	Клименко І.Ю.		
Нормоконтроль	Грунтова В.Ю.		

Дніпро  
2023

**Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка»**

ЗАТВЕРДЖЕНО:  
Зав. кафедри ЕТЗНС

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 року

**ЗАВДАННЯ  
на кваліфікаційну роботу  
ступеня бакалавра**

студенту Стельмаху Олегу Анатолійовичу академічної групи 101-19-1  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності – 101 «Екологія»

за освітньо-професійною програмою – Екологія

на тему: Оцінка впливу на довкілля від експлуатації автомобільних двигунів різних типів в умовах Дніпропетровської області

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 03.05.23 №322-с.

Розділ	Зміст	Термін виконання
Теоретичний	Провести аналіз впливу від автотранспорту на компоненти довкілля; Охарактеризувати небезпеку для довкілля при виробництві та обслуговуванні двигунів різних типів	01.04 – 29.04 2023
Практичний	Охарактеризувати транспортну мережу та динаміку викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел по Дніпропетровській області. Оцінити вплив на компоненти довкілля від діяльності АТП Дніпропетровської області	30.04 – 28.05 2023
Охорона праці	Проаналізувати питання з охорони праці й техніки безпеки на АТП та АЗС.	15.05 – 10.06 2023

Завдання видано

\_\_\_\_\_ Бучавий Ю.В.  
(підпис керівника) (прізвище, ініціали)

Дата видачі \_\_\_\_\_

Дата подання до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_ Стельмах О.А.  
(підпис студента) (прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра «Оцінка впливу на довкілля від експлуатації автомобільних двигунів різних типів в умовах Дніпропетровської області»: 72 с., 6 рис., 5 таблиць, 30 літературних джерел.

**Об'єкт дослідження:** характеристики впливу на довкілля від експлуатації двигунів внутрішнього згорання, електродвигунів тощо.

**Мета роботи:** проаналізувати вплив на довкілля від двигунів різних типів з урахуванням їх життєвого циклу для умов Дніпропетровської області.

**Методи дослідження:** аналіз літературних джерел за тематикою, узагальнення теоретичних даних, статистична обробка даних та експертна оцінка.

В теоретичному розділі аналізується негативний вплив від автотранспорту на компоненти довкілля, а також при виробництві й обслуговуванні двигунів різних типів.

В практичному розділі проводиться аналіз транспортної мережі та динаміки викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел по Дніпропетровській області. Оцінюється вплив на компоненти довкілля від діяльності АТП Дніпропетровської області.

У розділі «охорона праці та техніка безпеки» проведено аналіз небезпечних та шкідливих факторів для здоров'я робітників автотранспортних підприємств.

В результаті проведених досліджень визначено, що двигуни внутрішнього згорання завдають більше негативного впливу на навколишнє середовище під час їх експлуатації водночас електродвигуни завдають більше шкоди навколишньому середовищу на процесі їх виробництва.

АВТОТРАНСПОРТ, ДНІПРОПЕТРОВЩИНА, ДВИГУНИ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ, ЕЛЕКТРОДВИГУНИ, ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ, АНТРОПОГЕННЕ НАВАНТАЖЕННЯ, НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ, УТИЛІЗАЦІЯ

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ З ОЦІНКИ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ ВІД АВТОТРАНСПОРТУ .....	8
1.1 Узагальнена характеристика впливу автотранспорту на компоненти довкілля .....	8
1.2 Аналіз впливу вуглеводневих палив на компоненти довкілля .....	10
1.3 Оцінка впливу на довкілля при виробництві двигунів внутрішнього згорання .....	11
1.4 Процес виробництва електродвигунів та оцінка їх впливу на компоненти довкілля .....	14
РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	17
2.1 Будова та принципи роботи двигунів внутрішнього згорання .....	17
2.2. Аналіз шкідливих речовини в вихлопних газах автомобілів і їх вплив на здоров'я людини .....	21
2.3 Транспортна мережа та оцінка динаміка викидів забруднюючих речовин від автомобільного транспорту по Дніпропетровській області.....	24
2.4 Оцінка впливу на компоненти довкілля після зняття з експлуатації двигунів внутрішнього згорання .....	26
2.5 Аналіз перспектив використання електричних двигунів.....	27
2.6 Оцінка безпеки для довкілля при утилізації та переробка електричних акумуляторів.....	29
2.7 Порівняльна характеристика впливу роботи двигунів внутрішнього згорання та електричних двигунів на навколишнє середовище.....	31
2.8 Оцінка впливу на довкілля впродовж життєвих циклів двигунів внутрішнього згорання та електродвигунів.....	39

2.9 Характеристика автотранспортних підприємств Дніпропетровської області та їх вплив на компоненти довкілля ..... 44

2.10 Загальна характеристика забруднення атмосферного повітря пересувними джерелами у м. Дніпро ..... 47

### РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ НА АВТОТРАНСПОРТНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ **Ошибка! Закладка не определена.**

3.1 Загальні характеристики безпеки ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

3.2 Засоби індивідуального захисту для робітників та умови праці на автотранспортних підприємствах ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

3.3 Рекомендації щодо зниження небезпечних та шкідливих факторів на автотранспортних підприємствах ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

ВИСНОВКИ ..... 53

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ ..... 55

Додаток А ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

Додаток Б ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

Додаток В ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

Додаток Г ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

## ВСТУП

Автомобільний транспорт відіграє важливу роль в сучасному житті. З кожним роком кількість споживачів автотранспорту невпинно зростає. Відповідно і збільшується антропогенне навантаження на навколишнє середовище. Автотранспорт впливає на всі чинники навколишнього середовища, такі як літосферу, гідросферу та літосферу.

Стан атмосферного повітря – один з головних чинників, які впливають на здоров'я населення. Щороку по всій країні в атмосферу виділяється близько 17 млн. тонн шкідливих речовин. Стан атмосферного повітря в Україні викликає занепокоєність екологічних організацій та медиків.

Згідно з даними Всесвітньої організації охорони здоров'я забруднення повітря є основним чинником захворюваності та смертності в світі. За цим показником вже не один рік лідирує Україна. І, як наслідок, має великий відсоток захворюваності на різні хвороби.

Сьогодні у м. Дніпро вагомий внесок в забруднення атмосферного повітря вносить автомобільний транспорт. Обсяг забруднень складає до 50,5% від загального обсягу викидів. Причина полягає в обмеженості пропускнуої здатності вуличної мережі міста, що спричинює скупчення транспорту, знижує інтенсивність руху та за відсутності об'їзної дороги у м. Дніпро, спричинює рух транзитного транспорту через місто.

Відповідно до інформації Головного сервісного центру Міністерства внутрішніх справ України кількість зареєстрованих транспортних засобів у м. Дніпро щорічно збільшується.

Таким чином, загальна кількість зареєстрованих транспортних засобів за період 2016–2020 року збільшилася з 40816 од. до 58092 од. Кількість транспортних засобів, що належать юридичним особам збільшилася на 16,5 %. Кількість транспортних засобів, що належать фізичним особам збільшилася на 31,9 %.

Автотранспорт може працювати як на двигунах внутрішнього згорання так і за допомогою електричних двигунів. Вважається що електричні двигуни є більш «екологічними» і зможуть вирішити проблему із викидами парникових газів та інших токсичних речовин.

У зв'язку з тим що сьогодні у розвинутих країнах світу спостерігається тенденція щодо скорочення викидів від автотранспорту за рахунок використання автомобілів з електродвигунами або «гібридів» виникає необхідність в оцінці їх впливу на довкілля як в результаті експлуатації та і в ході усього життєвого циклу – від виробництва утилізації.

**Об'єкт дослідження:** характеристики впливу на довкілля від експлуатації двигунів внутрішнього згорання, електродвигунів тощо.

**Мета роботи:** проаналізувати вплив на довкілля від двигунів різних типів з урахуванням їх життєвого циклу для умов Дніпропетровської області.

**Для досягнення мети в роботі були вирішені наступні завдання:**

1. Провести аналіз впливу від автотранспорту на компоненти довкілля;
2. Охарактеризувати небезпеку для довкілля при виробництві та обслуговуванні двигунів різних типів.
3. Охарактеризувати транспортну мережу та динаміку викидів забруднюючих речовин від пересувних джерел по Дніпропетровській області.
4. Оцінити вплив на компоненти довкілля від діяльності АТП Дніпропетровської області
5. Проаналізувати питання з охорони праці й техніки безпеки на автотранспортних підприємствах.

## РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ З ОЦІНКИ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ ВІД АВТОТРАНСПОРТУ

### 1.1 Узагальнена характеристика впливу автотранспорту на компоненти довкілля

Одним із головних джерел забруднення навколишнього середовища є автотранспорт. Енергетичні установки, що працюють на вуглеводному паливі (дизельне пальне, мазут, бензин, природній газ чи вугілля) є найбільшими забруднювачами атмосферного повітря.

Загальна кількість забруднювачів визначається об'ємом палива, що спалюється і організація процесу згорання. Транспортні засоби, які працюють на двигуні внутрішнього згорання (ДВЗ) є одними із основних джерел забруднення атмосферного повітря.

На даний момент, частка забруднення атмосферного повітря від газотурбінних рухових установок (ГТРУ) та ракетних двигунів (РД) незначна, так як дані промислові компоненти мають обмеження на застосування.

В атмосферу під час спалювання різних видів палива потрапляють нетоксичні гази ( $\text{CO}_2$  та  $\text{H}_2\text{O}$ ) і токсичні гази (оксиди сірки, азоту, вуглецю, сажа, вуглеводні та сполуки свинцю) [1].

Основним джерелом через яке дані забруднювачі потрапляють в атмосферне повітря є автотранспорт. За останні роки кількість автотранспорту тільки росте, відповідно і збільшується об'єм викинутих газів.

Небезпечними викидами з двигунів внутрішнього згорання є як і відпрацьовані гази так і картерні гази. 45%  $\text{C}_n\text{H}_m$  надходить в атмосферне повітря саме від картерних газів та їх парів [1].

В табл. 1.1 представлені компоненти відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згорання.



Таблиця 1.1 – Компоненти відпрацьованих газів

Компоненти	Вміст компонента		Примітка
	Карбюраторні ДВЗ	Дизельні ДВЗ	
N <sub>2</sub>	74–77	76–78	Нетоксичні
O <sub>2</sub>	0,3–8	2–18,1	
H <sub>2</sub> O (пара)	3,0–5,5	0,5–4	
CO <sub>2</sub>	5,0–12,0	1,0–10,0	
H <sub>2</sub>	0–5,0		Токсичні
CO	0,5–12,0	0,01–0,50	
NO <sub>x</sub>	до 0,8	0,0002–0,5	
C <sub>n</sub> H <sub>m</sub>	0,2–3,0	0,009–0,5	
Альдегіди	До 0,2 мг/л	0,001–0,09 мг/л	
Сажа	до 0,4 г/м <sup>3</sup>	0,01–1г/м <sup>3</sup>	
Бензопірен	10–20 мкг/м <sup>3</sup>	до 10 мкг/м <sup>3</sup>	

Проаналізувавши таблицю, можна зробити висновок, що такі гази як CO, NO<sub>x</sub>, C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> мають найбільший негативний вплив на якісний стан атмосферного повітря. Щодо дизельних ДВЗ, то вони є джерелом великої кількості сажі. Сажа сама по собі не токсична, але вони можуть нести на своїй поверхні токсичні речовини.

Також велике значення на кількість потрапляння шкідливих речовин в атмосферне повітря має стан автотранспорту. Було зафіксовано, що при порушенні механічного процесу роботи карбюратора, кількість викидів CO збільшується в 4-5 разів. Основним джерелом потрапляння сполук свинцю в атмосферне повітря є застосування етильованого бензину. Приблизно 70% свинцю потрапляє в атмосферне повітря з етиловою рідиною. Одним із варіантів для пониження викидів свинцю є перехід від етильованого бензину на неетильований.

## 1.2 Аналіз впливу вуглеводневих палив на компоненти довкілля

Основними джерелами викидів у ДВЗ є пари палив та відпрацьовані гази. Сучасні автомобільні двигуни використовують рідке та газове види палив. Основою цих компонентів джерела є вуглеводні. Під час процесу згорання утворюють токсичні і не токсичні речовини. Токсичні речовини є продуктами побічних реакцій або неповного згорання. Також в навколишнє середовище можуть потрапляти забруднюючі речовини, які є в паливі і викидаються при роботі двигуна. На кількісний та якісний склад забруднюючої суміші, впливає спосіб утворення суміші у двигунах та процес запалювання паливоповітряної суміші.

У двигунах, що працюють на бензині з іскровим запалюванням, для згорання одного кілограму бензину необхідно 15 кг повітря ( $\alpha = 1,0$ ) [2]. При умові, що провести регулювання роботи карбюратора, то даний склад суміші може призвести до нестійкої роботи самого двигуна, в режимі малого навантаження, холостого ходу, в режимі розгону і не зможе забезпечити максимальні енергетичні показники при повному навантаженні. Дані обмеження зумовлює використання ДВЗ у багатьох режимах работ. Зменшення вмісту кисню є одна із головних причини для підвищення викидів шкідливих газів в атмосферне повітря ( $\text{CO}$ ,  $\text{C}_n\text{H}_m$ ). При зменшенні кількості вуглеводнів, починається більш стабільна робота двигуна. Найчастіше причиною понаднормових викидів  $\text{C}_n\text{H}_m$  є поганий механізм роботи системи запалювання [2]. Багато вуглеводнів потрапляють в атмосферне повітря в режимі холостого ходу. Одним із вирішенням цієї проблеми є намагання збіднити суміш та врегулювання процесу стабілізації запалювання. Але при цьому, не слід забувати про збільшення вмісту оксидів азоту, що можна пояснити підвищенням температури в зоні реакції і наявністю надлишкового кисню, що вступає у хімічну реакцію з азотом. Азот починає окислюватися при температурі вище 1600К, а з підвищенням самої температури, час хімічної реакції скорочується. Тому в режимі, коли навантаження іде часткове, і в режимі холостого ходу, кількість азоту зменшується. Максимальну концентрацію азоту можливо зафіксувати при високих

частотах обертання при навантаженні, що передають початку роботи збагачувального пристрою [2].

Шкідливі хімічні речовини, що були розглянуті вище – продукти реакції згорання палива. Також з цими речовинами в атмосферне повітря потрапляють шкідливі речовини, що утворюються з домішок бензину (сірка). В самому двигуні сірка піддається процесу окиснення і в якості двоокису сірки потрапляє в атмосферне повітря.

В європейських країнах, згідно Директиви 98/70/ЄС загальна концентрація сірки в бензинах не повинна перевищувати 150 мг/л. З 2005 року ця межа знизилась до 50 мг/л [2].

Під час згорання палива, можуть утворюватися альдегіди. В основному вони утворюються у вигляді формальдегідів ( $\text{H}_2\text{C} = \text{O}$ ) та акролеїнів ( $\text{CH}_2 = \text{CH} = \text{CH} = \text{O}$ ). До хімічного складу бензину також входять ароматичні вуглеводні, такі як бензапірен ( $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$ ), які мають канцерогенні властивості.

Для процесу згорання бензину без детонаційного згорання зазвичай додають антидетонатори. Найбільш популярна речовина це етилова рідина (тетраетилосвинець). Він запобігає відкладенню свинця на деталях двигуна. Але при цьому близько 70% сполук свинцю потрапляли в атмосферне повітря [2].

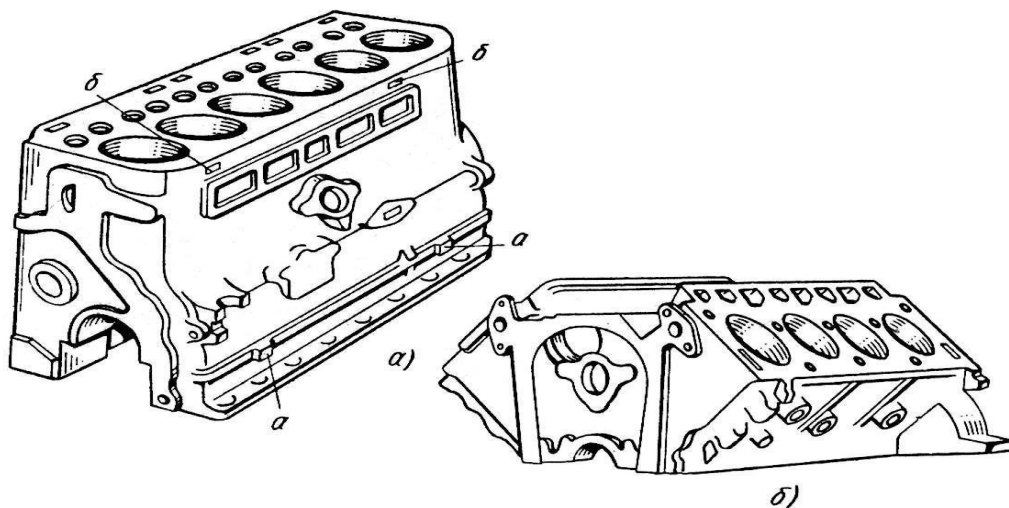
### **1.3 Оцінка впливу на довкілля при виробництві двигунів внутрішнього згорання**

Блок циліндрів, який також називають блоком двигуна, є основною конструкцією двигуна, яка забезпечує простір для циліндрів, а також забезпечує проходи для охолоджуючої рідини, вихлопних газів і вхідних газів, щоб проходити над двигуном і містити картер та розподільні вали. Блок двигуна – це основний корпус, які є в сучасних двигунах. Це найбільший серед деталей двигуна, що становить від 20% до 25% загальної ваги двигуна. Перший вдалий двигун внутрішнього згорання, який можна використовувати в автомобілі, побудував

Зігфрід Маркус в 1864 році. Це був одноциліндровий двотактний бензиновий двигун [3].

Сучасні двигуни досягли свого максимального розвитку та продовжують розроблятися. Ці розробки сприяли підвищенню потужності, довговічності, стійкості до зносу та ефективності двигуна. Матеріал, який використовується для виготовлення блоку двигуна, надає двигуну більшої міцності з малою вагою, що є більш важливим для потужності двигуна. Вже багато років блок двигуна виготовляється з використанням чавунних сплавів, завдяки своїй міцності та низькій вартості, а також зносостійкості. Але оскільки структура двигуна ускладнювалася, інженери знайшли нові матеріали, щоб зменшити його вагу, а також збільшити міцність і стійкість до зношування. Поширеним сплавом, який широко використовується, є алюмінієвий сплав, він більш практичний через свою невелику вагу, та переважно використовується в бензинових двигунах [3].

Оскільки блок двигуна є основним корпусом двигуна, до нього необхідно пред'явити низку вимог (рис.1.1). Ці вимоги включають зносостійкість, довговічність, технічне обслуговування та витримку тиску, що створюється під час горіння. Він також повинен витримувати високу температуру, вібрацію, коли двигун працює. Для багатьох вимог головною особливістю є матеріал, з якого він виготовляється.



*Рис.1.1 – Блок циліндра двигуна*

Для того, щоб відповідати вище зазначеним функціональним вимогам, матеріал, який використовується для виготовлення виробу, повинен володіти багатьма властивостями. Вони полягають у тому, що матеріал повинен бути з високою міцністю, модулем пружності, зносостійкістю, здатністю протистояти вібрації, а також корозійною стійкістю. Висока міцність здебільшого стосується дизельних двигунів через їх високі ступені стиснення порівняно з бензиновими двигунами. У дизельному двигуні його ступінь стиснення зазвичай становить 17:1 і більше, а в бензиновому двигуні – майже 10:1. Матеріал також повинен мати низьку щільність, щоб зменшити його вагу, але з більшою міцністю. Він також повинен мати низьке теплове розширення за високих робочих температур, а також хорошу теплопровідність, щоб віддавати тепло за мінімальний час. Що стосується виробничого процесу, то матеріал повинен добре піддаватися механічній обробці та литтю, щоб зменшити витрати часу та витрат. Коли двигун працює, він генерує більш високу вібрацію через рухи внутрішніх частин, таких як колінчастий вал і поршні, тому матеріал повинен бути здатний поглинати енергію вібрації, не руйнуючись [3].

Виходячи з перерахованих вище особливостей, для виготовлення блоку циліндрів найпоширенішим матеріалом є чавун та алюмінієві сплави. Чавунні сплави використовуються, тому що вони мають добрі механічні властивості, низьку вартість і доступність порівняно з іншими металами.

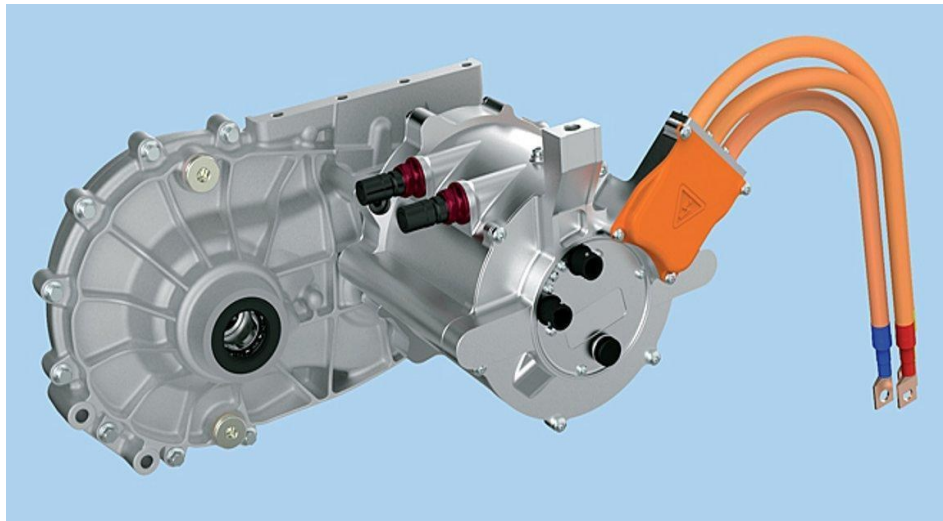
Але певні алюмінієві сплави мають більшість характеристик чавуну, але мають невелику вагу. Крім того, литий блок двигуна з алюмінієвого сплаву дає гарну обробку поверхні та високу оброблюваність порівняно зі сплавами чавуну. З розвитком технологій інженери знайшли нові матеріали, такі як графітовий чавун, який легший і міцніший за сірий чавун.

Виробництво та розкладання самого двигуна внутрішнього згорання створює меншу кількість забруднення в порівнянні з двоокисом вуглецю, який виробляється двигуном під час роботи. Це пов'язано з тим, що для створення самого двигуна

потрібно сформуванати та зібрати лише металеві компоненти. Самі металеві компоненти особливої шкоди для навколишнього середовища не становлять. Автомобілі з двигуном внутрішнього згорання потребують приблизно 10 мільйонів грамів CO<sub>2</sub> для їх виробництва та розкладання [4].

#### **1.4 Процес виробництва електродвигунів та оцінка їх впливу на компоненти довкілля**

Електродвигун визначається як машина, яка перетворює електричну енергію на механічну. Як правило, електродвигуни приводяться в дію за рахунок взаємодії між магнітним полем і електричним струмом в обмотці котушки. Завдяки цьому він створює силу у вигляді крутного моменту, що прикладається до валу двигуна (рис.1.2) [5].



*Рисунок 1.2 – Автомобільний електродвигун*

Електродвигуни в основному живляться від джерел постійного струму, таких як батареї або випрямлячі, або від джерел змінного струму, таких як електромережі, інвертори або електрогенератори. Двигуни можна класифікувати за такими критеріями, як тип джерела живлення, конструкція, застосування та тип швидкості.

Деякі різні типи електродвигунів відрізняються за тим, як влаштовані провідники та поле. Крім того, він контролює, який механічний вихідний крутний момент, швидкість і положення.

Сучасні електродвигуни можуть забезпечити зручну механічну потужність для промислового використання. Промислове застосування включає в себе вентилятори, повітродувки та насоси, верстати, транспортні засоби та дисководи.

Двигуни мають багато різних робочих частин для того, щоб вони постійно оберталися, забезпечуючи необхідну потужність. Двигуни можуть працювати від постійного або змінного струму, і обидва мають свої переваги та недоліки.

До основних частин двигуна постійного струму входять: 1) статор - стаціонарна частина двигуна, зокрема магніт; 2) електромагніти - використовуються для того, щоб забезпечити більшу потужність; 3) ротор - котушка, яка встановлена на осі та обертається на високій швидкості, забезпечуючи системі механічну енергію обертання; 4) комутатор - цей компонент є ключовим у двигунах постійного струму. Без нього ротор не може обертатися безперервно через протилежні сили, створювані зміною струму. Комутатор дозволяє ротору обертатися, реверсуючи струм кожного разу, коли котушка робить півоберта; 5) джерело живлення - створює електрорушійну силу, яка змушує протікати струм у системі; 6) щітки - вони під'єднані до клем джерела живлення, що дозволяє електроенергії надходити в комутатор [5].

Вплив електричного двигуна на довкілля може значно відрізнитися, оскільки електроенергія, яка використовується для живлення цих транспортних засобів, може надходити від багатьох різних типів електростанцій. Атомні, вітрові та гідроелектричні станції мають менший негативний вплив на навколишнє середовище, але вони виробляють лише невелику кількість енергії в порівнянні з великими обсягами, які видобуваються вугіллям та природним газом [6].

Враховуючи всі типи енергії електростанцій, електромобілі середнього розміру можуть виробляти від 73,9 г CO<sub>2</sub>-екв на кілометр до 131,5 г CO<sub>2</sub>-екв на кілометр. Електромобіль класу SUV може виробляти від 119,3 г CO<sub>2</sub>-екв на кілометр до 196,45 г CO<sub>2</sub>-екв на кілометр. Це означало б, що автомобіль середнього розміру з електричними акумуляторами з пробігом 100 000 миль вироблятиме від

12 мільйонів до 21 мільйона грамів  $\text{CO}_2$  під час роботи на дорозі, а клас позашляховиків вироблятиме від 19 мільйонів до 32 мільйонів грамів  $\text{CO}_2$  від своєї роботи на дорозі [4].

Виробництво та розкладання електричних двигунів потребує більше енергії та має більш складні процеси. У цій сфері електричні двигуни менш екологічні, ніж двигуни внутрішнього згоряння. Літій-іонна батарея є найпопулярнішим типом батареї, що використовується в електричних транспортних засобах. Це пояснюється тим, що літій-іонна батарея не потребує обслуговування, є безпечною, доступною та ефективною, особливо в порівнянні з батареями старшої технології, акумуляторами ZEBRA [7]. ZEBRA використовує розплавлену сіль і нікель для своїх електродів і має складну процедуру виробництва в порівнянні з літій-іонними акумуляторами [8].

Незважаючи на те, що літій-іонні батареї є найкращою технологією акумуляторів для транспортних засобів, їх виробництво все ще викидає в 1,43 рази більше  $\text{CO}_2$ , ніж виробництво двигунів внутрішнього згоряння. Літій-іонні батареї повністю розкладаються лише через 8-20 років після закінчення використання [9]. З огляду на те, що батареї живуть лише близько 10 років, вони часто розкладаються довше, ніж працюють в автомобілі. Альтернативою розкладанню електродвигунів є їх утилізація. Це зменшить загальний вплив  $\text{CO}_2$ , оскільки позбавить від необхідності виробляти та розкласти абсолютно нову батарею для кожного автомобіля. Переробка також є кращим вибором, оскільки існує дефіцит літію, щоб задовольнити майбутні потреби транспортних засобів з електричними акумуляторами [9].

Підводячи підсумок, можна сказати, що транспортні засоби з електричними акумуляторами виробляють менше  $\text{CO}_2$ , ніж транспортні засоби з двигуном внутрішнього згоряння під час експлуатації транспортного засобу. Однак виробництво та розкладання транспортних засобів з електричними акумуляторами виробляє набагато більше  $\text{CO}_2$ , ніж автомобілі з внутрішнім згорянням.



## РОЗДІЛ 2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

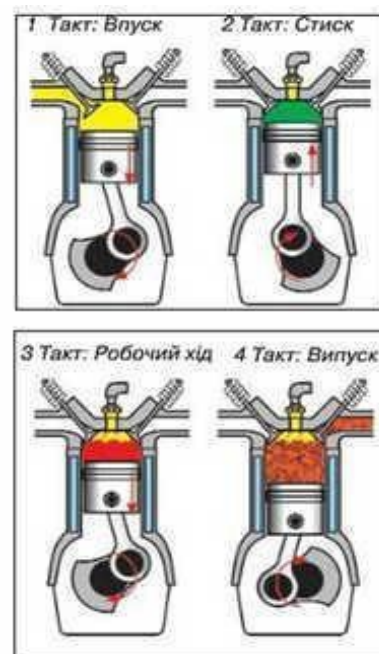
### 2.1 Будова та принципи роботи двигунів внутрішнього згорання

Двигуни внутрішнього згорання, як правило, використовують зворотно-поступальний рух, хоча газові турбіни, ракетні та роторні двигуни є прикладами інших типів двигунів внутрішнього згорання. Поршневі двигуни внутрішнього згорання є найпоширенішими, однак вони зустрічаються в більшості автомобілів, вантажівок, мотоциклів та інших машин, що приводяться в дію двигунами [10].

Основні компоненти двигуна внутрішнього згорання – це циліндр, поршень і колінчастий вал (рис.2.1). До них приєднані інші компоненти, які підвищують ефективність зворотно-поступального руху і перетворюють цей рух на обертальний рух колінчастого вала. Паливо має бути подане в циліндр, а вихлопним газам, має бути забезпечений вихід із циліндра. Також має бути здійснено запалювання палива. У поршневому двигуні внутрішнього згорання це здійснюється одним із двох способів [10].



Мал.43. Будова 4-тактного двигуна



Мал. 44. Схема роботи двигуна

Рисунок 2.1 – Двигун внутрішнього згорання

Дизельні двигуни також називають двигунами на стиснення, тому що вони використовують стиснення для самозаймання палива. Повітря стискається, тобто проштовхується в невеликий простір, в циліндрі. Стиснення призводить до нагрівання повітря; Коли паливо вводиться в гаряче стиснене повітря, воно запалюється. Тиск, створюваний стисненням, вимагає, щоб дизельні двигуни були міцнішими, а отже, важчими, ніж бензинові, але вони потужніші та вимагають менш дорогого палива. Дизельні двигуни, як правило, встановлюються у великих транспортних засобах, таких як вантажівки та важка будівельна техніка, або в стаціонарних машинах.

Бензинові двигуни також називаються двигунами з іскровим запалюванням, тому що вони залежать від іскри електрики, яка викликає запалювання палива в циліндрі. Газовий двигун, легший за дизельний двигун, потребує більш високоочищеного пального [10].

У двигуні циліндр розміщено всередині блоку двигуна, достатньо міцного для того, щоб стримати вибухи палива. Всередині циліндра розташований поршень, який точно підходить до циліндра. Зверху поршні, як правило, куполоподібні, а знизу порожнисті. Поршень прикріплений за допомогою шатуна, встановленого в порожнистому дні, до колінчастого вала, який перетворює рух поршня вгору та вниз у круговий рух. Це можливо тому, що колінчастий вал не є прямим, а має зігнуту секцію (одну на кожен циліндр), яка називається кривошипом [11].

Подібна структура приводить у рух велосипед. При їзді на велосипеді верхня частина ноги людини нагадує поршень. Від коліна до стопи нога діє як шатун, який кріпиться до колінчастого вала за допомогою кривошипа, або педального вузла велосипеда. Коли сила прикладається верхньою частиною ноги, ці частини змушені рухатися. Зворотно-поступальний рух гомілки перетворюється на обертовий, або обертальний, рух колінчастого вала.

Під час їзди на велосипеді нога робить два рухи, один униз і один угору, щоб завершити цикл педалювання. Вони називаються ударами. Оскільки двигун також

потребує всмоктування палива та знову викидання палива, більшість двигунів використовують чотири такти для кожного циклу, який робить поршень.

Перший такт починається, коли поршень знаходиться у верхній частині циліндра, що називається головкою блоку циліндрів. Опускаючись вниз, у циліндрі створюється розрідження. Це пояснюється тим, що поршень і циліндр утворюють герметичний простір. Коли поршень опускається вниз, простір між ним і головкою блоку циліндрів стає більшим, а кількість повітря залишається незмінною. Це розрідження допомагає прийняти паливо в циліндр, подібно до дії легенів. Тому цей такт називається тактом впуску [11].

Наступний такт, званий тактом стиснення, відбувається, коли поршень знову штовхається вгору всередині циліндра, стискаючи паливо у все тісніший простір. Стиснення палива у верхній частині циліндра спричиняє нагрівання повітря, що також нагріває паливо.

Стиснення палива також полегшує його займання та робить вибух у результаті більш потужним. Там менше місця для потоку газів, що розширюються під час вибуху, а це означає, що вони будуть сильніше натискати на поршень, щоб вирватися.

У верхній точці такту стиснення паливо запалюється, спричиняючи вибух, який штовхає поршень вниз. Цей хід називається силовим тактом, і це хід обертання колінчастого вала. Останній хід, такт вихлопу, повертає поршень знову вгору, який викидає вихлопні гази, утворені вибухом, із циліндра через випускний клапан. Ці чотири удари також зазвичай називаються «смоктати, стискати, стукати та видувати» [11].

Двотактні двигуни усувають такти впуску і випуску, поєднуючи їх з тактами стиснення і потужності. Це дозволяє створювати легший і потужніший двигун (відносно розміру двигуна), що вимагає менш складної конструкції. Але двотактний цикл є менш ефективним методом спалювання палива.

Залишки незгорілого палива залишаються в циліндрі, що перешкоджає горінню. Двотактний двигун запалює своє паливо вдвічі частіше, ніж чотиритактний двигун, що збільшує зношування деталей двигуна. Тому двотактні двигуни використовуються здебільшого там, де потрібен двигун меншого розміру, наприклад, на деяких мотоциклах [11].

Для горіння необхідна присутність кисню, тому паливо необхідно змішати з повітрям, щоб воно спалахнуло. Дизельні двигуни вводять паливо безпосередньо в реакцію з гарячим повітрям всередині циліндра. Однак у двигунах з іскровим запалюванням паливо спочатку змішується з повітрям поза циліндром. Це робиться або за допомогою карбюратора, або за допомогою системи впорскування палива. Обидва пристрої випаровують бензин і змішують його з повітрям у співвідношенні 1:14. Дросельна заслінка в карбюраторі регулює кількість повітря, яке змішується з паливом; на іншому кінці дросельна заслінка контролює, скільки паливної суміші буде надіслано до циліндра [11].

Вакуум, який створюється під час руху поршня вниз через циліндр, втягує паливо в циліндр. Щоб створити цей вакуум, поршень повинен точно поміщатися в циліндр. Гумові компресійні кільця, встановлені в канавки поршня, забезпечують герметичність. Через впускний клапан бензин надходить у циліндр. Після цього бензин стискається в циліндр наступним рухом поршня, очікуючи запалювання.

Колінчастий вал у нижній частині двигуна знаходиться в картері. Він може бути заповнений маслом, або окремий масляний піддон під картером служить резервуаром для масла. Насос переносить масло через канали та отвори до різних частин двигуна.

Поршень також оснащений гумовими масляними кільцями, на додаток до компресійних кілець, для транспортування масла вгору та вниз по внутрішній частині циліндра. Двотактні двигуни використовують масло як частину паливної суміші, забезпечуючи змащування двигуна та усуваючи необхідність в окремій системі [12].

## **2.2. Аналіз шкідливих речовини в вихлопних газах автомобілів і їх вплив на здоров'я людини**

Вихлопні гази автомобілів містять певні отруйні хімічні речовини, зокрема оксид вуглецю, діоксид сірки, оксиди азоту, формальдегід, бензол і сажу, які можуть завдати шкоди людському організму, якщо їх постійно вдихати у великих кількостях. Вихлопні гази складають більшу частину викидів автомобіля, оскільки вони в основному виділяються як побічний продукт згоряння певного палива, наприклад дизельного палива, бензину, природного газу, мазуту тощо.

Вихлопні гази транспортного засобу видаляються з транспортного засобу і вивільняється в навколишнє середовище через вихлопну трубу. Вихлопні гази - шкідливі як для людей, так і для навколишнього середовища через наявність певних хімічних речовин, які шкідливі для людини. Слід зазначити, що не всі складові вихлопних газів шкідливі; вони також складаються з нетоксичних компонентів, таких як азот, водяна пара та вуглекислий газ (хоча це парниковий газ і головний фактор, що сприяє глобальному потеплінню) [13].

Чадний газ (Окис вуглецю). Жодне обговорення автомобільних випарів і їх небезпеки не може бути повним без згадки про цей небезпечний газ. Чадний газ сам по собі є безбарвним, смаковим і запахним газом і є одним із головних причин, які роблять вихлопні гази небезпечними для здоров'я людини, оскільки він зв'язується з гемоглобіном у нашій крові, що призводить до задухи. Якщо піддаватися навіть незначній кількості (0,0035%) чадного газу постійно протягом 6-8 годин, людина починає відчувати перші симптоми отруєння чадним газом, які включають запаморочення, сплутаність свідомості, запаморочення та головний біль. Зі збільшенням концентрації газу в повітрі стан людини погіршується. Наприкінці спектра його несприятливих ефектів знаходиться смерть особи, яка зазнала впливу, менш ніж за 3 хвилини, якщо його концентрація в повітрі становить 1,28% (12800 ppm) або більше [14].

Оксиди азоту. Оксиди азоту є сильним подразником дихальної системи, проникаючи глибоко в легеневу тканину, викликаючи респіраторні захворювання, свистяче дихання, бронхоспазм і навіть набряк легенів у високих концентраціях. Більше того, концентрації понад 2 частки на мільйон можуть впливати на імунну систему, зокрема на CD8+ Т-клітини. Повідомляється, що тривалий вплив діоксиду азоту пов'язаний із розвитком хронічних захворювань легенів, а також погіршує нюх [14].

Вуглеводні (Бензол). Вихлопні гази містять певні вуглеводні (сполуки, що містять ланцюги атомів водню та вуглецю), зокрема бензол, який має небезпечні наслідки для здоров'я людини, як відразу, так і в довгостроковій перспективі. Будучи добре відомим канцерогеном, бензол, як відомо, сильно впливає на кістковий мозок, що може призвести до зниження кількості еритроцитів, що призведе до анемії. Згідно з даними Департаменту охорони здоров'я та соціальних служб (DHHS), бензол може спричинити рак кровотворних органів (або лейкемію), якщо людина піддається впливу протягом тривалого періоду часу [14].

Діоксид сірки (Сірчистий ангідрид). Безбарвний газ із різким різким запахом, діоксид сірки подразнює органи дихальних шляхів, у тому числі ніс і горло, викликаючи свистяче дихання, кашель і задишку. У довгостроковій перспективі тривалий вплив діоксиду сірки був пов'язаний з астмою та іншими подібними захворюваннями [14].

Свинець. Свинець є важким металом, який може виділяти деякі бензинові двигуни. Свинець може потрапити в організм при вдиханні, ковтанні та всмоктуванні через шкіру. Під час вдихання свинець накопичується в крові та м'яких тканинах, а також у легенях і печінці, серцево-судинній, нервовій та репродуктивній системах і кістках. Інші наслідки включають втрату концентрації та пам'яті, а також посилення болю в суглобах і м'язах. Новонароджені та маленькі діти дуже сприйнятливі до малих доз свинцю; це нейротоксикант і може вплинути

на розвиток дітей раннього віку, що призводить до проблем із навчанням, гіперактивності, погіршення пам'яті та навіть розумової відсталості [14].

Сажа — це порошкоподібна речовина, від якої вихлопні гази стають чорними. Точніше, це маса, яка залишається в результаті неповного згоряння вуглеводнів. Шкідливих наслідків сажі занадто багато, щоб перерахувати, але серед них грип, астма і навіть рак. Сажа завдає неприємного удару по органам дихання людей, які піддаються її постійному впливу. Це також пов'язано з гострою судинною дисфункцією та підвищеним ризиком захворювання коронарних артерій. Сажа також шкодить навколишньому середовищу (як і інші хімічні речовини, перелічені вище). Сажа настільки шкідлива для довкілля, що на її частку припадає понад чверть загального небезпечного забруднення атмосферного повітря [14].

Короткочасні наслідки забруднення є тимчасовими і варіюються від простого дискомфорту, такого як подразнення очей, шкіри, носа та горла, а також гострих симптомів, таких як кашель, хрипи, утруднене дихання та стиснення в грудях. До більш важких короткострокових наслідків відносяться астма, пневмонія, бронхіт, а також проблеми з легенями та серцем.

Тривалий вплив цих забруднюючих речовин може посилити ці симптоми, спричинивши більш поширені репродуктивні, неврологічні та респіраторні ефекти; вони можуть завершитися різноманітними типами раку, а в рідкісних випадках — смертю. Смерть стає все більш імовірною після довгострокових наслідків хронічного впливу. Довготермінові наслідки більш імовірні в осіб із схильним до цього захворюванням.

Незважаючи на те, що короткострокові та довгострокові наслідки вихлопних газів транспортних засобів для здоров'я є однозначно сильними, характер пошкодження клітин залежить від забруднювача, його джерела та концентрації. Вплив на здоров'я також пов'язаний із країною, сезоном, регіоном і часом [14].

### 2.3 Транспортна мережа та оцінка динаміка викидів забруднюючих речовин від автомобільного транспорту по Дніпропетровській області

Одна із головних ролей в економічній структурі належить транспортному комплексу. До них відноситься автомобільний, залізничний, річковий та авіаційні комплекси.

Структура транспортного комплексу складається із споруд та зовнішнього транспорту, мережі транспортних артерій, і також внутрішньо-міської транспортної системи населених пунктів. В основному на автомобільний транспорт припадає пасажирські та вантажні перевезення.

Дніпропетровська область у своєму складі має велику різноманітну автомобільну мережу, як державного так і місцевого значення.

Як було зазначено раніше, до основних ролей автомобільного транспорту Дніпропетровської області, належить пасажиро та вантажні перевезення, які здійснюються як і автопідприємствами так і приватними перевізниками. 99% населених пунктів області охоплені автобусними сполученнями.

За даними Головного управління статистики у Дніпропетровській області в часовий період січень-листопад 2020 року, вантажообіг підприємств транспорту склав 22,2 млн. т. км. В таблиці 2.1 представлено об'єми вантажних перевезень та порівняно дані за 2019 та 2020 роки.

Таблиця 2.1 – Вантажні перевезення

Вантажообіг		Перевезено вантажів	
млн. т. км	у % до січня-листопада 2019	тис. т.	у % до січня-листопада 2019
2650,7	85	19412,0	84,7

В таблиці 2.2 зображено динаміку викидів в атмосферне повітря від певних видів автомобільного транспорту по Дніпропетровській області



Таблиця 2.2 – Динаміка викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від окремих видів автотранспорту підприємств області, тис. т [15].

Роки	Вантажні автомобілі	Пасажирські автобуси	Пасажирські легкові автомобілі	Спеціальні легкові автомобілі	Спеціальні нелегові автомобілі
2013	30,0	4,7	11,6	1,2	4,9
2014	27,6	3,7	9,5	1,0	4,3
2015	25,9	3,6	9,4	0,9	3,8
2016	*	*	*	*	*
2017	*	*	*	*	*
2018	*	*	*	*	*
2019	*	*	*	*	*
2020	*	*	*	*	*

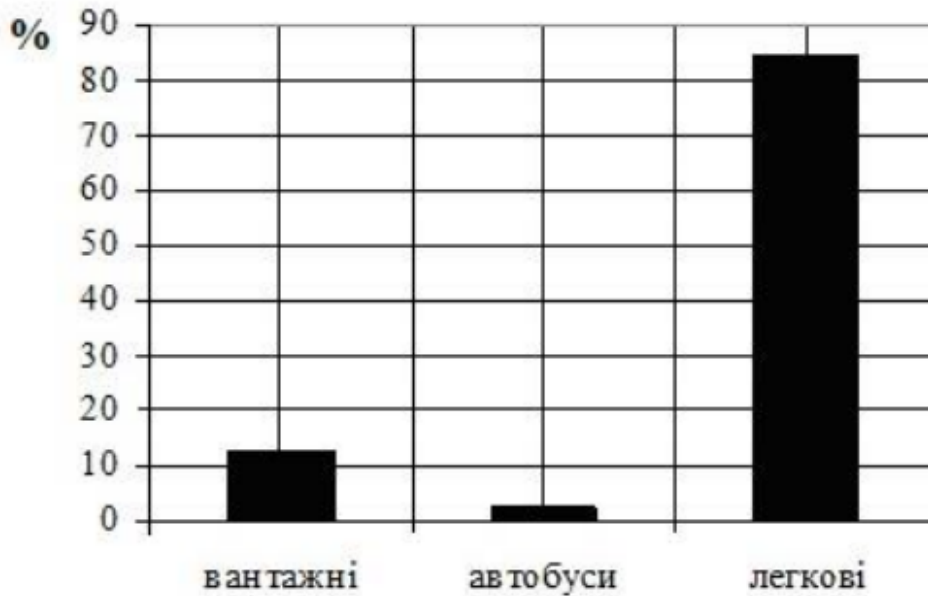
\*-інформація відсутня

В таблиці 2.3 зображено кількість викидів забруднюючих речовин від автотранспорту.

Таблиця 2.3 – Динаміка викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря пересувними джерелами забруднення від використання окремих видів палива [15]

Роки	Обсяги викидів, тис. т	У тому числі від використання			Частка викидів забруднюючих речовин від використання бензину у загальних обсягів викидів, %
		Бензину	Дизельного палива	Зрідженого газу	
2013	203,3	129,8	58,6	14,4	63,8
2014	181,3	108,8	55,9	13,7	60,0
2015	152,6	85,3	48,1	18,8	55,9
2016	*	*	*	*	*
2017	*	*	*	*	*
2018	*	*	*	*	*
2019	*	*	*	*	*
2020	*	*	*	*	*

\*-інформація відсутня



*Рисунок 2.2 – Склад автотранспорту, що працює на бензині [16]*

Проаналізувавши даний графік, можна зробити висновки, що 85% відсотків від всього автотранспорту Дніпропетровської області займають легкові автомобілі. До вантажних належить 12% і всі інші-пасажирські автобуси.

#### **2.4 Оцінка впливу на компоненти довкілля після зняття з експлуатації двигунів внутрішнього згорання**

Після закінчення терміну служби, двигуни внутрішнього згорання також мають негативний вплив на навколишнє середовище. Процес утилізації слід проводити відповідально, безпечним для життя та навколишнього середовища методами. Дані процеси повинні проходити в максимальному використанні матеріалів та компонентів двигуна, в обмеженому використанні в енергетиці, та екологічне зберігання на звалищі.

Під час процесу утилізації присутній такий етап як нейтралізація. Це екологічне поводження з відходами, які не можливо потворно використати. Ці відходи піддаються біологічному, фізичному та хімічному впливу, задля того щоб вони були в стані не шкідливого навколишньому середовищу. Щодо утилізації

двигунів, то більша частина не потребує процесу нейтралізації, адже вони піддаються повторному використанню та переробці.

Відповідно Закону про відходи, утилізація, повинна проходити для всіх відходів видів діяльності. Відповідно до закону, рекуперацію можна розділити на два види: 1) відновлення енергії; 2) рециркуляцію.

Порівняльні дослідження відображають, те що процес зберігання двигуна внутрішнього згорання, на полігоні, має негативний ефект. Більш екологічно вигідніше буде задіяти процес відновлення.

Після утилізації брухту кольорових та чорних металів, переваги були отримані на рівні -14,182 Pt і -12,948 Pt. Щодо відновлення інших матеріалів, то екологічна користь сягала показників -0,781 Pt. При тому що розміщення даних двигунів на полігоні має негативний ефект, а саме у розмірі 0,898 Pt [17].

Однією з головних умов, для отримання високих показників екологічної вигоди, є правильний підхід до відновленні компонентів і матеріалів з двигунів. Також важливу роль займає правильний процес демонтажу.

## **2.5 Аналіз перспектив використання електричних двигунів**

Відбувається перехід на електромобілі (ЕМ). Хоча перехід від звичайних пасажирських транспортних засобів (з двигунами внутрішнього згорання, що працюють на нафтовому паливі) до електромобілів (4-колісні електромобілі, що повністю або частково приводяться в рух електрикою, є очевидним, траєкторія цього переходу далека від вирішення [18]. Відсутність консенсусу є відображенням суперечливих сил, які діють зараз. Швидкий перехід на електромобілі має першорядне значення для вирішення головної проблеми сучасної державної політики, зміни клімату, немає гарантій, що швидкі темпи відбуватимуться. Темпи є результатом як технологічного прогресу, так і суспільного розуміння виклику зміни клімату. Даний розділ розкриває основні чинники, що впливають на швидкість переходу та перспективи використання електричних двигунів. В даному

розділі буде пояснено, чому рівень впровадження електромобілів на сьогоднішній день є мізерним, а також сили, які працюють, щоб підвищити продажі та уповільнити їх. Наразі сильна урядова підтримка електромобілів стимулює продажі, але в кінцевому підсумку темпи цієї трансформації залежатимуть від сприятливіших ринкових сил.

Суспільний вплив. Основний аргумент для електромобілів ґрунтується на тому факті, що викиди CO<sub>2</sub> у транспортному секторі є великими та зростають швидше, ніж викиди в інших секторах. Викиди безпосередньо пов'язані з паливом, що викидає вуглець, яке живить цей сектор, а саме, продуктами на основі нафти, бензином та дизелем. Таким чином, заміна палива є критично важливим елементом у зменшенні впливу на клімат від транспортного сектору. Вплив заміни палива, звичайно, може бути доповнений підвищенням ефективності використання палива, спільним використанням автомобілів, громадським транспортом тощо.

По-друге, електромобілі мають значно менший вплив CO<sub>2</sub> у переважній більшості країн, ніж звичайні легкові транспортні засоби. Ще однією перевагою трансформації електромобілів буде скорочення імпорту нафти внаслідок зменшення продажів бензину та дизельного палива. Масштабне видобуток нафти зосереджено у відносно невеликій кількості країн, деякі з яких є політично нестабільними. Ця нестабільність створює умови, що призводять до коливань цін і нестабільності постачання. Електроенергія, навпаки, часто може бути вироблена з внутрішніх ресурсів, особливо якщо ці ресурси є відновлюваними. Таким чином, вилучення нафти з системи енергопостачання може призвести до підвищення цін і надійності поставок.

Персональні переваги. Навіть споживачі, найменше стурбовані впливом експлуатації свого транспортного засобу на довкілля, можуть знайти особисті переваги у володінні електромобілем. Перший полягає в тому, що електромобілі дешевші за енергію, ніж звичайні автомобілі. Ціни на електроенергію та нафту різняться в усьому світі, але загалом подорожувати на електромобілі дешевше, ніж

на транспортному засобі, що працює на нафтопродуктах. У Сполучених Штатах подорож на 200 миль обійдеться мандрівнику на електромобілі 7,42 долара (з урахуванням середніх тарифів на електроенергію та середньої ефективності автомобіля на електромобілі). Якщо використовувати звичайний транспортний засіб, вартість становитиме 22,60 доларів США (знову ж таки, враховуючи середні ціни на паливо та середню ефективність використання палива). Крім того, споживачі можуть розраховувати на те, що ціни на електроенергію з часом будуть більш стабільними, на відміну від нестабільного ринку нафти [19].

По-друге, витрати на технічне обслуговування та незручності, пов'язані з обслуговуванням звичайного транспортного засобу, значно менші з електромобілем. Звичайні транспортні засоби мають тисячі рухомих частин, усі з яких мають обмежений термін експлуатації та потребують синхронізації для оптимальної продуктивності. У електромобілів, навпаки є два десятки рухомих частин, і, отже, менше можливостей для несправності транспортного засобу. Наприклад, електромобілі не містять мастил, фільтрів, зчеплення, свічок запалювання, поршнів, зубчастих ременів і ременів вентилятора, водяних шлангів, радіаторів або каталітичних нейтралізаторів.

По-третє, власники електромобілів із власними чи орендованими будинками мають вбудовану інфраструктуру для живлення своїх транспортних засобів; а саме електричну систему будинку. Електро мобілі нічим не відрізняється від іншої звичайної побутової електроніки тим, що його можна зарядити протягом ночі, а вранці він буде повністю готовий до роботи.

## **2.6 Оцінка небезпеки для довкілля при утилізації та переробка електричних акумуляторів**

Електродвигун складається з компонентів, включаючи сталь, мідь і магніти. Кожен двигун містить 1,5–2 кг магнітів, виготовлених із дуже рідкісних, цінних матеріалів. Розподіл вартості двигуна показує, що магніти становлять 50% вартості.

Процес відокремлення магнітів і повторного введення їх у ланцюг постачання — це чудова можливість зберегти рідкоземельні елементи у навколишньому середовищі.

Рідкісноземельні елементи — це група з 17 хімічних елементів у періодичній системі Менделєєва, які необхідні для створення багатьох повсякденних товарів, від смартфонів і комп'ютерів до медичних пристроїв. Використання цих елементів різко зросло в останні роки, так само як і їх ціни; багато рідкісних земель стали дорожчими за золото чи платину.

Проте попит на електромобілі зріс ще більше внаслідок нормативних актів, спрямованих на скорочення викидів від транспортних галузей, і зростаючого занепокоєння глобальним потеплінням. Це означає, що електродвигуни будуються зі складнішими внутрішніми частинами, які потребують вищої чистоти матеріалів, ніж будь-коли раніше, — часто включаючи рідкоземельні елементи.

Це робить відновлення цих цінних матеріалів із використаних двигунів електромобілів привабливою перспективою: їх можна відновити за низькими витратами, а також гарантувати, що вони не потраплять на сміттєзвалища, де вони вимиватимуться в навколишній ґрунт і ґрунтові води (проблема щодо певних типів сміттєзвалищ).

Електричний двигун містить ряд компонентів, вбудованих у нього. За її перетворювальну здатність відповідають ці компоненти, а саме: 1) вал; 2) мідні обмотки; 3) підшипники; 4) арматура; 5) статор; 6) комутатор; 7) термінали.

Усі ці згадані компоненти дозволяють електродвигуну успішно перетворювати електричну енергію в механічну.

Крім того, у більшості галузей промисловості для виробництва більшості сучасних пристроїв використовуються електродвигуни. Тому, коли вони пошкоджені та не перероблені, вони можуть стати причиною звалища. Таким чином, утилізація електродвигунів допомагає зменшити захоронення, тверді відходи та забруднення в цілому. Крім того, утилізація електродвигунів допомагає

захистити природні ресурси, зокрема мідь. Одна з основних частин електродвигуна містить мідні обмотки.

Вміст міді різний для різних двигунів, причому малий двигун має більший відсоток міді на вагу, ніж важкий двигун. В середньому фракційні електродвигуни складаються з 9–10 відсотків міді за вагою. Двигуни змінного струму містять у середньому 7–9 відсотків міді; Двигуни постійного струму мають 15–18 відсотків вмісту міді. Герметичні блоки можуть містити багато міді та часто набагато важчі за електродвигуни, але важка рідина в них може призвести до справжнього безладу та небезпеки для довкілля.

Трансформатори — це тверді сталеві блоки або стислі сталеві пластини, що оточують тверду мідну обмотку або стрічку. На відміну від двигунів, великі трансформатори часто містять більше міді у відсотках від загальної міді, ніж малі або середні трансформатори. Як правило, вони зростають у ціні, коли стають більшими, тому що вони можуть давати велику кількість міді.

Найкращий спосіб оцінити цінність усіх цих предметів — це розглянути вміст міді в них у суміші з іншими матеріалами. Навіть незвичайні предмети, такі як занурювальні насоси, містять мідь. У цьому випадку зовнішня частина виконана з нержавіючої сталі, тому комбінація цих елементів дає вартість, засновану на міді та нержавіючій сталі. Більшість електродвигунів приблизно на 90% складаються зі сталі.

## **2.7 Порівняльна характеристика впливу роботи двигунів внутрішнього згорання та електричних двигунів на навколишнє середовище**

Переваги для довкілля від зменшення викидів забруднюючих речовин від автотранспортних засобів безсумнівні. Підтримка природного середовища особливо важлива в районах, де велика кількість людей може бути піддана інтенсивному забрудненню від автомобілів, наприклад у великих міських агломераціях [20].

Незважаючи на те, що комерційний термін «автомобілі з нульовим рівнем викидів» використовується для опису автомобілів з електродвигунами (електромобілі), вони все одно сприяють викиду твердих часток за місцевих умов у результаті трибологічних процесів, що відбуваються в автомобілях, що працюють на дорожньому покритті, а також процесах, пов'язаних зі збурюванням дорожнього пилю.

Тим не менш, викиди твердих частинок від електромобілів нижчі порівняно з викидами звичайних автомобілів (автомобілів з двигуном внутрішнього згоряння), тому що тертя менш відповідальне за гальмування електромобілів, оскільки в цьому випадку зазвичай використовується електричне гальмування. Враховуючи вищесказане, переваги електромобілів для навколишнього середовища є суттєвими в місцевому масштабі.

Оскільки одним із фундаментальних пріоритетів охорони навколишнього середовища є протидія викидам парникових газів (ПГ), які суттєво сприяють посиленню парникового ефекту та, як наслідок, посилюють зміну клімату, що становить серйозні ризики на глобальному рівні. Викиди інших забруднювачів, пов'язані з використанням автомобіля, також мають глобальне значення. Таким чином, окрім обстеження забруднюючих речовин, що викидаються автомобілями в локальному масштабі, було проведено загальну інвентаризацію викидів забруднюючих речовин від автомобільного транспорту [21].

У випадку електромобілів глобальні викиди забруднюючих речовин значно відрізняються від локальних. Для цілей цього дослідження було припущено, що викиди забруднюючих речовин від виробництва електроенергії (навіть якщо вони включені до кадастру викидів) не братимуться до уваги у проведеному порівняльному аналізі – викиди забруднюючих речовин від електромобілів у глобальному масштабі походять не більше ніж від процесів генерування та передачі електроенергії.



Тому, щоб оцінити глобальні екологічні наслідки експлуатації електромобілів, необхідно було враховувати характеристики процесів генерації та передачі електроенергії, що використовується для зарядки акумуляторів електромобілів.

Оцінка екологічних наслідків розвитку електромобілів може бути проведена набагато більш комплексним способом, насамперед із використанням методу оцінки життєвого циклу .

У даному підрозділі розглянуто процеси, пов'язані з виробництвом, експлуатацією та утилізацією транспортних засобів після їх використання. Проаналізовані результати показують дуже високу чутливість екологічних властивостей електрокарів до технології виробництва електроенергії.

Вплив двигунів внутрішнього згорання на навколишнє середовище починається від процесу видобутку, переробки та транспортування сирової нафти та продуктів нафтоперероблення до процесу роботи транспортного засобу.

Що стосується етапів видобутку, транспортне паливо, як-от бензин і дизельне паливо, є продуктом тривалого процесу, який починається з розвідки та видобутку ресурсу та закінчується його обробкою на нафтопереробних заводах, транспортуванням до дистриб'юторів і кінцевою доставкою споживачам.

Сирину нафту зазвичай видобувають із геологічних утворень у землі за допомогою буріння та видобутку в нафтогазовій промисловості. Потенційні наслідки для навколишнього середовища, пов'язані з цією діяльністю, включають проблеми з якістю води (наприклад, потенційне забруднення підземних і поверхневих вод у результаті виробничої діяльності); методи управління водними ресурсами (як споживання, так і скидання); зміни цільового призначення земель; індукована сейсмічність; і забруднення атмосфери.

Крім того, тип і обсяг викидів із систем видобутку сирової нафти та природного газу значною мірою залежать від якості ресурсу сирової сировини, характеристик ресурсного басейну, з якого видобувається паливний ресурс, і подальших процесів

переробки. Наприклад, деякі види сирової нафти та процеси її виробництва можуть мати приблизно в сім разів більше викидів парникових газів, ніж інша сира нафта та процеси їх виробництва.

Щодо стадії роботи транспортного засобу, бензин і дизельне паливо для транспортування є токсичними та легкозаймистими рідинами. Пари, що виділяються під час їх випаровування, і речовини, що утворюються під час їх згоряння (CO, NO<sub>x</sub>, пил та вуглеводні), сприяють забрудненню повітря [22].

При спалюванні бензину та дизельного палива також виділяється CO<sub>2</sub>. Згоряння галону бензину та галону дизельного палива виробляє приблизно 8,89 та 10,16 кілограмів CO<sub>2</sub> відповідно. Згідно з Кадастром викидів і поглинань парникових газів США за 1990–2018 роки ЕРА, національним кадастром, який Сполучені Штати готують щорічно згідно з Рамковою конвенцією ООН про зміну клімату, транспортний сектор наразі є найбільшим джерелом антропогенних викидів парникових газів у Сполучених Штатах [23].

За оцінками агентства, у 2018 році на частку транспорту припало 28% загальних викидів парникових газів у США, що становить понад 1883 мільйони метричних тонн еквівалента двоокису вуглецю. Категорія легких транспортних засобів (тобто легкових автомобілів і легких вантажівок) внесла 1055 млн. тонн CO<sub>2</sub>. Таким чином, згоряння палива на стадії використання є основним фактором впливу на навколишнє середовище протягом життєвого циклу [24].

Для електро двигунів кількість парникових газів та інших забруднюючих речовин, що викидаються під час технологічних процесів, пов'язаних з типом палива та енергоефективністю електростанції та інфраструктури трансмісії, що використовується для живлення транспортного засобу. Кількість парникових газів та інших забруднюючих речовин, що викидаються під час подальших процесів (тобто під час роботи транспортного засобу), пов'язана з енергоефективністю та іншими характеристиками автомобілів.

Фактори, що впливають на антропогенний вплив на навколишнє середовище від процесу виробництва та введення в експлуатацію електродвигунів [25]:

Виробництво електроенергії: Різні типи виробництва електроенергії на даний момент пов'язані з дуже різними профілями впливу на навколишнє середовище на одиницю виробленої електроенергії. Ці профілі включають потенційні впливи на навколишнє середовище під час виробництва електроенергії та потенційні впливи на навколишнє середовище під час видобутку, переробки та транспортування палива, що використовується для виробництва електроенергії. Вугільні електростанції мають найвищу інтенсивність викидів парникових газів, SO<sub>x</sub> і твердих частинок за життєвий цикл. Атомні, гідроелектричні та відновлювані джерела енергії, не пов'язані з біомасою, мають нижчу інтенсивність викидів парникових газів та інших забруднювачів повітря, хоча їхні викиди протягом усього життєвого циклу не дорівнюють нулю через будівництво та технічне обслуговування об'єктів, а також потенційне виробництво палива та проблеми управління наприкінці життєвого циклу. Крім того, кожен тип джерела енергії має різні моделі споживання та використання енергії, ресурсів і води. При оцінці впливу життєвого циклу на навколишнє середовище з точки зору атрибуції, середня суміш генерації електроенергії для країни, регіону чи місцевості являє собою загальну кількість електроенергії, що подається в мережу з кожного джерела генерації протягом усього року, 24 годин на день. Цей розрахунок може визначити середні екологічні наслідки від електропостачання.

Схеми заряджання. Хоча середньорічне виробництво електроенергії є корисним наближенням для ймовірних впливів заряджання електродвигунів на навколишнє середовище, воно не враховує динаміку попиту та пропозиції електроенергії. Для більш точної оцінки вплив на навколишнє середовище для будь-якої конкретної події заряджання залежить від миттєвої суміші виробництва електроенергії, яка змінюється в залежності від пори року, часу доби та рівня попиту на електроенергію. Таким чином, при оцінці впливу життєвого циклу на

навколишнє середовище з послідовної точки зору, додатковий попит, створений заряджанням електродвигунів, може спричинити зсув у структурі виробництва електроенергії, що призведе або до збільшення, або до зменшення впливу енергетичного сектору на навколишнє середовище, залежно від типу генерації, доступної для додаткового попиту.

Ефективність трансмісії: втрати на перетворення під час виробництва електроенергії та втрати під час передачі та заряджання можуть звести нанівець деякі переваги ефективності використання електродвигуна.

Порівняльна характеристика ДВЗ та ЕД.

Ефективність двигуна: споживання енергії електро двигуном залежить від енергоефективності їхніх двигунів, як і у випадку з двигуном внутрішнього згорання. Загалом, електро двигуни мають вищу енергоефективність у використанні, ніж двигуни внутрішнього згорання. ЕД перетворює понад 77% електричної енергії, що надходить з мережі, для руху. ДВЗ перетворює приблизно 12–30% енергії, що зберігається в бензині, для руху. Перевага в ефективності ЕД частково виникає через вищий ККД окремих компонентів трансмісії (акумулятор, двигун і трансмісія), а частково через рекуперативне гальмування, яке може відновити приблизно від 10% до 20% загальної споживаної енергії залежно від стилю та умов водіння.

Розмір і вага двигунів: споживання енергії ЕД тісно пов'язане з розміром і вагою транспортного засобу, як і у випадку з ДВЗ. Важчі та більші ЕД вимагають більше енергії для прискорення, і вони мають більший опір коченню та опір повітрю, ніж менші та легші ДВЗ. Крім того, ЕД на 14–29% важчі, ніж ДВЗ еквівалентного розміру від того ж виробника. Додаткова вага ЕД здебільшого пов'язана з вагою батареї та пов'язаним вторинним збільшенням ваги, необхідним для зміцнення кузова транспортного засобу. Ця додаткова вага зменшує загальну перевагу ефективності ЕД у порівнянні з ДВЗ.

Стиль водіння: ключовим фактором, що впливає на енергоспоживання ЕД, є те, наскільки рекуперативне гальмування може рекуперувати енергію. Рекуперативне гальмування є найефективнішим під час поступового уповільнення та спуску. Під час різкого гальмування менша частина енергії може бути рекуперована, тому потрібно використовувати механічні гальмівні колодки. Таким чином, за більш агресивних умов водіння перевага в ефективності ЕД над ДВЗ зменшується.

Допоміжні системи: ще одним фактором, що впливає на енергоефективність ЕД, є ступінь споживання електроенергії допоміжними системами (наприклад, опаленням і кондиціонуванням повітря). Для більшості допоміжних систем (включаючи кондиціонування повітря для охолодження) вплив на енергоспоживання в ЕД та ДВЗ є подібним.

Вплив на навколишнє середовище протягом життєвого циклу, пов'язаний зі стадією використання ЕД, є мінімальним під час експлуатації автомобіля, оскільки ЕД не викидає CO<sub>2</sub> або інших забруднювачів повітря через вихлопну трубу.

Проте виробництво електроенергії, що відбувається перед заряджанням транспортного засобу, може спричинити різноманітні наслідки для навколишнього середовища, включаючи видобуток, переробку, транспортування та спалювання палива, яке використовується для виробництва електроенергії.

Більшість практиків LCA повідомляють, що викиди багатьох поширених забруднювачів повітря (включаючи парникових газів, вуглеводнів, CO та NO<sub>x</sub>) від ЕД мають тенденцію бути нижчими, ніж ДВЗ на кілометр під час фази експлуатації життєвого циклу транспортного засобу (включаючи паливо). Це пов'язано з перевагами енергоефективності електродвигунів і включенням джерел електроенергії з низькою інтенсивністю викидів у генерацію електроенергії. Сценарій, за яким ЕД викидає більше парникових газів та інших забруднювачів повітря, ніж ДВЗ, полягає в тому, що транспортний засіб використовує електроенергію, отриману в основному з вугілля, як джерело палива.

Проте деякі інші поширені викиди забруднювачів повітря, зокрема ті, які більш поширені при спалюванні вугілля, ніж нафти (наприклад, SO<sub>x</sub>, пил, токсичні речовини), загалом оцінюються як більші в більшості сценаріїв для ЕД, ніж для ДВЗ через включення певного відсотка вугільної енергії в більшості змодельованих генераційних сумішей електроенергії [26].

Крім того, порівняльний вплив викидів забруднюючих речовин у атмосферу від ЕД і ДВЗ на здоров'я людини залежить від місця викидів. У міських центрах вуличні викиди NO<sub>x</sub>, пилу, вуглеводнів та інших забруднювачів від ДВЗ можуть призвести до високих локальних концентрацій у густонаселених районах. Навпаки, викиди від електростанцій, як правило, відбуваються далеко від густонаселених районів, сприяючи нижчим рівням фонових концентрацій на великих територіях.

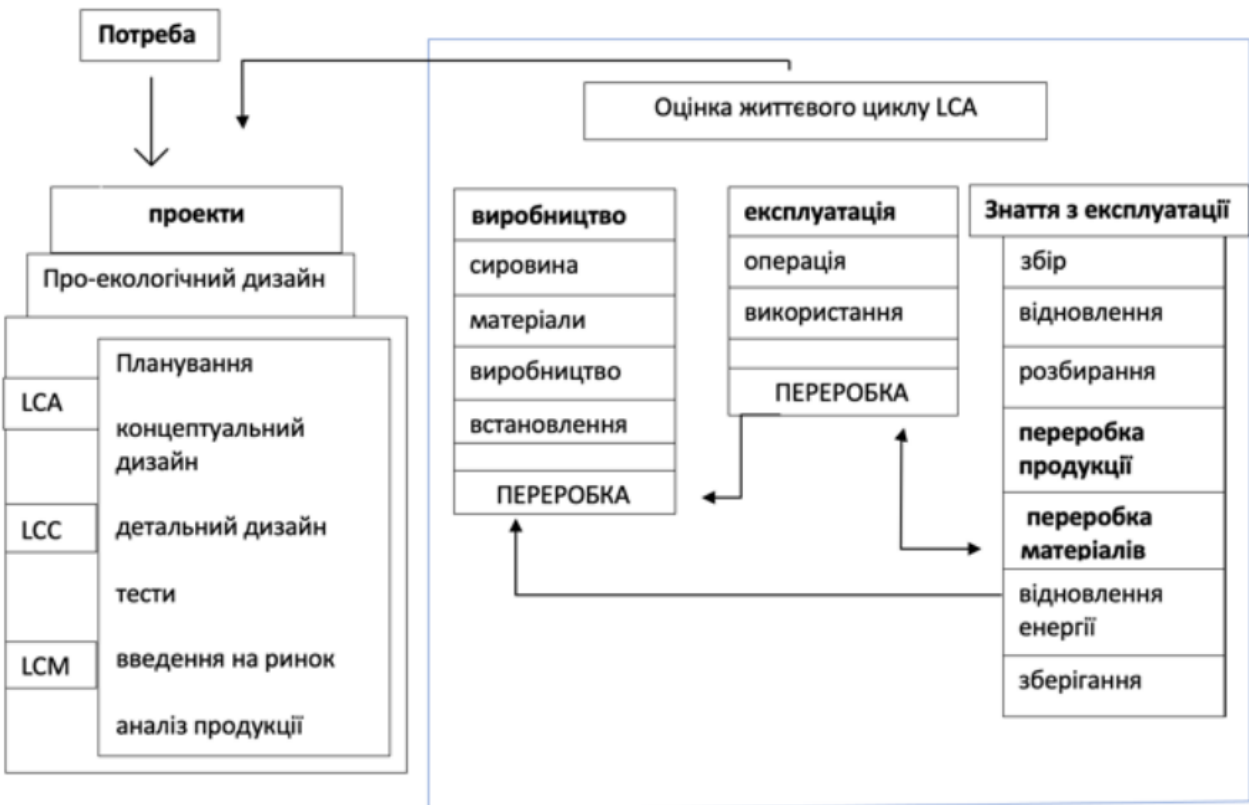
Екологічний вплив ЕД також включає потенційний вплив на наземні та водні екосистеми. Незважаючи на те, вплив ЕД на екосистеми менш поширені, ніж ДВЗ викидів парникових газів та інших забруднювачів повітря, ці наслідки все ж важливі.

Підводячи підсумки даного підрозділу, можна засвідчити, що вплив ЕД на навколишнє середовище під час використання подібний до ефекту ДВЗ для підкислення землі, оскільки викиди NO<sub>x</sub> і SO<sub>x</sub> від виробництва електроенергії на вугіллі врівноважують скорочення викидів NO<sub>x</sub> від відсутність викидів з вихлопної труби. Вплив ЕД і ДВЗ на наземну екотоксичність, ймовірно, буде подібним, оскільки основною причиною є вивільнення цинку, міді та титану внаслідок зносу шин і гальм, дані про відмінності яких обмежені.

Навпаки, наслідки евтрофікації прісної води та екотоксичності використовуваних ЕД зазвичай вищі, ніж у ДВЗ через викиди у воду від видобутку вугілля, необхідного для виробництва електроенергії [26].

## 2.8 Оцінка впливу на довкілля впродовж життєвих циклів двигунів внутрішнього згорання та електродвигунів

Тип і ступінь впливу на навколишнє середовище, пов'язаного з життєвими циклами ЕД і ДВЗ, можуть значно відрізнятися залежно від типу транспортного засобу, типу палива та стадії життєвого циклу. У цьому підрозділі наведено підсумок потенційних впливів ЕД та ДВЗ на навколишнє середовище протягом життєвого циклу, які послідовно класифіковані за стадіями життєвого циклу (рис.2.3).



**Рисунок 2.3 – Життєвий цикл двигуна внутрішнього згорання**

Добування та переробка сировини. Як правило, дослідження життєвого циклу ЕД та ДВЗ поєднують вплив, пов'язаний із видобутком та обробкою сировини, із пізнішою стадією виробництва та складання транспортних засобів; як результат, кількісна інформація, що стосується цього першого етапу, обмежена [27].

Однак видобуток і переробка сировини, як правило, є ресурсоємною, часто потребує великих обсягів води та енергії та викидів у повітря та воду. Для ДВЗ специфічні потенційні впливи на навколишнє середовище, пов'язані з видобутком і переробкою сировини, пов'язані в першу чергу з виробництвом і переробкою нафти в рамках життєвого циклу палива. Для ЕД специфічні потенційні впливи на навколишнє середовище, пов'язані з видобутком і переробкою сировини, пов'язані з видобутком і переробкою палива для виробництва електроенергії в рамках життєвого циклу палива, видобуток і переробка корисних копалин для виробництва акумуляторів протягом життєвого циклу транспортного засобу. Хоча існують ймовірні впливи, пов'язані з видобутком матеріалів для інших компонентів транспортного засобу (наприклад, металу для рами та кузова транспортного засобу), цей підрозділ зосереджується на тих компонентах ДВЗ або ЕД, які є унікальними для кожного типу транспортного засобу та які є потенційно матеріально або енергоємними.

Фактори, що впливають на обробку сировини. Ряд характеристик може вплинути на результати життєвого циклу для стадії сировини. Крім типу та розміру транспортного засобу, інші фактори включають склад матеріалу — як кузова транспортного засобу, так і будь-яких акумуляторів — і місце, звідки ці матеріали походять.

Оцінка впливу на навколишнє середовище окремих матеріалів, специфічних для ЕД. Літій-іонні акумулятори виготовляються з найважливіших мінералів, зокрема кобальту, графіту та літію. За оцінками одного дослідження, етапи видобутку та переробки найважливіших мінералів спричиняють приблизно 20% загальних викидів парникових газів від виробництва батарей. Викиди парникових газів від видобутку та переробки залежать від джерела палива (наприклад, електроенергії, тепла або викопного палива) для споживання енергії під час цих видів діяльності. За оцінками одного дослідження, потенційні токсичні наслідки фази виробництва для людини в 2,2-3,3 рази більші для ЕД, ніж ДВЗ. «Виробнича



фаза» дослідження включає видобуток сировини, обробку та виготовлення транспортних засобів; однак токсичні наслідки в основному пов'язані з утилізацією хвостів. Ефекти токсичності інших фаз залежать від джерела електроенергії на стадії використання ЕД. Діяльність, пов'язана з видобутком корисних копалин, може призвести до викидів парникових газів, викидів твердих частинок, викидів NO<sub>x</sub> та інших забруднювачів повітря внаслідок спалювання викопного палива для роботи обладнання для видобутку корисних копалин або для виробництва тепла чи електроенергії для обробки. Крім того, деякі дослідження викликали занепокоєння, пов'язані з видобутком корисних копалин, а також біоаккумуляцією та токсичністю мінералів серед водних видів [28].

Виробництво транспортних засобів та акумуляторів. Друга стадія життєвого циклу обладнання – це виготовлення та складання автомобіля та акумулятора. Хоча багато частин транспортного засобу не обов'язково відрізняються між ЕД і ДВЗ, кілька важливих компонентів відрізняють технології, включно з компонентами для накопичення енергії, руху та гальмування. Загалом, компоненти для кузова транспортного засобу та допоміжних систем не відрізняються, і виробники можуть скористатися перевагами існуючих виробничих ліній, щоб отримати вигоду від економії на масштабі; однак деякі моделі містять легкі матеріали, щоб протидіяти впливу важких акумуляторів. Виробництво акумуляторів, інших компонентів, специфічних для ЕД, і використання альтернативних матеріалів має інший вплив на навколишнє середовище, ніж традиційне виробництво ДВЗ. Під час виробничого процесу значна частина різного профілю впливу на навколишнє середовище технологій ЕД пов'язана з більшим попитом на електроенергію та інші види енергії, необхідні для виробництва акумуляторів.

Чинники, що впливають на стадію виробництва ЕД. Ряд характеристик, окрім суміші виробництва електроенергії, яка використовується під час виробництва, може вплинути на результати життєвого циклу для виробництва автомобіля. До них відносяться маса транспортного засобу, трансмісія, склад матеріалів компонентів,

витрата палива та відстань протягом усього терміну служби. Загалом, чим більший транспортний засіб, тим більше матеріалів потрібно для транспортного засобу та більше енергії потрібно на різних етапах життєвого циклу. Зміни в складі матеріалу можуть збільшити споживання енергії під час виробництва, але можуть зменшити вагу автомобіля та зменшити споживання палива під час фази використання. Чим довший пробіг автомобіля та батареї, тим менший вплив мають викиди, пов'язані з виробництвом, і тим більший вплив мають викиди під час використання на загальний вплив життєвого циклу. Деякі додаткові характеристики, що впливають на життєвий цикл виробництва ЕД, включають розмір батареї, хімічний склад двигуна та конфігурацію, а також виробничу ефективність. Різні хімічні елементи двигунів мають різні робочі характеристики, причому деякі двигуни вимагають більш енергоємних процесів виробництва або матеріалів. Виробники, які можуть скористатися ефектом масштабу та використовувати повну потужність виробничих підприємств, можуть зменшити споживання енергії на вироблений автомобіль або акумулятор.

Оцінка впливу на навколишнє середовище виробництва акумуляторів. Багато технологій життєвого циклу ЕД виявляють, що виробництво акумуляторів потенційно відповідає за найбільшу частку споживання енергії та подальший вплив на навколишнє середовище, який виникає на етапі виробництва. Оцінки коливаються від 10% до 75% виробничої енергії та від 10% до 70% виробничих викидів парникових газів, залежно від обраного підходу та джерела виробництва електроенергії (наприклад, вугілля, природний газ або відновлювана енергія). Що стосується інших компонентів ЕД, життєвий цикл складає виробництво електродвигунів у 7–8% від загальних викидів, пов'язаних із виробництвом (включаючи видобуток та переробку сировини) через високий вміст міді та алюмінію; а від виробництва силових агрегатів – 16-18% через високий вміст алюмінію [29].

Етапи виробництва літій-іонних акумуляторів включають підготовку анодних і катодних матеріалів, виготовлення елементів і збірку кількох елементів в акумуляторну батарею. Виробництво елементів живлення здебільшого відбувається в Азії ( Японія та Південна Корея ). Збірка упаковки є менш складним та енергоємним процесом [30].

Закінчення терміну експлуатації транспортного засобу. Останнім етапом життєвого циклу транспортного засобу є кінець життя. Ця стадія може включати повторне використання та переробку компонентів транспортного засобу на додаток до утилізації. З точки зору процесу, обробка транспортних засобів, що вийшли з експлуатації, починається зі зняття з обліку та вивезення. Потім автомобіль розбирають. Компоненти, що містять небезпечні матеріали, такі як батареї та холодильні гази, збираються, потім збираються вторинна переробка та цінні матеріали для вторинного використання, включаючи двигуни та шини. Залишені після розбирання корпуси транспортних засобів потрапляють у подрібнювачі. Подрібнені матеріали відокремлюють, а згодом залізо відокремлюють від кольорових матеріалів.

Фактори, що впливають на кінець життєвого циклу. Фактори, які можуть вплинути на результати завершення життєвого циклу, включають спосіб утилізації матеріалів, а також те, чи використовуються матеріали повторно або переробляються. Розробка компонентів або вибір хімічного складу батареї для полегшення розбирання, повторного використання чи переробки може загалом зменшити потенційний вплив. Однак, для цілей моделювання, практики життєвого циклу зазвичай розподіляють наслідки таких змін на наступний транспортний засіб, який отримав повторно використані або перероблені компоненти.

Оцінка впливу на навколишнє середовище управління після закінчення терміну служби. Вплив на навколишнє середовище на етапі завершення життєвого циклу — як для ЕД, так і для ДВЗ — становить менший відсоток у загальному впливі на навколишнє середовище життєвого циклу, ніж на інших стадіях. Існує

невизначеність щодо даних про викиди в кінці життєвого циклу, і потенціал для повторного використання та переробки компонентів, включно з електро двигунами, може ще більше змінити внески життєвого циклу. У міру збільшення частки ринку ЕД загальний життєвий цикл ринку транспортних засобів зміщується від паливомісткого портфеля до матеріаломісткого портфеля. Дехто вважає, що завдяки цій зміні ефективні процеси переробки для відновлення матеріалів стають все більш важливими. Інші шукають стаціонарні пристрої зберігання енергії «другого життя» для ЕД, термін їх корисного використання яких вичерпався, для застосування в автомобілях. Переробка може зменшити ресурсоемність ланцюжка поставок сировини. Наприклад, первинне виробництво алюмінію в 20 разів більш енергоємне, ніж виробництво алюмінієвого брухту.

## **2.9 Характеристика автотранспортних підприємств Дніпропетровської області та їх вплив на компоненти довкілля**

Всі підприємства автотранспорту Дніпропетровської області незалежно від їхньої організаційно-правової форми, відомчої приналежності й територіального розташування розділяються на 3 групи:

- 1) Автотранспортні й авто-експлуатаційні підприємства
- 2) Авторемонтні підприємства
- 3) Автообслугові підприємства

Автотранспортні підприємств це підприємства галузі що займаються перевезенням вантажів або пасажирів і, крім цього, що виконують комплекс робіт з підтримки рухомого складу в робочому стані зберігання, технічна обслуговування, ремонт). У зв'язку з цим АТП є комплексним підприємством.

До початку повномасштабного вторгнення на території області знаходилось більше 50 АТП підприємств.

Огляд і аналіз інформаційних джерел з проблем екологізації автотранспортного комплексу дозволяє зробити наступні висновки:

- автомобільний транспорт є основним забруднювачем територій міст і міських агломерацій і, зокрема, окремих локальних територій;

- проблеми оцінки ступеня впливу транспорту на навколишнє середовище досліджені недостатньо, підходи, що існують, в основному унікальні за критерієм застосованості;

- не виявлено досліджень взаємодії автомобілів у транспортному потоці і пов'язаних із цим змін кількості викидів шкідливих речовин;

- недостатньо досліджена проблема застосування критеріїв мінімізації шкідливого впливу при оптимізації перевезень;

- недостатньо пророблена законодавча база в галузі охорони навколишнього середовища при функціонуванні транспортного комплексу;

- відсутня система економічного регулювання екологічно спрямованої діяльності автоперевізників;

- існуюче методичне забезпечення для вибору оптимального маршруту руху засновано на мінімізації витрат у процесі перевезення вантажів та пасажирів, однак не представлена адекватна економічна оцінка ступеня забруднення навколишнього середовища при функціонуванні парку вантажних автомобілів та автобусів.

В ряді наукових праць запропоновано перелік узагальнених заходів, що дозволяють знизити вплив транспорту на навколишнє середовище, а саме:

- вдосконалення нормативно-правової бази для забезпечення екологічної безпеки (сталого розвитку) промисловості та транспорту;

- створення екологічно безпечних конструкцій об'єктів транспорту, експлуатаційних, конструкційних, будівельних матеріалів, технологій виробництва;

- розробка ресурсозберігаючих технологій захисту навколишнього середовища від транспортних забруднень;

- розробка алгоритмів і технічних засобів моніторингу навколишнього середовища на транспортних об'єктах і прилягаючих до них територіях, методів

управління транспортними потоками для збільшення пропускної здатності дорожньої та вулично-дорожньої мережі у великих містах;

- вдосконалення системи управління природоохоронною діяльністю на транспорті.

Таким чином, виходить, що проблеми та шляхи їх розв'язання лежать в області раціонального споживання природних ресурсів, захисту навколишнього середовища від негативного впливу автотранспортного комплексу.

З метою реалізації вищезазначеного підходу в умовах обмеженості технічних аспектів вирішення проблем екологічної безпеки автотранспорту для локальної території (регіон, міська агломерація, район мегаполіса, місто), на основі проведеного аналізу можуть бути сформульовані наступні завдання з ефективного зниження шкідливого впливу на населення регіону:

- розробка математичної моделі взаємодії автомобілів у потоці на основі імовірнісного підходу до характеристик транспортного потоку на вулично-дорожній мережі з відомими параметрами її елементів;

- оцінка енерго-екологічних характеристик транспортних потоків на основі розробленої моделі взаємодії;

- вдосконалення методів оптимізації автомобільних перевезень за екологічним критерієм;

- оцінка економічної ефективності варіантів оптимізації перевезень;

- розробка імітаційної моделі функціонування парку рухомого складу і оперативного управління процесом перевезень при різних конфігураціях вулично-дорожньої мережі і режимів руху;

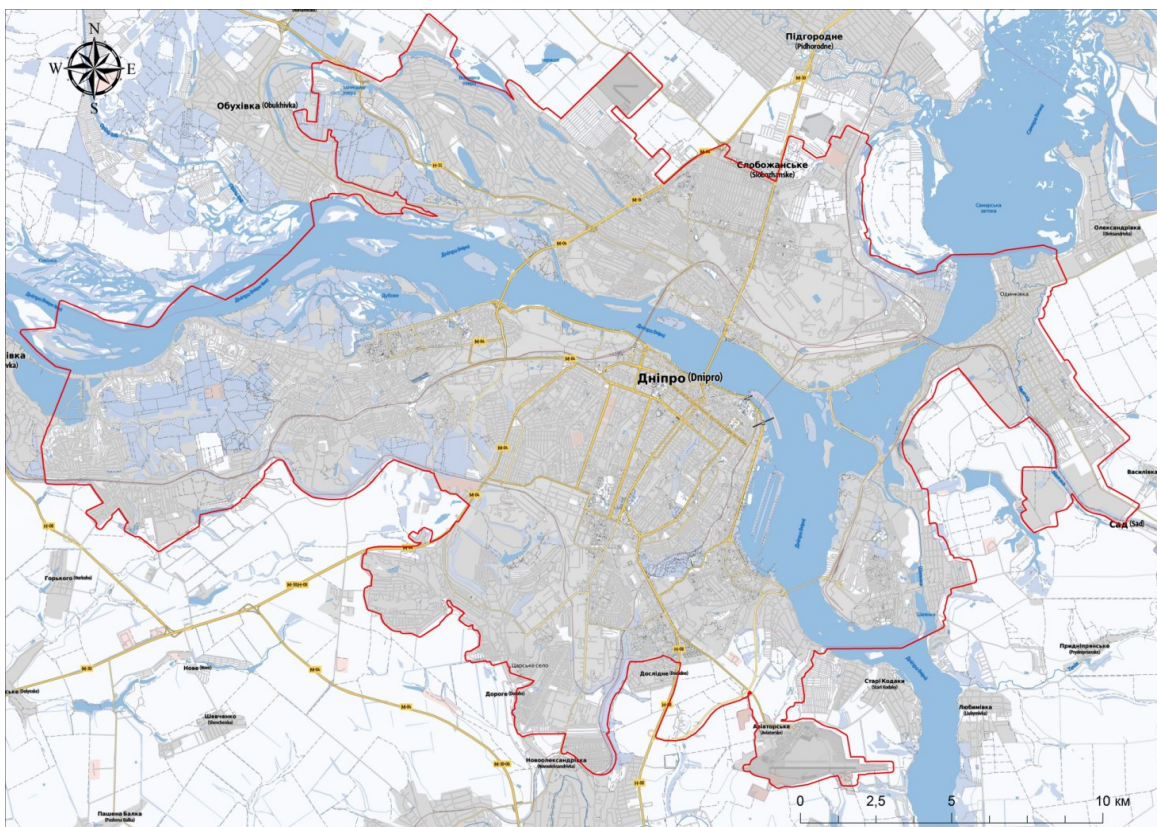
- розробка нової тарифної політики для перевізників, оподаткування, штрафи та заохочення перевізників, для вдосконалювання організації та технології процесів доставки вантажів та пасажирів;

- встановлення податкових пільг для підприємств, що активізують природоохоронну діяльність

## 2.10 Загальна характеристика забруднення атмосферного повітря пересувними джерелами у м. Дніпро

Вагомий внесок в забруднення атмосферного повітря вносить автомобільний транспорт. Обсяг забруднень складає до 50,5% від загального обсягу викидів. Причина полягає в обмеженості пропускної здатності вуличної мережі міста, що спричинює скупчення транспорту, знижує інтенсивність руху та за відсутності об'їзної дороги у м. Дніпро, спричинює рух транзитного транспорту через місто. Ускладнене становище фіксується на основних проспектах та вулицях міста, особливо у його центральній частині.

На рис. 2.4 представлено електронну мапу основних транспортних магістралей м. Дніпро, отриману з ресурсу *Open Street Map*.



**Рисунок 2.4– схема автошляхів м. Дніпро**

Загальні рівні забруднення в межах зон впливу 20 – 50 м магістральної вуличної мережі фіксується в межах 1–3 ГДК. Найвищі навантаження мають загальноміські та районні магістралі.

А саме: проспекти: О. Поля; Гагаріна, Слобожанський, Д. Яворницького; вулиці: Київська, Криворізьке шосе, Криворізька, Тітова, Космічна, Донецьке шосе, Каштанова, Курсантська, М. Грушевського, Б. Хмельницького, Запорізьке шосе та набережні: Заводська, Січеславська, Перемоги.

Більш ускладненою є ситуація у місцях пониженого рельєфу, перетину магістралей вантажним транспортом місцевого та транзитного призначення, наявністю перехресть зі жвавим пішохідним рухом. Це спричинює зниження швидкості руху автомобілів, їх скупчення та затори, а відповідно збільшення викидів у атмосферне повітря.

Аналіз даних Екологічного паспорту м. Дніпра за період 2016–2018 рр показав, що при складанні екологічного паспорту не враховується кількість транспортних засобів, що зареєстровані у місті та регіоні. При цьому зазначається, що від 40 до 50,5% викидів приходить на автомобільний транспорт. З 2015 року в щорічному Екологічному паспорті Дніпропетровської області та Екологічному паспорті м. Дніпро інформація щодо викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря від пересувних джерел із зазначенням впливу автомобільного транспорту відсутня.

В Екологічному паспорті Дніпропетровської області за 2016 рік зазначено, що обсяги забруднюючих речовин за 2015 рік від автомобільного транспорту в атмосферне повітря склали 39975,5 т, з них автотранспорт суб'єктів господарської діяльності – 13874,7 т, автотранспорт власників – 26100,7 т [4] .

З 2016 року в Екологічному паспорті м. Дніпро відсутня інформація щодо викидів забруднюючих речовин у атмосферне повітря від пересувних джерел забруднення. При цьому в Екологічному паспорті м. Дніпро за 2017, 2018 роки запроваджена Характеристика забруднення атмосферного повітря біля транспортних магістралей з використанням даних замірів у 2017 році на 9 ділянках вздовж автомагістралей, а у 2018 році на 12 ділянках. У звітах зазначено вимірювання таких домішок як діоксид азоту та оксиди азоту, ангідрид сірчистий,



вуглецю оксид, пил недиференційований. Заміри показали, що разова концентрація зазначених речовин знаходиться на рівні ГДК, в деяких випадках мають місце незначні перевищення [2].

Загальна кількість зареєстрованих транспортних засобів за звітний період 2016–2020 року збільшилася з 40816 од. до 58092 од. Кількість транспортних засобів, що належать юридичним особам збільшилася на 16,5%, Кількість транспортних засобів, що належать фізичним особам збільшилася на 31,9% [6].

З 2016 року у м. Дніпро запроваджена Програма «Безпечне місто». Програма включає створення Системи відео спостереження (1200 камер) та 2 центри моніторингу – в Головному управлінні національної поліції в Дніпропетровській області та в Дніпропетровському обласному управлінні СБУ.

Одним із напрямків роботи Програми «Безпечне місто» є спостереження за дорожньою ситуацією на автошляхах міста. Це дає можливість визначати кількість транспорту та його види за певний період, інтенсивність і щільність його руху [7].

Таблиця 2.3 – моніторинг дорожньої ситуації на перехрестях з інтенсивним рухом транспорту та скупченням людей

№ п/п	Місце розташування	Кількість камер	Характеристика перехрестя
1.	Перехрестя просп. О.Поля та просп. Пушкіна	5	Жвавий рух пішоходів до закладів навчання, ТРК, офісів, адміністративних закладів, парку та скверу. Розв'язка громадського транспорту за різними напрямками.
2.	Перехрестя просп. Богдана Хмельницького та просп. Пилипа Орлика	4	Скупчення транспорту у години-пік, адміністративні заклади, офіси, багатоповерхові будинки, громадський транспорт
3.	Перехрестя Запорізького шосе та просп. Гагаріна (кільце, Підстанція)	8	Інтенсивний рух автомобільного, громадського міського та міжміського транспорту. Скупчення людей: ТРК, магазини, заклади харчування, офіси,

			заклади навчання. Розв'язка громадського транспорту
4.	Перехрестя вул. Панаса Мирного та просп. Свободи	5	Інтенсивний рух автомобільного, громадського та крупно габаритного транзитного транспорту. Адміністративні будівлі, школа, рекреаційні зони.
5.	Вокзальна площа	7	Транспортна розв'язка громадського транспорту за напрямком руху на лівий берег та правобережжя, школа, заклади харчування, магазини. Скупчення транспорту, особливо маршруток в режимі очікування пасажирів та відстою
6.	Перехрестя вул. Харківської та вул. Князя Володимира Великого (район ТЦ "«МостСіті"»)	3	Активний рух пішоходів до декількох ТРЦ, офісів, магазинів, закладів харчування. Кінцева зупинка маршрутних таксі.
7.	Перехрестя вул. Макарова та вул. Криворізької	4	Інтенсивний рух автомобілів. Розв'язка громадського транспорту. Активний рух вантажного транспорту протягом доби. Ринок, торгівельні центри, дитяча лікарня.
8.	Перехрестя просп. Богдана Хмельницького та вул. Шинної	4	Транспортна розв'язка громадського транспорту, рух великогабаритного вантажного транспорту. ТРЦ, магазини, офіси, адміністративні заклади, ринок
9.	Перехрестя вул. Макарова та вул. Титова	3	Транспортна розв'язка громадського транспорту, рух легкового транспорту. ТРЦ, магазини, офіси, учбові заклади, лікарня і поліклініка
10.	Просп. Героїв буд. № 5 (майданчик біля ТЦ "Кодак" та ринку "Кодак")	2	Рух автомобільного транспорту. Ринки, ТРЦ, магазини, заклади харчування. Щільна забудова багатоповерхівками, активний рух пішоходів.
	Або: Перехрестя просп. Героїв та бульв. Слави	4	Додається зона відпочинку дорослих і дітей

11.	Площа біля пам'ятника Генералу Пушкіну (танк) та біля встановленого Державного прапору	1	Зупинки громадського транспорту. Активно використовується пішохідна зона: навчальні заклади (школа, ВУЗ, гуртожитки), обласна лікарня Мечникова, музеї, сквер, зони відпочинку.
12.	Перехрестя Донецького шосе, вул. Шолохова та вул. Висоцького	4	Транспортна розв'язка громадського транспорту для декількох спальних районів міста, рух великогабаритного вантажного транспорту. Продовольчі супермаркети, магазини, школи, ринки.
13.	Перехрестя Донецького шосе та вул. Березинської	4	Перетин руху транспорту до щільно заселених спальних районів, ТРЦ, ринки. Зупинки громадського транспорту. Жвавий рух вантажного транспорту
14.	Перехрестя просп. Слобожанського та вул. Байкальської	4	Рух автомобільного транспорту: легкового та вантажного. Інститут гастроентерології, лікарня, зони відпочинку. Часті затримки автомобілів на світлофорі.
15.	Вул. Маршала Малиновського (круговий рух - кільце) або: Вул. Маршала Малиновського, 2 (дитячий майданчик по вул. Малиновського)	4 4	Рух автомобільного транспорту. ТРЦ, магазини, заклади харчування, активний рух пішоходів до зони відпочинку  Місце відпочинку

Таким чином, зробити висновок про обсяги викидів від пересувних джерел у м. Дніпро наразі неможна через відсутність даних з офіційних джерел. Проте можна отримати приблизну оцінку викидів з використанням інформації з сервісу програми «Безпечне місто» за результатами підрахунку кількості автомобілів [6, 8].

Наразі відсутні дані про статистичні характеристики концентрацій забруднювальних речовин вздовж доріг через відсутність організації спостережень за викидами від пересувних джерел. Отже охарактеризувати вплив автотранспорту

на забруднення повітря можливо лише опосередковано, наприклад за кількістю транспортних засобів та аналізу інтенсивності руху на основних автошляхах (рис. 1.1).

Відповідно до інформації Головного сервісного центру Міністерства внутрішніх справ України кількість зареєстрованих транспортних засобів у м. Дніпро щорічно збільшується. Дані щодо кількості транспортних одиниць надано у таблиці «Кількість зареєстрованих транспортних засобів» (таблиця. 2.4).

Таблиця 2.4 – Кількість зареєстрованих транспортних засобів м. Дніпро

Значення	2016 рік	2017 рік	2018 рік	2019 рік	2020 рік
Кількість зареєстрованих транспортних засобів, од з них такі, що належать:	40816	40775	43608	59610	58092
юридичним особам, од	6941	7345	7107	8165	8316
фізичним особам, од.	33875	33430	36501	51445	49 776

Таким чином, загальна кількість зареєстрованих транспортних засобів за період 2016—2020 року збільшилася з 40816 од. до 58092 од.. Кількість транспортних засобів, що належать юридичним особам збільшилася на 16,5%, Кількість транспортних засобів, що належать фізичним особам збільшилася на 31,9%. Отже, при визначенні впливу автомобільного транспорту необхідно щорічно аналізувати інформацію про транспортні потоки, визначаючи інтенсивність руху, середню швидкість руху та долю вантажного, громадського та легкового транспорту.

## ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі було вирішено актуальну задачу щодо оцінки впливу на довкілля від експлуатації автомобільних двигунів різних типів в умовах Дніпропетровської області.

Проблеми із забрудненням навколишнього середовища від автотранспорту стоять актуальними в Україні на сьогоднішній день. Автотранспорт має негативні фактори впливу на всі частини навколишнього середовища.

В атмосферу під час спалювання різних видів палива потрапляють нетоксичні гази ( $\text{CO}_2$  та  $\text{H}_2\text{O}$ ) і токсичні гази (оксиди сірки, азоту, вуглецю, сажа, вуглеводні та сполуки свинцю).

Основним джерелом через яке дані забруднювачі потрапляють в атмосферне повітря є автотранспорт. За останні роки кількість автотранспорту тільки росте, відповідно і збільшується об'єм викинутих газів. Небезпечними викидами з двигунів внутрішнього згорання є як і відпрацьовані гази так і картерні гази. 45%  $\text{C}_n\text{H}_m$  надходить в атмосферне повітря саме від картерних газів та їх парів.

Загальна кількість зареєстрованих транспортних засобів в Дніпропетровській області за період 2016–2020 року збільшилася з 40816 од. до 58092 од. Кількість транспортних засобів, що належать юридичним особам збільшилася на 16,5%, Кількість транспортних засобів, що належать фізичним особам збільшилася на 31,9%.

Визначено, що 85% відсотків від всього автотранспорту Дніпропетровської області займають легкові автомобілі. До вантажних належить 12% і всі інші- пасажирські автобуси.

Одним із варіантів вирішення проблеми пов'язані з автотранспортом, що працює на двигуні внутрішнього згорання є перехід на електромобілі.

Під час даної дипломної роботи був проведений огляд літератури, а саме був проаналізований вплив автотранспорту на навколишнє середовище, вплив процесу згорання вуглеводних палив на навколишнє середовище. Були порівнянні процеси

виробництва двигунів внутрішнього згорання та електродвигунів та зроблена оцінка всіх негативних факторів, що можуть вплинути на здоров'я людини та стан навколишнього середовища.

Була розглянута будова та робочі цикли двигунів внутрішнього згорання. Проаналізовано негативні ефекти вихлопних газів на здоров'я людини. Були розглянуті процеси зняття ДВЗ з експлуатації та потенційна небезпека під час цього процесу. Вивчені перспективи використання електродвигунів та їх потенційна утилізація після закінчення їх «життєвого циклу».

Були проведені порівняльні характеристик роботи двигунів внутрішнього згорання та електричних двигунів на навколишнє середовище. Було зроблено аналіз впливу двигунів внутрішнього згорання та електричних двигунів на навколишнє середовище завдяки геоінформаційним системам. Також було розглянуто як дані системи працюють на Україні. Вивчений життєвий цикл двигунів внутрішнього згорання та електродвигунів. Проведена порівняльна характеристика.

Після написання даної роботи були зроблені наступні висновки:

- Двигуни внутрішнього згорання завдають більшого негативного ефекту навколишньому середовищу, під час їх експлуатації (викиди в атмосферне повітря);
- Електродвигуни завдають більше шкоди навколишньому середовищу, під час процесу виробництва самих двигунів.

Було підсумовано, що при правильній утилізації електро двигунів, вони є більш екологічно чистим для навколишнього середовища.

Результати дипломної роботи можуть бути використаними для поліпшення екологічності технологій виготовлення та утилізації двигунів та впровадження «еко-технологій» при життєвому циклі двигунів для території Дніпропетровської області та інших регіонів України.

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Архіпова Г. І. Аналіз впливу відпрацьованих автомобільних газів на стан атмосферного повітря в густонаселених районах / Вісник НАУ. – 2009, № 1;
2. Русіло П.О., Костюк В.В., Афонін В.М. Вплив на довкілля автомобільного транспорту на всіх стадіях його життєвого циклу// Науковий вісник НЛТУ України. — 2008. — Вип.18.3. — С. 85—89;
3. Charbonnier, M. A.; Andres, M. A comparative study of gasoline and diesel passenger car emissions under similar conditions of use. SAE Technical Papers 1993, DOI: 10.4271/930779;
4. Ma, H.; Balthasar, F.; Tait, N.; Riera-Palou, X.; Harrison, A. A new comparison between the life cycle greenhouse gas emissions of battery electric vehicles and internal combustion vehicles. Energy Policy 2012, 44, 160-173, DOI: 10.1016/j.enpol.2012.01.034;
5. Soltic, P.; Bach, C. CO2 reduction and cost efficiency potential of natural gas hybrid passenger cars. SAE Technical Papers 2011;
6. Charbonnier, M. A.; Andres, M. A comparative study of gasoline and diesel passenger car emissions under similar conditions of use. SAE Technical Papers 1993, DOI: 10.4271/930779;
7. Luk, J. M.; Saville, B. A.; MacLean, H. L. Life cycle air emissions impacts and ownership costs of light-duty vehicles using natural gas as a primary energy source. Environmental Science and Technology 2015, 49 (8), 5151-5160, DOI: 10.1021/es5045387;
8. Dustmann, C.-H. Advances in ZEBRA batteries. Journal of Power Sources 2004, 127 (1), 85- 92, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2003.09.039>;
9. Casals, L. C.; García, B. A.; Aguesse, F.; Iturrondobeitia, A. Second life of electric vehicle batteries: relation between materials degradation and environmental impact. International Journal of Life Cycle Assessment 2017, 22 (1), 82-93, DOI: 10.1007/s11367-015-0918-3;

10. Crowl, Daniel A. *Understanding Explosions*. New York: Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers, 2003;
11. Niessen, Walter, R. *Combustion and Incineration Processes*. New York: Marcel Dekker, 2002;
12. Politzer, Peter, and Jane S. Murray, eds. *Energetic Materials*. Amsterdam, Netherlands, and Boston, MA: Elsevier, 2003;
13. Savary C.C., Bellamri N., Morzadec C., et al. Long term exposure to environmental concentrations of diesel exhaust particles does not impact the phenotype of human bronchial epithelial cells. *Toxicology In Vitro*. doi:10.1016/j.tiv.2018.06.014. 2018;
14. Shears R.K., Jacques L.C., Naylor G., et al. Exposure to diesel exhaust particles increases susceptibility to invasive pneumococcal disease. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology*. doi:10.1016/j.jaci.2019.11.039. 2020;
15. Регіональна доповідь "Про стан навколишнього природного середовища Дніпропетровської області в 2019 році". Департамент екології та природних ресурсів Дніпропетровської ОДА. 321с;
16. Стратегічний план розвитку автомобільного транспорту України на період до 2020 року [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://www.insat.org.ua/files/project/project2020\\_part1.doc](http://www.insat.org.ua/files/project/project2020_part1.doc).
17. Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.Є., Тимченко І.І. *Автомобільні двигуни: Підручник*. К.: Арістей, 2014;
18. Union of Concerned Scientists. *What Are Electric Cars?* Available online: <https://www.ucsusa.org/resources/what-are-electric-cars> (accessed on 17 July 2020);
19. Olson, C.; Lenzmann, F. The social and economic consequences of the fossil fuel supply chain. *MRS Energy Sustainable* 2016, 3, 14;
20. Chłopek, Z.: Testing of hazards to the environment caused by particulate matter during use of vehicles. *Eksplatacja i Niezawodnosc Maint. Reliab.* 2, 160–170. – 2012;



21. European Union emission inventory report 1990–2017 under the UNECE convention on long-range transboundary air pollution (LRTAP) 1994–2019. EEA Report No 08/2019;
22. U.S. Energy Information Administration, [https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=gasoline\\_environment](https://www.eia.gov/energyexplained/index.php?page=gasoline_environment);
23. U.S. Environmental Protection Agency, Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks 1990–2018, EPA430-R-20-002, April 13, 2020;
24. United Nations Framework Convention on Climate Change (U.S. Treaty Number: 102-38.-1992);
25. U.S. Department of Energy, "All-Electric Vehicles," <https://www.fueleconomy.gov/feg/evtech.shtml>.-2020;
26. Egede P., Environmental Assessment of Lightweight Electric Vehicles .Springer International Publishing.-2017;
27. Sullivan J., Kelly J., and Elgowainy A., Vehicle Materials: Material Composition of Powertrain Systems, Argonne National Laboratory .-2018.- p. 12;
28. Kim H.C., et al., "Cradle-to-Gate Emissions from a Commercial Electric Vehicle Li-Ion Battery: A Comparative Analysis," Environmental Science and Technology, vol. 50.-2016.- pp. 7715-7722;
29. Nordelöf A., Messagie M., Tillman A., Söderman M.L., Van Mierlo J., "Environmental Impacts of Hybrid, Plug-In Hybrid, and Battery Electric Vehicles—What Can We Learn from Life Cycle Assessment?" International Journal of Life Cycle Assessment, vol. 19.-2014.- pp. 1866–1890;
30. According to EEA Report No. 13/2018, p. 23, in addition to Japan and South Korea, China also produces battery packs. As China has a relatively large BEV market compared with other countries, China’s battery packs may be directed to China’s domestic BEV market.