



ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»



КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

«Дослідження шляхів зниження токсичності відпрацьованих газів бензинових автомобільних двигунів у ДП «Кіровоградський облавтодор» у ВАТ ДАК «Автомобільні дороги України» філія «Кіровоградський райавтодор» м. Кропивницький»

Виконав:

магістрант групи АТ-23М Ярослав ДЕНИСЕНКО
(шифр групи) (підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник:

канд. техн. наук, доц. Руслан ОСІН
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри:

канд. техн. наук, доц. Сергій МАГОПЕЦЬ
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2024 р.

Рецензент:

_____, _____
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2024 р.

Кропивницький – 2024 р.

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)

Галузь знань: 27 «Транспорт»

Спеціальність: 274 «Автомобільний транспорт»

Освітньо-професійна програма: «Автомобільний транспорт»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри «Експлуатація та ремонт машин»

_____ Сергій МАГОПЕЦЬ
«__» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ**

_____ Денисенку Ярославу Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Дослідження шляхів зниження токсичності відпрацьованих газів бензинових автомобільних двигунів у ДП «Кіровоградський облавтодор» у ВАТ ДАК «Автомобільні дороги України» філія «Кіровоградський райавтодор» м. Кропивницький»

керівник роботи Осін Руслан Анатолійович, канд. техн. наук. доц.,

(прізвище, ім'я, по батькові)

(науковий ступінь)

(вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «__» _____ 20__ року № _____

2. Строк подання здобувачем роботи «__» _____ 20__ р.

3. Вихідні дані до роботи

матеріали переддипломної практики, літературні джерела наукової інформації, патенти, нормативні акти з технічного обслуговування автомобілів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

4.1 Розділ 1 Дослідження за тематикою магістерської роботи

4.2 Розділ 2 Методика експериментальних досліджень

4.3 Розділ 3 Результати експериментальних досліджень

5. Перелік ілюстративного матеріалу комплект

1. Мета, об'єкт та задачі досліджень; 2. Аналіз складу відпрацьованих газів автомобільних ДВЗ; 3. Відомі методи зниження токсичності відпрацьованих газів; 4. Методика та обладнання проведення досліджень; 5. Результати експериментальних досліджень.

ГРАФІК ВИКОНАННЯ ЕТАПІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1	25.10.2024	
2	Розділ 2	15.11.2024	
3	Розділ 3	5.12.2024	
4	Розділ 4	8.12.2024	
5	Оформлення ілюстративного матеріалу	15.12.2024	

Магістрант _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис) (ім'я та прізвище)

Реферат

Магістерська робота виконана на базі підприємства ВАТ ДАК «Автомобільні дороги України» ДП «Кіровоградський облавтодор» філії «Кіровоградський райавтодор» м. Кропивницький.

Робота складається з 55 аркушів пояснювальної записки.

В роботі проаналізовано проблему токсичності автомобільних двигунів, етапи нормування токсичності відпрацьованих газів, встановлено токсичні компоненти, що містяться у відпрацьованих газах, досліджено напрямки підвищення екологічності автомобільних двигунів.

Запропоновано з метою зниження токсичності відпрацьованих газів бензинових двигунів використовувати організацію процесу сумішоутворення двигунів з безпосереднім впорскуванням бензину, при якому створюється зона збагаченої суміші біля стінок камери згорання та гільзи циліндрів, впорскування та запалювання паливо-повітряної суміші відбувається в пристіночній зоні.

Досліджено новий процес сумішоутворення для двигуна з іскровим запалюванням та розшаруванням заряду в циліндрі, особливістю якого є те, що при впуску та стисканні відбувається утворення багатой суміші біля стінки камери згорання, а бідної суміші аж до чистого повітря – у її центрі при інтенсивному вихровому русі заряду навколо осі циліндра.

На моторному стенді проведено порівняльні дослідження базового та запропонованого процесу, які показали зниження вмісту CO і CH у відпрацьованих газах при широкому діапазоні зміни коефіцієнту надлишку повітря α , зниження питомої витрати палива при незначному зниженні індикаторної потужності двигуна.

Зміст

Вступ.....	
1. Аналіз теоретичних досліджень за тематикою магістерської роботи..	
1.1Огляд етапів зниження викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами автомобілів.....	
1.2 Утворення токсичних компонентів у відпрацьованих газах.....	
1.3Методи зниження токсичності відпрацьованих газів ДВЗ.....	
2. Розробка методу зниження токсичності газів відпрацьованих газів бензинового двигуна.....	
3. Експериментальне обладнання та методики досліджень.....	
4. Результати експериментальних досліджень технічних та екологічних характеристик двигунів.....	
5. Основні результати та висновки.....	
6. Список використаних джерел.....	

ВСТУП

Головне призначення автомобільного транспорту, ефективне і повне задоволення потреб населення у пасажирських та вантажних перевезеннях.

Автомобільний транспорт є самим рухомим і універсальним засобом комунікації і має важливе місце в транспортній галузі України. На його частку доводиться понад 80% усього потоку вантажних перевезень і близько 80% від загальної частки пасажирських перевезень, близько 70% людських ресурсів, більше 60% палив, вироблених з нафти, велика частина капітальних інвестицій і основних виробничих фондів, більше 65% усіх транспортних витрат.

Проблемні питання охорони навколишнього середовища від забруднення шкідливими речовинами автомобільного транспорту та промисловості є сьогодні пріоритетними завданнями для урядів, наукових організацій та бізнесу.

Дана робота присвячена екологічному аналізу та оцінці ефективності конструктивних заходів щодо зменшення токсичних викидів автівок.

На сьогодні автомобільна галузь України насичується автотранспортними засобами сучасної конструкції вітчизняного та зарубіжного виробництва які вимагають високоякісного технічного сервісу і ремонту. Також, останнім часом оптимізується структура рухомого складу автопідприємств, підвищується чисельність автомобілів та транспортних засобів великої вантажопідємності та пасажиромісткості.

Якої б досконалої конструкції автомобіль не використовувався, впродовж терміну його служби, через проходження в матеріалах деталей, спряженнях, механізмах та агрегатах закономірних природних та патологічних процесів, початкові техніко – економічні показники погіршуються. Крім того, знижуються показники надійності автомобілів.

Для забезпечення технічно справного стану автотранспортних засобів, які функціонують у ефективному транспортному процесі, галузь несе великі матеріальні витрати. Так, ускладнення конструкції автомобілів спричиняє, як правило, великий обсяг робіт по технічному сервісу і ремонту та здійснюються витрати на забезпечення працездатності.

Підвищення числа автомобілів на дорогах України приводить до підвищення забруднення навколишнього середовища токсичними компонентами відпрацьованих газів, а зменшення токсичності відпрацьованих газів більшою мірою досягається справністю системи живлення і запалювання та високим рівнем технічного сервісу, засобів і методів технічного діагностування цих систем.

Актуальність теми дослідження. Збільшення обсягів виробництва та використання двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) вимагає регулярного перегляду норм викидів шкідливих речовин із відпрацьованими газами. Так, за останні 10 років гранично допустимий вміст у відпрацьованих газах оксиду вуглецю (CO), вуглеводнів (CH) та оксидів азоту (NOx) відповідно до норм Euro було знижено вдвічі. Екологічні характеристики двигунів можуть бути покращені шляхом застосування комплексу заходів, таких як удосконалення робочого процесу шляхом спалювання бідних сумішей, використання систем очищення відпрацьованих газів, застосування альтернативних палив та ін.

Крім забруднення атмосфери використання ДВЗ призводить до виснаження природних ресурсів, оскільки використання поновлюваних альтернативних палив не зможе задовольнити потреби світового двигунобудування. У той самий час ефективна робота двигуна на бідних сумішах дозволяє знизити водночас і витрату палива і рівень викидів шкідливих речовин з відпрацьованих газів, що зумовлює пріоритетність досліджень у цій галузі.

Таким чином, проблема створення робочого процесу, який дозволить покращити паливну економічність та знизити токсичність відпрацьованих газів бензинового двигуна з іскровим запаленням залишиться актуальною і в найближчому майбутньому.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи було зниження токсичності відпрацьованих газів та покращення паливної економічності двигуна з іскровим запаленням шляхом організації процесів сумішоутворення та горіння.

Для досягнення мети було поставлено такі **завдання**:

- на основі аналізу існуючих способів поліпшення екологічних показників

та паливної економічності запропонувати та отримати новий процес сумішоутворення для ДВЗ з іскровим запалюванням;

- запропонувати конструктивну схему для реалізації запропонованого процесу сумішоутворення в ДВЗ;

- на моторному стенді провести порівняльне дослідження розробленого та базового робочого процесу для оцінки ефективності розробленого процесу сумішоутворення.

Об'єктами дослідження були:

- система паливоподачі та камера згорання бензинового двигуна.

Предмет дослідження - процес сумішоутворення в ДВЗ з іскровим запалюванням та розшаруванням заряду.

Наукова новизна роботи полягає:

- у новому способі сумішоутворення для ДВЗ з іскровим запалюванням;
- у результатах проведених на моторному стенді порівняльних досліджень двигуна, що працює за базовим робочим процесом і процесом з розшаруванням заряду.

Практична цінність роботи:

Результати роботи можуть бути використані при створенні нових ДВЗ з метою покращення показників екологічності та паливної економічності, а також при проведенні досліджень у галузі робочих процесів ДВЗ.

1. Аналіз теоретичних досліджень за тематикою магістерської роботи

1.1 Огляд етапів зниження викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами автомобілів

Загальновідомо, що в процесі експлуатації автотранспортні засоби викидають токсичні речовини, що забруднюють атмосферу і шкідливо впливають на людину і навколишнє середовище [1,2,3].

З моменту введення нормативів на викид шкідливих речовин з відпрацьованими газами автомобілів спочатку в США (1963), потім в Європі (1968) почалися інтенсивні дослідження щодо зменшення цього викиду [4].

У великих містах та промислових регіонах з інтенсивним автомобільним рухом у період 1965-70 р.р. частка токсичних речовин, що викидаються з відпрацьованими газами, досягала 50-60% від загальної кількості шкідливих викидів, що надійшли в атмосферу, включаючи промисловість.

Основними токсичними компонентами, викид яких став обмежуватися спеціальними правилами і стандартами, є оксид вуглецю (CO), вуглеводні (CH), оксиди азоту (NO_x), димність газів, що відпрацьовали, і тверді частинки [1].

Непрямо нормувалися сполуки свинцю (Pb) і сірки (SO₂) за вмістом у бензинах і дизельних паливах. є бенз-(а)-пірен (C₂₀H₁₂), проте вони не нормувалися [5].

Роботи щодо зменшення забруднення повітря відпрацьовані гази автомобільного транспорту та нормування гранично допустимих концентрацій токсичних речовин у відпрацьованих газах автомобілів вперше проводилися в США, в штаті Каліфорнія, де в 1959 році були прийняті стандарти на гранично допустимі концентрації окису вуглецю і вуглеводнів. У 1963 року у США було затверджено державний стандарт, основою якого було прийнято каліфорнійський. У 1968 року було запропоновано проект стандарту ООН, а 1970 року рекомендовано до використання. У цих стандартах насамперед нормувалися гранично-допустимі викиди оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих та картерних газах бензинових двигунів. Пояснюється це тим, що окис вуглецю становив у цей період переважну частину токсичних речовин, які у

відпрацьованих газах, причому токсичні властивості її змінюються залежно від кліматичних і метеорологічних умов.

Слід зазначити, що вуглеводні за своїми токсичними властивостями значно поступаються таким речовинам, як оксид вуглецю або оксиди азоту.

Обмеження викиду вуглеводнів шляхом нормування у відпрацьованих газах та ліквідації їх викиду з картерними газами було викликано насамперед у США прагненням уникнути фотохімічного туману (смогу), в освіті якого вуглеводні, поряд з окислами азоту, як вважалося, грали визначальне значення. Такий підхід до нормування викиду вуглеводнів виявився на думку американських екологів, доцільним у США в 1959 році для запобігання утворенню смогу в штаті Каліфорнія, але не може бути визнаний як об'єктивний метод зниження загальної токсичності атмосфери міста, тому що гранично допустимі концентрації оксидів азоту раз жорсткіше, ніж вуглеводнів, а викид оксидів азоту(за даними 1966 року) був у два рази менше, ніж вуглеводнів.

Однак американські дослідники були змушені, в першу чергу, нормувати викид вуглеводнів, а не оксидів азоту, оскільки до моменту нормування було відомо, що зменшити викид вуглеводнів, що викидаються через відкриті системи вентиляції картера двигунів, значно простіше, якщо врахувати можливість його зменшення за рахунок ліквідації викиду з картерними газами шляхом повернення їх назад у двигун через систему всмоктування повітря (закриті системи вентиляції картера).

Саме тому, в каліфорнійському та федеральному стандартах США була наказана рекомендація щодо повернення картерних газів назад у двигун через систему впуску. Ця рекомендація була екологічно хибною, оскільки без додаткової фільтрації картерних газів відбувався підвищений викид дуже небезпечних канцерогенних речовин [6].

Масове використання після 2005 р. систем нейтралізації відпрацьованих газів гарантовано забезпечувало різке зниження викидів у відпрацьованих газах двигунів до мінімального рівня (у ряді випадків зниження становить від 10 до 100 разів) [7].

Постійне збільшення маси викиду шкідливих речовин через зростання автомобільного парку у світі стимулювало міжнародне законодавство (Правила ООН) періодично оновлювати стандарти та посилювати нормативні вимоги щодо викиду шкідливих речовин автотранспортними засобами.

Таблиця 1.1 - Норми на викид шкідливих речовин з легковими автомобілями, що відпрацювали газами, за Правилами № 83 ЄЕК ООН.

Екологічний клас автомобільної техніки	Рік запровадження	Викиди шкідливих речовин відпрацьованими газами, г/км			
	Європа	CO	CH	NO _x	PM
Євро-1	1992	2,72	0,97		
Євро-2	1996	2,2	0,5		
Євро-3	2000	2,3	0,2	0,15	
Євро-4	2005	1,0	0,1	0,08	
Євро-5	2009	1,5	0.1	0.06	0.005
Євро-6	2014	0,50	0.1	0.06	0.005

Слід зазначити, що ці нормативні вимоги для автомобілів не могли бути виконані без застосування систем нейтралізації відпрацьованих газів. Так як нейтралізатори не допускали використання етилованих бензинів (гранично допустима концентрація свинцю не повинна перевищувати 0,015 мг/л бензину), то для країн та окремих регіонів до повного переходу на постачання неетильованого бензину діяли старі вимоги Правил 15.04 ООН 1982 року.

Отже, поетапне введення в останні 15 років нормативів Європейської економічної комісії (норми Євро) посилює викид шкідливих речовин з відпрацьованими газами автомобілів, що природно призводить до ускладнення конструкцій автомобілів і подорожчання (підвищення) їх вартості.

Проведення активної енергозберігаючої політики практично у всіх сферах людської діяльності, розробка та послідовне впровадження програми енергозбереження та застосування нетрадиційних копалин видів палив з відновлюваних джерел енергії є основним завданням практично всіх країн світу.

1.2 Утворення токсичних компонентів у відпрацьованих газах

Для об'єктивної оцінки негативного впливу автомобілів на навколишнє середовище потрібно знати, які з компонентів відпрацьованих газів становлять найбільшу небезпеку, тобто найбільш токсичні. Це ускладнює оцінку шкідливості викидів від різних автомобілів, порівняння екологічної ефективності шляхом зниження токсичності конкретного двигуна або автомобіля; а також вибір та розробку заходів щодо зниження найбільш небезпечного забруднювача у складі відпрацьованих газів.

На думку деяких дослідників, дуже доцільно контролювати і ненормовані шкідливі речовини у газах, що відпрацьовали, при оцінці впровадження в масове виробництво нових протитоксичних заходів [8, 9]. Тому, при вирішенні цих та їм подібних завдань деякі дослідники зазвичай виходять із сумарної (наведеної) токсичності викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами. При цьому як опорний (базовий) забруднювач зазвичай використовували монооксид вуглецю CO, його середньодобову гранично допустиму концентрацію в атмосфері.

Це означає, що його показник агресивності було прийнято рівним одиниці. Показники ж для інших компонентів шкідливих речовин вказують, у скільки разів за однакових умов збиток, який завдається розглянутим забруднювачем, більше шкоди, що завдається монооксидом вуглецю.

Особливості організації процесів горіння палива в двигунах внутрішнього згорання обумовлюють утворення шкідливих речовин, які викидаються разом з відпрацьованими газами в довкілля і створюють шкідливий вплив на атмосферу, ґрунт, воду, рослини, тварин і людей.

У ідеальному випадку при повному згоранні вуглеводневого палива повинні були б утворюватися лише продукти повного згорання палива: діоксид вуглецю (CO_2) і вода (H_2O). Практично ж, унаслідок фізико-хімічних процесів в циліндрах двигуна дійсний склад відпрацьованих газів дуже складний і включає більше 1000 токсичних з'єднань, велику частину з яких представляють різні вуглеводні. Зважаючи на таке різноманіття і складність ідентифікації окремих з'єднань до розгляду зазвичай беруться компоненти або їх групи, складові основну частину

відпрацьованих газів (табл. 1.1).

Шкідливих викидів в бензинових ДВЗ з розрахунку на одиницю корисної роботи більше, ніж в дизелів, в 2...4 рази по масі і в 1,5...2 разу по еквівалентній токсичності. Як видно з табл. 1.1, склад відпрацьованих газів даних типів ДВЗ істотно розрізняється перш за все по концентрації продуктів неповного згорання оксиду вуглецю, вуглеводнів, оксидів азоту і сажі. Відмінність у складі відпрацьованих газів бензинових і дизельних ДВЗ пояснюється великим коефіцієнтом надлишку повітря і кращим розпилюванням палива в дизельних ДВЗ.

Таблиця 1.2 - Орієнтовний склад відпрацьованих газів бензинових і дизельних двигунів

Компонент	Концентрація по об'єму, %		Примітка
	Бензиновий двигун	Дизельний двигун	
N ₂	74...77	74...77	Нетоксичний
O ₂	0,3...8	2...18	Нетоксичний
Водяна пара	3...13,5	0,5...10	Нетоксичний
CO ₂	5...13	1...12	Малотоксичний
CO	0,1...12	0.005...0,4	Токсичний
NO _x	0,01...0,8	0.004...0,5	Токсичний
C _n H _m	0,2...3	0.009...0,5	Токсичний
RCHO	0...0,2	0,001...0,015	Токсичний
SO _x , мг/м ³	0...0,003	0...0,015	Токсичний
З'єднання свинцю, мг/м ³	0...60	-	Токсичний
C(сажа)	0...0,1	0,01...2	Токсичний
Бензопірен, мг/м ³	0...25	0...10	Токсичний

Проте, дизельні ДВЗ характеризуються високим димленням відпрацьованих газів. Значення димлення відпрацьованих газів залежить від вмісту в них різних речовин: пари води, незгорілих часток масла і палива, твердих часток. Білий дим

відповідає холодному пуску і малим навантаженням двигуна. Він містить в основному вуглеводні і водяні пари. Чорний дим спостерігається при великих навантаженнях двигуна і містить тверді частки, в основному сажу. Наявність сажі пояснюється тим, що, не дивлячись на порівняно великий надлишок повітря в камері згорання дизеля, відбувається місцеве перезбагачення суміші в різних ділянках об'єму камери. Це сприяє утворенню часток сажі, які в основному згорають в циліндрі дизеля, проте близько 1 % цих часток викидається в атмосферу.

Як бачимо з табл. 1.2 не всі компоненти у відпрацьованих газах є токсичними. Розподіл токсичних компонентів у відпрацьованих газах бензинових двигунів за масовими долями представлено на рис. 1.1.

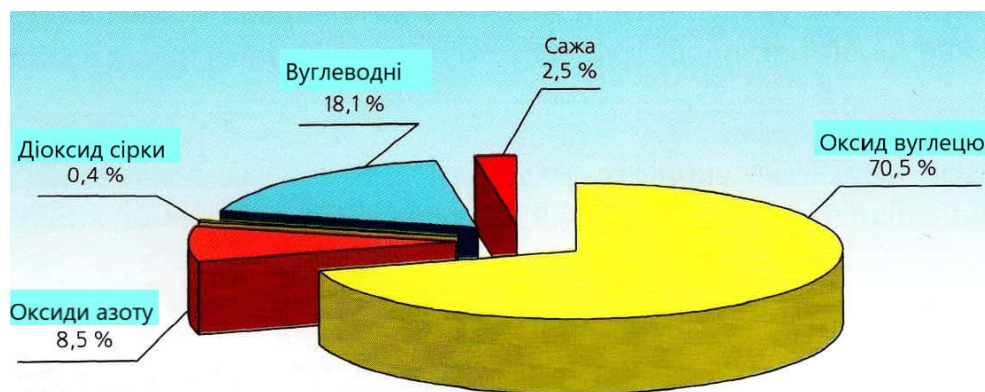


Рисунок 1.1 - Склад токсичних компонентів відпрацьованих газів бензинових двигунів

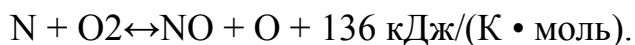
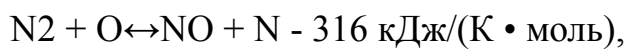
До складу відпрацьованих газів відносяться речовини, що утворюються в результаті температурного синтезу з повітря при значних температурах (оксиди азоту), продукти часткового згорання палива (недопалені вуглеводні, оксиди вуглецю, спирти, кетон, кислоти, перекиси, сірчистий ангідрид, частки сажі, продукти конденсації і полімеризації), а також продукти згорання масла, речовини, що утворюються з присадок до палива і масла, і тверді частки, зокрема з матеріалу конструкції двигуна (Fe , Ni , Cu , Sn ,Cr).

Суть явища токсичності визначається кількісною характеристикою взаємин між хімічними компонентами зовнішнього середовища і організмом людини.

Токсичність речовин — це міра несумісності речовин з життям організму. Небезпека речовини — це вірогідність виникнення і розвитку отруєння в реальних умовах.

Згорання палива в циліндрах ДВЗ супроводжується утворенням великої кількості різних токсичних речовин, які складаються з продуктів неповного згорання і термічного розкладання вуглеводнів палива, оксидів азоту, з'єднань сірки і свинцю.

Оксиди азоту. Якщо температура в циліндрі перевищує 1500 К, то азот і кисень повітря вступають в хімічну взаємодію по ланцюговому механізму:



Визначає верхня реакція, швидкість якої напряму залежить від концентрації атомарного кисню. При згоранні в циліндрах ДВЗ утворюється головним чином оксид азоту NO.

У двигуні з іскровим запаленням окислення азоту і утворення NO відбувається позаду фронту полум'я в осередку продуктів згорання, де в результаті махе-ефекту досягаються найвищі температури. Утворення NO сильно збільшується із зростанням температури газів і концентрації кисню.

При згоранні в дизелі утворення NO визначається локальним складом суміші і температурою. Найбільша кількість NO утворюється в тих зонах заряду дизеля, які згорають першими і мають найбільший час перебування при температурі вище 2200 К.

Вихід NO залежить і від швидкості здійснення охолодження продуктів згорання. Відомо, що при $\lambda > 1$ (λ - коефіцієнт надлишку повітря) в процесі такту розширення, коли температура відпрацьованих газів в циліндрі двигуна знижується, концентрація оксиду азоту не спадає до рівноважної, а фіксується на рівні найбільшого значення, тобто спостерігається так зване "загартування". При функціонування двигуна з іскровим запаленням призначеннях $\lambda < 1$ "загартування" не відбувається. Тому при роботі на бідних сумішах утворення NO забезпечується максимальною температурою, тобто кінетикою утворення оксиду азоту. При $\lambda < 1$

утворення NO практично не залежить від максимального значення температури і обумовлюється кінетикою розпаду. Поза межами циліндру двигуна(у випускній системі і в навколишньому середовищі) NO догорає до NO₂ (діоксид азоту), токсичність якого істотно вища.

Окис вуглецю. Окис вуглецю має місце під час згорання при недостатній кількості кисню, при проходженні холоднополумєневих реакцій в дизельних двигунах або при виконанні дисоціації CO (головним чином в двигунах з іскровим методом запалювання). При нормальній експлуатації концентрація оксиду вуглецю CO в дизелях невелика(не більше 0,1...0,2 %).

У двигунах з іскровим методом запаленням основну дію на утворення CO має склад паливо-повітряної суміші: Чим вона багатша, тим більша концентрація CO. Значна кількість CO утворюється в режимах холостого ходу і максимальної потужності, коли коефіцієнт надлишку повітря знаходиться в межах 0,5...0,9.

Вуглеводні. Вуглеводні компоненти складаються з початкових або таких, що розпалися молекул моторного палива, які не приймали участі в згоранні. Вони з'являються в відпрацьованих газів через гасіння полум'я поблизу дещо холодних стінок камери згорання та гільзи циліндрів, в "затиснених" об'ємах, що утворюються у витискувачах поршня і в проміжку між поршнем і гільзою циліндру над верхнім компресійним поршневим кільцем.

У дизельному двигуні вуглеводні утворюються в Perezбагачених зонах, де здійснюється піроліз молекул палива (розпад молекул палива під дією високих температур за відсутності хімічних реагентів). Якщо в процесі такту розширення в ці зони не поступить необхідна кількість кисню, то вуглеводні виявляться у складі відпрацьованих газів. Вуглеводні можуть викидатися в атмосферу також внаслідок пропусків займання, негерметичності випускного клапана або системи вентиляції картера, а також через випари палива в паливному баку.

У ряді робіт [11] стверджується, що значна частина C_nH_m викидається в результаті того, що на тактах впускання і стискування горючої суміші пари палива поглинаються масляною плівкою на стінках циліндра(абсорбція). На такті розширення парціальний тиск пари палива в заряді знижується практично до нуля

і відбувається їх виділення з плівки(десорбція). Аналогічний ефект викликається також нагаром на поверхні камери згорання.

Кількість різних вуглеводнів, що відносяться до групи токсичних речовин, перебільшує 200. У тих кількостях, в яких C_nH_m міститься в повітрі навіть в локаціях з най інтенсивнішим рухом автотранспорту, вони не мають значної шкоди на здоров'я людини, проте сприяти реакціям, які ведуть до отримання з'єднань, токсичних навіть при невеликій їх концентрації. Так, вуглеводні під дією сонячних променів можуть взаємодіяти з оксидами азоту, утворюючи біологічно активні речовини, які викликають появу смогу і дратівливо діють на органи дихальних шляхів.

Особливе значення мають викиди бензолу, толуолу, і в першу чергу бензопирену. Ця група високотоксичних речовин утворюється в результаті піролізу(розкладання) легких і середніх фракцій палива при температурі 600...700 К. Такі умови виникають під час робочого ходу в циліндрі поблизу його холодних поверхонь за наявності там незгорілих вуглеводнів. Кількість їх у відпрацьованих газів тим більше, чим вище концентрація в паливі бензолу.

Сажа. Сажа утворюється при значеннях температури вище 1500 оС як наслідок об'ємного процесу температурного ропаду (піролізу) палива при значному браку кисню. Як правило, реакція піролізу описується рівнянням $C_nH_m \leftrightarrow nC + 1/2mH_2$.

Сажа починає утворюватися при $< 0,3...0,7$ її кількість обумовлюється значеннями температури і тиску газів, а також від виду моторного палива. При однаковому значенні атомів вуглецю по мірі підвищення схильності до утворення компонентів сажі вуглеводні стають в такому порядку: парафіни, олефіни, ароматичні вуглеводні.

У двигунах з іскровим запаленням концентраційні межі займання суміші не співпадають з вказаними межами початку утворення сажі, тому вміст сажі в відпрацьованих газів двигунів з іскровим запаленням не великий.

У дизелях внаслідок неоднорідності складу паливо-повітряної суміші в циліндрах переважає так зване дифузійне згорання, при якому значення

швидкості горіння головним чином лімітується не швидкістю проходження хімічних реакцій, а швидкістю змішування (проходження дифузії) парів палива в повітрі. В наслідок цього в циліндрі двигуна мають місце осередки з багатою, стехіометричною і бідною сумішшю. У осередках з багатою сумішшю при дифузійному догоранні і малому доступі кисню мають місце сприятливі для піролізу умови. Велика кількість часток сажі має розміри 0,4...5 мкм. Концентрація часток сажі в відпрацьованих газів залежить і від вигорання її в процесі розширення, коли до часток надходить кисень. Присутність сажі в відпрацьованих газів приводить до чорного диму на випуску.

Сажа - не одна тверда речовина, що знаходиться у відпрацьованих газах. Інші тверді речовини синтезуються з сірки з сірки, що знаходиться в дизельному паливі, а також аерозолів оливи і недоокисленого палива. Крім того, в відпрацьованих газах можуть знаходитися металеві продукти зносу гільзи циліндра двигуна. Усі тверді частки, що осаджуються на спеціальному фільтрі при проходженні через нього відпрацьованих газів, дістали загальну назву - "частки".

До недавнього часу вважалося, що бензинові двигуни токсичніші, ніж дизельні, проте застосування неетильованих бензинів і мікропроцесорної техніки, що регулює подання палива, дозволило значно понизити викид токсичних речовин і підвищити їх економічність.

Вміст в відпрацьованих газів продуктів неповного згорання(CO , C_nH_m і сажі) небажаний не лише через їх токсичність, але і тому, що при неповному згоранні моторного палива недовиділяється значна частина теплоти, що призводить до погіршення техніко-економічних показників автомобільного двигуна. Для контролю вмісту в відпрацьованих газів шкідливих компонентів випускаються аналізатори, принцип дії яких ґрунтується на оптичних методах аналізу. Принцип їх дії полягає у виборчому поглинанні компонентами відпрацьованих газів променистої радіації в інфрачервоній, ультрафіолетовій або видимій областях спектру. Концентрація компонента визначається пропорційно міри поглинання променистої радіації.

Для визначення вмісту в відпрацьованих газах оксидів азоту, оксиду вуглецю і вуглеводнів випускаються газоаналізатори ГІАМ- 27-02(04), ГАІ- 1, ГЛ-1121, принцип дії яких ґрунтується на прямому поглинанні інфрачервоного (ІК) випромінювання пробою досліджуваного газу. Трубка пробозаборника газоаналізатора встановлюється у вихлопну трубу автомобіля з прогрітим двигуном. Гази, що відпрацьовали, просмоктуються через фільтри і поступають в робочу кювету оптичного блоку.

Для безперервного вимірювання концентрації CO , CO_2 , C_nH_m , NO_x в газах, що відпрацьовали, випускаються газоаналітичні системи АСГА-Т, ENERAC-2000.

Розроблені декілька методів визначення димлення ВГ, принцип дії яких ґрунтуються на мірі поглинання світлового потоку стовпом газу заданої довжини (СІДА- 107 "Атлас", "Хартридж", "Вольво") або фільтрації певного об'єму відпрацьованих газів з подальшим визначенням міри відображення світла поверхнею фільтру, покритого сажею (ІД- 1, "Бош", ENERAC-2000).

Нині розроблені стандарти і правила, що встановлюють гранично допустимі норми викиду CO , CH і NO_x . Крім того, для дизелів встановлені норми на допустиму димлення ВГ. Останнім часом від нормування димлення відпрацьованих газів багато країн перейшли до нормування вмісту в них часток.

Норми на допустимі токсичні викиди з відпрацьованими газами встановлюються виходячи з умов забезпечення санітарних норм на гранично допустимі концентрації токсичних речовин в атмосфері на вулицях міст з інтенсивним рухом автомобілів. Із зростанням автомобільного парку вводяться усе більш жорсткі норми.

1.3 Методи зниження токсичності відпрацьованих газів ДВЗ

Актуальність робіт, спрямованих на зменшення шкідливого впливу автотранспорту на довкілля, активізує вдосконалення існуючих та створення нових способів зниження токсичних викидів з відпрацьованими газами двигунів внутрішнього згоряння та нових силових установок. В даний час існують різні методи покращення екологічних показників автомобілів та їх силових установок,

кожен з яких окремо може бути віднесений до одного з двох напрямків: перший – вплив на робочий процес силової установки та їх конструкцію; друге – знешкодження токсичних речовин у випускній системі двигуна та автомобіля.

Кожному методу властиво певне як якісне, і кількісне вплив на викиди різних шкідливих речовин, токсичний вплив яких також по-різному. Істотно відрізняються також вартість реалізації різних методів та витрати на їх експлуатацію. Наявність різних методів зменшення шкідливих викидів з газами автомобілів, що відпрацьовали, і багаторазова відмінність їх показників дуже ускладнюють вибір оптимального для конкретних умов методу або комбінації декількох методів. Основними критеріями при оцінці ефективності застосування різних методів покращення екологічних показників автомобілів мають бути такі показники: рівень шкідливих викидів, витрати на паливо та собівартість модернізованого чи нового автомобіля.

Загальна кількість шкідливих речовин, що викидаються в атмосферу автомобільної техніки, більш ніж утричі перевищує викиди промислових підприємств. Тому, питання зниження токсичності відпрацьованих газів автомобільних двигунів стають дедалі актуальнішими.

Нині існують кілька напрямів зменшення токсичності газів, що відпрацьовали. Їх умовно можна розбити на чотири групи: удосконалення конструкції двигунів внутрішнього згоряння; облік експлуатаційних факторів, що впливають на токсичність газів, що відпрацьовали; застосування нетрадиційного палива; очищення газів, що відпрацьовали, у випускній трубі (рис. 1.2).

У кожному напрямку можна виділити кілька основних способів зниження токсичності газів, що відпрацьовали, часто доповнюють один одного [5].

Удосконалення конструкції двигунів рухається за п'ятьма основними напрямками: удосконалення конструкції паливної системи, оптимізація сумішоутворення та камери згоряння, удосконалення конструкції ЦПГ, оптимізація параметрів повітряного заряду та систем охолодження, удосконалення систем повітряного постачання.

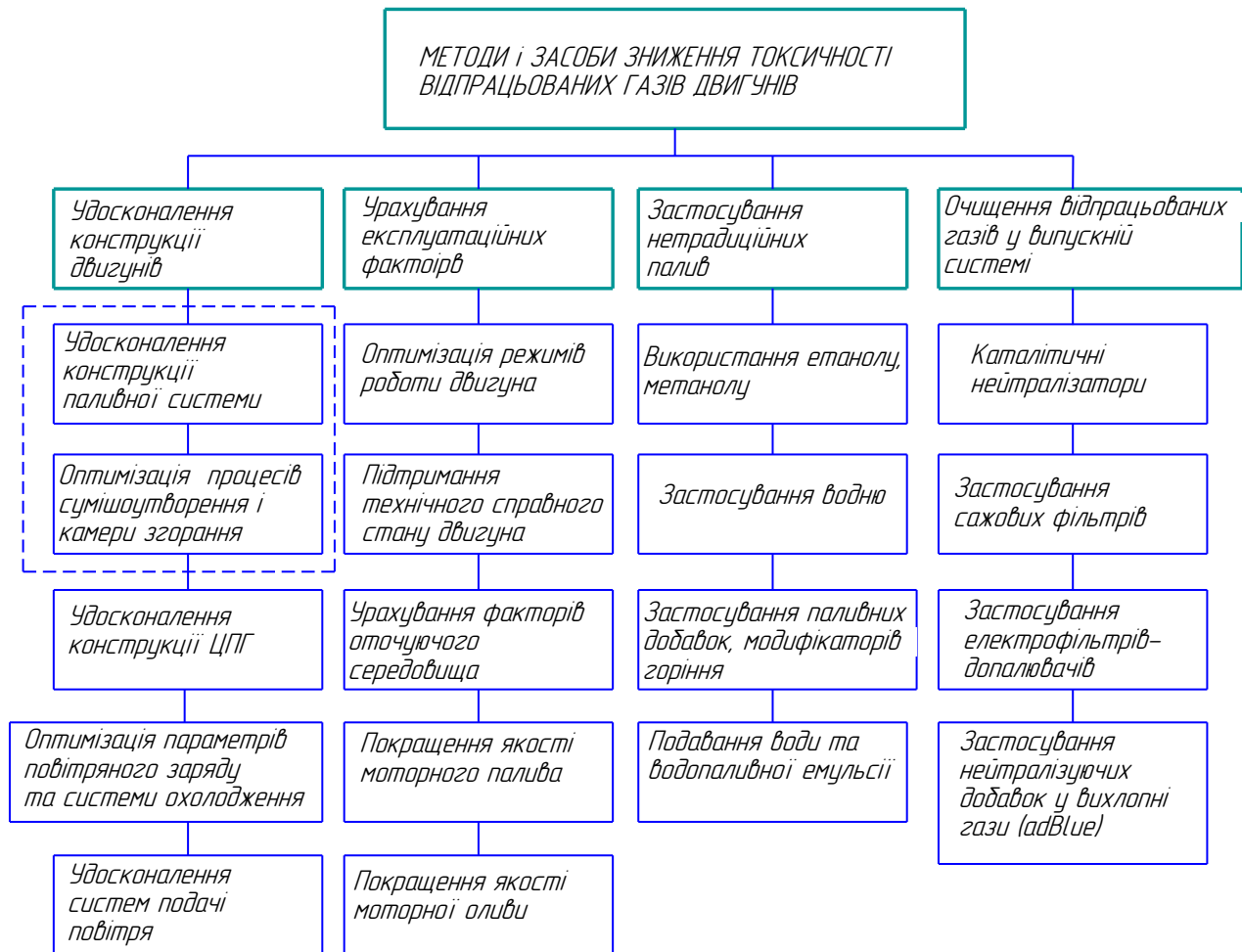


Рисунок 1.2 – Основні засоби та методи зниження токсичності відпрацьованих газів дизельних двигунів

Найбільший вплив на екологічні та паливо-економічні показники двигуна надає паливна апаратура та спосіб організації паливо-повітряної суміші. За даними роботи [13, 14] ступінь впливу паливної апаратури на токсичність газів, що відпрацьовали, становить 35%.

Це пояснюється тим, що основна маса токсичних компонентів відпрацьованих газів є продуктами горіння паливо-повітряної суміші визначається якістю процесу паливоподачі, розпилювання та сумішеутворення.

Вирішення проблеми зниження токсичності відпрацьованих газів досягається оптимізацією величини коефіцієнта надлишку повітря на кожному навантажувальному та швидкісному режимах роботи двигуна, підвищенням тиску впорскування палива, поліпшенням якості розпилю палива.

Кожен із перерахованих напрямків має свої переваги та недоліки і не дає однозначних позитивних рішень у галузі зниження токсичності газів, що відпрацьовали, та поліпшення експлуатаційних характеристик двигуна. Так, за даними досліджень [13], підвищення тиску впорскування палива знижує вміст твердих частинок і збільшує вміст оксидів азоту у відпрацьованих газах; попереднє впорскування палива знижує вміст у відпрацьованих газах оксидів азоту, але підвищує емісію твердих частинок.

Підвищення тиску уприскування - основний спосіб поліпшення дрібності розпилювання. У зв'язку з цим сучасні насоси з електронним управлінням (насос-форсунка, вбудований односекційний, роторний розподільний або акумуляторна система з електрогідравлічною форсункою) вже забезпечують для високооборотних дизелів з наддувом тиск уприскування близько 130... 180 МПа, а на найближче майбутнє передбачається його збільшення до 200 МПа.

Зміна кута випередження впорскування (запалювання) палива. Зі зменшенням кута випередження упорскування палива знижуються частка продуктів горіння, що відводиться на окислення, та температура згоряння. Це призводить до зниження вмісту у відпрацьованих газах оксидів азоту і підвищення частки вогневоднів, що не згоріли, і сажі. На номінальному режимі роботи двигуна його зміна призводить до зміни емісій токсичних речовин на 10...15% [12].

Дослідження впливу параметрів упорскування на екологічність роботи показав, що для оптимізації процесу паливоподачі необхідно, щоб у кожному навантажувальному та швидкісному режимах не було підприскування палива, забезпечувалася П-подібна форма характеристики впорскування палива при збереженні циклової подачі та кута впорскування.

Розв'язання цього завдання забезпечується розробкою схем паливної апаратури розділеного типу з електронним коригуванням початкового тиску впорскування палива у нагнітальній магістралі [11]. Прикладом розв'язання цього завдання є розробка системи упорскування палива Common Rail, що дозволяє регулювати тиск і момент початку упорскування палива в широкому діапазоні.

Одним із напрямків удосконалення паливної системи двигунів є застосування двофазної системи паливоподачі. Конструктивна відмінність таких систем полягає в наявності паливного акумулятора та додаткової форсунки, що гідравлічно пов'язана з паливопроводом високого тиску та впорскує паливо у впускний трубопровід. Застосування систем роздільної подачі палива знижує витрату палива на 56%, димність на 3-5%, вміст оксидів азоту (NOx) у газах, що відпрацьовали, на 60...70%.

Історично зниження токсичності відпрацьованих газів здійснювалося в першу чергу шляхом вдосконалення традиційних процесів сумішоутворення і згорання при одночасній оптимізації управління двигуном(регулювалися склад суміші і кут випередження запалення). Практика показала, що досягти при цьому рівня токсичності відпрацьованих газів, потрібного законодавством розвинених країн, не можна.

Удосконалення систем повітропостачання. Удосконалення систем повітропостачання здійснюється за двома основними напрямками: проміжним охолодженням наддувного повітря між компресором і впускним колектором дизеля та рециркуляції відпрацьованих газів. Остання здійснюється за допомогою електронних пристроїв та проміжного охолодження відпрацьованих газів.

На практиці можливе здійснення трьох основних способів охолодження наддувного повітря: попереднього, внутрішнього та зовнішнього, а також їх можливих комбінацій. Попереднє охолодження як самостійний спосіб практично не застосовується.

Внутрішнє охолодження здійснюється за двома напрямками: упорскуванням у потік повітря між робочими колесами охолоджуючої рідини та відведенням тепла від повітря під час його руху по напрямних апаратів сходів. Реалізація останнього способу пов'язана зі збільшенням розмірів турбокомпресора і нині застосовується рідко.

Впорскування охолоджуючої рідини в потік повітря, при всіх своїх позитивних показниках, має два істотні недоліки, що стримують широку

реалізацію цього напрямку в нашій країні. Це необхідність ретельного попереднього очищення і точне дозування води, що впорскується.

Найбільшого поширення отримав третій спосіб. При зовнішньому охолодженні повітря з неохолоджуваних секцій турбокомпресора відводиться в спеціальний охолоджувач повітря, звідки він надходить до наступної секції.

З комбінованих можна виділити спосіб охолодження наддувного повітря, що поєднує попереднє та зовнішнє охолодження в проміжних охолоджувачах, а також метод охолодження за рахунок контактного теплообміну з розпорошеною водою без її випаровування [13].

Аналіз виконаних робіт показав, що сучасні способи охолодження наддувного повітря не завжди забезпечують зниження температури повітря до необхідного рівня. Розв'язання цього завдання є істотним чинником зниження токсичності відпрацьованих газів.

Оптимізація режимів роботи двигуна. Другий напрямок (урахування експлуатаційних факторів) включає рішення задач *оптимізації режимів роботи двигуна, підтримки його технічного стану, урахування параметрів навколишнього середовища, поліпшення якості паливно-мастильних матеріалів*. Найчастіше цей напрямок тісно пов'язаний із удосконаленням конструкції та вирішує як екологічні, так і паливо-економічні та інші проблеми ДВЗ.

Так, коригування законів управління паливоподачею та фазами газорозподілу в залежності від параметрів навколишнього повітря та властивостей застосовуваного палива, дозволяє не тільки знизити токсичність відпрацьованих газів, а й суттєво підвищити потужність та паливну економічність двигуна.

Застосування добавок у паливо. Одним із напрямків покращення якості моторного палива є розробка та впровадження молекулярних модифікаторів моторного палива. Призначення останніх полягає у зменшенні коефіцієнта поверхневого натягу та збільшення теплоти згоряння палива [14]. Внаслідок зміни хімічної структури паливо краще розпорошується, підвищується гомогенність паливо-повітряної суміші та якість її горіння. Зрештою це призводить до

зменшення питомої витрати палива та покращення екологічних показників двигуна.

Зниження токсичності газів, що відпрацювали, досягається також збагаченням повітряного заряду вуглеводневими активаторами (спиртами, біопаливом та ін.). В даний час відомі два основних способи збагачення повітряного заряду вуглеводневими активаторами: подача вуглеводневого активатора безпосередньо в циліндр двигуна та подача у впускний трубопровід. Подача вуглеводневих активаторів безпосередньо в циліндри двигунів здійснюється за допомогою додаткових паливного насоса високого тиску та форсунки. Недоліком такої схеми є висока вартість та необхідність зміни конструкції серійних двигунів.

Для подачі вуглеводневих активаторів у впускний трубопровід використовуються різні ежекційні пристрої або пристрої, виконані у вигляді дозатора.

Для подачі активатора у впускний трубопровід, використовуються системи, що складаються з живильної та нагнітальної магістралей та електронного блоку керування. Зміна кількості вуглеводневого активатора, що подається, здійснюється за допомогою налаштування електронного блоку управління та електромагнітної форсунки.

Застосування альтернативних видів палива. Третій напрямок полягає у застосуванні різних альтернативних палив – стиснутого газу, метанолу та інших спиртів, палив рослинного походження тощо. Найбільш широке застосування як альтернативне паливо отримали природний газ і нижчі спирти (метанол і етанол), дещо рідше водно-біопаливні та етанолопаливні емульсії. До найперспективніших їх можна віднести водень, синтетичні палива, біодизельне паливо, біогаз, біоетанол і палива, вироблені з рослинних масел [15].

Використання водню як єдиного екологічно чистого енергоносія розглядається у більшості міжнародних проектах як фактор зниження екологічного тиску на довкілля. Дійсно, при спалюванні водень не дає викидів CO₂. Вважається, що з використання водню як енергоносія, у принципі,

автоматично вирішується планетарна проблема парникового ефекту і регіональні екологічні проблеми.

У табл. 1.4 наведено обсяги споживання кисню повітря та виділення різних речовин при повному згорянні 1 кг палива, кг[16].

Таблиця 1.4

Паливо	Споживання O ₂	Вихід речовин у результаті згоряння		
		H ₂ O	N ₂ O	CO ₂
Водень	7,94	8,94	26,41	-
Стиснутий природний газ	3,13	2,25	13,28	2,8
Зріджений нафтовий газ	3,47	1,59	12,0	3,0
Метанол	1,5	1,13	4,98	1,37
Диметилефір	1,92	1,08	-	1,84
Бензин	3,04	1,46	11,74	3,1
Біопаливо	3,34	1,29	11,39	3,16
Мазут	3,17	0,87	10,4	3,5

В даний час за кордоном роботи з розширення застосування автомобілів з водневими енергоустановками, що дають змогу зменшити викид CO₂ на 25-35% та електромобілів в умовах їх роботи в містах, а також міжгалузевої програми з поетапного впровадження водневої енергетики у транспортному комплексі. Ці роботи мають на увазі створення інфраструктури використання водню на транспорті, яка вимагатиме значних фінансових вкладень.

Одним з перспективних напрямків використання газоподібного палива є розробка систем живлення з розподіленою подачею газоподібного палива за ежекційним принципом %, окису вуглецю на 10% у порівнянні з дизельним циклом і серійно випускається системою з центральною подачею газу [16].

Як альтернативні види палива з відновлюваних джерел енергії найчастіше застосовуються метиловий та етиловий спирти. До недоліків даного напрямки є зниження потужнісних показників двигуна та ускладнення конструкції паливної системи, обумовлене необхідністю застосування подвійної системи паливоподачі.

Широке застосування водно-паливних емульсій (у дизелях) обмежене зниженням їх змащувальної здатності. Усунення цього недоліку досягається застосуванням водно-біопаливної емульсії [17].

Технологія отримання водно-біопаливної емульсії заснована на багатofакторному енергетичному впливі в імпульсній формі, що інтенсифікує процес змішування палив та покращує фізико-хімічні властивості палива, його екологічні та експлуатаційні властивості.

Випробування дизельного двигуна показали, що використання водно-паливної емульсії дозволяє знизити викид оксидів азоту з відпрацьованими газами на режимах роботи. Так, на режимі максимального крутного моменту при оборотах колінчастого валу двигуна об/хв перехід двигуна з дизельного палива на емульсію з вмістом води в 15% призвів до зменшення вмісту оксиду азоту в газах, що відпрацьовали, з 0,075% до 0,055% (26,7%), а на режимі максимальної потужності при з 0,0495 до 0,036% (27,3%). Одночасно знизився вміст у відпрацьованих і окису вуглецю CO [15].

До недоліків даного напрямку є зниження потужнісних показників двигуна та розшарування емульсії після тривалого зберігання. Це повністю відноситься і до присадок, що додаються в паливо для більш повного. його згоряння.

Зниження токсичності відпрацьованих газів при роботі на біопаливах потребує вирішення питань удосконалення конструкції дизелів, таких як узгодження конструкції форсунки з формою камери згоряння, організація регулювання кута випередження упорскування палива та фаз газорозподілу залежно від властивостей застосовуваного палива, розробки та створення спеціальних пристроїв у вигляді змішувачів, нагрівачів, коректорів та ін. Однак такі системи, як правило, не забезпечують нормативні параметри паливоподачі при зміні в'язкості та щільності палива. Широке використання біопалива стримується також низкою недоліків, таких як коксування, розшарування на вихідні складові та втрата ефективної потужності. Підвищення ефективності біопалива шляхом додаткової обробки (ультразвуком) вимагає зміни конструкції серійних двигунів.

Слід зазначити, що, незважаючи на великий обсяг виконаних досліджень, проблема використання олії як паливо для дизелів вивчена недостатньо.

Додавання води до циліндрів двигуна сприяє охолодженню повітряного заряду, що призводить до зниження викидів оксидів азоту, що є поряд з сажею найбільш токсичним компонентом відпрацьованих газів. Особливо це актуально для сільськогосподарських тракторів, які працюють на режимах високих навантажень.

Існує два найбільш поширені способи подачі води в камеру згорання – подача води з повітрям та подача води у вигляді водопаливної емульсії.

Як зазначають у роботі [15], подача води з повітрям є кращою, зважаючи на менше зростання концентрації вуглеводнів і монооксидів вуглецю та більш ефективного зниження теплової напруженості циліндрів.

Аналіз результатів досліджень показав, що за рахунок впорскування води у впускний колектор і систему рециркуляції відпрацьованих газів емісія окису вуглецю знижується на 40...60%, оксидів азоту на 20...30%. Зниження димності сягає 8...10% [15].

При добавках води з паливом вміст оксидів азоту знижується до 82%, вуглеводнів підвищується до 64%, монооксидів вуглецю до 76%, а вміст сажі знижується до 39% на низьких навантаженнях. При високих навантаженнях частка вмісту оксидів азоту знижується до 58%, вуглеводні підвищуються до 50%, монооксиди вуглецю до 57% та сажа до 38% [18]. Широке застосування даного способу в двигунобудуванні стримується підвищенням сажі у газах, що відпрацьовали при високих навантаженнях.

Вдосконалення процесів сумішоутворення і згорання. На перших етапах обмеження токсичності і димності відпрацьованих газів дизелів і зокрема, при введенні норм EURO-1 досить було реалізувати відносно прості заходи по організації сумішоутворення і згорання, а також трохи зменшити кут випередження уприскування.

Практика показала, що виконання норм на токсичність і димлення відпрацьованих газів досягається тим легше, чим більший діаметр циліндра

дизеля. В той же час невеликі дизелі для легкових автомобілів мали, як правило, розділену камеру згорання, яка має певні переваги перед неподіленою камерою. Це пояснюється тим, що в передкамері або вихровій камері процес згорання відбувається при знижених температурах і α . Догорання заряду в основній камері також йде при відносно невисоких температурах. З цих причин в дизелях з розділеними камерами згорання утворюється менше NO_x , чим в дизелях з камерою згорання в поршні. Догорання палива в основній камері відбувається при великому надлишку повітря, що також сприяє зменшенню викиду CO , C_nH_m і сажі.

Токсичність і димлення відпрацьованих газів дизелів з нерозділеною камерою сильно залежать від дрібності розпилювання палива, інтенсивності вихрового руху заряду, параметрів факела і частоти обертання колінчастого валу.

У дизелях з пристіночним сумішоутворенням, особливо на режимах пуску і прогрівання, має місце підвищений викид C_nH_m і CO .

Вдосконалення процесів сумішоутворення і згорання полягає в пошуку компромісу між викидами NO_x , часток і паливної економічності. При цьому слід мати на увазі, що зменшення викиду CO , C_nH_m і сажі супроводжується поліпшенням паливної економічності. Підвищення швидкості згорання викликає зростання викиду NO_x , хоча паливна економічність при цьому також покращується. Нарешті, вдосконалення процесів сумішоутворення і згорання істотно ускладнюється тим, що заходи, що ведуть до зменшення викиду часток, як правило, викликають зростання викиду NO_x . Наприклад, розпилювання палива на дрібніші краплі покращує повноту згорання і тим самим знижує викид часток, але зростаючі температури циклу обумовлюють збільшення утворення NO_x .

Сучасні моделі двигунів все частіше мають по чотири клапани на кожен циліндр. Отже, з'являється можливість управляти інтенсивністю руху заряду і домагатися одночасно зниження викиду часток і NO_x (особливо на середніх навантаженнях).

При надуві зазвичай збільшують α за зовнішньою швидкісною характеристикою, і це сприяє зниженню токсичності відпрацьованих газів і

викиду часток. Це зниження збільшується при використанні проміжного охолодження повітря, оскільки при цьому зростає концентрація кисню в заряді. Наприклад, дизелі з турбонаддувом і проміжним охолодженням повітря дозволяють понизити викид NO_x і часток приблизно на 30 %, а поліпшення паливної економічності при цьому доходить до 8 %.

Характеристики уприскування і розпилювання палива мають дуже великий вплив на сумішоутворення і згорання палива, а отже, і на освіту і викид токсичних речовин. Щоб уникнути підвищеного викиду NO_x і понизити шум, подання палива на початку уприскування (приблизно впродовж періоду затримки займання) бажано зменшити. Радикальним в цьому сенсі рішенням може бути так зване ступінчасте уприскування. З іншого боку, збільшення тривалості уприскування і розтягнутий кінець подання викликають підвищене сажоутворення і як наслідок, збільшення викиду часток.

Рециркуляція відпрацьованих газів. В останні роки інтенсивно ведуться роботи з розробки систем *рециркуляції газів, що відпрацьовали*. За даними досліджень [20] застосування останніх на двигунах дає зниження вмісту оксидів азоту до 65%, оксидів вуглецю та вуглеводнів до 20%.

Як і в двигунах з іскровим запаленням, в дизелях рециркуляція відпрацьованих газів використовується з метою зменшення викиду NO_x . При збільшенні міри рециркуляції зростає тривалість затримки самозаймання і зменшується швидкість тепловиділення. Ці ефекти посилюються при охолодженні рециркулюючих газів (рис. 1.3). На повних навантаженнях рециркуляція викликає значне зростання викиду сажі, тому її слід застосовувати на середніх навантаженнях.

При випробуваннях до 8... 10 % викиду NO_x доводиться на режим холостого ходу. З цієї причини, а також з метою зниження шуму рециркуляцію можна застосовувати і на холостому ходу (до 50 %).

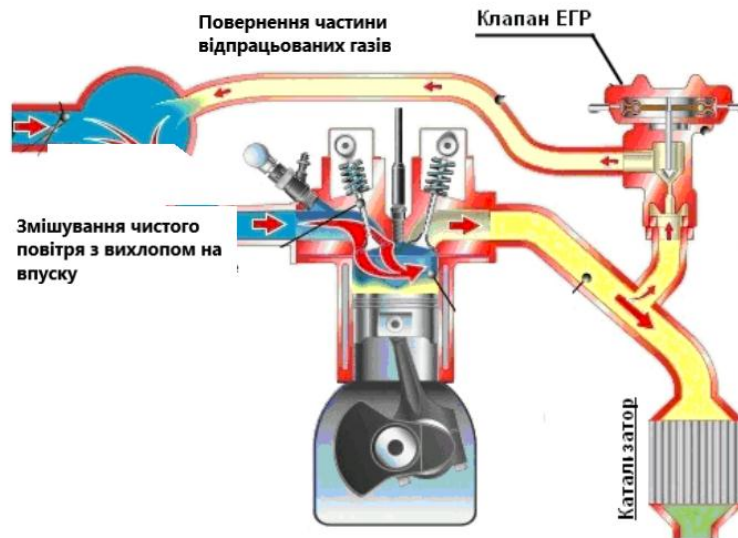


Рисунок 1.3 – Схема рециркуляції відпрацьованих газів

Охолодження рециркулюючих газів призводить до зменшення викиду NO_x і часток при порівнянних мірах рециркуляції. Цей ефект значиміший при великих мірах рециркуляції.

Для високооборотного дизельного двигуна з турбонаддувом, акумуляторною системою уприскування Common Rail електрогідравлічною форсункою практика показала високу ефективність охолодження рециркулюючих газів (зниження NO_x і димлення відпрацьованих газів при незмінній витраті палива), якщо забезпечити оптимальне управління мірою рециркуляції і охолодженням відпрацьованих газів.

Очищення (нейтралізація) відпрацьованих газів. З прийняттям норм Євро-5, які суттєво підвищили вимоги до емісії токсичних речовин, випускні системи дизелів стали комплектуватися системами очищення газів, що відпрацьовали.

Останні можна розбити на шість основних груп: механічні, інерційні, скрубери, електрофільтри, адсорбційні та комбіновані очищувачі. У нейтралізаторів відпрацьованих газів є ціла низка істотних недоліків:

- термічні нейтралізатори призводять до зниження потужності двигуна та збільшення витрати палива;
- рідинні нейтралізатори вимагають великих витрат часу на щоденне обслуговування через необхідність промивання системи подачі палива та

видалення шлаку;

- каталітичні нейтралізатори, виготовлені на основі оксидів кобальту, ванадію, нікелю, паладію мають високу вартість (рис. 1.4).

В даний час стають актуальними фільтри сажі, що працюють за принципом інерційної та дифузійної затримки частинок за допомогою фільтруючих матеріалів. Їхній основний недолік – швидка забиваність.

Аналіз робіт у галузі конструювання нейтралізаторів відпрацьованих газів показує, що найефективніше застосування комбінованих засобів очищення, що включають, як правило, механічний, термічний та каталітичний способи очищення [18]. Згідно з дослідженнями, проведеними [20,21], застосування комбінованих пристроїв для очищення відпрацьованих газів дозволяє знизити вміст у відпрацьованих газах окису вуглецю CO з 3,71 до 1,48 г/кВтч, сумарних вуглеводнів 46 до 0,25 г/кВтч, оксидів азоту NOX з 4,31 до 1,94 г/кВтч, сажі з 0,38 до 0,076 г/кВтч та задовольнити вимоги Євро-V за цими показниками.

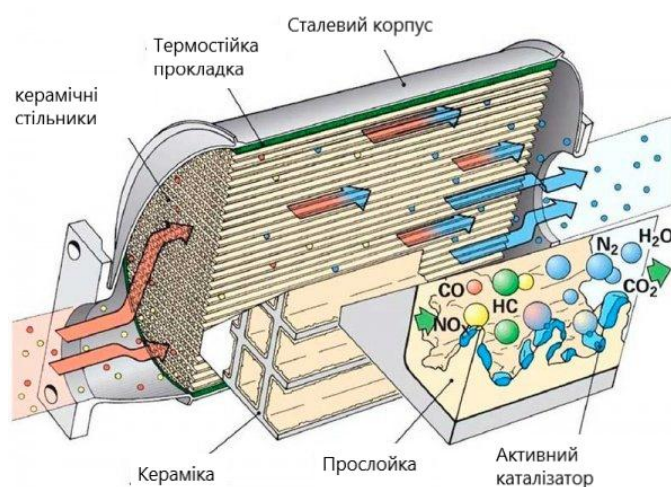


Рисунок 1.4 - Каталітичний нейтралізатор.

До недоліків таких нейтралізаторів можна віднести високу вартість каталізаторів, а також швидку забиваність каталізатора сажевими частинками та зниження ефективності очищення газів, що відпрацьовали.

Нейтралізація відпрацьованих газів (CO , C_nH_m , NO_x) здійснюється в системі випуску до викиду їх в атмосферу.

Нейтралізація відпрацьованих газів дозволяє усунути викиди з'єднань свинцю, SO_2 і палива. Це викликає необхідність використати третій шлях - обмеження вміст у паливі свинцю, сірки і ароматичних вуглеводнів.

У дизельному паливі допускається вміст сірки по масі не більше 0,20...0,05 %. Дозволений вміст свинцю, сірки в паливах для ДВЗ постійно зменшується.

Для зниження токсичності відпрацьованих газів використовується велика кількість різних заходів, включаючи застосування спеціальних антитоксинних пристроїв і систем. Вибір тієї або іншої стратегії залежить від рівня токсичності відпрацьованих газів, який вимагається забезпечити. Іншими словами, все залежить від законодавчих норм на допустимі викиди токсичних речовин, які необхідно виконувати.

Головні труднощі, які сильно ускладнюють поліпшення екологічних показників дизельних двигунів шляхом поліпшення процесів сумішоутворення і згорання, пов'язані з тим, що заходи, сприяючі зменшенню кількості NO_x , як правило, викликають зростання викиду часток сажі. З іншого боку, використання нейтралізаторів ускладнене через велику кількість часток сажі і кисню у відпрацьованих газах, а також їх відносно невисокої температури.

Нині застосування отримали лише каталітичні окислювальні нейтралізатори. Вони широко використовуються для швидкохідних двигунів легкових автомобілів і невеликих вантажівок. Цьому сприяє те, що температура відпрацьованих газів цих дизелів достатня для окислення C_nH_m , CO , розчинних органічних складових часток і альдегідів, а з іншого боку, вона недостатня для утворення великої кількості сульфатів. При високих температурах газів в каталітичному нейтралізаторі, SO_2 догорає до SO_3 , а потім SO_3 реагує з парами води, органічними і неорганічними сполуками, утворюючи сульфати, що істотно збільшують кількість часток. Наприклад, при випробуванні дизеля вантажівки Mercedes OM 366 по Європейському тесту доля сульфатів в загальній масі часток склала без нейтралізатора 30 % (загальний викид часток 0,282 г/кВт · ч), а з нейтралізатором - 57 % (викид часток 0,658 г/кВт · год). З цієї причини

використання каталітичних окислювальних нейтралізаторів для дизелів вантажних автомобілів ускладнене.

Оскільки дизель завжди працює на бідній суміші, додаткове подання повітря в систему випуску з окислювальним нейтралізатором не потрібно.

Після догорання відпрацьованих газів в каталітичному окислювальному нейтралізаторі при значеннях температури більше 300 С концентрація CO знижується на 85...90 %, в той час C_nH_m - на 75...80 %. Використати для дизелів звичайний трикомпонентний нейтралізатор для зменшення викиду NO_x не представляється можливим, оскільки він ефективно функціонує тільки при $\alpha = 1$.

Використовувані зараз методи оптимізації процесів сумішоутворення і згорання, а також рециркуляція відпрацьованих газів і окислювальні нейтралізатори не завжди забезпечують виконання дизелями норм EURO-3 (Правила № 49) і тим більше норм EURO-4 (2005 р.), тому ведуться інтенсивні пошуки нових способів зниження токсичності відпрацьованих газів і викиду часток дизелями.

Принципово можливі два основні напрями вирішення проблеми зниження викиду NO_x і часток :

- зменшення до нормативного значення кількості NO_x на виході з циліндра і зниження викиду часток шляхом уловлювання їх в системі випуску;
- зменшення до нормативного значення часток на виході з циліндра і нейтралізація NO_x в системі випуску.

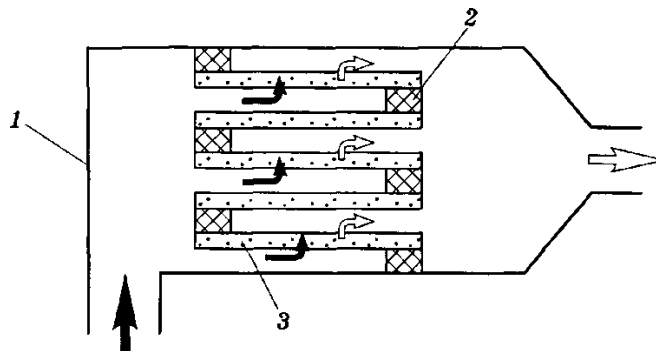
Властивості дизельного палива мають помітний вплив на емісію токсичних речовин. Відомо, що добавка до 1 % антидимних присадок (наприклад, на основі барію, марганцю або тетраетиленсвинцю) дозволяє у декілька разів знизити димлення відпрацьованих газів і вміст в них альдегідів і бензопирену. Використання спиртів як добавок до дизельного палива супроводжується значним зниженням димлення відпрацьованих газів при одночасному зменшенні викидів NO_x і CO, проте викиди C_nH_m при цьому сильно зростають.

Розробка нових недорогих присадок до дизельного палива, які сприяли б істотному зниженню викиду сажі з циліндрів або полегшували б регенерацію

фільтрів(уловлювачів) часток, є дуже актуальним завданням. Вже випробуваний ряд присадок на основі заліза і міді, які знижують температуру вигорання вуглєскладових часток до 300...400 °С і тим самим сприяють регенерації фільтрів саж.

Фільтрація відпрацьованих газів. Очистити відпрацьовані гази від часток за допомогою відповідних фільтрів (пасток) можна порівняно легко. Проте фільтри при цьому швидко забиваються, а протитиск на випуску сильно зростає. Очищення самих фільтрів є дуже складною проблемою. Її можна вирішувати або шляхом заміни елементів, що фільтрують, або шляхом їх регенерації на борту автомобіля [22].

В якості елементів фільтрів (рис. 1.5) сажі, що фільтрують, широко застосовується пориста кераміка на базі магнієво-алюмінієвого силікату (кордирита, $2\text{Mg}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_5\cdot 5\text{SiO}_2$). Цей матеріал забезпечує необхідну хімічну і термічну стійкість.



1 - корпус фільтра; 2 - керамічні пористі елементи; 3 - керамічні заглушки

Рисунок 1.5 - Схема керамічного фільтра сажі.

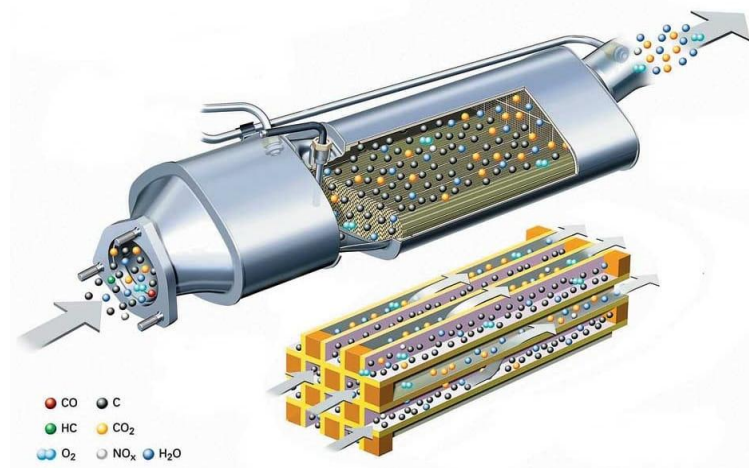
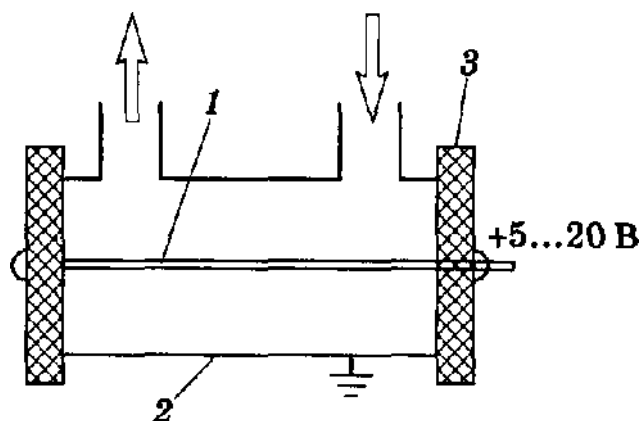


Рисунок 1.6 - Керамічний сажевий фільтр.

Фільтр сажі (рис. 1.6) може безперервно працювати, поки його опір не досягне 11 кПа. Потім фільтр слід регенерувати. Періодичність регенерації елементу, що фільтрує, залежить від його об'єму (сажоемності) і режимів роботи двигуна [23].

Питомий викид часток у дизелів складає 0,2...10 г/кВт год, тому важко забезпечити роботу фільтру сажі впродовж повної робочої зміни. У зв'язку з цим на транспортних засобах і тракторах встановлюють спеціальні полуменеві випалювачі, які працюють на дизельному або газовому паливі. У останньому випадку використовуються спеціальні пальники, що забезпечують автоматичне випалювання відкладень на фільтрі. Для зниження температури випалювання з 650 до 450 °С керамічні елементи фільтру сажі просочують каталізатором на основі металів платинової групи або сплаву міді і заліза. Просочення каталізатором знижує зміст в відпрацьованих газів оксидів вуглецю і вуглеводнів. Електричні випалюючі пристрої застосовуються в тихих випадках, коли є можливість підключатися до електричної мережі. Випалювання сажі проводять при непрацюючому двигуні. Нагрівальний елемент - дротяна сітка.

Розроблені декілька варіантів [24] очищення відпрацьованих газів від сажі сепаруючими пристроями, циклонами, а також електростатичний спосіб очищення ВГ, при якому відбувається зарядка часток іонізованим газом з подальшим їх осадженням на осаджувальному електроді (рис. 1.7).



1 - коронуючий електрод; 2 - осаджувальний електрод(корпус);

3 - високоевольтний ізолятор

Рисунок 1.7 - Електричний фільтр сажі.

Робляться спроби створення спеціальних пасток, в яких використовуються електричні поля у поєднанні з центрифугуванням.

Існують розробки електрофільтрів-допалювачів, що виконують роль нейтралізаторів [26-29]. Серед них сажа електрофільтр-допалювач, здатний уловлювати тверді частки відпрацьованих газів і випалювати їх за допомогою міжелектродного допалювача; плазмовохімічний реактор, що здійснює ефективне очищення відпрацьованих газів від CO , C_nH_m і NO_x .

Створення ефективних, надійних і недорогих нейтралізаторів і фільтрів є справою майбутнього. Поки вони застосовуються лише в тих випадках, коли трактор або автомобіль експлуатується в закритих приміщеннях або на деяких автобусах, працюючих в центральній частині міста.

На підставі вищевикладених експериментальних результатів досліджень можна зробити висновок про те, що вирішення екологічних проблем щодо зниження викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами автомобілів з ДВЗ, подальше вдосконалення їх конструкції та застосовуваних антитоксичних систем також дуже істотно залежить і від застосовуваних палив (енергоносіїв).

Для автомобілебудівників до теперішнього часу та в найближчому майбутньому залишається питання проблеми вибору на перспективу силової установки для автомобілів, яка б забезпечила заміну існуючих традиційних бензинових та дизельних двигунів з метою підвищення екологічної безпеки автомобілів та насамперед щодо викиду шкідливих речовин.

Створення нових екологічніших силових установок для автомобілів вимагає розробки нових конструкцій двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ). Перспективи створення таких силових установок пов'язують із застосуванням комбінованих енергетичних установок та використання альтернативних видів палив, а також подальшим удосконаленням систем нейтралізації відпрацьованих газів та створення систем нового покоління [30].

Аналіз засобів і методів зниження токсичності відпрацьованих газів дозволяє зробити такі висновки.

1. Заходи, що вживаються сьогодні, щодо зниження емісії токсичних

речовин з відпрацьованими газами знижують темп забруднення ґрунту та навколишнього середовища, але не зупиняють його.

2. Заходи, спрямовані на зниження токсичності газів, що відпрацьовали за рахунок зміни конструкції серійних двигунів, а також застосування альтернативних палив, в умовах економічної кризи нереальні.

3. Використання альтернативних біопалив призводить до збільшення вмісту у відпрацьованих газах ультратонких частинок, усунення яких потребує спеціальних пристроїв для їх коагуляції та осадження.

4. Застосування спеціальних антитоксичних регулювань та альтернативних палив знижує токсичність відпрацьованих газів, але, як правило, призводять до погіршення техніко-економічних показників двигунів.

5. Для дотримання норм викиду оксидів азоту при існуючому рівні технології двигунобудування необхідно використання складних і дорогих систем рециркуляції відпрацьованих газів і встановлювати впорскування в систему нейтралізації відпрацьованих газів розчину AdBlue, однак застосування даного способу вимагає встановлення додаткової системи підігріву розчину.

6. Найбільш перспективним напрямом зниження викиду токсичних речовин з відпрацьованими газами, є застосування комбінованих сажових фільтрів, що встановлюються у випускній системі. Однак вони не повною мірою відповідають вимогам Євро-5 та Євро-6 щодо вмісту токсичних речовин у газах, що відпрацьовали, і вимагають розробки принципово нових методів вирішення поставлених завдань.

Зниження токсичності відпрацьованих газів до допустимих меж є складним науково-технічним завданням, при рішенні якого велике значення має вартість тих або інших заходів, а також необхідність забезпечення збереження високих економічних, енергетичних і інших показників двигунів.

2. Розробка методу зниження токсичності газів відпрацьованих газів бензинового двигуна

Відомо, що найуживанішими в експлуатації режимами роботи автомобільних двигунів в умовах міського руху є часткові навантаження і холостий хід. Робота бензинових характеризується значною тривалістю експлуатації на цих режимах, що пояснюється значним обсягом транспортних та інших операцій, при виконанні яких двигун неможливо завантажити до номінальної потужності. При цьому значно погіршується робочий процес двигуна та підвищується токсичність відпрацьованих газів.

З метою проведення конструктивних заходів щодо зниження кількості шкідливих речовин, що викидаються з відпрацьованими газами двигунів з іскровим запалюванням, було запропонувати використовувати роботу двигунів на збіднених сумішах з використанням розшаруванням заряду. Такий принцип використовується у двигунах з безпосереднім впорскуванням бензину в автомобілях концерну WAG а також в інших.

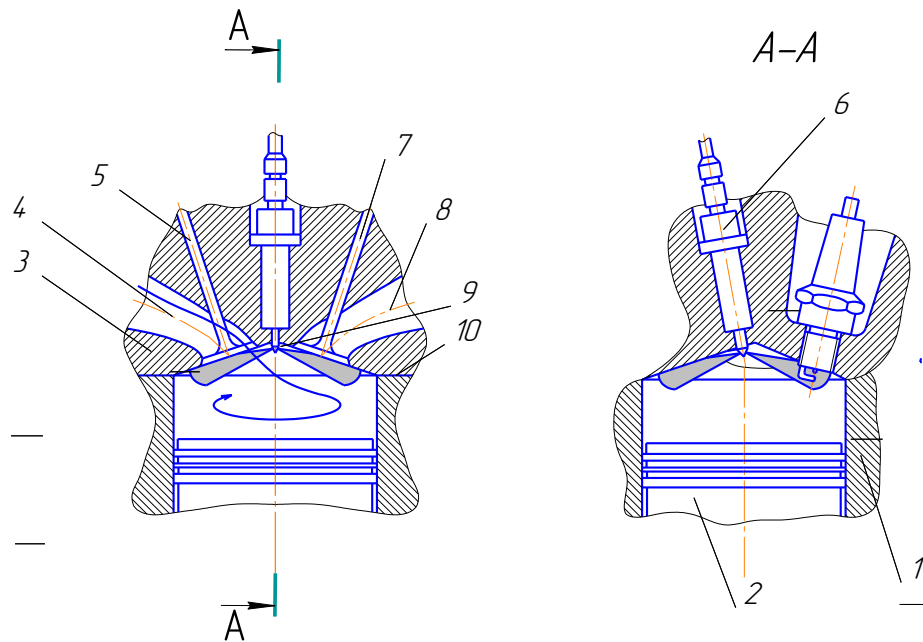
Відомі конструкції двигунів в яких здійснюється розшарування заряду паливо повітряної суміші, причому в центральній зоні камери згорання створюється зона збагаченої суміші, решта бідна, загалом суміш, що надійшла в циліндр є збідненою.

Найбільший внесок у дослідження ДВЗ зі зниженим вмістом шкідливих речовин в ОГ внесли вітчизняні вчені: Гутаревич Д.В, Дяченко В.Г., а також зарубіжні вчені Рікардо Г. Р., Хейвуд Д. Б. та ін.

Проведено аналіз конструкцій ДВЗ, що працюють на бідних сумішах з розшаруванням заряду, починаючи з перших розробок Г. Рікардо до наших днів. Встановлено, що ефективна робота ДВЗ на бідних сумішах дозволяє знизити викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами за одночасного поліпшення паливної економічності ДВЗ.

Було запропоновано, на відміну від існуючих конструкцій, організовувати сумішоутворення біля пристінковій зоні, створюючи при цьому завихрювання повітря і впорскування палива форсункою під кутами, що дозволять факелу

палива потрапляти в ці завихрені потоки повітря (рис. 2.1).



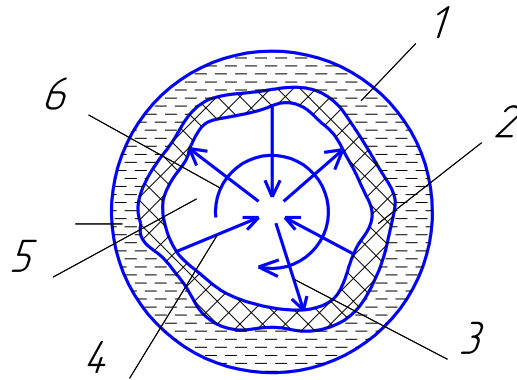
1 – циліндр; 2 – поршень; 3 – головка циліндра; 4 – тангенційний впускний патрубок; 5 – впускний клапан; 6 – форсунка; 7 – випускний клапан; 8 – випускний патрубок; 9 – камера згорання; 10 – стінка камери згорання; 11 – свічка.

Рисунок 2.1 - Схема пристіночного сумішоутворення з розпилювання суміші біля стінки циліндра, завихрюванням паливо-повітряної суміші та її запалювання.

Організовуючи сумішей утворення в пристіночній зоні, також поліпшуються умови випаровування палива внаслідок передачі тепла від нагрітих стінок гільз циліндрів до палива.

Особливості робочого процесу для ДВЗ з іскровим запаленням та розшаруванням заряду полягають у наступному:

- при впуску заряду в циліндр створюється інтенсивний вихровий рух навколо осі циліндра;
- в процесі стиснення до моменту запалення при інтенсивному русі заряду утворюється зона збагаченої суміші біля стінки камери згорання та гільзи циліндра та зона з чистим повітрям у її центрі.

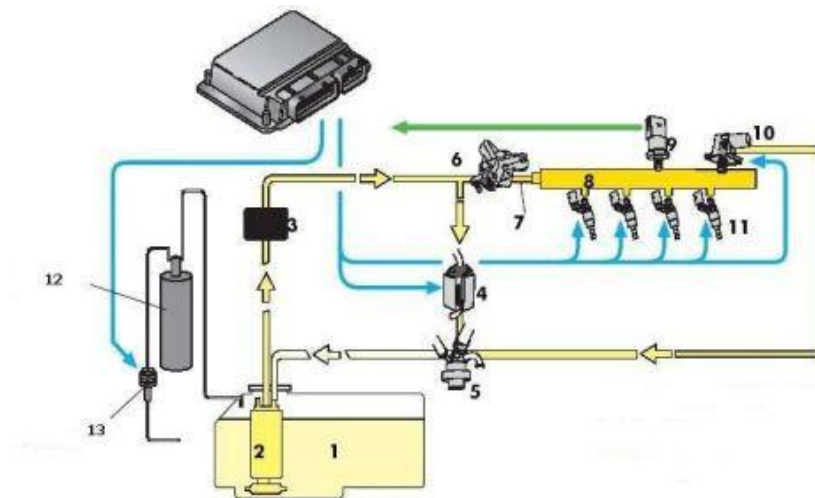


1 – багата суміш; 2 – зона горіння; 3 – рух повітря в зону горіння; 4 – рух продуктів згорання з зони горіння; 5 – повітря; 6 – напрямок вихрєвого руху заряду

Рисунок 2.2 - Особливості процесу згорання розширеного заряду.

При такій організації процесу сумішоутворення займання багатой суміші відбувається біля стінки камери згорання, а згорання - в кільцевій проміжній зоні з коефіцієнтом надлишку повітря $\alpha = 0,8..1,0$ (рис. 2.2), відводяться до осі утвореного вихору і витісняють повітря в зону горіння, куди надходить нагріта збагачена суміш від стінки камери згорання.

«Розроблений процес сумішоутворення може бути реалізований варіанті конструкції ДВЗ з безпосереднім впорскуванням палива. Схема такої системи живлення представлена на рис. 2.3 .



1 - паливний бак; 2 - паливний насос; 3 - паливний фільтр; 4 - перепускний клапан; 5 - регулятор тиску палива; 6 - паливний насос високого тиску; 7 - трубопровід високого тиску; 8 - розподільний трубопровід; 9 - датчик високого тиску; 10 - запобіжний клапан; 11 - форсунки упорскування; 12 – адсорбер; 13 -

Рисунок 2.3 - Принцип дії системи безпосереднього упорскування» [11].

«Система безпосереднього упорскування в результаті роботи забезпечує декілька видів сумішоутворення:

- пошарове
- стехіометричне гомогенне
- гомогенне.

Різноманітність у сумішоутворенні визначає високу ефективність використання палива (економія, якість утворення суміші, її повне згоряння, збільшення потужності, зменшення шкідливих викидів, миттєвий відгук на педаль акселератора) на всіх режимах роботи двигуна.

Пошарове сумішоутворення використовується при роботі двигуна на малих та середніх оборотах та навантаженнях. Стехіометричне (інше найменування - легкозаймисте) гомогенне (інше найменування - однорідне) сумішоутворення застосовується при високих оборотах двигуна - режим макісимальної потужності або великих навантаженнях - режим максимального моменту» [11].

«На *бідній гомогенній* суміші двигун працює в проміжних режимах і на холостому ході, коли потрібно забезпечити максимальну економію палива.

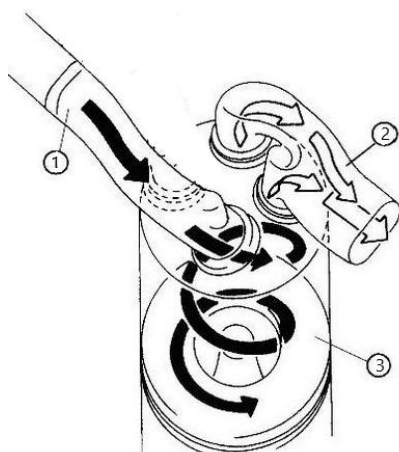
При *пошаровому* сумішоутворенні дросельна заслінка майже повністю відкрита, впускні заслінки закриті. Повітря надходить у камери згоряння з великою швидкістю, з утворенням повітряного вихору. Упорскування палива проводиться в зону свічки запалювання в кінці такту стиснення, для цього поршень має спеціальну форму днища. За нетривалий час до займання в районі свічки запалювання утворюється паливно-повітряна суміш з коефіцієнтом надлишку повітря від 1,5 до 3. При займанні суміші навколо неї залишається досить багато чистого повітря, що виступає в ролі утеплювача.

Гомогенне стехіометричне сумішоутворення відбувається при відкритих впускних заслінках, дросельна заслінка при цьому відкривається відповідно до положення педалі газу. Упорскування палива проводиться на такті впуску, що

сприяє утворенню однорідної суміші. Коефіцієнт надлишку повітря становить 1. Суміш загоряється та ефективно згоряє у всьому обсязі камери згоряння. Бідна гомогенна суміш утворюється при максимально відкритій дросельній заслінці та закритими впускними заслінками. При цьому створюється інтенсивний рух повітря у циліндрах. Упорскування палива проводиться на такті впуску. Коефіцієнт надлишку повітря підтримується системою управління двигуном лише на рівні 1,5. При необхідності до складу суміші додаються гази, що відпрацювали з випускної системи, вміст яких може доходити до 25%, що знижує кількість кисню в камері згоряння» [11].

Запропонована конструкція двигуна буде працювати наступним чином (рис. 2.4). Повітря надходить в циліндр 1 через тангенціальний впускний патрубок 4 і відкритий впускний клапан 5, що створює інтенсивний вихровий рух заряду навколо осі циліндра 1. Паливо впорскується на такті стиснення форсункою із спрямуванням на стінку 10. Паливо випаровується біля стінки 10 і, з'єднуючись з повітряним зарядом, що обертається, утворює на периферії камери згоряння 9 кільцевий об'єм багатопаливоповітряної суміші, тоді як в центрі камери згоряння утворюється бідна суміш аж до чистого повітря. Багата суміш займається свічкою запалювання, електроди якої також розміщуються в біляпристіночній зоні.

Завихрювання повітряного потоку забезпечується формою каналу та напрямком його розміщення відносно циліндра (рис. 2.4).



1 – впускний канал; 2 – випускний канал; 3 – поршень.

Рисунок 2.4 – Створення завихрювання повітряного потоку формою впускний каналів

Проведення досліджень першого варіанта ДВЗ було неможливо через брак коштів на виготовлення дослідного зразка, тому було прийнято рішення про проведення досліджень другого варіанта ДВЗ з модернізованою системою впуску (рис. 3), в якій тангенціальний впускний патрубок циліндра підводився до впускного клапана під кутом нахилу та по дотичній до гільзи циліндра. Таким чином було реалізовано підведення багатої суміші до стінки камери згоряння.

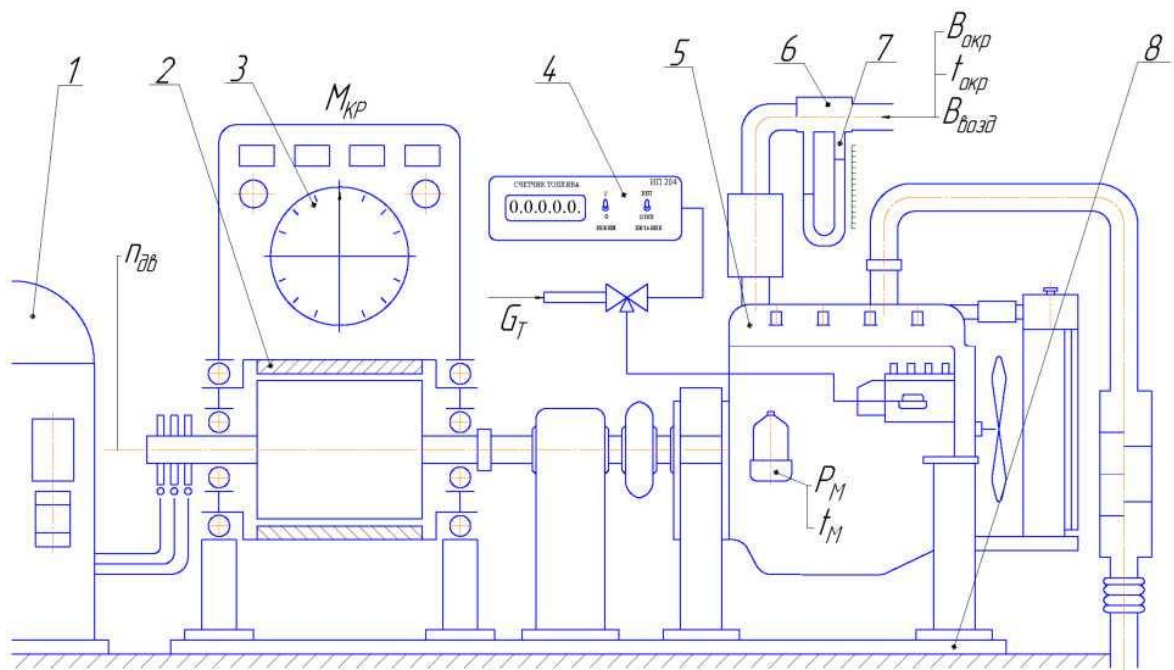
Як об'єкт досліджень був використаний двигун автомобіля Skoda 1,4 з безпосереднім впорскуванням.

Експериментальна головка циліндра була виготовлена з тангенціальним впускним патрубком. Багата суміш створювалася за рахунок безпосереднього впорскування форсунок з великим кутом розкриття.

3. Експериментальне обладнання та методики досліджень

Випробування проводилися на дослідному обкаточно-гальмівному стенді.

Стенд обкаточно-гальмівний типу КИ-5543 ГОСНИТИ (рис. 3.1) призначений для проведення обкатування та випробувань двигунів з максимальним крутним моментом не більше 363 Н м (37 кгсм) і частотою обертання колінчастого вала в межах 1200 ... 3000 хв⁻¹.



1 – рідинний реостат; 2 – балансувальна машина; 3 – ваговий пристрій для

вимірювання крутного моменту; 4 – лічильник палива; 5 – ДВЗ; 6- мірне сопло; 7 – рідинний манометр; 8 – фундаментна плита.

Рисунок 3.1 - Схема стенду для випробовування ДВЗ.

Стенд складається з наступних основних частин:

- фундамент з плитою, на якому монтується двигун зі штатними системами охолодження і мащення;
- динамометричних пристрій з балансною електричною машиною для поглинання потужності і прокручування;
- реостат рідинний з дистанційним управлінням;
- стійка приладова з апаратурою дистанційного керування;
- пристрій для визначення масової витрати повітря, температури відпрацьованих газів двигуна та обертів колінчастого вала двигуна, температури антифризу, оливи і тиску оливи;
- електрошафа.

На стенді передбачена система відсмоктування відпрацьованих газів, забезпечена термоізоляцією і глушником шуму [90].



Рисунок 3.2 – Загальний вигляд випробувального стенду.

На стенді встановлено двигун (рис. 3.3), маховик якого за допомогою карданної передачі, закритою захисним кожухом, з'єднаний з ротором балансної електричної машини.



Рисунок 3.3 - Двигун на випробувальному стенді.

Витрата палива двигуном вимірюється поршневим лічильником палива ИП-204 або штихпробером.

Прилад призначений для вимірювання поточної витрати палива в літрах за годину при випробуваннях автомобільних двигунів.

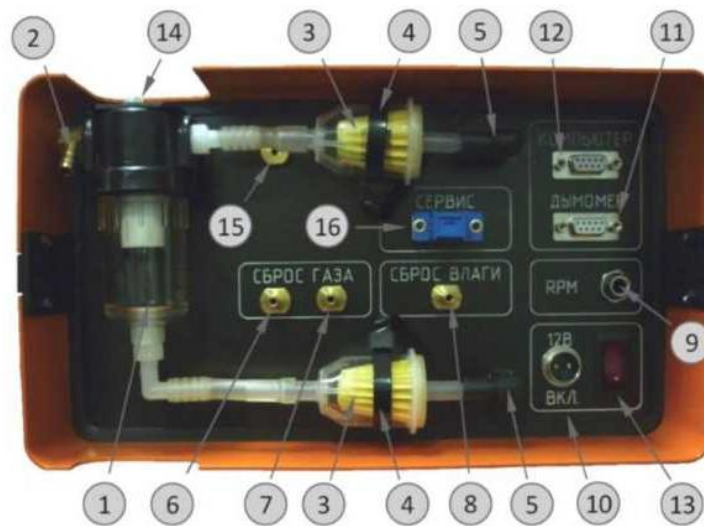
Принцип дії приладу заснований на формуванні і вимірюванні параметрів імпульсних сигналів, частота проходження яких пропорційна витраті дизельного палива, що проходить через первинний вимірювальний перетворювач. Мінімальний рівень палива в баку повинен бути вище місця установки приладу.

Відповідно до метою та завданнями експериментальних досліджень замірялися наступні параметри і використовувалися наступні пристрої, прилади і реєструє апаратура.

Газоаналізатор. Вимірювання вмісту токсичних компонентів у відпрацьованих газах двигуна проводилося відповідно до ГОСТ Р 51249-99 газоаналізатором на частотах обертання колінчастого вала від 1000 до 2200 хв-1 з кроком 200 хв-1.

Аналізатор призначений для вимірювання концентрацій вуглеводнів (СН), оксиду вуглецю (СО), діоксиду вуглецю (СО₂), кисню (О₂), оксидів азоту (N₀).

Прилад (рис. 3.4, 3.5) конструктивно складається з системи пробовідбору, пробопідготовки і власне аналізатора (вимірювального блоку).



1 - фільтр вологовідокремлювач; 2 – штуцер входу аналізованої проби; 3 – два фільтри GB-202; 4 – стяжки для кріплення фільтрів; 5 – гумові кутові з'єднувачі; 6, 7, 8 – штуцера; 9 – роз'єм для підключення датчика частоти обертання колінчастого валу; 10 - роз'єм живлення 12В; 11 - роз'єм димомір; 12 – роз'єм комп'ютер; 13 – вимикач живлення; 12 – кріпильні гвинти; 15 –штуцер забирання атмосферного повітря; 16 – роз'єм для сервісного обслуговування.

Рисунок 3.4 – Задня панель газоаналізатора



1 – дисплей; 2 –клавіатура; 3- принтер.

Рисунок 3.5 – Передня панель газоаналізатора

Принцип дії приладу заснований на вимірюванні величин поглинання інфрачервоного (ІЧ) випромінювання вуглеводнями, оксидом вуглецю та діоксиду вуглецю в індивідуальних областях спектра випромінювання [2].

Аналізований газ надходить в керується за допомогою терморегулятора кювету бездісперсійного ІЧ вимірювального модуля. Коли кювет наповнюється газом, ІЧ детектор вимірює зменшення інтенсивності інфрачервоного випромінювання в діапазонах хвиль, що відповідають кожному з вимірюваних газів.

Вимірювання концентрації кисню і оксидів азоту здійснюється електрохімічним методом [14].

4. Результати експериментальних досліджень технічних та екологічних характеристик двигунів

У даному розділі представлені результати досліджень процесу сумішоутворення при використанні експериментальної системи впуску та екологічних та економічних показників.

Результати фізичного моделювання сумішоутворення (рис. 4.1) демонструють утворення вихрового руху навколо осі циліндра при впуску, який охоплює весь об'єм свіжого заряду. При цьому дим, що моделює бідну суміш, накопичується в центрі камери згоряння, а повітря, що моделює багату суміш - на периферії камери згоряння, що відповідає розробленому робочому процесу.

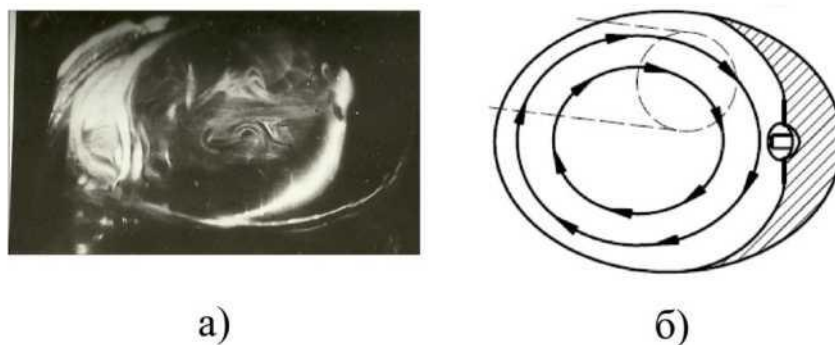
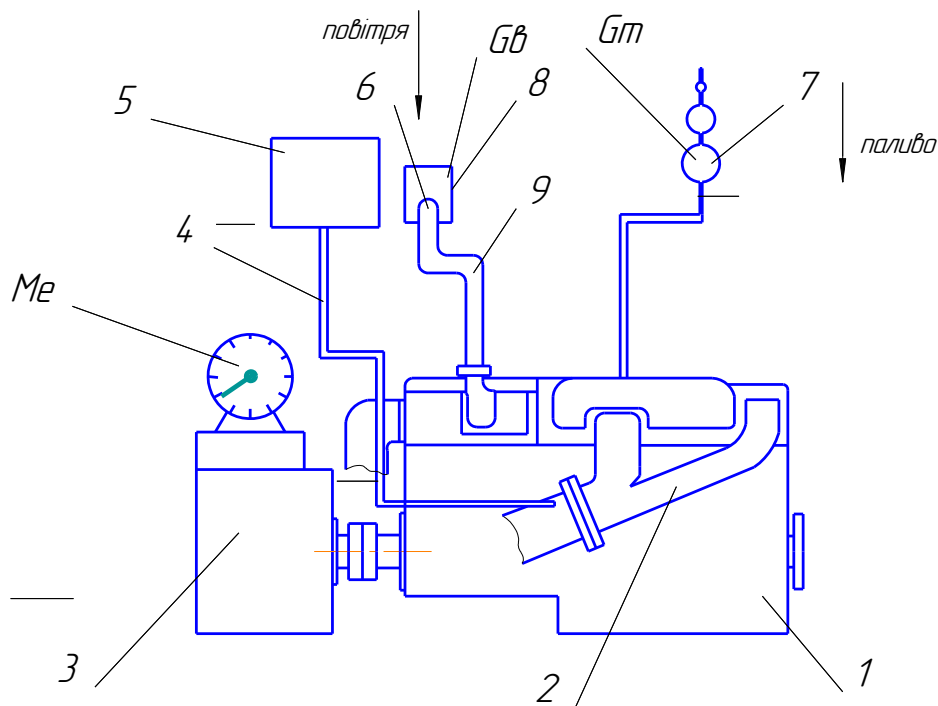


Рисунок 4.1 - Візуалізація та схема руху повітря в циліндрів

Слід зазначити, що необхідний розподіл заряду в камері згоряння досягається тільки при високих витратах повітря, тоді як при малих витратах спостерігається різноспрямоване вихрове наповнення.



1 – двигун; 2 - випускна труба; 3 – гальмівний пристрій; 4 – магістраль підведення відпрацьованих газів на газоаналізатор; 5 – газоаналізатор CO, CH, NOx; 6 – витратомір повітря; 7 – штихпробер; 8- лічильники витрати повітря;

Рисунок 4.2 – Схема експериментальної установки

Система живлення містила впускну трубу 9. Випускна труба 2 була забезпечена зондом для відбору проб відпрацьованих газів, з'єднаним через магістраль 4 з газоаналізатором 5. Концентрація CO, CH та NOx вимірювалася газоаналізатором 5.

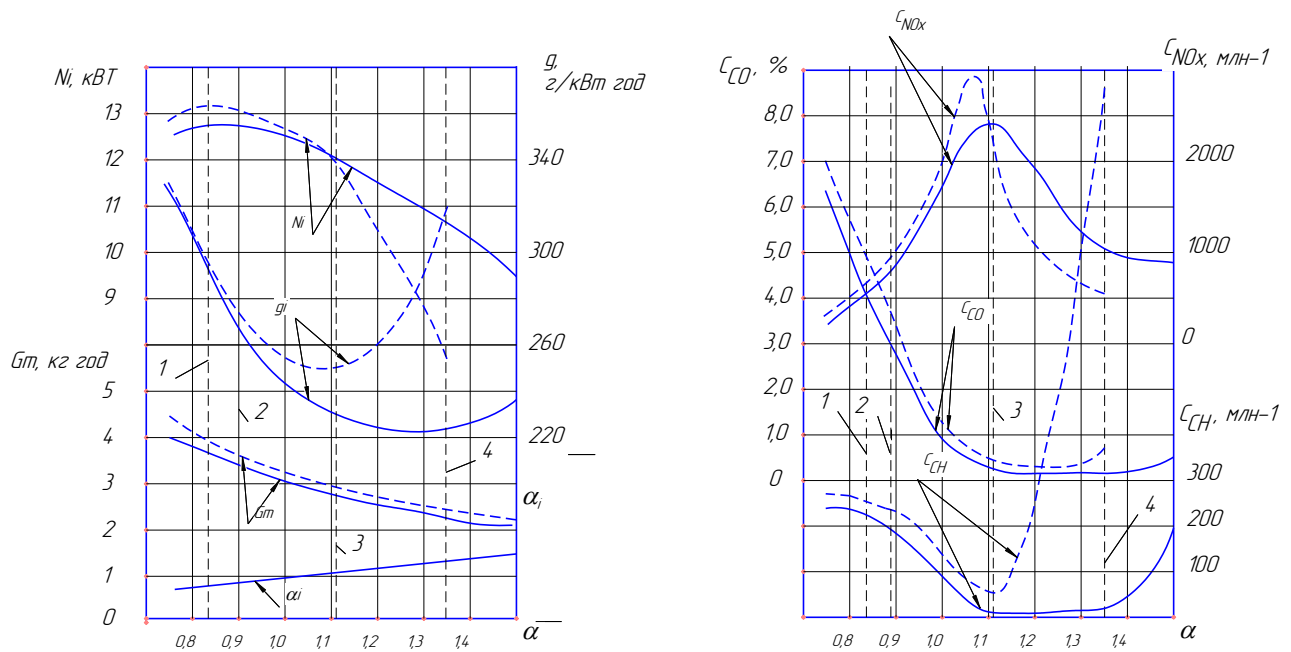


Рисунок 4.3 - Порівняльні регулювальні характеристики за складом суміші, отримані при повністю відкритих дросельних заслонках на режимі $n=2700$ хв-1, а – потужнісні і економічні показники, б – викиди токсичних компонентів відпрацьованих газів; 1, 2 – потужнісні склади суміші; 3,4 – границі економічного збіднення.

----- базовий процес; — процес з розшаруванням заряду.

Результати досліджень (рис. 4.3) демонструють, що максимальна потужність одного циліндра при роботі за базовим процесом на 3...4 % вища, ніж при роботі з розшаруванням заряду.

Ефективність робочого процесу при розшаруванні заряду вища, ніж у базового процесу, так як він забезпечує менші значення питомої витрати палива g_i . Працюючи на межі економічного збіднення (остання експериментальна точка з мінімальними значеннями СН) в ДВЗ з розшаруванням заряду g_i покращується більш ніж 10 % проти базового робочого процесу.

Погодинна витрата палива G_t менша на 6-7% у запропонованому процесі в порівнянні з базовим.

Також, спостерігається менший вміст СО і СН у відпрацьованих газах широкому діапазоні зміни коефіцієнту на лишку повітря α .

При цьому рівень викидів СО, СН і NOx з відпрацьованими газами знижується. На рис. можливо відмітити зниження NOx на 7-8%, зниження СО на 6-8%, а також значне зниження СН до 35% на деяких режимах.

7. Основні результати та висновки

1. В роботі проаналізовано проблему токсичності автомобільних двигунів, етапи нормування токсичності відпрацьованих газів, встановлено токсичні компоненти, що містяться у відпрацьованих газах, досліджено напрямки підвищення екологічності автомобільних двигунів.
2. Запропоновано з метою зниження токсичності відпрацьованих газів бензинових двигунів використовувати організацію процесу сумішоутворення двигунів з безпосереднім впорскуванням бензину, при якому створюється зона збагаченої суміші біля стінок камери згорання та гільзи циліндрів, впорскування та запалювання паливо-повітряної суміші відбувається в пристіночній зоні.
3. Досліджено новий процес сумішоутворення для двигуна з іскровим запалюванням та розшаруванням заряду в циліндрі, особливістю якого є те, що при впуску та стисканні відбувається утворення багатой суміші біля стінки камери згорання, а бідної суміші аж до чистого повітря – у її центрі при інтенсивному вихровому русі заряду навколо осі циліндра.
4. На моторному стенді проведено порівняльні дослідження базового та запропонованого процесу, які показали, що при роботі циліндра з розшаруванням заряду на межі економічного збіднення максимальна потужність одного циліндра при роботі за базовим процесом на 3...4 % вища, ніж при роботі з розшаруванням заряду. Питома індикаторна витрата палива g_i покращується більш ніж 10 % проти базового робочого процесу, погодинна витрата палива G_t також менша на 6-7% у запропонованому процесі в порівнянні з базовим.
5. При використанні запропонованого способу сумішоутворення спостерігається менший вміст CO і CH у відпрацьованих газах при широкому діапазоні зміни коефіцієнту надлишку повітря α . При цьому рівень викидів CO, CH і NOx з відпрацьованими газами знижується. Спостерігається зниження NOx на 7-8%, зниження CO на 6-8%, а також значне зниження CH до 35% на деяких режимах.

Список використаних джерел

1. → Кужель В. П. Екологія та ресурсозбереження на автомобільному транспорті : навчальний посібник / В. П. Кужель, С. М. Севостьянов. — Вінниця: ВНТУ, 2013. — 105 с.
2. → Екологія автомобільного транспорту: Навч. посіб. / Ю. Ф. Гутаревич, Д. В. Зеркалов, А. Г. Говорун та ін. — К.: Основа, 2002. — 312 с.
3. → Анісімов В. Ф., Пришляк В. М., П'ясецький А. А., Бурлака С. А. Експериментальне дослідження відпрацьованих газів дизельних двигунів. Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Сер. Технічні науки. 2013. Вип. 12. С. 56–66. URL: <http://www.irbis-nbuv.gov.ua/>.
4. → Директива Комісії 2003/76/ЄС від 11 серпня 2003 р., доповнююча Директиву 70/220/ЄС відносно заходів проти забруднення повітряного середовища відпрацьованими газами моторних транспортних засобів. — 2003. — 3 с.
5. → Транспортна екологія: навчальний посібник / [Запорожець О. І., Бойченко С. В., Матвєєва О. Л., Шаманський С. Й. та інші]. — Київ: 2017. — С. 360.
6. → Говорун А. Г., Скорченко В. Ф., Худолій М. М. Транспорт і навколишнє середовище. — К.: Урожай, 1992. — 144 ст.
7. Данилевич Я. Б., Денисов В. Я. Системні рішення проблем екологічної безпеки автотранспортного комплексу, як метод покращення екологічної ситуації у мегаполісах // Доп. IV Міжнар. наук.-практ. конф. «Автотранспорт: від екологічної політики до щоденної практики». — К.: ЦУЛ, 2005. — 200 с.
8. → Музичук В. І. Підвищення ефективності експлуатації автомобілів шляхом підбору альтернативних видів моторного палива / В. І. Музичук, М. Ю. Кушта // Сучасні проблеми виробництва, переробки сільськогосподарської продукції, машинобудування та енергетичних систем АПК: матеріали науково-технічної конференції. — Вінниця, 2014. — С. 34–36.
9. → Громико П. Інжекторні газобалонні системи паливopодачі / П. Громико, А. Н.

- Савушкін // Автомоб. пром-ть. -- 1997. -- № 11. -- С. 16-18. ¶
10. Гулько І.В. Залежність швидкості транспортного засобу від умов дорожнього покриття / І.В. Гулько, Т.С. Василенко, Є.А. Титаренко // Сучасні агротехнології: тенденції та інновації: Мат. Всеукр. наук.-практ. конф. -- Вінниця: РВВ ВНАУ. -- 2015. -- С. 19--21. ¶
 11. Системи управління бензиновими двигунами. Перевед. з німецького. Перше видання. -- К.: ТОВ «Книжкове видавництво», 2005. -- 42 с. ¶
 12. Яшковський В. І. Сучасні методи розрахунків ДВЗ / В. І. Яшковський, І. В. Гулько, О. В. Гупаленко. -- Вінниця, РВВ ВНАУ. -- 2016. -- 132 с. ¶
 13. Патент України № 69648А. МКИ F02B 23/10, F02B 17/00, F02B 41/04. Спосіб роботи двигуна внутрішнього згоряння. / В.Г. Дяченко, В.О. Астахов — Заявл. 10.11.2003, № 20031110093. — Опубл. 15.09.2004 в бюл. № 9. ¶
 14. Міхно М. В. Зниження витрати палива та шкідливих викидів рухомих складом автомобільного транспорту раціональним вибором експлуатаційних факторів: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.10. / Український транспортний ун-т. — К., 1998. — 16с. ¶
 15. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії / О.Адаменко, В. Височанський, В. Льотко, М. Михайлов. Під ред. докт. техн. наук, проф. В. Льотко. Підручник для енергетичних і екологічних спеціальностей вищих навчальних закладів. Івано-Франківськ, «Полум'я», 2000. -- 225 с. ¶
 16. → Транспортні енергетичні установки : навч. посіб. / О. М. Артюх, О. В. Дударенко, В. В. Кузьмін та ін. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2021. -- 264 с. ¶
 17. → Транспортні енергетичні установки (традиційні, нетрадиційні та альтернативні), принцип роботи та особливості будови : навч. посіб. / Ю. Ф. Гутаревич та ін. К. : НТУ, 2015. 244 с. ¶
 18. → Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Є. Автомобільні двигуни: Підручник. К. : Арістей, 2006. 476 с. 3. Загальний курс транспорту: Підручник / М. Ф. Дмитриченко, І. І. Кельман, Є. К. Вільковський, З. І. Пеклич, О. І. Мельниченко Львів, 2011. 524 с. ¶

19. → Хіммотологія наземних транспортно-технологічних засобів / В. М. Коваленко, Л. Є. Пелевін, Г. О. Аржаєв, В. В. Слободчиков. — К.: Аграр Медіа-Груп, 2012. — Ч. I: Палива-моторні. — 300 с. ¶
20. → Полянський С. К. Експлуатаційні матеріали для автомобілів і будівельнодорожніх машин / С. К. Полянський, В. М. Коваленко. — К.: Либідь, 2005. — 504 с. ¶
21. → Rajamani, P. Optimization of Geometry and Parameter Affecting Combustion for Four Stroke LPG Engine using CFD [Текст] / P. Rajamani, S. Palani, S. S. Subramanian // SAE Technical Paper, 2010-32-0009, 2010. ¶
22. → Bakshi, S. Boost Port Injection of LPG in a Two — Stroke SI Engine for Reduction in HC Emissions [Текст] / S. Bakshi, A. Ramesh // SAE Technical Paper, 2013-01-0584, 2013. ¶
23. → Sulaiman, M. Y. Performance of Single Cylinder Spark Ignition Engine Fueled by LPG [Текст] / M. Y. Sulaiman, M. R. Ayob, I. Meran // Procedia Eng., vol. 53, pp. 579–585, Jan. 2013. ¶
24. → Alagumalai, A. Combustion characteristics of lemongrass (Cymbopogon flexuosus) oil in a partial-premixed charge-compression ignition engine [Текст] / A. Alagumalai // Alexandria Eng. J., vol. 54, no. 3, pp. 405–413, 2015. ¶
25. → Yusri, M. Experimental investigation of combustion, emissions and thermal balance of secondary butyl alcohol-gasoline blends in a spark ignition engine [Текст] / M. Yusri, R. Mamat, W. H. Azmi, G. Najafi, N. A. C. Sidik, O. I. Awad // Energy Convers. Manag., vol. 123, pp. 1-14, 2016. ¶
26. → Phuong, P. X. Comparison of Liquid and Gaseous Liquefied Petroleum Gas Injection in a Spark Ignition Engine [Текст] / Master Thesis, University of Melbourne, 2006. ¶
27. → Shehata, M. S. Cylinder pressure, performance parameters, heat release, specific heats ratio and duration of combustion for spark ignition engine [Текст] / Energy, vol. 35, no. 12, pp. 4710–4725, 2010. ¶
28. → Djouadi, A. Combustion study of a spark-ignition engine from pressure cycles [Текст] / A. Djouadi, F. Bentahar // Energy, 101, 211–217, 2016. ¶

29. → Yuan, C. An experimental research on the combustion and heat release characteristics of a free-piston diesel engine generator [Текст] / C. Yuan, H. Feng, Y. He // Fuel, vol. 188, pp. 390–400, 2017. ¶
30. → Ceviz, A. Determination of cycle number for real in-cylinder pressure cycle analysis in internal combustion. ¶