



ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ
ТА ЕНЕРГЕТИКИ



КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**«Підвищення екологічності та економічності роботи бензинових
двигунів в експлуатаційних умовах на базі ФОП «Ковальов
Олександр Стефанович» с. Соколівське Кропивницького району
Кіровоградської області»**

Виконав:

магістрант групи АТ23М-2 спеціальності 274
«Автомобільний транспорт» ОПП «Автомобільний
транспорт»

_____ Андрій СОЛОВИХ

Керівник:

к.т.н., доцент _____ Сергій МАГОПЕЦЬ

«ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри:

к.т.н., доцент _____ Сергій МАГОПЕЦЬ
«__» _____ 2024 р.

Рецензент:

_____, _____
(наук. ст., вч. 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) рівень вищої освіти

Галузь знань: 27 «Транспорт»

Спеціальність: 274 «Автомобільний транспорт»

Освітньо-професійна програма: «Автомобільний транспорт»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри «Експлуатація та
ремонт машин»

_____ Сергій МАГОПЕЦЬ
«__» _____ 2024р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

СОЛОВИХ Андрію Євгеновичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Підвищення екологічності та економічності роботи бензинових двигунів в експлуатаційних умовах на базі ФОП «Ковальов Олександр Стефанович» с. Соколівське Кропивницького району Кіровоградської області»

керівник роботи МАГОПЕЦЬ Сергій Олександрович, к.т.н, доцент

(прізвище, ім'я, по батькові)

(науковий ступінь) (вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «__» _____ 2024 року № _____

2. Строк подання здобувачем роботи «30» листопада 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Матеріали переддипломної практики

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

4.1. Розділ 1. Дослідити специфіку провадження діяльності автосервісного підприємства «Ковальов-Авто»; встановити актуальні напрямки підвищення експлуатаційної надійності, економічності та екологічності легкових АТЗ.

4.2. Розділ 2. Проаналізувати вплив різних факторів на токсичність ДВЗ, оцінити традиційні та перспективні способи зниження токсичності відпрацьованих газів; обґрунтувати тему роботи, визначити предмет та об'єкт досліджень, сформулювати задачі подальших досліджень.

4.3. Розділ 3. Навести обладнання та описати загальну методику проведення досліджень; виконати дослідження параметрів робочого циклу ДВЗ при використанні етанолу в якості добавки до бензину; дослідити основні характеристики бензо-етанольних сумішей.

4.4. Розділ 4. Навести конструкцію системи подачі етанолу та описати принцип її роботи; виконати Оцінку ефективних показників роботи ДВЗ на бензо-етанольних сумішах.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

5.1. Аналіз показників виробничої діяльності автосервісного підприємства «Ковальов-Авто» с. Соколівське. 5.2. Фактори, що визначають та впливають на рівень токсичності відпрацьованих газів ДВЗ. 5.3. Перспективні напрямки підвищення ефективності організації робочого циклу ДВЗ та зниження рівня токсичності відпрацьованих газів. 5.4. Обґрунтування актуальності досліджень магістерської роботи. Об'єкт й предмет, мета та задачі досліджень в роботі. 5.5. Апаратне забезпечення та методика проведення досліджень. 5.6. Визначення оптимальних параметрів процесів стискання та запалення бензо-етанольних сумішей. 5.7. Дослідження антидетонаційних та інших характеристик бензо-етанольних сумішей. 5.8. Конструктивні особливості системи подачі етанолу. 5.9. Оцінка ефективних показників роботи ДВЗ на бензо-етанольних сумішах. 5.10. Загальні висновки по роботі.

ГРАФІК ВИКОНАННЯ ЕТАПІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1.	18.10.2024	
2	Розділ 2.	01.11.2024	
3	Розділ 3.	15.11.2024	
4	Розділ 4.	22.11.2024	
5	Загальні висновки	26.11.2024	
6	Оформлення структурних елементів МР	28.11.2024	
7	Ілюстративний матеріал до МР	29.11.2024	

Магістрант

_____ (підпис)

СОЛОВИХ А.Є.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

МАГОПЕЦЬ С.О.

(ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Метою дослідження була оцінка можливостей покращення екологічності й паливної економічності роботи ДВЗ легкових автомобілів в експлуатаційних умовах за рахунок додавання до бензинів певних обсягів етанолу та застосування раціональної технології утворення бензо-етанольної суміші із мінімальними показниками її розшарування.

В першому розділі роботи «Визначення актуальних напрямків досліджень» була виконана оцінка ефективності роботи сервісного підприємства «Ковальов-Авто» та виконаний СВОТ-аналіз, який показав слабкі сторони та перспективні напрямки його розвитку; визначені актуальні для реалізації на підприємстві напрямки.

В другому розділі «Оцінка шляхів зниження вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах ДВЗ» досліджено вплив різних факторів на токсичність ДВЗ, оцінені традиційні та визначені перспективні способи зниження токсичності відпрацьованих газів; обґрунтовані актуальні напрямки досліджень, встановлено мету, об'єкт та предмет досліджень, визначені основні задачі, що потребують розв'язання.

Об'єктом дослідження обрано процес ефективності перетворення енергії палива у механічну роботу при використанні легких рідких палив – бензинів із вмістом етанолу.

Основними задачами, що потребують вирішення визнано:

- на основі оцінки та порівняння основних ефективних показників роботи ДВЗ, проведення досліджень із визначення оптимальних концентрацій спирту у бензині;
- розробку методики практичної реалізації інтеграції підсистеми подачі етанолу до систем сумішоутворення бензинових інжекторних ДВЗ при мінімальних змінах конструкції базових систем живлення та сумішеутворення.

В третьому розділі «Дослідження властивостей та ефективності роботи ДВЗ на бензо-етанольних сумішах» визначені оптимальні параметри термодинамічних процесів роботи ДВЗ на бензо-етанольних сумішах та виконано оцінку їх антидетонаційних та інших характеристик.

В четвертому розділі «Дослідження ефективних показників роботи ДВЗ на бензо-етанольних сумішах» описано конструкцію, принцип роботи та особливості інтеграції системи вприскування етанолу до системи сумішоутворення бензинового ДВЗ, яка мінімізує можливості розшарування бензо-етанольної суміші та здійснено оцінку ефективних показників роботи ДВЗ на бензо-етанольних сумішах із різним вмістом етанолу.

Кваліфікаційна магістерська робота складається із пояснювальної записки обсягом 73 сторінки із 37 рисунками та 15 таблицями, яка містить завдання, реферат, зміст, вступ, 4 основні розділи, загальні висновки й перелік використаних джерел та 10 слайдів ілюстративного матеріалу загальним обсягом сторінок.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	6
1. ВИЗНАЧЕННЯ АКТУАЛЬНИХ НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ...	8
1.1. Характеристика виробничого спрямування ПП «Ковальов-Авто» ФОП «Ковальов Олександр Стефанович» с. Соколівське	8
1.2. Аналіз особливостей формування річних обсягів сервісних робіт ...	10
1.3. Визначення актуальних напрямків досліджень	14
2. ОЦІНКА ШЛЯХІВ ЗНИЖЕННЯ ВМІСТУ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН У ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗАХ ДВЗ	26
2.1. Вплив різних факторів на токсичність ДВЗ та традиційні способи зниження токсичності відпрацьованих газів	26
2.2. Перспективні напрямки зниження рівня токсичності відпрацьованих газів ДВЗ	31
2.3. Обґрунтування актуальності проведення наукових досліджень. Предмет, об'єкт мета та задачі роботи	36
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ДВЗ НА БЕНЗО-ЕТАНОЛЬНИХ СУМІШАХ	41
3.1. Лабораторне обладнання та загальна методика проведення досліджень	41
3.2. Визначення оптимальних параметрів процесів стискання та запалення бензо-етанольних сумішей	43
3.3. Дослідження антидетонаційних та інших характеристик бензо- етанольних сумішей	48
4. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ДВЗ НА БЕНЗО-ЕТАНОЛЬНИХ СУМІШАХ	58
4.1. Особливості конструкції та принцип роботи системи подачі етанолу.....	58
4.2. Оцінка ефективних показників роботи ДВЗ на бензо-етанольних сумішах	62
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	69
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	72

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АЗС – автозаправна станція

АПК – агропромисловий комплекс

АТЗ – автотransпортний засіб

ВГ – відпрацьовані гази

ВМТ – верхня мертва точка

ГБЦ – головка блоку циліндрів

ДВЗ – двигун внутрішнього згорання

ЗСУ – збройні сили України

ЄС – Євросоюз

ЄЕК ООН – Європейська економічна комісія Організації об'єднаних націй

ЕБК – електронний блок контролю

ІДС – індикаторна детонаційна стійкість

ККД – коефіцієнт корисної дії

ЗСУ – збройні сили України

МЧЗ – масова частка згорання

ПП – приватне підприємство

ПНВТ – паливний насос високого тиску

ПХХ – примусовий холостий хід

ТО - технічне обслуговування

ТЗ – транспортний засіб

ТНП – тиск насичених парів

ОДС – обмеження детонаційної стійкості

ОЧ – октанове число

ЦПГ – циліндро-поршнева група

ФОП – фізична особа підприємець

ВСТУП

Загальновідомо, що в експлуатаційних умовах під дією механічних, динамічних, температурних та інших навантажень, ефективні та екологічні показники ДВЗ погіршуються: падають динамічні характеристики АТЗ, за рахунок втрати частини потужності двигунів, з'являється їх нестабільна робота на режимах розгону, під час сталого руху та на холостому ходу; підвищується витрата палива та погіршуються пускові властивості, особливо при низьких температурах навколишнього середовища.

Основними причинами такої роботи ДВЗ є наявні проблеми у системах утворення паливо-повітряних сумішей, забезпечення ефективних процесів її запалення та горіння. Негативним результатом протікання із порушеннями хімічних реакцій горіння паливо-повітряних сумішей, є підвищений вміст у відпрацьованих газах продуктів повного згорання та токсичних компонентів. Як наслідок, екологічні показники ДВЗ перестають відповідати загальноприйнятим нормам, директивам та «Правилам ЄЕК ООН». Зниження рівня концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах АТЗ оснащених ДВЗ, є й залишається актуальною задачею, яку потрібно контролювати й забезпечувати в експлуатаційних умовах.

Найбільш ефективним та поширеним на поточний час способом зниження вмісту шкідливих викидів автомобільних ДВЗ є нейтралізація шкідливих речовин під час їх випуску при застосуванні в конструкціях випускних системи АТЗ каталітичних нейтралізаторів - пристроїв, які здатних перетворювати найбільш шкідливі токсичні компоненти на нетоксичні. Відновлення ефективності їх роботи, шляхом очищення або заміни на новий, є залишається одним із поширених способів покращення екологічних показників роботи ДВЗ АТЗ, що використовується автосервісними підприємствами.

Натомість, серед ефективних способів відновлення допустимого рівня концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах ДВЗ або навіть його зменшення, який дозволяє й мінімізувати рівень споживання палива, є оптимізація процесів згорання паливо-повітряних сумішей та забезпечення можливості роботи двигунів на сумішах, склад яких максимально наближений до стехіометричного або навіть, збідненого, для максимально широкого діапазону

швидкісних й навантажувальних режимів. При цьому, задача забезпечення необхідного рівня токсичності ВГ й рівномірного збільшення крутного моменту вирішується оптимізацією параметрів роботи електронних систем керування роботою ДВЗ (ЕБК).

Дану задачу можна вирішити за умови підвищення рівня теплової енергії, яка виділяється в камері згорання двигуна в процесі горіння паливо-повітряної суміші. Основними шляхами реалізації означеної проблеми є застосування традиційної методики - забезпечення (відновлення) ефективності роботи паливної апаратури, оснащеної системою оцінки якості палива, та відтворення необхідного фізико-хімічного складу, дрібності розпилювання й раціональної балістики паливних струменів (факелів); або новітньої, перспективної - шляхом безпосереднього впливу на енергетичні параметри паливо-повітряного заряду при зміні якісних характеристик та властивостей палива, наприклад додаванням до традиційних бензинів спиртів, головними перевагами яких, зокрема метанолу й етанолу, виступають підвищена детонаційна стійкість й високий термічний ККД робочого процесу. В межах нашої країни, це не тільки забезпечить зменшення викидів шкідливих речовин із відпрацьованими газами ДВЗ автомобілів, а й є шляхом зменшення залежності від імпорту світлих нафтопродуктів, напрямком зростання рівня сільгоспвиробництва, організації нових робочих місць та ін.

Високі антидетонаційні властивості спиртів у поєднанні із можливістю їх виробництва з нафтової сировини дозволяють розглядати цей продукт в якості перспективного високооктанового компонента автомобільних бензинів, які отримали назву бензино-метанольних сумішей.

Разом з тим, більша частина АТЗ оснащена двигунами (ДВЗ), які проектувалися виробниками лише для роботи на легких рідких паливах – бензинах. Використання спиртів, крім означених вище переваг, спричиняє появу й певних негативних моментів. Так, одним із недоліків спиртів є знижена теплотворна здатність, що зменшує дальність пробігу АТЗ й дещо підвищує показники витрати палива. Все це обумовлює необхідність та актуальність досліджень спрямованих на визначення показників роботи ДВЗ на бензо-спиртових сумішах та обрання для кожного типу систем сумішоутворення двигуна найбільш раціонального складу таких сумішей.

1. ВИЗНАЧЕННЯ АКТУАЛЬНИХ НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Характеристика виробничого спрямування ПП «Ковальов-Авто» ФОП «Ковальов Олександр Стефанович» с. Соколівське

Автосервісне підприємство «Ковальов-Авто» (рис. 1.1) фактично розташовано у приміській зоні м. Кропивницький за адресою: с. Соколівське, пров. Гаражний, буд. 17 (рис. 1.2) та спеціалізується на виконанні послуг з технічного обслуговування та ремонту певних видів АТЗ (код 45.20 за ЄДРПОУ 37277402) [1]. Власником та безпосереднім керівником підприємства є заслужений працівник галузі транспорту України - Олександр Стефанович КОВАЛЬОВ.



Рисунок 1.1 – Автосервісне підприємство «Ковальов-Авто»

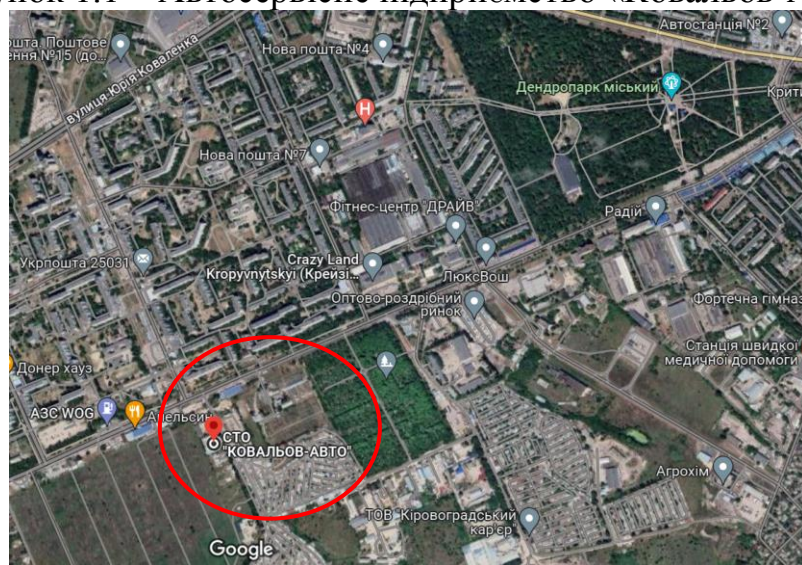
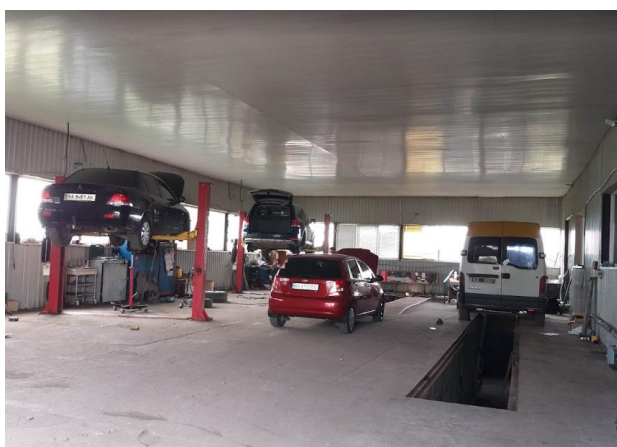


Рисунок 1.2 – Позиційне розташування автосервісного підприємства «Ковальов-Авто» (с. Соколівське) ФОП «Ковальов Олександр Стефанович»

Працюючи на ринку послуг понад 40 років, підприємство виконує повний спектр сервісних дій: діагностування основних систем і механізмів АТЗ - двигунів, трансмісій, підвісок, електричних та електронних систем тощо), всі без виключення види технічного обслуговування (ТО) та найбільш відповідальні операції ремонту (в тому числі й ремонт двигунів автомобілів). Характеризуючи транспортні засоби, що обслуговуються підприємством, слід відмітити, що більшість з них є індивідуальними АТЗ (легкові категорії M_1 та мікроавтобуси категорії M_2).

Виробнича структура підприємства забезпечена необхідними структурними підрозділами, що здатні забезпечити обслуговування до 1200 автомобілів на рік [2]. Такими підрозділами (рис. 1.2 а – рис. 1.2 г) є: зона сервісу автомобілів; ділянка ТО та ремонту механізмів керування (гальмівних систем та рульових керувань); ділянка ТО і ремонту ходових частин; ділянка діагностування, ТО і ремонту двигунів; ділянка ремонту кузовів з малярним відділенням та ін.



а) основна сервісна зона



б) ділянка сервісу механізмів керування



в) ділянка ТО і ремонту
ходових частин



г) малярне відділення ділянки ремонту
кузовів

Рисунок 1.2 – Основні виробничі підрозділи автосервісного підприємства

Проведений під час переддипломної практики аналіз технічної забезпеченості підрозділів підприємства основним виробничим обладнанням та інструментом показав [2], що всі структурні підрозділи в достатньому обсязі укомплектовані сучасним універсальним технологічним обладнанням (підйомниками, оглядовими канавами, стендами, пристосуваннями та інструментом), що дозволяє підприємству виконувати планові обсяги робіт для автомобілів різних марок та моделей. Виконання всіх видів технічних дій забезпечується наявним виробничим персоналом підприємства, який станом на 1 вересня 2024 р. налічує 14 основних виробничих робітників, які мають достатню кваліфікацію для якісного виконання всіх виробничих операцій. Враховуючи марочний та модельний ряд АТЗ, що обслуговуються на підприємстві (який детально буде наведено у наступному пункті даного розділу), автосервісне підприємство відноситься до так званих універсальних або не спеціалізованих підприємств. Разом з тим, ефективна робота підприємства впродовж останніх десятиріч, яка сформована в тому числі й високою якістю надання послуг при помірній ціновій політиці, дозволила набути йому позитивний регіональний імідж та забезпечити достатній щорічний попит серед автовласників м. Кропивницький та області [2].

1.2. Аналіз особливостей формування річних обсягів сервісних робіт

Задля підвищення ефективності функціонування підприємства необхідною умовою є здійснення регулярної оцінки ефективності провадження виробничої діяльності всіма його структурним підрозділами. Результати такого аналізу забезпечують виокремлення наявних на поточний час проблем, сприяють пошуку механізмів вдосконалення виробничих процесів та встановлення нових перспективних напрямків розширення виробничих потужностей підприємства й залучення додаткових обсягів замовлень.

Так, виконаний під час переддипломної практики у вересні 2024 р. аналіз ефективності організації та здійснення підприємством виробничої діяльності за останні неповні 3 роки (із січня 2022 р. по вересень 2024 р.) виявив, що відбулися певні зміни у структурі автомобілів, що обслуговувалися на підприємстві за цей

період. Виявлено, що АТЗ категорії M_1 в основному становили автомобілі індивідуальних власників ТЗ, натомість як категорія M_2 складалася як із автомобілів індивідуальних власників АТЗ, так й транспортних засобів підприємств, що здійснюють регулярні маршрутні перевезення пасажирів м. Кропивницький [2]. Аналізуючи структуру обсягів виконаних підприємством робіт за такими групами АТЗ як «планові» та «випадкові», було встановлено, що основними обсягами сервісних робіт підприємства є проведення не прогнозованих або «випадкових» технічних дій ($\approx 88\%$); в той час, як обсяги «планових» робіт є меншими більш як у 8 разів й становлять лише $\approx 12\%$ (рис. 1.3) [2].

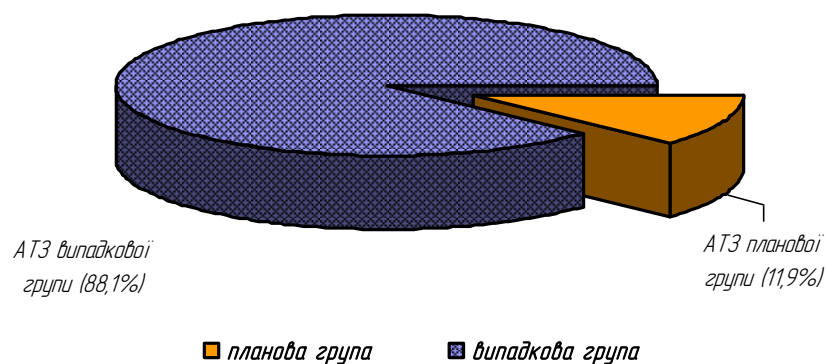


Рисунок 1.3 – Особливості виконання підприємством обсягів сервісних робіт різних груп АТЗ в період із січня 2022 р. по вересень 2024 р.

Оцінка рівномірності завантаження підприємства за обсягами виконаних ним робіт у 2022-2024 роках показала, що максимальні обсяги робіт були виконані навесні та влітку 2022 р. (93...98 машино-заїздів) та зумовлені наданням підприємством волонтерських послуг з відновленні техніки ЗСУ, місцевих підрозділів територіальної оборони та внутрішньо-переміщених з зони активних бойових дій власників АТЗ. За останні два роки ситуація стабілізувалася (75...86 машино-заїздів), про що свідчать дані 2023 р. та виконані обсяги за 8 місяців поточного року у порівнянні із 2022 р. (приблизно 48...60 АТЗ протягом кожного місяця) (рис. 1.4) [2].

Виконаний поглиблений аналіз обсягів реалізації підприємством за означений період різних видів сервісних робіт (рис. 1.5) показав, що трудомісткості робіт для різних груп АТЗ суттєво відрізняються між собою, й

характеризуються максимальними обсягами для АТЗ «випадкової» групи при проведенні ремонтних дій - 53,8% та для «планової» групи – при виконанні обслуговуючих операцій (64,6%).

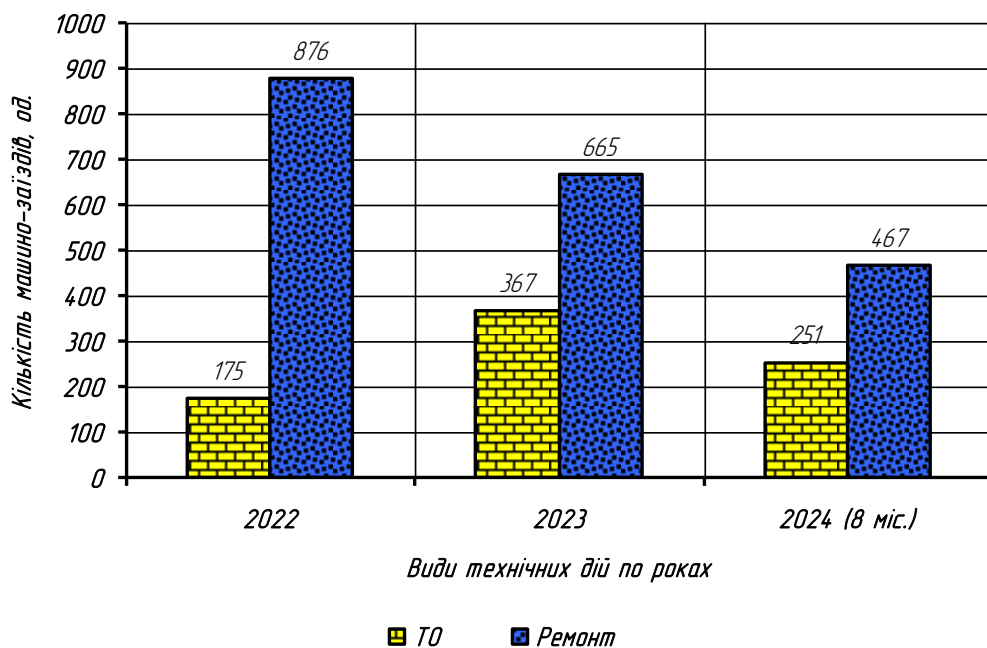


Рисунок 1.4 – Кількісні показники машино-заїздів та видів технічних дій АТЗ, що обслуговувалися на підприємстві у січні 2022 р. - вересні 2024 р.

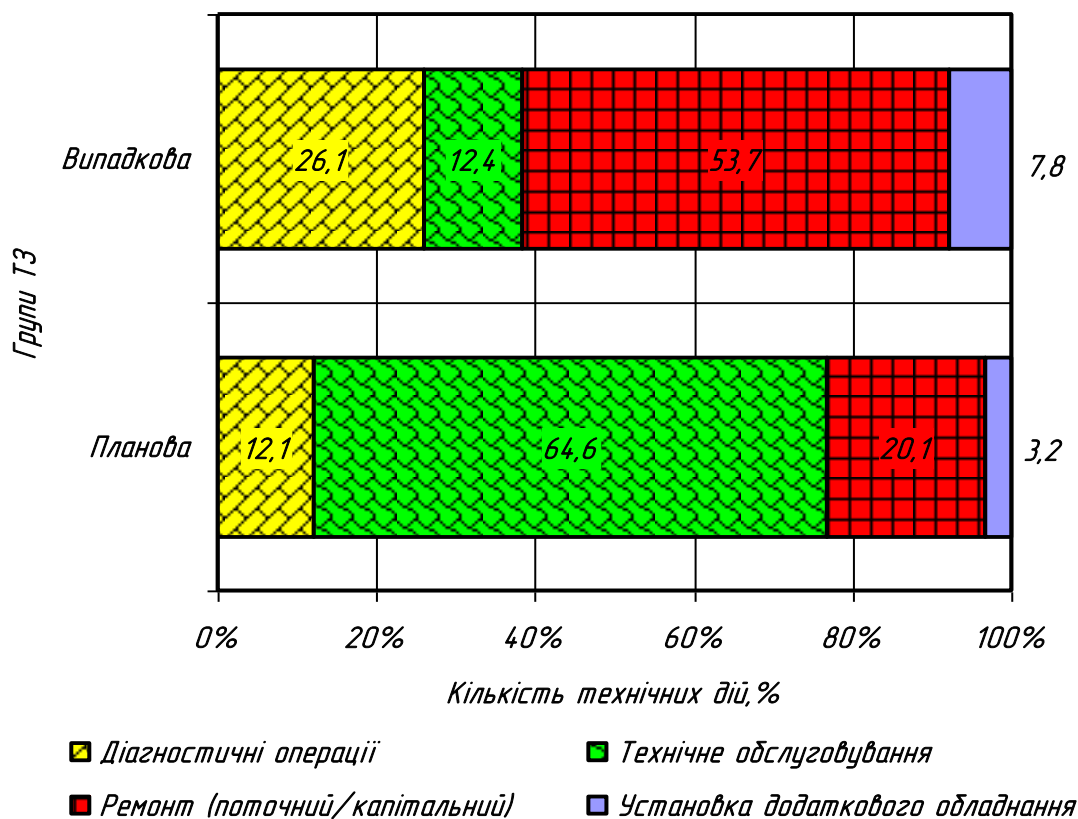


Рисунок 1.5 – Усереднені обсяги виконаних робіт при обслуговуванні АТЗ різних груп (січень 2022 р. - вересень 2024 р.)

Визначені й деякі відмінності в обсягах виконаних робіт для АТЗ різних вікових груп поділеними за термінами їх експлуатації. Встановлено, що більшість автомобілів, які мають експлуатаційні терміни понад 10 років - потребують проведення саме ремонтних дій (49,4%...64.1%), натомість як для АТЗ із малими експлуатаційними термінами - переважають сервісні дії (35,3%...67,2%) (рис. 1.6) [2].

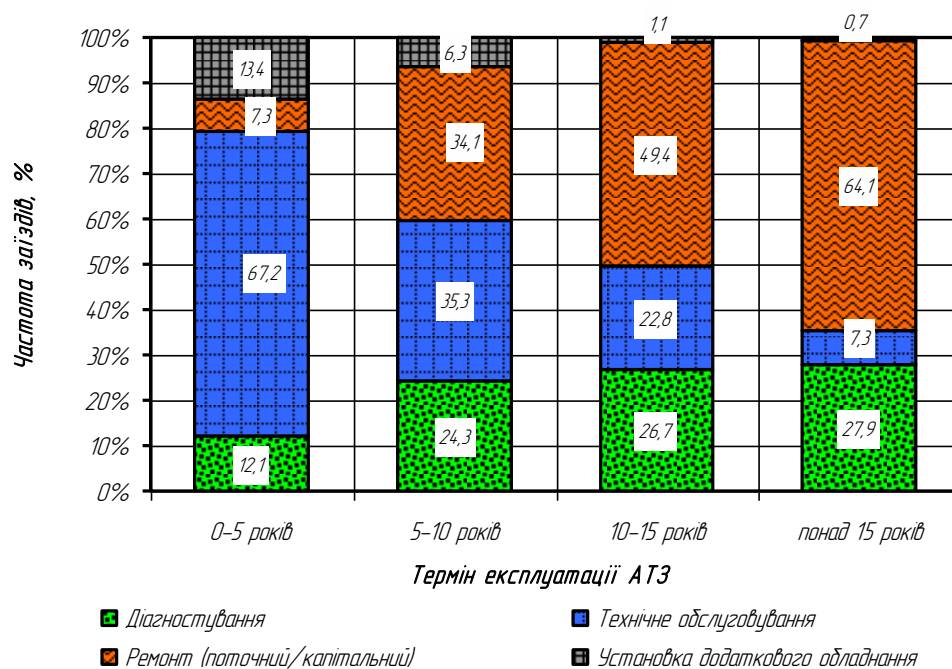


Рисунок 1.5 – Виконані підприємством обсяги робіт для АТЗ із різними експлуатаційними термінами (дані за січень 2022 р. - вересень 2024 р.)

Наступний етап аналізу включав оцінку специфіки та обсягів виконання підприємством. за означений період, сервісних робіт для різних систем (механізмів) АТЗ. Узагальнені результати даного аналізу, представлені на рис. 1.6, для 8-ми основних систем та є усередненими із врахуванням лише загальної чисельності АТЗ без поділу автомобілів за окремими марками та моделями.

Дані цього аналізу представлені на рис. 1.6 показали, що найбільші обсяги робіт були виконані підприємством при проведенні всіх видів сервісних дій при обслуговуванні таких систем АТЗ як: ходові частини (21,2%), двигуни (21,7%) та гальмівні системи (15,4%).

Моніторинг наведених на рис. 1.3 – рис. 1.6 даних, що характеризують специфіку формування клієнтської бази АТЗ та виконаних підприємством робіт, аналіз наявної матеріально-технічної бази підприємства та інші показники, дозволили оцінити наявний рівень ефективності організації виробничої діяльності підприємства: встановлено слабкі і сильні сторони організаційної діяльності та

визначено можливі перспективні напрямки реорганізації із врахуванням потенційних загроз й ризиків для підприємства при їх реалізації. В узагальненому вигляді вони представлені СВОТ-аналізом наведеним на рис. 1.7 [2].

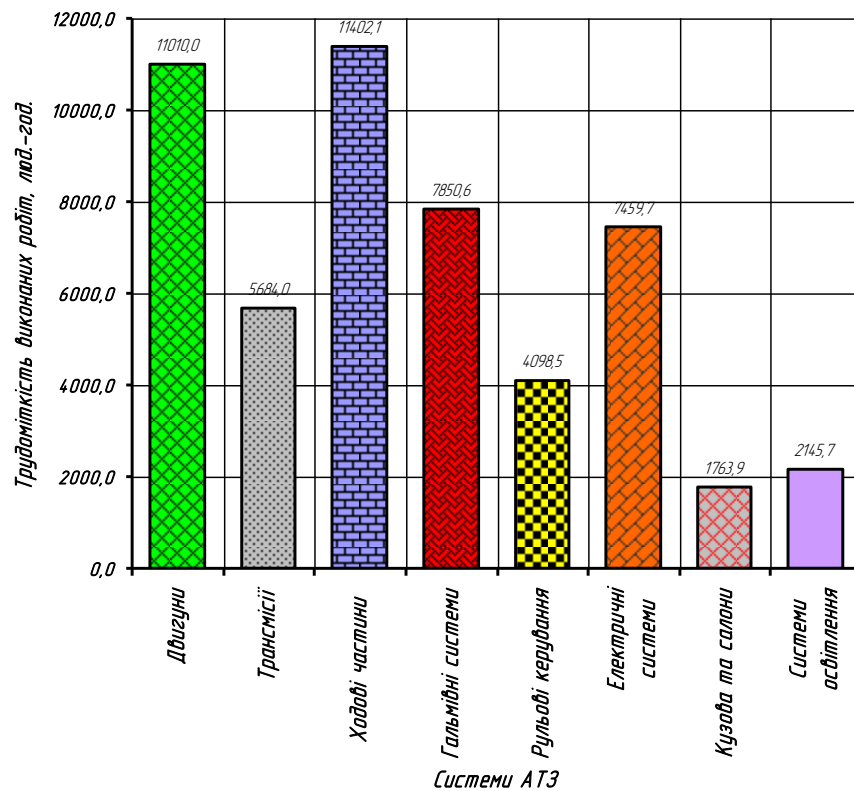


Рисунок 1.6. – Обсяги виконаних підприємством робіт при обслуговуванні основних систем АТЗ (дані за січень 2022 – вересень 2024 року)

1.3. Визначення актуальних напрямків досліджень

1.3.1. Аналіз показників надійності систем і механізмів ДВЗ. Однією із найбільш відповідальних систем будь-якого АТЗ є його двигун. Статистичні дані підприємства також показують, що на двигуни автомобілів припадають значні обсяги робіт із діагностування, сервісу та ремонту. Будова сучасного ДВЗ – найбільш поширеного типу двигунів автомобіля вже понад як 100 років, передбачає наявність базової кількості основних систем, механізмів та вузлів. Разом з тим, всі вони мають різні показники конструкторської та експлуатаційної надійності, відмінні напрацювання на відмови, частоти виникнення відмов та по різному впливають на тривалість перебування двигунів у ремонті, складність та вартість проведення ремонтних дій. В таблиці 1.1 представлені дані усередненого розподілу частот появи експлуатаційних відмов систем (механізмів й вузлів) ДВЗ легкових автомобілів, що обслуговувалися на підприємстві у 2022-2024 роках.

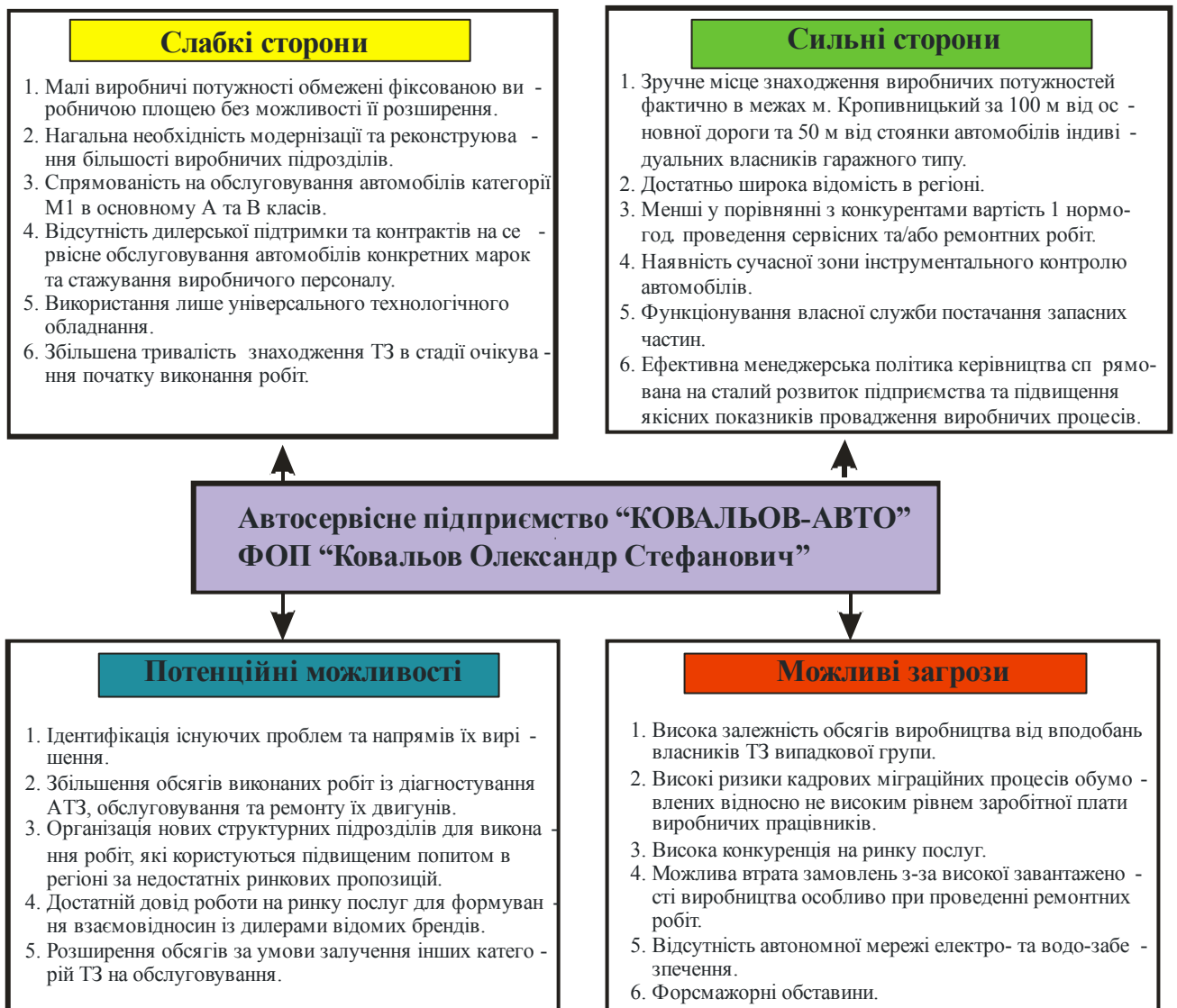


Рисунок 1.7 – Результати проведеного оціночного аналізу ефективності організації виробничої діяльності автосервісного підприємства «Ковальов-Авто» «Ковальов Олександр Стефанович» у 2022-2024 роках

Таблиця 1.1 – Усереднена частота фіксації відмов основних систем (механізмів й вузлів) ДВЗ автомобілів у 2022-2024 роках*

Найменування системи	Частка відмови системи у загальній кількості, %	Середнє напрацювання до відмови системи, тис. км	Середній час ремонту системи, год.	Частка від простою ДВЗ з-за відмови системи, %
-1-	-2-	-3-	-4-	-5-
1. Система живлення	27,5	28,3	4,5	30,2
2. Електрична та електронна системи керування двигуном	21,3	45,8	3,6	20,1

Продовження таблиці 1.1

-1-	-2-	-3-	-4-	-5-
3. Системи впуску й випуску	16,2	65,3	5,2	14,6
4. Механізм газорозподілення	14,4	81,2	8,2	9,5
5. Система охолодження	9,1	55,5	8,7	9,6
6. Система мащення	6,1	98,4	14,8	8,8
7. КШМ та циліндро-поршнева група	5,4	150,3	22,4	7,2

Примітка: * - за даними підприємства «Ковальов-Авто» с. Соколівське

Аналіз наведених у таблиці 1.1 даних дозволяє зробити наступний висновок: до систем, які головним чином визначають працездатність ДВЗ та впливають на тривалість їх перебування у ремонті відносяться системи живлення двигунів (27,5% відмов та 30,2% часу перебування у ремонті), системи керування двигунами (21,3% відмов та 20,1% часу перебування у ремонті) та системи впуску й випуску (16,2% відмов та 14,6% часу перебування у ремонті), що є доволі неочікуваним.

Серед причин звернення власників АТЗ для проведення сервісних та ремонтних операцій обумовлених скаргами щодо зниження показників ефективності роботи ДВЗ, були відмічені такі [2]:

- втрата потужності силової установки, погіршення динамічних характеристик автомобіля, нестабільна робота двигунів в режимі розгону, під час сталого руху та в режимі холостого ходу;
- підвищені показники витрати палива та ускладнення пускових властивостей двигунів, особливо за низьких температурних показниках навколишнього середовища.

Найбільш вірогідними причинами такої роботи ДВЗ є проблеми у системі приготування паливо-повітряної суміші та організації процесу її підпалення та згорання. В залежності від типу ДВЗ – працюючого із примусовим підпаленням суміші (Отто-двигуни) або із запаленням від стискання (Дизельні ДВЗ), причинно-наслідковий механізм може мати певні особливості. Так, у ДВЗ із примусовим запаленням від іскрового розрядку, що працюють на бензино-повітряних або газо-повітряних сумішах, вирішальними факторами виступають: суттєве погіршення умов роботи систем запалення; порушення роботи елементів

системи паливоподачі (паливних насосів, форсунок, датчиків контролю тиску палива та ін.); підвищенні температури згорання сумішей й, як наслідок, перегрів двигуна та погіршення роботи механізмів газорозподілення; збільшення опору систем впуску свіжої суміші та, особливо, випуску відпрацьованих газів з-за погіршення характеристик каталітичних нейтралізаторів та ін. Робота дизельних ДВЗ більш часто супроводжується збільшенням димності відпрацьованих газів; інтенсифікацію нагароутворення та закоксованості; виходом з ладу прецизійних пар ПНВТ, форсунок та сажових фільтрів; підвищеним зносом деталей ЦПГ тощо.

1.3.2. Утворення токсичних компонентів у відпрацьованих газах ДВЗ.

Результатом протікання хімічних реакцій вуглеводнів палива із киснем та іншими хімічними елементами, що містяться у повітрі є наявність у відпрацьованих газах як продуктів повного згорання, так й утворення ряду токсичних компонентів, склад й кількість яких визначаються характером організації та проведення процесів підготовки робочої суміші та її згорання у об'ємі камери згорання ДВЗ [3].

В таблиці 1.2 наведено наближений склад компонентів у відпрацьованих газах бензинових й дизельних поршневих ДВЗ, який налічує 7 основних типів компонентів основними з яких прийнято вважати наступні три: оксид вуглецю (CO), вуглеводні (C_nH_m) та оксиди азоту (NO_x) [3].

Таблиця 1.2 – Вміст токсичних компонентів у відпрацьованих газах ДВЗ різних типів із розрахунку на 1 кг палива, що було спалено, із урахуванням середньої величини коефіцієнту надлишку повітря для стехіометричної суміші ($\alpha = 1,0$)

Вид палива	Компонент	
	Бензин, г	Дизельне паливо, г
Оксид вуглецю (CO)	400...465	20
Вуглеводні (C_nH_m)	20,0...23,1	4,2
Окисли азоту (NO_x)	14,0...15,2	18,1
Ангідрид сірчаної кислоти	2	7,8
Альдегіди	1	0,7
Сажа	1	5
Разом	≈508	≈51

Природа утворення зазначених компонентів в процесі згорання сумішей є різною. Компоненти CO та C_nH_m , альдегіди та сажа - є результатом неповного згорання й термічного розкладення C_nH_m навіть за наявності надлишку кисню; кількість цих компонентів визначається характером протікання проміжних хімічних реакцій процесу згорання суміші.

Так, CO у порівняно великих кількостях утворюється у ДВЗ із іскровим запаленням (бензинових або газових) при роботі на збагачених сумішах. У дизелях, при роботі на бідних сумішах, впорскування палива у камеру згорання не забезпечує його рівномірне розподілення за об'ємом повітря камери згорання, що також може супроводжуватися появою зон із $\alpha < 1$ та утворення незначної кількості CO [3].

Наявність у продуктах згорання вуглеводнів (C_nH_m), що не згоріли, пояснюється наявністю певної кількості суміші у пристінкових зонах камери згорання, яка згорає в останню чергу при малих швидкостях згорання та відносно низьких температурах [3].

В ДВЗ із іскровим запаленням, альдегіди утворюються при низьких температурах процесу окислення палива, що характерне під час пуску ДВЗ, а також при його роботі в тих зонах камери згорання, де горюча суміш інтенсивно охолоджується стикаючись із відносно холодними поверхнями камери. В дизелях, впорскування палива відбувається безпосередньо перед початком процесу згорання в такті стискання в період затримку запалення, що обумовлює протікання так званих передполумєневих реакцій й, як наслідок, утворення альдегідів. Дизельні ДВЗ схильні до утворення альдегідів й при роботі на надмірно збіднених сумішах, характерних для малих навантажень [3].

Сажа, що складається в основному із вуглецю (C), утворюється в результаті розпаду молекул C_nH_m за нестачі кисню (O_2). Таке протікання процесу характерне для дизелів, в яких при загальному надлишку O_2 (бідна суміш, $\alpha > 1$) в різних зонах камери згорання склад суміші не є однаковим; в результаті у зонах камери, де суміш перезбагачена ($\alpha < 0,5$), одночасно із процесом згорання відбувається розклад палива із виділенням вуглецю (сажі, C). У Отто-двигунах склад суміші більш-менш є однорідним (або гомогенним), й

сажа при нормальній роботі ДВЗ не утворюється загалом, або утворюється у незначних кількостях [3].

Окиси азоту (NO_x) утворюються при наявності атомарного O_2 в тих зонах камер згорання, які характеризуються різким підвищенням температури, що є результатом хімічної реакції окислення вуглеводнів палива. Кількість NO_x , що утворюються у продуктах згорання, залежить від початкового вмісту N_2 й O_2 у свіжій суміші. За даними досліджень, при найбільших температурах циклу, характерних для ДВЗ (в діапазоні 1800...2200 К для дизелів та 2500...2800 К для бензинових двигунів) з різних типів окислів азоту найбільш часто утворюється саме NO ; так у загальній кількості NO_x у двигунах із зовнішнім сумішоутворенням NO становить 99%, натомість а у дизелів – лише понад 90%. При зниженні температурних показників відпрацьованих газів та в процесі потрапляння продуктів згорання ДВЗ до атмосфери, NO перетворюється у NO_2 . Так як, цей процес протікає повільно, він відбувається не у випускній системі ДВЗ, а безпосередньо у атмосфері, й саме тому концентрація NO_2 визначається умовами протікання обмінної дифузії продуктів згорання із атмосферним повітрям [3].

Для прикладу, динаміка зміни вмісту продуктів згорання у відпрацьованих газах дизелів і бензинових ДВЗ в залежності від коефіцієнтів надлишку повітря α , що визначається поточним навантаженням на двигун, представлені на рис. 1.8. При цьому, графіки для CO_2 , O_2 та N_2 для дизелів отримані аналітичним способом за умови повного згорання в перерахунку на суху масу (рис. 1.8 а), а зміни вмісту NO_x та CO у відпрацьованих газах - в залежності від навантаження двигуна, що відповідає зміні α в діапазоні 6,0...1,5 (наведені для ДВЗ із ходом поршня $S = 140$ мм та діаметром циліндра $D = 130$ мм). При цьому, максимальна кількість NO_x утворюється вже при $\alpha \approx 1,6$, що характеризується наближенням навантаження дизельного ДВЗ до номінального та при порівняно високій температурі в кінці хімічної реакції. При зменшенні навантаження зменшується маса палива, яке приймає участь у реакції, та збільшується α ; внаслідок цього кількість теплоти, що виділяється, та температура в кінці хімічної реакції зменшуються, що приводить до зниження кількості NO_x при одночасному збільшенні вмісту CO . При

значеннях $\alpha < 1,6$ з-за недостатності кисню в окремих зонах, хімічна реакція протікає не в повній мірі, максимальна температура знижується і кількість NO_x зменшується, а CO збільшується [3].

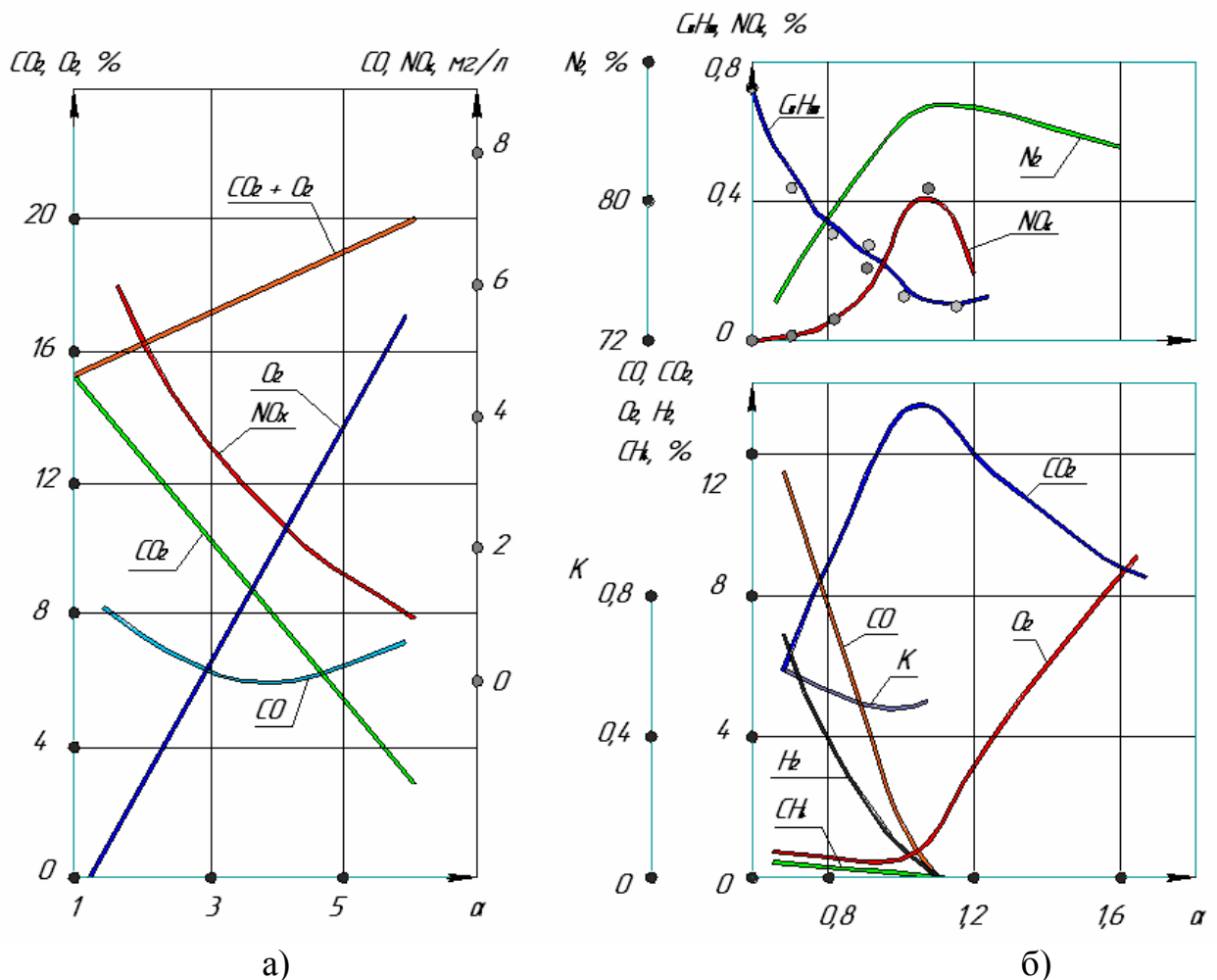


Рисунок 1.8 – Залежність вмісту компонентів згорання у відпрацьованих газах ДВЗ від навантаження: а – дизель; б – бензиновий двигун

«У ДВЗ із примусовим запаленням суміші (бензинових або газових двигунах) (див. рис. 1.8 б) при $\alpha < 1$ вміст CO та H_2 стрімко зростає, що призводить до появи незначної кількості O_2 у продуктах згорання, який не був використаний в процесі згорання. При цьому, максимальна концентрація NO_x досягається при $\alpha \approx 1,05$, натомість як вміст C_nH_m збільшується пропорційно рівню збагачення паливо-повітряної суміші, а також при $\alpha > 1,15...1,2$ - при яких процес згорання суттєво погіршується» [3].

1.3.3. Оцінка впливу токсичних компонентів на людину й навколишнє середовище. «Одним із найбільш небезпечних компонентів відпрацьованих газів

сучасних ДВЗ є окис вуглецю (CO) або чадний газ (концентрація у викидах 2...10%), який є продуктом неповного згорання C , що входить до складу палива. При потрапляння CO до органів дихання людини, він зв'язується із гемоглобіном крові, витісняючи з неї O_2 , в результаті чого настає кисневе голодування. Висока концентрація CO навіть при короточасному впливі може призвести до смерті, натомість як його незначні дози викликають запаморочення, головний біль, відчуття втоми й уповільнення реакції людини; так у стандартному одномісному гаражі (боксі) смертельна концентрація CO виникає вже через 2...3 хв. після початку роботи ДВЗ» [4].

Токсичними є й вуглеводні (C_nH_m) (при концентрації 0,1...1,0%) - незгорілі хімічні складники палива, які є причиною багатьох хронічних захворювань за рахунок вмісту надмірно небезпечної речовини - бензапірену, що має вкрай активні канцерогенні властивості [4].

«Оксиди азоту (NO_x) (при концентрації 0,1...0,5%) утворюються при згоранні будь-яких видів палива - природного газу, вугілля, бензину або дизельного палива. При цьому, найбільш небезпечним є диоксид азоту (NO_2), який під час взаємодії із випарами H_2O , що наявні у атмосфері, утворює азотисту й азотну кислоти. Надходячи у верхні шари атмосфери, NO_2 сприяє появі кислотовмісних хмар й кислотних опадів» [4]. За його критичної концентрації, наприклад, у закритих приміщеннях (гаражах, боксах та ін.), у людини виникає набряк легенів, що призводить до її смерті. Нажаль, вплив NO_x не можна послабити жодними існуючими нейтралізуючими засобами. У поєднанні же із C_nH_m вони утворюють токсичні нітроолефіни, які у за високих температур навколишнього середовища сприяють утворенню фотохімічних смогів [4].

1.3.4. Нормування вмісту шкідливих компонентів у відпрацьованих газах ДВЗ. В даний час у країнах Євросоюзу (ЄС) нормування викидів АТЗ, оснащених ДВЗ та іншими типами силових установок здійснюється у відповідності до «Правил ЄЕК ООН» та директив ЄС, які забезпечують нормування екологічних показників як на стадії виробництва так й під час експлуатації АТЗ. Перші європейські «Правил ЄЕК ООН» щодо контролю за

викидами АТЗ були прийняті ще у 1970 р.; вони регламентують методику випробувань, деталізують технічну процедуру, метрологічне забезпечення без зазначення дати введення тих чи інших норм викидів. Більш конкретні норми викидів й час їх введення в дію зазначаються у Директивах ЄС, які є обов'язковими виконання у всіх без виключення країнах ЄС» [5].

Ще з 1998 р. Директивами ЄС введені перспективні норми або так звані норми «Євро», які нормують викиди (масу) токсичних речовин автомобілів на 1 км пробігу (аналогічні стандарти США нормують масу викиду на мілю пробігу) та встановлюють для кожного виду палива норми викидів у г/км). Цими стандартами «регламентувалося поетапне зниження так званих регульованих речовин, до яких були віднесені: оксид вуглецю (CO), оксиди азоту (NO_x), вуглеводні (C_nH_m) і тверді частинки (сажа, розміром до 10 мкм (PM10))» [4]. На теперішній час для нових АТЗ категорій M_1 та M_2 обмеження щодо вмісту цих речовин повинні відповідати стандартам «Євро V». Стратегія застосування стандартів «Євро» забезпечувала послідовне та поетапне зниження викидів АТЗ та використовувала концепцію прискорення впровадження інноваційних рішень до конструкції автомобілів, спрямованих на зменшення викидів із відпрацьованими газами. Для АТЗ із бензиновими ДВЗ це було досягнуто, зокрема за рахунок використання трикомпонентного каталітичного нейтралізатору й переходу на інжекторні системи впорскування палива. Для дизелів, концентрації NO_x і твердих частинок були знижені за рахунок використання безпосереднього (або прямого) впорскуванням і дизельних фільтрів для уловлювання твердих частинок (DPF). На сьогодні, враховуючи введення в дію 2010 р. нормативів «Євро V» та ще більш жорстких стандартів «Євро VI» (з 2015 р.), зазначені технологічні досягнення, а також використання очищених видів палива, обумовили суттєве (більш як у 20 разів в порівнянні із 1970 р.) зниження рівня регульованих забруднюючих речовин у відпрацьованих газах [4].

Методика випробувань АТЗ за «Правилами ЄЕК ООН» передбачає відтворення руху АТЗ на стенді із біговими барабанами за чотирма міськими їздовим циклами та одним додатковим (що імітує рух автомобіля за містом), кожен з яких повинен мати такі основні характеристики: довжину умовного

шляху – 4,052 км; тривалість виконання циклу – 820 с; максимальну швидкість – 50 км/год та середню умовну швидкість – 18,7 км/год [5]

«Додатково до нормування токсичних компонентів у відпрацьованих газах (CO , NO_x , C_nH_m) ЄС ще встановило принципово нові обмеження до концентрації парникового вуглекислого газу (CO_2) у викидах ДВЗ автомобілів. У 2009 р. Європарламент прийняв новий закон про вміст CO_2 який встановлює, що викиди CO_2 не повинні перевищувати 130 г/км на еквівалентному пробігу 58 миль або 93,3 км на 3,6 л для дизельних двигунів і 83,6 км на 3,6 л для бензинових двигунів для всіх нових АТЗ, виготовлених починаючи із 2015 р. Досягнення цієї мети здійснювалось поетапно протягом 3 років: з 2012 року - 65% нових зареєстрованих АТЗ повинні були відповідати нормативу викиду CO_2 – 130 г/км, 75% автомобілів - з 2013 р., 80% - з 2014 році та всі 100% - до 2015 року, що повинне було до 2020 р. забезпечити досягнення значень викиду CO_2 не більше 95 г/км» [4]. Впроваджені Стандарти «Євро» за викидами токсичних речовин у відпрацьованих газах, а також концентрацію різних випаровувань паливно-мастильних матеріалів (ПММ) із систем і механізмів АТЗ при вимкненому ДВЗ й вміст твердих частинок (сажі) у відпрацьованих газах автомобілів із дизельними ДВЗ представлені у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Стандарти «Євро» за викидами токсичних речовин

Євро стандарт	Дата виконання*	Вміст токсичних речовин, г/км					
		CO	THC	NMHC	NO _x	HC + NO _x	PM
Дизельні двигуни							
Euro I	Липень 1993	2,72	-	-	-	0,97	0,14
Euro II	Січень 1997	1,00	-	-	-	0,70	0,08
Euro III	Січень 2001	0,64	-	-	0,50	0,56	0,05
Euro IV	Січень 2006	0,50	-	-	0,25	0,30	0,025
Euro V	Вересень 2010	0,50	-	-	0,18	0,23	0,005
Euro VI	Вересень 2015	0,5	-	-	0,18	0,23	0,005
Бензинові двигуни							
Euro I	Липень 1993	2,72	-	-	-	0,97	-
Euro II	Січень 1997	2,20	-	-	-	0,50	-
Euro III	Січень 2001	2,30	0,20	-	0,15	-	-
Euro IV	Січень 2006	1,00	0,10	-	0,08	-	-
Euro V	Вересень 2010	1,00	100,00	0,68	0,60	-	0,005**
Euro VI	Вересень 2015	1,00	100,00	0,68	0,60	-	0,005**

* Дата, після якої всі нові двигуни повинні відповідати стандарту.

**Застосовується тільки для АТЗ із двигунами оснащеними безпосереднім вприскуванням палива у циліндри.

Головною відмінністю «Національних стандартів України» із контролю викидів АТЗ, а саме «ДСТУ 4276-04 «Норми і методи вимірювань димності у відпрацьованих газах автомобілів з дизелями або газодизелями» й ДСТУ 4277-04 «Норми і методи вимірювання вмісту оксиду вуглецю та вуглеводнів у відпрацьованих газах автомобілів, що працюють на бензині або газовому паливі» від розглянутих вище нормативів «Євро», є те, що вони регламентують викиди токсичних речовин у об'ємній концентрації при роботі ДВЗ в режимі «холостого ходу» на нерухомому автомобілі. При цьому одиницею виміру є об'ємний відсоток «% об.» або його доля « $1ppm = 0,0001 \text{ об. \%}$ ». Стандарти «Євро», які розглядалися вище – нормують масові викиди: «г/км» при їздовому випробувальному циклі, що імітує рух автомобіля. Тому порівняння національного стандарту ДСТУ 4277-04 й нормативів «Євро» не має сенсу, це різні за своєю суттю екологічні стандарти, які в той же час дають оцінку екологічного стану АТЗ при різних режимах його роботи - національні стандарти на холостому ході, стандарти «Євро» під час руху автомобіля» [4].

За ДСТУ 4277-04 концентрації таких токсичних компонентів як оксид вуглецю (CO) і вуглеводні (C_nH_m) у відпрацьованих газах ДВЗ не повинні перевищувати значень наведених в таблиці 1.3 [4].

Таблиця 1.3 – Нормативи викидів CO та CH за ДСТУ 4277-04

Вид палива, на якому працює ДВЗ	Частота обертання вихідного валу ДВЗ в режимі холостого ходу, об/хв	Об'ємна частка CO , %	Об'ємна частка CH , млн. ⁻¹ (ppm), для двигунів із числом циліндрів	
			до 4 циліндрів включно	більше ніж 4 циліндри
Бензин	N_{min}	3,5*	1200	2500
	N_{idle}	2,0	600	1000
Газ природний	N_{min}	1,5	600	1800
	N_{idle}	1,0	300	600
Газ нафтовий	N_{min}	3,5	1200	2500
	N_{idle}	1,5	600	1000
Нормативи викидів для автомобілів оснащених нейтралізаторами: окислювальними або трикомпонентними				
Режим	Окислювальний		Трикомпонентний	
	CO_2 , %	C_nH_m , млн. ⁻¹	CO_2 , %	C_nH_m , млн. ⁻¹
N_{min}	1,0	600	0,5	100
N_{idle}	0,6	300	0,3	100

Нормативи димності для дизельних ДВЗ у відповідності до ДСТУ 4276-04 при роботі на різних видах палива представлені у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Нормативи димності дизельних ДВЗ у відповідності до національного стандарту ДСТУ 4276-04

Типи автомобілів	Нормативний показник ослаблення світлового потoku K_{don} , m^{-1}	Нормативний коефіцієнт ослаблення світлового потoku N_{don} , %
Автомобілі з дизелями:		
- без наддуву	2,5	66
- з наддувом	3,0	73
Автомобілі з газодизелями:		
- без наддуву	1,7	52
- з наддувом	2,0	58

Зниження рівня концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах АТЗ оснащених ДВЗ, в тому числі й автомобілів із гібридними силовими установками, які використовують поряд із електричними двигунами ДВЗ, є нагальною задачею світового рівня, яка й надалі буде контролюватися й забезпечуватися провідними світовими автовиробниками та урядами країн [4]. Саме тому, дослідження в даному напрямку беззаперечно є своєчасними та актуальними.

2. ОЦІНКА ШЛЯХІВ ЗНИЖЕННЯ ВМІСТУ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН У ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗАХ ДВЗ

2.1. Вплив різних факторів на токсичність ДВЗ та традиційні способи зниження токсичності відпрацьованих газів

До основних факторів, які визначають та впливають на токсичність відпрацьованих газів ДВЗ відносять 3 основні фактори (рис. 2.1), які в свою чергу поділяються на цілу низку підфакторів [4]:

- конструктивні (форма камери згорання, ступінь стиску, розміри циліндрів, особливості газо-розподільчого механізму, системи запалення та ін.);
- експлуатаційні (склад паливо-повітряної суміші, навантаження двигуна, частота обертання колінчастого валу, кут випередження запалювання або вприскування палива та ін.);
- властивості палива (октанове або цетанове числа, в'язкість, випаровуваність, займистість, наявність сірки та інших домішок та ін.).

Оцінюючи перший фактор, слід зазначити, що в дизельних ДВЗ особливо значний вплив має саме форма камери згорання. Дослідження показують, що дизелі із розділеною камерою згорання у порівнянні із дизелями із нерозділеною камерою продукують менший вміст CO (у 2,5...3,0 рази), NO_2 (на 20...30%), C_nH_m (у 2,0...2,5 рази) й мають меншу димність відпрацьованих газів. Тому розділені камери згорання є перспективними для легкових і вантажних автомобілів малої вантажопідйомності, які широко використовуються в міських експлуатаційних умовах.

Менший вплив на токсичність має форма камери згорання у ДВЗ із примусовим запаленням що працюють на бензині або газовому паливі. В ДВЗ такого типу рівень токсичності головним чином залежить від співвідношення величини поверхні камери згорання до її об'єму; із збільшенням цього відношення, як правило, збільшується й кількість C_nH_m у відпрацьованих газах. Основним вирішальним чинником при цьому виступає безрозмірна величина - ступінь стиску двигуна ε , збільшення якої призводить до збільшення відношення поверхні камери згорання до її об'єму. Із збільшення величини ε підвищується

максимальна температура робочого тіла в циклі, що при роботі ДВЗ на збідненій суміші приводить до підвищення концентрації NO_2 , натомість як концентрація CO у відпрацьованих газах практично не залежить від цієї величини [3, 4].

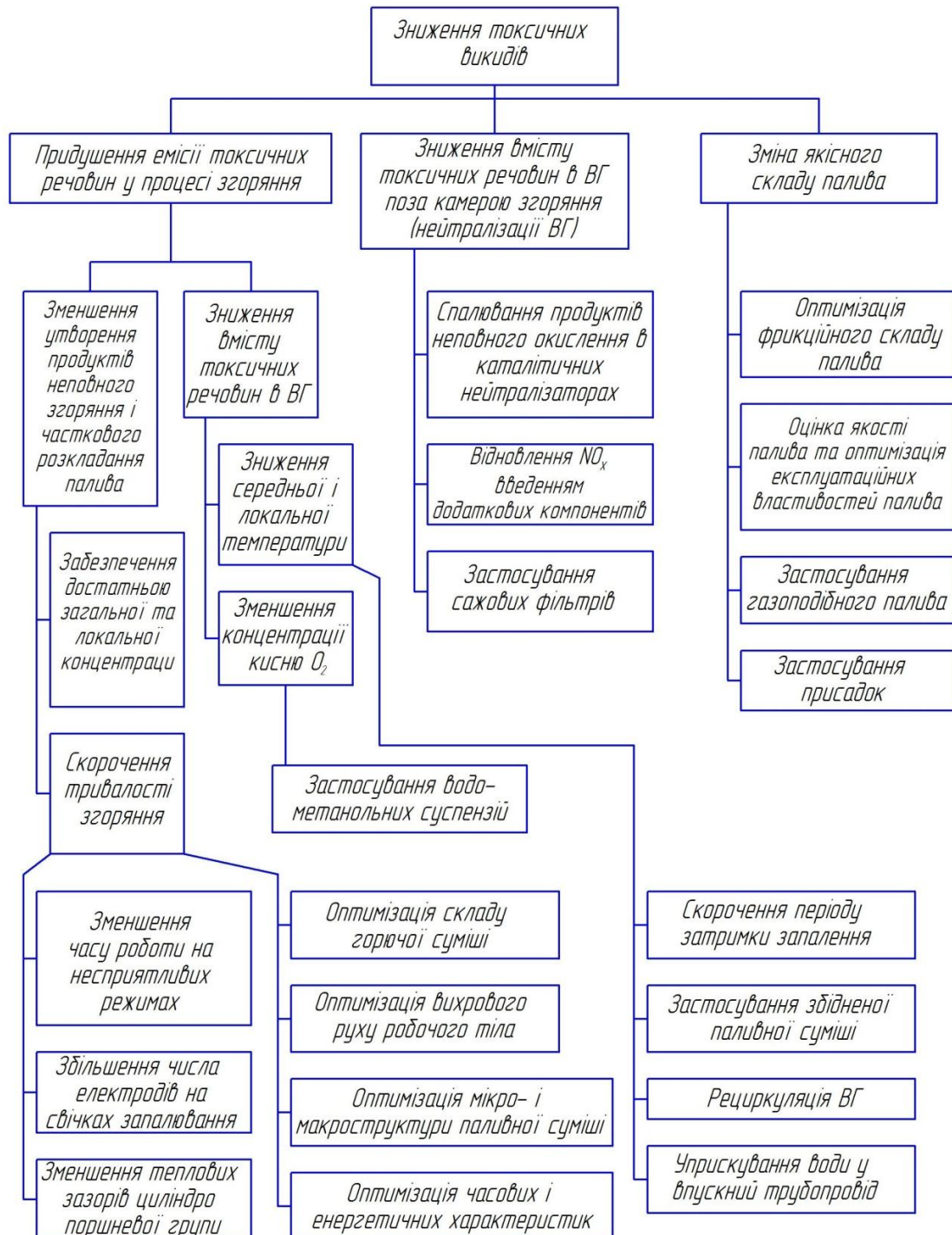


Рисунок 2.1 – Фактори, що визначають та впливають на рівень токсичності відпрацьованих газів ДВЗ

Оцінюючи експлуатаційні фактори, в першу чергу слід відзначити, що в бензинових та газових ДВЗ вплив складу паливо-повітряної суміші прийнято оцінювати визначенням регульовальної характеристики за складом суміші при

роботі двигуна у встановленому швидкісному та навантажувальному режимах. В дизельних ДВЗ, залежність концентрацій шкідливих речовин у відпрацьованих газах від складу суміші аналогічна залежності від навантаження, так як потужність в двигунах цього типу регулюється складом суміші. В бензинових та газових двигунах навантаження має значний вплив на склад відпрацьованих газів.

В дизелях кут випередження впорскування палива впливає на вміст основних шкідливих речовин у відпрацьованих газах так, як й кут випередження запалювання у бензинових та газових двигунах [3, 4].

Як вже відзначалося, однією із основних причин викидів CO і C_nH_m ДВЗ із іскровим запалюванням є використання збагаченої паливо-повітряної суміші на більшості робочих режимів. Саме тому основним напрямком удосконалення бензинових і газових двигунів є розробка заходів щодо забезпечення їх стійкої роботи на збіднених паливо-повітряних сумішах, що можливо досягти двома шляхами. Перший – це створення в камері згорання нерівномірного складу паливо-повітряної суміші із забезпеченням збагаченої суміші в зоні свічки запалювання; другий - організація розшарування паливо-повітряної суміші, що забезпечує такий її розподіл, при якому створюється сталий початковий осередок полум'я, здатний до розповсюдження у збідненій суміші, що заповнює практично весь об'єм камери згорання. Розшарувати суміш можна в розділених і нерозділених камерах згорання. В основну камеру розділеної камери згорання поступає збіднена суміш, в додаткову, де розміщується свічка - збагачена. Остання легко займається і факел газів, що горять, викидається через з'єднуючі канали у основну камеру, забезпечуючи надійне спалахування збідненої суміші. В нерозділених камерах, розшарування суміші має місце при направленому русі повітря і впорскуванні в нього палива (бензину) так, щоб до моменту подачі іскри в зоні свічки знаходилась збагачена суміш. Розшарування суміші в нерозділених камерах можна отримати й при зовнішньому сумішоутворенні й у газових двигунах, за умови організації спрямованого руху паливо-повітряної суміші.

Відомі також конструкції ДВЗ із іскровим запалюванням, які стійко працюють із коефіцієнтами надлишку повітря $\alpha = 1,4...1,6$. При цих значеннях α мають місце низькі концентрації всіх основних шкідливих компонентів у

відпрацьованих газах, в тому числі й NO . Однак камери згорання із розшаруванням суміші мають значні недоліки до яких відносять: складність забезпечення оптимального складу суміші на різних режимах роботи ДВЗ; зниження потужності при роботі на повних навантаженнях; ускладнення конструкції тощо. Тому поряд із розшаруванням суміші все більш широке розповсюдження отримує спалювання у камері згорання однорідної сильно турбулізованої збідненої суміші. Турбулізація суміші здійснюється закручуванням потоку різними пристроями - гвинтовими впускними каналами, заслінками, що встановлюються у впускному трубопроводі, радіальними ширмами на впускних клапанах та ін. [6]

Спалахування збіднених паливо-повітряних сумішей забезпечується застосуванням в камері згорання двох свічок запалювання, багатоелектродних свічок та свічок із підвищеною енергією й збільшеною тривалістю розряду. Перспективними системами запалювання є плазмові та лазерні.

Для зниження викидів із відпрацьованими газами оксидів азоту (NO_x) найбільш ефективним методом «є рециркуляція відпрацьованих газів, яку застосовують як у ДВЗ із іскровим запалюванням, так й у дизелях. При цьому способі, частина відпрацьованих газів відбирається із випускної системи та подається у впускну, що зумовлює зниження температури свіжої суміші, так як збільшується загальна теплоємність заряду. Такий вплив рециркуляції є аналогічним тому, що відбувається при збідненні суміші. Однак на відміну від останнього, рециркуляція зменшує концентрацію O_2 в циліндрі, що призводить до значного зниження інтенсивності утворення NO_x . До недоліків рециркуляції було віднесено погіршення економічності ДВЗ, однак практична реалізація даного способу в експлуатаційних умовах показала, що інтенсивна турбулізація заряду при додаванні незначної кількості відпрацьованих газів до свіжої суміші не тільки не погіршує економічності, а й у окремих випадках навіть знижує витрату палива» [6].

Серед режимів роботи автомобільних ДВЗ є такі, «які характеризуються надмірно збільшеним рівнем токсичності відпрацьованих газів за окремими шкідливими компонентами. Таким режимом для дизелів є прискорення (розгін), в якому у дизелів, зокрема оснащених наддувом, спостерігається різке збагачення

суміші, що призводить до інтенсивного димлення й підвищення викидів продуктів неповного згорання. Для усунення цього недоліку застосовують автоматичні обмежувачі димлення, які змінюють циклову подачу палива у відповідності із кількістю повітря, що надходить в циліндри двигуна» [6].

Відомо, що «кількість повітря, яка надходить в циліндр дизеля збільшується, а циклова подача палива ПНВТ зменшується із підвищенням частоти обертання. Це приводить до того, що дизелі при роботі за зовнішньою характеристикою в зоні низьких частот обертання мають підвищену димність відпрацьованих газів, збільшені викиди CO , C_nH_m й низьку економічність. Для усунення цього недоліку використовують спеціальні протидимні негативні коректори, які при зниженні частоти обертання нижче значення, відповідного максимальному крутному моменту, зменшують циклову подачу палива. Негативні коректори сприяють зниженню димності відпрацьованих газів в зоні низьких частот обертання на 40% при підвищенні економічності автомобіля на 1...2%» [6].

В експлуатаційних умовах автомобільні ДВЗ часто працюють «в режимі примусового холостого ходу (ПХХ), коли індикаторний крутний момент двигуна менший, ніж момент механічних витрат й обертання валу двигуна забезпечується в результаті підведення енергії від ведучих коліс АТЗ. В дизелях при повністю відпущеній педалі акселератора, подача палива виключається й включається лише при зниженні частоти обертання до значення, близького до мінімальної частоти обертання холостого ходу. Це виключає непродуктивні витрати палива й забруднення навколишнього середовища» [6].

В бензинових ДВЗ при повністю закритій дросельній заслінці й підвищеній частоті обертання, паливо потрапляє до системи впуску через систему холостого ходу приблизно у тій же кількості, що й у режимі мінімальної частоти обертання. Крім того, підвищене розрідження у впускній системі та циліндрах ДВЗ призводить до зриву паливної плівки зі стінок, а також до погіршення або повного припинення згорання. Як результат - крім непродуктивної втрати палива, спостерігається забруднення повітря продуктами неповного згорання. «Для поліпшення показників роботи бензинових ДВЗ в режимі ПХХ виключають подачу палива через систему холостого ходу або знижують розрідження у впускному трубопроводі шляхом

подачі в нього додаткового повітря. Випробування показують, що використання таких систем знижує викиди CO на 12%, суми C_nH_m та CO_2 на 27% при підвищенні економічності ДВЗ на 3...5%» [6].

Найбільш ефективним та поширеним на поточний час способом зниження «вмісту шкідливих викидів автомобільних ДВЗ є нейтралізація шкідливих речовин під час їх випуску при застосуванні в конструкції випускної системи АТЗ додаткових пристроїв, які здатні нейтралізувати окремі токсичні компоненти. Такі пристрої встановлюють замість глушників шуму, й вони одночасно виконують декілька функцій» [6, 7]. При використанні таких пристроїв дещо підвищується опір руху відпрацьованих газів на випуску із циліндрів, що приводить до збільшення роботи, яка витрачається на газообмін й, як наслідок, до підвищення витрати палива. Розроблені й застосовуються два види пристроїв - пристрої першого виду призначені для уловлювання, натомість як пристрої другого - для нейтралізації шкідливих речовин (термічні, каталітичні, рідинні та комбіновані нейтралізатори відпрацьованих газів). Будова та принцип роботи таких нейтралізаторів ґрунтовно описані у фаховій літературі [4, 6, 7], тому в даній роботі представлена не буде.

2.2. Перспективні напрямки зниження рівня токсичності відпрацьованих газів ДВЗ

Спираючись на наведену у попередньому пункті інформацію доцільно відзначити, що застосування всіх відомих способів впливу на процеси сумішоутворення та згорання паливо-повітряної суміші у ДВЗ, хоча й дозволяє суттєво знизити вміст токсичних компонентів у відпрацьованих газах, однак повністю їх виключити не вдається. На рис. 2.2 представлені основні перспективні альтернативні напрямки покращення процесу згорання паливо-повітряних сумішей в ДВЗ різних типів.

Основним же способом досягнення мінімальної питомої витрати палива й зниження рівня викидів шкідливих речовин є удосконалення або оптимізація процесу згорання в ДВЗ, за умови відтворення критерію оптимальної роботи системи живлення, а саме забезпечення можливості роботи двигуна на

стехіометричній або збідненій суміші у широкому діапазоні швидкісних й навантажувальних режимів. При цьому задачу забезпечення необхідного рівня токсичності ВГ й рівномірного збільшення крутного моменту можна вирішити в існуючих конструкціях систем сумішоутворення двигунів за рахунок оптимізації характеристик електронних систем керування роботою ДВЗ.

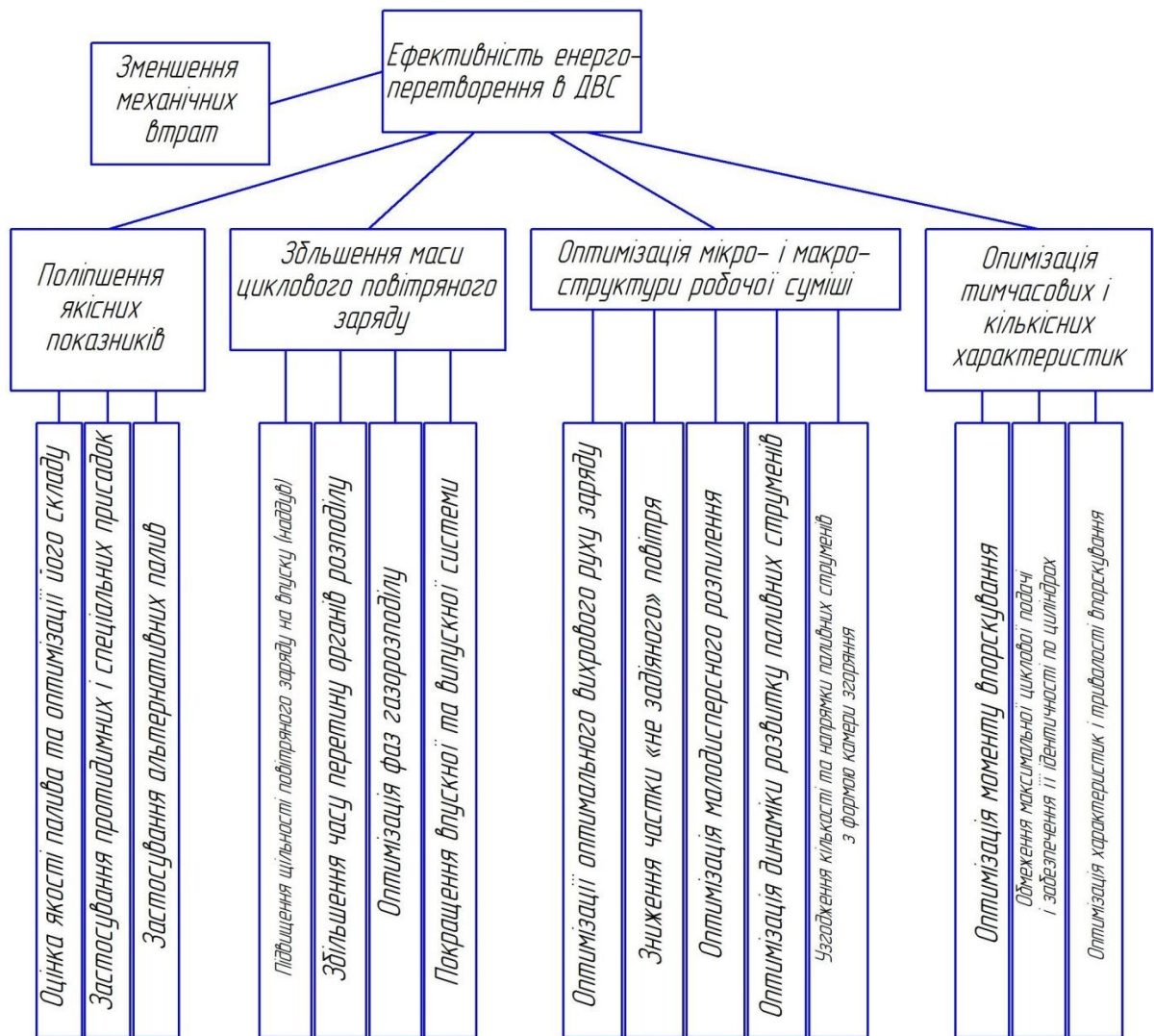


Рисунок 2.2 – Перспективні напрямки підвищення ефективності перетворення енергії палива в механічну роботу та зниження рівня токсичності продуктів згорання у ДВЗ

До перспективних та малодосліджених напрямків слід віднести й доцільність розширення асортименту номенклатури палива, в тому числі, й пошук можливих альтернатив його видів не нафтового походження.

При безумовній актуальності всіх представлених на рис. 2.2 напрямків, одним із найбільш пріоритетних все ж таки можна вважати вдосконалення характеристик тепловиділення за рахунок поліпшення якості палива й процесів

утворення на його основі паливо-повітряних сумішей (сумішеутворення). Вирішення цієї проблеми можливе як за рахунок підвищення ефективності роботи паливної апаратури, оснащеної системою оцінки якості палива, що дозволяє забезпечити необхідний фізико-хімічний склад, дрібність розпилювання й раціональну балістику паливних струменів (факелів); так й шляхом впливу безпосередньо на газодинамічні параметри робочого тіла (паливо-повітряного або повітряного заряду).

Альтернативні палива можуть стати повноцінними заміниками паливам нафтового походження. При цьому енергетичні показники ДВЗ можуть залишатися на рівні традиційних палив або в незначній мірі змінюватись, а екологічні – лише покращуватися [4, 7].

Оцінюючи альтернативні види палива, які можуть бути використані замість традиційних нафтових, в першу чергу слід сказати про спирти, зокрема метанол й етанол, які можна застосовувати не тільки як добавки до бензину, але й у чистому вигляді. Головними перевагами спиртів виступають: підвищена детонаційна стійкість й високий термічний ККД робочого процесу; натомість як недоліком є знижена теплотворна здатність, що зменшує дальність пробігу АТЗ й підвищує показники витрати палива у 1,5...2,0 рази у порівнянні, наприклад, із традиційним бензином [9].

Метанол в якості палива для ДВЗ АТЗ характеризується високим октановим числом й низькою пожежонебезпекою; він здатний змішуватися із бензином й служити основою для ефірної добавки – метилтретбутилового ефіру, який в даний час, наприклад, замінює у США більші обсяги бензину й сирої нафти, ніж всі інші альтернативні палива разом взяті [9].

Етанол (питний спирт) - володіє високим октановим числом й енергетичною цінністю, й є кінцевим продуктом переробки відходів деревини або, наприклад, цукрового очерету. Використання його у вигляді палива, забезпечує ДВЗ високий ККД й низький рівень шкідливих викидів. Він вже має доволі широке розповсюдження та особливо популярний в країнах із помірно теплими кліматичними умовами. Так, Бразилія після нафтової кризи 1973 р. активно використовує етанол; в країні більше 7 млн. АТЗ використовують його в

якості основного палива, а ще 9 млн. - його суміш із бензином. США є другим світовим лідером у масштабного застосуванні етанолу для потреб автотранспорту: в якості основного палива етанол використовується у 21 штаті, а етанол-бензинова суміш складає понад 10% паливного ринку США й застосовується у системах живлення більш як у 100 млн. ДВЗ [10]. На поточний час, при існуючих технологіях виробництва, усереднені показники вартості етанолу є набагато вищими за собівартість виробництва бензину, разом з тим підвищений інтерес до його використання в якості палива для ДВЗ спричинений діючими державними пільговими програмами.

Не була виключенням й наша країна. Так, ще наприкінці червня 2000 р. Урядовим комітетом із реформування АПК та проблем екології було схвалено проєкт державної програми «Етанол: 2000–2010» та «Програму державної підтримки розвитку нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії та малої гідро- і теплоенергетики», розробленої у відповідності до Указу Президента України (№285 від 02.04.1997 р.). Крім цього, Кабінет Міністрів України власною постановою (№1044 від 04.07.2000 р.) затвердив програму «Етанол», яка передбачає прискорене переведення приблизно 1/3 автопарку на газохол (етанол-бензинову суміш) й чистий етанол, що передбачало перепрофілювання частини потужностей вітчизняних спиртових та суміжних підприємств на випуск високооктанових кисневмісних добавок до бензину й технічного спирту.

Ресурси для виробництва етанолу в нашій країні практично є невичерпними, так як для цього використовуються відходи сільськогосподарського виробництва, головним чином буряківництва. З урахуванням додаткового імпорту й переробки тростинного цукру-сирцю, щорічно могло бути вироблено близько 5,5 млн. декалітрів етанолу й 310 тис. декалітрів технічних спиртів, а сумарні потужності підприємств України дозволяли виготовляти до 70 млн. декалітрів таких спиртів на рік [11].

Використання спиртів в якості автомобільного палива вимагає лише незначної переробки окремих систем ДВЗ: перепрограмування ЕБК й заміни деяких, схильних до надмірної корозії, матеріалів деталей більш стійкими. Крім

цього, необхідно забезпечити більш ефективну герметизацію системи паливоподачі автомобіля, з огляду на підвищену отруйність метанолу.

На поточний час відомі два основних способи застосування спирту у якості палива для автомобільних ДВЗ - при частковій (до 20%) й при повній заміні бензину. Високі антидетонаційні якості визначають переважне використання спирту в ДВЗ із примусовим (іскровим) запалюванням; при цьому сам двигун не потребує значних конструктивних змін для роботи на бензо-спиртовій суміші, натомість як для роботи на чистому спирті - потрібне збільшення обсягу паливного баку й підвищення величини ступеня стиску η до 12...14 од. (щоб біль ефективно використати детонаційну стійкість спирту) й перепрограмування ЕБК ДВЗ. Потребує зміни й склад горючої суміші, яку необхідно дещо збагатити - для згорання 1,0 кг спирту потрібно 9,0 кг повітря, натомість як для згорання 1 кг бензину – всі 14,93 кг [8].

Спирти володіють цілим рядом переваг у порівнянні із нафтовим паливом, й лише підвищена вартість, низька теплотворність, висока гігроскопічність й підвищений вміст альдегідів - перешкоджають його масовому застосуванню, як паливу для автомобільних ДВЗ. До переваг спирту відносяться наступні [8]:

1. Високі антидетонаційні властивості (октанове число етанолу перевищує 100). Підвищенню октанового числа сприяє й додавання етанолу до бензину; так кожні 3% етанолу у суміші із бензином забезпечують усереднене підвищення октанового числа палива на 1 (одиницю). Таким чином спирти можуть бути використані й у якості високооктанової добавки до традиційних палив: присутність спиртів підвищує й детонаційну стійкість палива, так як температура samozаймання чистого бензину становить лише 290 °С, а його суміші з етанолом – вже більш як 420 °С. Додатковою перевагою спиртів є й те, що процес їх випаровування актуалізується у впускній системі та закінчується у циліндрі ДВЗ в кінці такту стискання, забезпечуючи таким чином більш ефективне охолодження найбільш температурно навантажених деталей (поршнів й клапанів) та покращуючи наповнення циліндрів свіжим зарядом за рахунок дозарядки циліндру (компресорний ефект) із наступним збільшенням потужності ДВЗ до 5,0%.

2. Надійне запалення електричним іскровим розрядом свічки запалення в широкому діапазоні зміни складу горючої суміші (діапазон займистості сумішей із вмістом спирту характеризується коефіцієнтом надлишку повітря в діапазоні 0,4...1,7).

3. Підвищений термічний ККД двигуна, що працює із додаванням або на чистому спирті, вищий, ніж при використанні традиційного бензину.

4. Значно менша токсичність відпрацьованих газів.

5. Підвищений рівень пожежної безпеки.

Нажаль, на поточний час, всі існуючі державні програми застосування спирту в якості палива або добавок до нього, не діють. Причин цьому декілька: це й масштабна збройна агресія проти нашої держави та дія воєнного стану; відсутність коштів на їх реалізацію та ін. Разом з тим, можливість застосування для роботи ДВЗ бензо-спиртових сумішей залишається вельми актуальною перспективою, що вимагає ґрунтовного дослідження та розробки практичних рекомендацій щодо можливості та доцільності її реалізації.

2.3. Обґрунтування актуальності проведення наукових досліджень.

Предмет, об'єкт мета та задачі роботи

В глобальному масштабі підвищений інтерес до широкого застосування альтернативних видів палива ґрунтується на таких їх основних перевагах: при згоранні альтернативних палив меншими є викиди, які забруднюють навколишнє середовище та сприяють глобальному потеплінню на нашій планеті; більшість таких палив може бути вироблена із поновлюваної сировини та їх використання дозволяє підвищити енергетичну незалежність й безпеку країни.

Крім глобального критерію є й інші аспекти доцільності застосування спиртів у паливі для ДВЗ. Так, при застосуванні різних кисневмісних добавок до бензинів в якості антидетонаторів, найбільш ефективними, доступними та екологічно чистими з яких є спирти (зокрема етанол) реалізується можливість у декілька разів знизити кількість викидів CO , NO_x та інших канцерогенних з'єднань. Високі антидетонаційні властивості метанолу у поєднанні із можливістю його виробництва із нафтової сировини, дозволяють розглядати цей продукт в якості перспективного високооктанового компонента автомобільних бензинів, які отримали назву бензино-

метанольних сумішей, з оптимальним вмістом метанолу 5...20%. При таких концентраціях бензо-спиртова суміш має задовільні експлуатаційні властивості й дає помітний економічний ефект за рахунок зниження теплоти згорання палива та стехіометричного коефіцієнту при незначних змінах теплоти згорання паливо-повітряної суміші. Так, внаслідок зміни стехіометричних характеристик використання 15% добавки метанолу (суміш M15) у стандартній системі живлення бензинового ДВЗ обумовлює збіднення паливо-повітряної суміші в межах до 7% та підвищує його октанове число в середньому на 3...8, що дозволяє компенсувати погіршення енергетичних показників суміші за рахунок підвищення ступеня стиску. Одночасно метанол покращує й процес згорання палива за рахунок утворення проміжних компонент - радикалів, які активізують ланцюгові реакції окислення. Експериментальні дослідження процесу горіння бензо-метанольних сумішей показали, що добавка метанолу позитивно впливає на скорочення періоду затримки запалення й тривалість процесу згорання суміші. При цьому тепловідведення із зони реакції знижується, а межа збіднення суміші розширюється, що сприяє зростанню ефективного ККД ДВЗ і його потужність, поліпшуються токсичні характеристики але нажалі при цьому погіршується паливна економічність.

Однак, використання бензо-метанольних сумішей стримується низкою притаманним ним негативних факторів. Однією з найбільш серйозних проблем, що ускладнюють використання добавок метанолу, є низька стабільність бензо-метанольних сумішей й особливо їх чутливість до H_2O . Різниця щільності бензину і метанолу і висока розчинність останнього у воді призводять до того, що потрапляння навіть невеликої кількості води в суміш веде до її негайного розшарування і осадження водо-метанольної фази. Посилення схильності сумішей до розшарування актуалізується із зниженням її температури та із збільшенням концентрації H_2O й зменшенням вмісту ароматичних сполук у бензині. Етанол змішується і H_2O у будь-яких співвідношеннях, разом з тим вміст 0,2...1,0% об. H_2O у паливній суміші підвищує температуру її розшарування в діапазоні від -20 °С до +10 °С, що робить цю суміш практично непридатною для застосування. Враховуючи той факт, що за реальних умов транспортування та зберігання бензо-спиртових палив неминує виникає їх

насичення водою, яка потрапляє до палива на різних етапах його переміщення від виробника до споживача, ця проблема нажаль суттєво погіршує перспективи масового застосування бензо-спиртових палив.

Проблема фазового розшарування бензо-спиртових сумішей не виключається й за умови використання так званих абсолютованих етилових спиртів. Одним із можливих з точки зору технічної реалізації методів стабілізації бензо-метанольних сумішей є застосування спеціальних присадок – пропанолу, ізопропанолу, ізобутанолу та інших спиртів. Разом з тим, даний метод має й суттєвий недолік. Який обмежує ефективність його застосування - високу вартість і обмеженість виробництва таких присадок.

Так, наприклад, в якості підтвердження ефективності даної технології, були проведені дослідження стабілізаційних властивостей 2-фурилкарбінолу при додаванні до етилового спирту із концентрацією $\omega = 89,02\% \text{ мас.}$, результати яких представлені на рис. 2.3 та дозволяють зробити однозначний висновок, що при використанні означеної речовини у якості стабілізатору відсутня необхідність проведення так званої абсолютизації етилового спирту задля забезпечення можливості його застосування у якості палива для автомобільних ДВЗ.

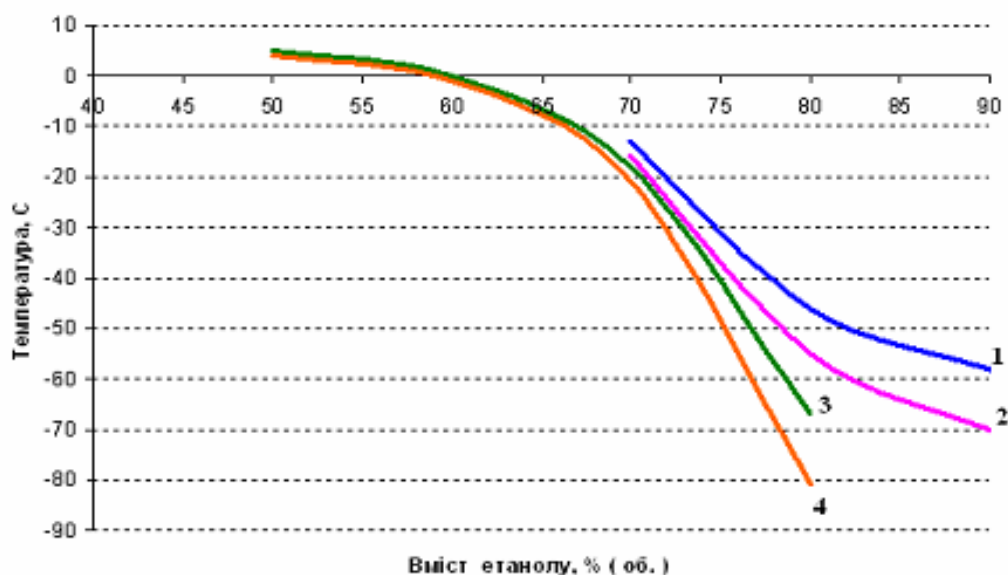


Рисунок 2.3 – Температура помутніння й дестабілізації бензо-спиртових сумішей при зміні вмісту етанолу:

1 – температура помутніння базової суміші (без добавки 2-карбінолу); 2 – температура дестабілізації базової суміші (без добавки 2-фурилкарбінолу); 3 – температура помутніння суміші із добавкою 2-фурилкарбінолу; 4 – температура дестабілізації суміші із добавкою 2-фурилкарбінолу.

Є й інші проблеми застосування бензо-спиртових сумішей. Так, додавання навіть незначної кількості метанолу до бензину змінює його фракційний склад, що негативним чином впливає на посилення схильності до утворення парових пробок у паливних магістралях (паливопроводах), в той час як при використанні чистого метанолу, який володіє високою теплою пароутворення - це практично виключається.

Ще однією проблемою, про яку не можна забувати, є висока корозійна активність бензо-метанольних сумішей. Так, наприклад, у сумішах із вмістом 10...15% метанолу деталі виготовлені із сталі, латуні та міді інтенсивно кородують, а алюмінієві - кородують повільно із зміною кольору. Такий корозійний вплив обумовлює не тільки інтенсивне зношування безпосередньо паливопроводів, різних вузлів і систем паливоподаючої апаратури, але й призводить до забруднення палива механічними домішками, які є продуктами корозії матеріалів.

Не можна не згадати й про те, що суміш палива із етанолом характеризується підвищеною теплою випаровування, що також є проблемним моментом й створює суттєві складності під час запуску ДВЗ. Для етанолу нижньою межею випаровуваності є температура -15°C ; при нижчих же її значеннях випарів палива недостатньо для утворення легкозаймистої суміші. Бензини же, на відміну від спиртів, мають достатню випаровуваність, що забезпечує можливість запуску ДВЗ й за набагато нижчих температурних показників навколишнього середовища – до -25°C й нижче. Покращення «холодного» пуску ДВЗ при роботі на бензо-етанольних сумішах потребує дооснащення системи впуску спеціальним «блоком нагрівання», що вимагає внесення змін до конструкції двигуна, а також застосування високоякісних палив й спеціальних «пускових» речовин.

На практиці, для покращення холодного пуску ДВЗ найбільш простим та економічно доцільним визнано додавання до палива легколетючих речовин: бутану, ізопентану та/або газового бензину. Разом з тим, реалізація такого способу може спричинити й утворення парових пробок у паливній системі. Більш практичну користь для швидкого запуску ДВЗ, особливо при низьких температурних показниках навколишнього середовища, дає застосування автономних пускових речовин (сумішей), які вводяться безпосередньо до системи паливоподачі двигуна за

допомогою спеціальних приладів або вприскуються факелами із аерозольних балончиків до його системи впуску (наприклад у повітряний фільтр).

Додавання етилового спирту до бензину змінює його основні характеристики, в тому числі й одну з головних - тиск насичених парів палива (ТНП). Так, додавання до бензину до 6% етанолу забезпечує підвищення показника ТНП бензину без виходу його за межі нормативних значень, натомість як подальше збільшенням концентрації спирту призводить до поступового зниження цього показника.

Й, останнє - етанол-вмісні палива характеризуються зниженими змащувальними властивостями, що негативним чином впливає на ресурс найбільш відповідальних деталей й спржень паливної апаратури.

Підсумовуючи все вище сказане слід визнати, що використання етанол-вмісного палива, особливо в якості палива для ДВЗ із примусовим запаленням від іскрового розряду, що працюють на легких рідких паливах – бензинах, має беззаперечну перспективу; разом з тим, для отримання ефективної можливості такої реалізації необхідно розробити й впровадити комплекс заходів із зменшення дії основних негативних факторів.

Саме тому, об'єктом дослідження магістерської роботи обрано процес ефективності перетворення енергії палива у механічну роботу при використанні легких рідких палив – бензинів із вмістом етанолу.

Предметом дослідження виступає вплив концентрації метанолу у бензині та спосіб отримання суспензії на ефективність роботи ДВЗ.

Метою проведення наукових досліджень є визначення оптимальної концентрації метанолу у бензині при аналізі ефективних показників ДВЗ та розробка раціональної технології утворення бензо-етанольної суміші із мінімальними показниками розшарування.

Для досягнення поставленої в роботі мети необхідно вирішити наступні задачі:

- на основі оцінки та порівняння основних ефективних показників роботи ДВЗ, провести дослідження із визначення оптимальних концентрацій етанолу у бензині;
- розробити методику практичної реалізації інтеграції підсистеми подачі

етанолу до систем сумішоутворення бензинових інжекторних ДВЗ при мінімальних конструктивних змінах конструкції базових систем живлення та сумішеутворення.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ДВЗ НА БЕНЗО-ЕТАНОЛЬНИХ СУМІШАХ

3.1. Лабораторне обладнання та загальна методика проведення досліджень

Випробування проводили на дослідно-випробувальній установці в умовах автосервісного підприємства «Ковальов-Авто» с. Соколівське (рис. 3.1). Лабораторна установка була побудована на базі чотирьохтактного ДВЗ МеМЗ-307.1 оснащеного інжекторною системою живлення розподіленого типу із іскровим запалюванням, яка дозволяла змінювати ступінь стиску ε у відповідності до технічних характеристик наведених у таблиці 3.1.



Рисунок 3.1 - Дослідно-випробувальна установка для оцінки характеристик двигуна при роботі на бензо-етанольних сумішах

Таблиця 3.1 – Основні технічні характеристика дослідно-випробувальної установки на базі чотирьохтактного ДВЗ

Параметр	Характеристика
-1-	-2-
Тип ДВЗ	4 тактний, одноциліндровий, із рідинною системою охолодження та інжекторною системою подачі палива

Діаметр циліндру і хід поршня	82,6 × 114,3 мм
Робочий об'єм циліндра	611,7 см ³
Коефіцієнт стиснення	4...16
Об'єм камери згорання (у ВМТ)	176,7 – 40,8 см ³

Продовження таблиці 3.1

-1-	-2-
Довжина шатуна	254,0 мм
Потужність	3,7 кВт (5,0 к.с.)
Система запалювання	Електронна із свічкою запалювання «Champion D16 spark plug»
Вага двигуна (наближено)	399 кг
Вага повного комплекту (наближено)	1247,0 кг

Випробуванню піддавалися 6 різних водо-етанольних сумішей, які були попередньо змішані із різним вмістом (у %) метанолу, етанолу, пропанолу, бутанолу, пентанолу та бензину (з октановим числом ОЧ=95). Кожна суміш мала 90% бензину й 10% водо-етанольної суспензії, натомість як концентрація окремих спиртів в сумішах - варіювалася. Основною метою такого дослідження виступало визначення ефекту впливу складу сумішей зав різних концентрацій спиртів на динамічні характеристики ДВЗ. Концентрацію спиртів різних видів у тестових сумішах визначали із урахуванням їх властивостей наведених у таблиці 3.1, властивостей й зміни концентрацій різних спиртів та бензину. В таблиці 3.2 наведені дані щодо об'ємного складу й вмісту O_2 у дослідних сумішах, натомість як теплотворні властивості кожної з них представлені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.2 – Властивості спиртів та бензину

Показник	Бензин	Метанол	Етанол	Пропанол	Бутанол	Пентанол
Хімічна формула	C_8H_{18}	CH_3OH	C_2H_5OH	C_3H_7OH	C_4H_9OH	$C_5H_{11}OH$
Молекулярна вага	113,3	32,04	4607	6010	7412	88,15
Вміст O_2 , %	0,00	49,93	34,73	26,62	21,59	18,15
Стехіометричне число	14,51	6,43	8,94	10,28	11,12	11,68
Щільність, г/л	0,7430	0,7913	0,7894	0,8037	0,8097	0,8148
Температура кипіння, °C	34...207	65	78,3	82,2	82,7	-
Октанове число (дослідне)	95,5	112	111	112	113	-
Октанове число (моторне)	82,2	91	92	-	-	-

Таблиця 3.3 – Об'ємний (у %) склад дослідних сумішей

№ суміші	Склад суміші, %						Вміст у суміші ..., %	
	Бензин	Метанол	Етанол	Пропанол	Бутанол	Пентанол	спирту	O_2

1	90,00%	0,60%	2,07%	4,80%	2,40%	0,13%	10,00%	3,03%
2	90,00%	0,60%	0,22%	4,80%	2,40%	1,98%	10,00%	2,72%
3	90,00%	2,00%	2,00%	3,00%	2,88%	0,12%	10,00%	3,34%
4	90,00%	2,00%	2,00%	3,00%	0,12%	2,88%	10,00%	3,24%
5	90,00%	3,24%	2,40%	2,76%	0,13%	1,47%	10,00%	3,70%
6	90,00%	3,04%	2,40%	2,96%	1,47%	0,13%	10,00%	3,70%

До початку проведення досліджень було виконано низку заходів, які дозволили забезпечити роботу дослідно-випробувальної установки у межах норм безпеки та створені передумови щодо повторюваності умов експлуатації двигуна.

Таблиця 3.4 - Теплота згорання дослідних сумішей у порівнянні із бензином (ОЧ=95)

Вид палива	Теплоємність 1 кг палива, кДж/кг	Теплота згорання, кДж
95 бензин	42912,0	18448,0
Суміш №1	42751,0	18379,0
Суміш №2	42744,0	18376,0
Суміш №3	42779,0	18391,0
Суміш №4	42798,0	18399,0
Суміш №5	42828,0	18412,0
Суміш №6	42821,0	18409,0

3.2. Визначення оптимальних параметрів процесів стискання та запалення бензо-етанольних сумішей

Основна мета даного дослідження пролягала у отриманні та оцінці характеристик процесу спільного горіння етанолу із бензином при сталому швидкісному режимі роботи двигуна й порівняння цих характеристик з аналогічними, триманими при роботі ДВЗ лише на бензино-повітряній суміші, що дозволило виконати порівняльний аналіз процесів згорання. В таблиці 3.5 наведені параметри та умови роботи дослідно-випробувальної установки, що були відтворені у даному експерименті.

Таблиця 3.5 – Параметри та умови роботи дослідно-випробувальної установки

Параметр	Значення
Швидкісний режим роботи ДВЗ, об/хв	895...905
Температура впускної системи, °С	45,0...47,2
Температура моторної оливи, °С	64,4...67,8
Температура охолоджуючої рідини, °С	97,2...98,3
Склад паливо-повітряної суміші	Стехіометричний

Основною характеристикою ефективності протікання процесів згорання водо-метанольних суспензій та бензинів було прийнято обмеження детонаційної стійкості (ОДС), яке визначалося за величиною максимального стиснення при заданому куті випередження запалювання, за умови роботи ДВЗ без надмірних детонації. Момент запалювання варіювався у діапазоні $30^{\circ} \dots 0^{\circ}$ повороту колінчастого валу до ВМТ, а ступінь стиснення ε із кроком 2,5 одиниці. При кожному куті випередження запалювання ε зменшувалася із означеним вище кроком до фіксації стуків (появи детонації) та надалі ступінь стиснення зменшувалася із кроком вже 0,1. Для переконання в тому, що від зміни одного циклу на інший, не впливатиме на аналіз стуків, 50 точок тиску в циліндрі були зафіксовані у кожний момент часу запалювання суміші. Слід також відзначити, що точка кращого середнього індикаторного тиску відповідала точці максимальної потужності ДВЗ. Отже, таким чином, параметри моменту запалення й стиснення були оптимізовані для кожного складу суміші.

Граничні криві середнього індикаторного тиску для кожної розробленої паливної суміші й бензину (див. таблиці 3.3) представлені на рис. 3.1 – рис. 3.6. Аналіз отриманих експериментальним шляхом кривих середнього індикаторного тиску показав, що він збільшується із зміною величини моменту запалювання суміші (до ВМТ) починаючи із 30° й триваючи до $17,5^{\circ}$, потім вирівнюється, а надалі продовжує збільшуватися аж до значення 5° . Таким чином було встановлено, що точка максимальної потужності ДВЗ для кожної із дослідних сумішей та бензину відповідає куту випередження запалення у 5° до ВМТ.

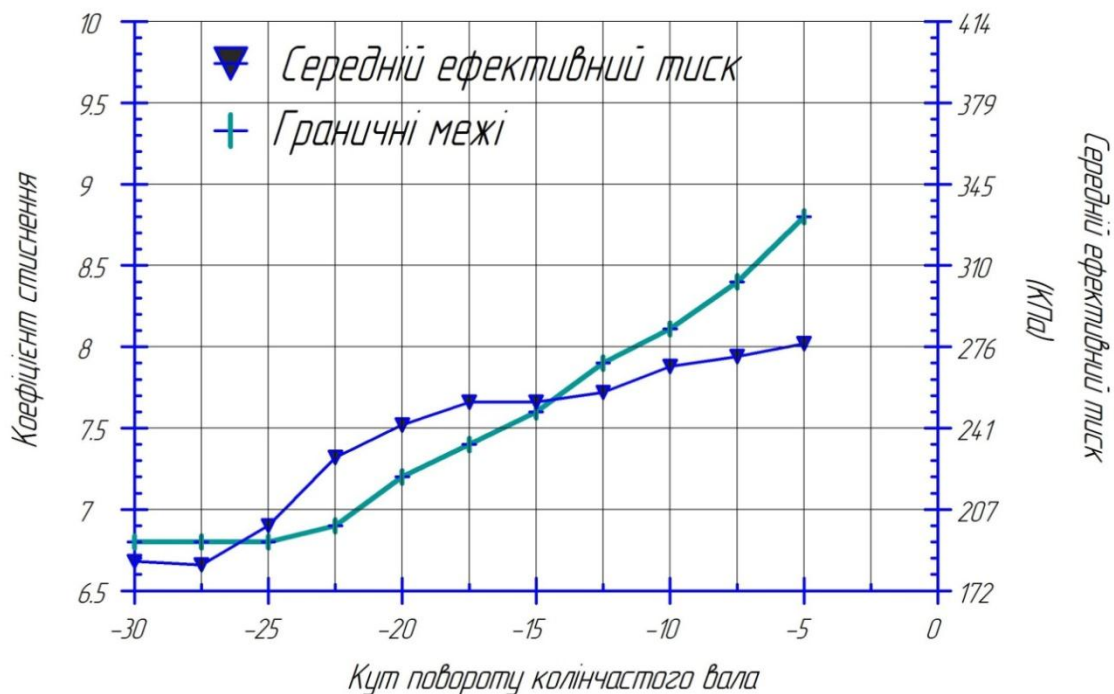


Рисунок 3.1 - Графіки залежності коефіцієнта стиснення та середнього ефективного тиску в циліндрі ДВЗ від кута повороту колінчастого вала (для бензину ОЧ=95)

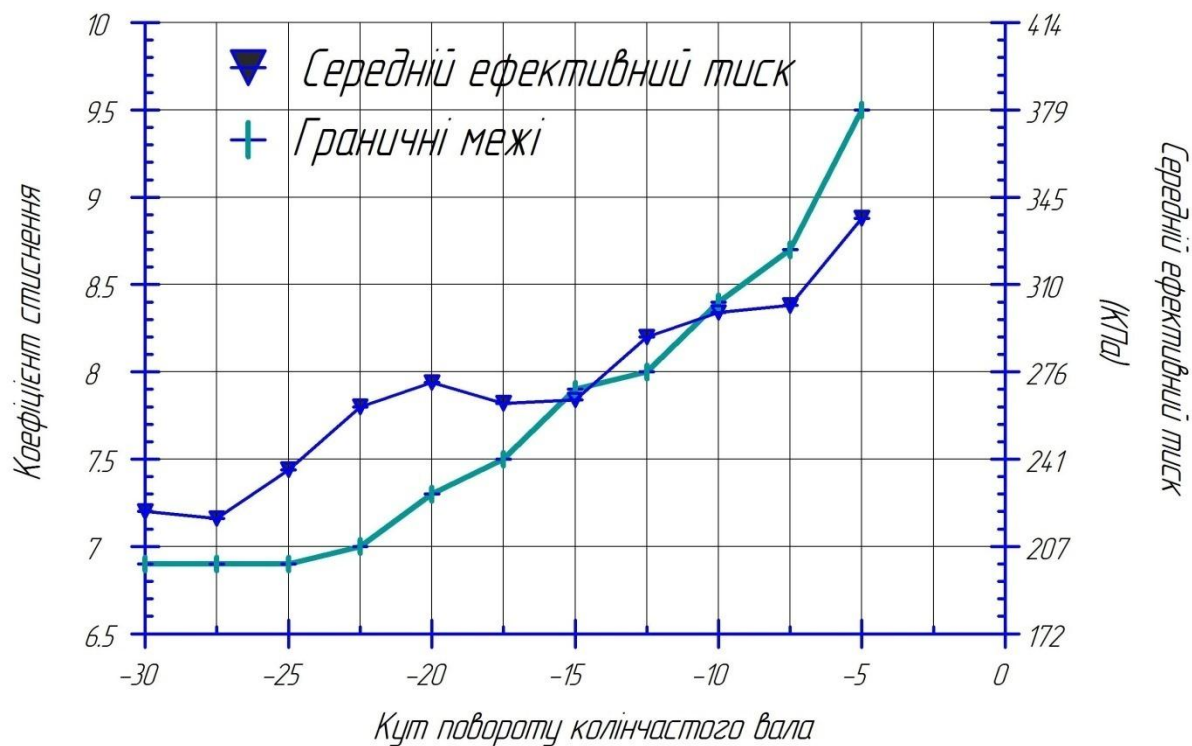


Рисунок 3.2 - Графіки залежності коефіцієнта стиснення та середнього ефективного тиску в циліндрі ДВЗ від кута повороту колінчастого вала (для паливної суміші №1)

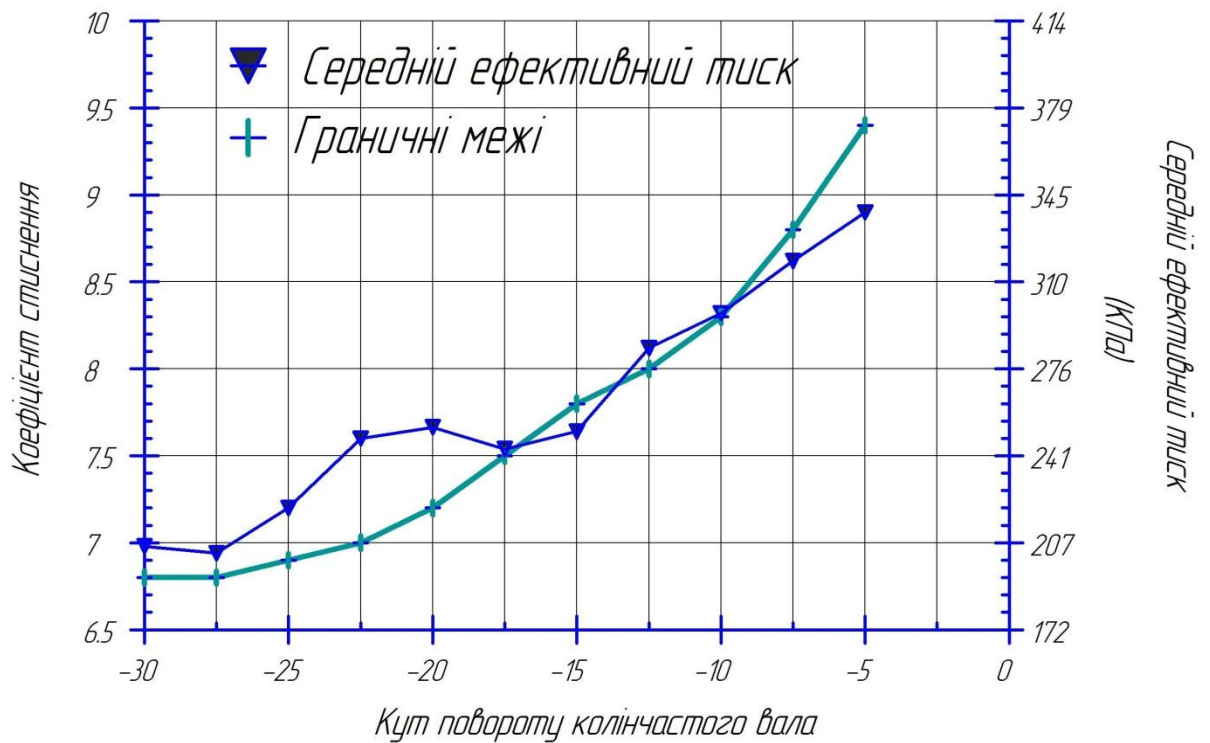


Рисунок 3.3 - Графіки залежності коефіцієнта стиснення та середнього ефективного тиску в циліндрі ДВЗ від кута повороту колінчастого вала (для паливної суміші №2)

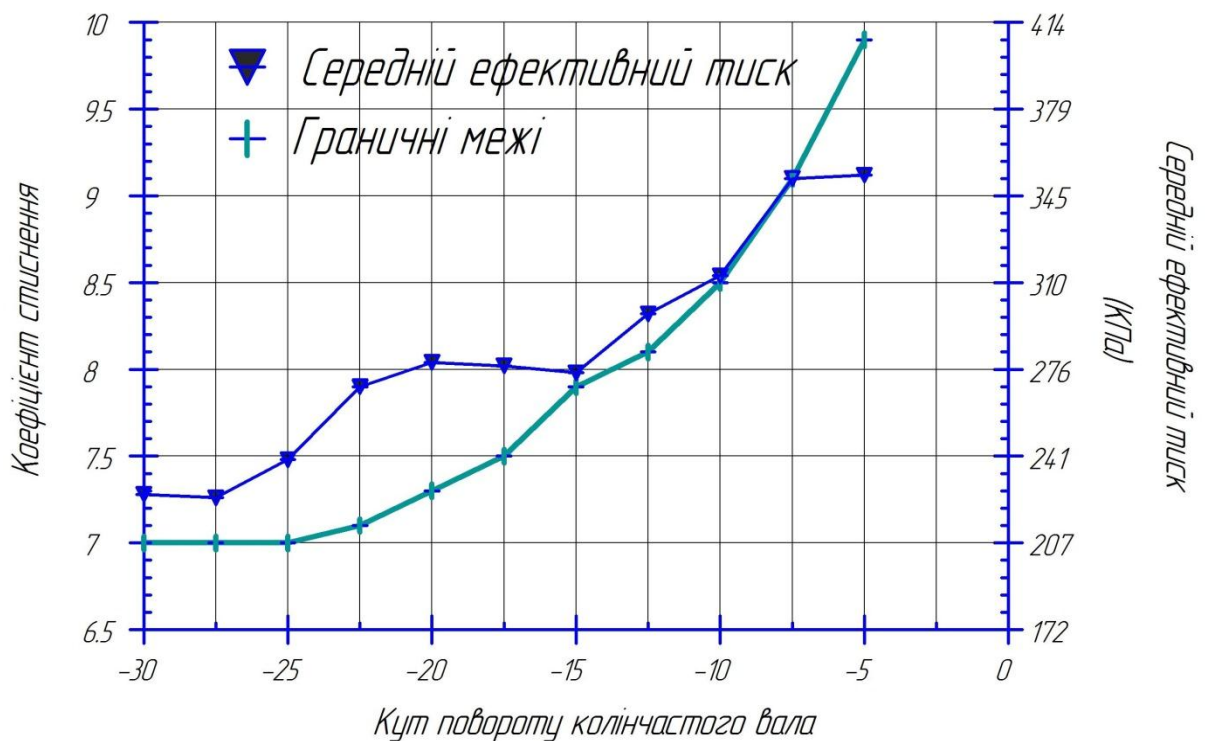


Рисунок 3.4 - Графіки залежності коефіцієнта стиснення та середнього ефективного тиску в циліндрі ДВЗ від кута повороту колінчастого вала (для паливної суміші №3)

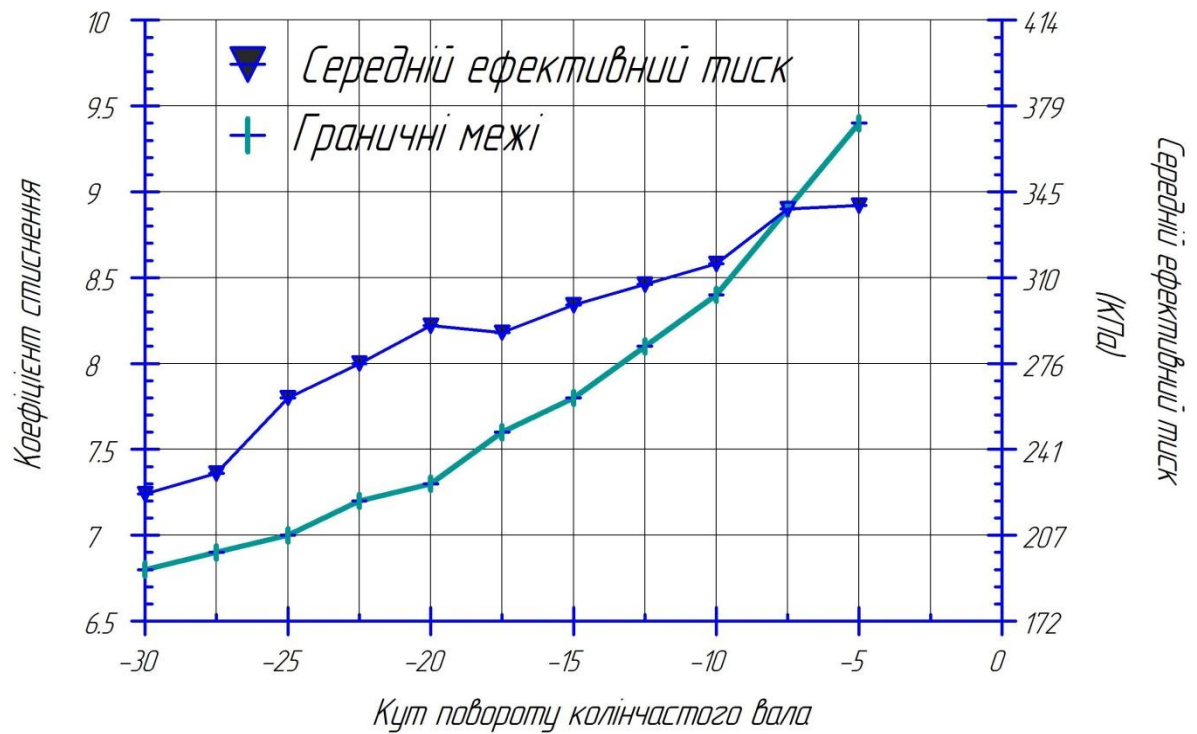


Рисунок 3.4 - Графіки залежності коефіцієнта стиснення та середнього ефективного тиску в циліндрі ДВЗ від кута повороту колінчастого валу (для паливної суміші №4)

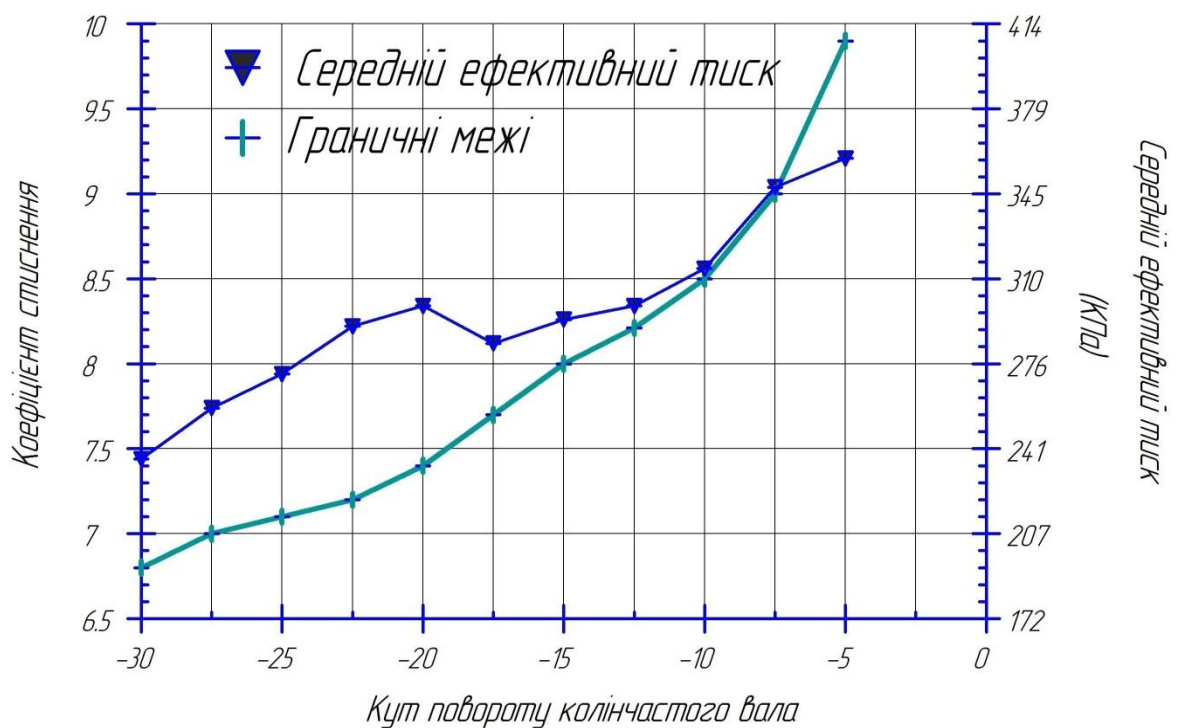


Рисунок 3.5 - Графіки залежності коефіцієнта стиснення та середнього ефективного тиску в циліндрі ДВЗ від кута повороту колінчастого валу (для паливної суміші №5)

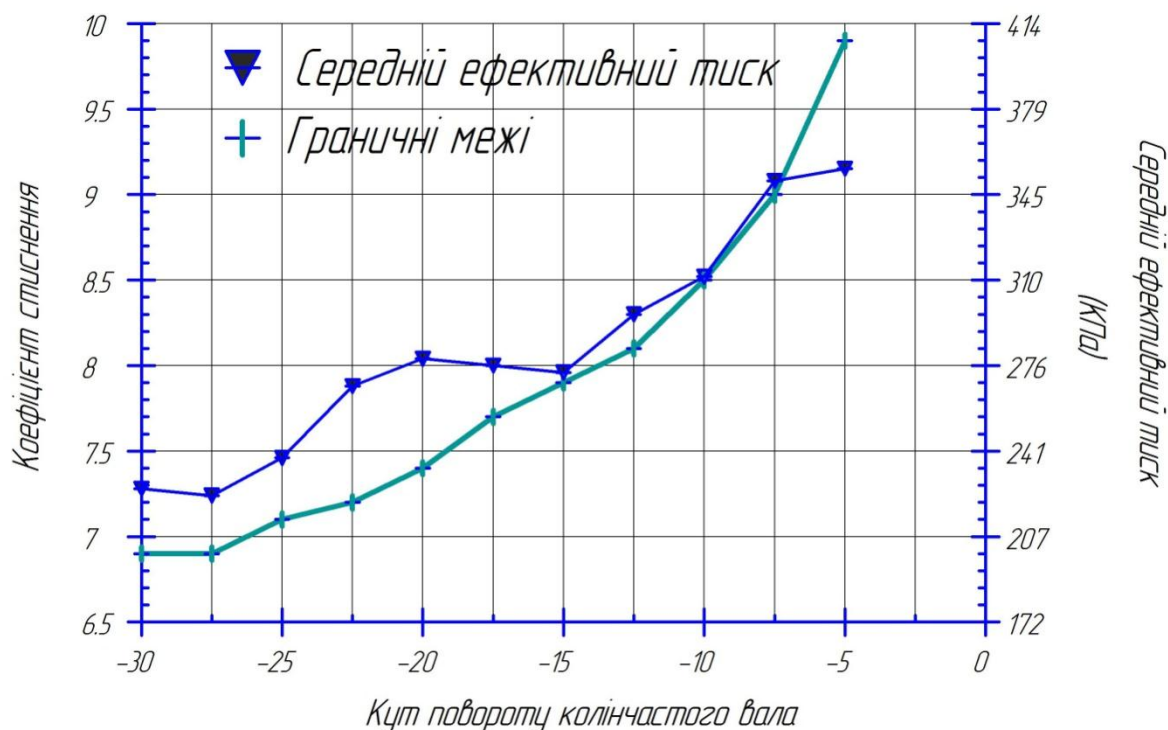


Рисунок 3.6 - Графіки залежності коефіцієнта стиснення та середнього ефективного тиску в циліндрі ДВЗ від кута повороту колінчастого вала (для паливної суміші №6)

В таблиці 3.6 наведені узагальнені результати визначених максимальних величин середнього індикаторного тиску для певних ступенів стиснення ДВЗ при оптимальному кутів випередження запалювання для кожної дослідної суміші. В якості попередніх висновків доцільно зазначити, що порівняльний аналіз даних таблиці 3.6 виявив кращі показники у всіх дослідних сумішей в порівнянні із чистим бензином. Це, пояснюється в першу чергу детонаційної стійкості паливних сумішей, що дозволило підвищити величини коефіцієнтів стиснення для кожної із них.

Таблиця 3.6 - Величини середнього ефективного тиску для кожної дослідної суміші й бензину та ступені стиснення, при яких вони досягаються

Вид палива	Кут випередження запалення, ° до ВМТ	Ступінь стиснення (ε)	Середній ефективний тиск, кПа
Бензин (ОЧ=95)	5,0	8,8	275,9
Суміш №1	5,0	9,5	337,1
Суміш №2	5,0	9,4	338,1
Суміш №3	5,0	9,9	355,1
Суміш №4	5,0	9,4	338,7
Суміш №5	5,0	9,9	358,7

Суміш №6	5,0	9,9	356,9
----------	-----	-----	-------

Під час експерименту визначали й детонаційну стійкість та кут випередження запалювання сумішей в діапазоні від 30° до 0° до ВМТ. Однак, менше ніж 5° до ВМТ кут випередження запалення не змінювався, так як була висока вірогідність виникнення самозаймання паливо-повітряної суміші в циліндрі до моменту подачі примусового іскрового розряду.

3.3. Дослідження антидетонаційних та інших характеристик бензоетанольних сумішей

Для визначення моменту іскрового запалення та індикаторної детонаційної стійкості (ІДС) було використано чисельне інтегрування за допомогою трапецеподібного рівняння за розрахованими показниками ОДС та кутом випередження запалювання:

$$IDC_i = \sum_{i=27,5}^{5(\text{кроком } 2,5)} \frac{1}{2} (ODC_i + ODC_{i-2,5}) \cdot 2,5, \quad (3.1)$$

де ODC_i - обмеження детонаційної стійкості на час дії іскри І.

ІДС дозволяє визначити значення підвищених коефіцієнтів стискання для різних кутів випередження запалювання кожної паливної суміші та бензину в залежності від ОДС. Результати такого розрахунку за ІДС для кожної суміші представлені на рис. 3.7 разом із усередненими значеннями детонаційної стійкості сумішей $((DOCH + MOCH) / 2)$, які показують, що ІДС й детонаційна стійкість із збільшенням вмісту O_2 у паливних сумішах збільшуються.

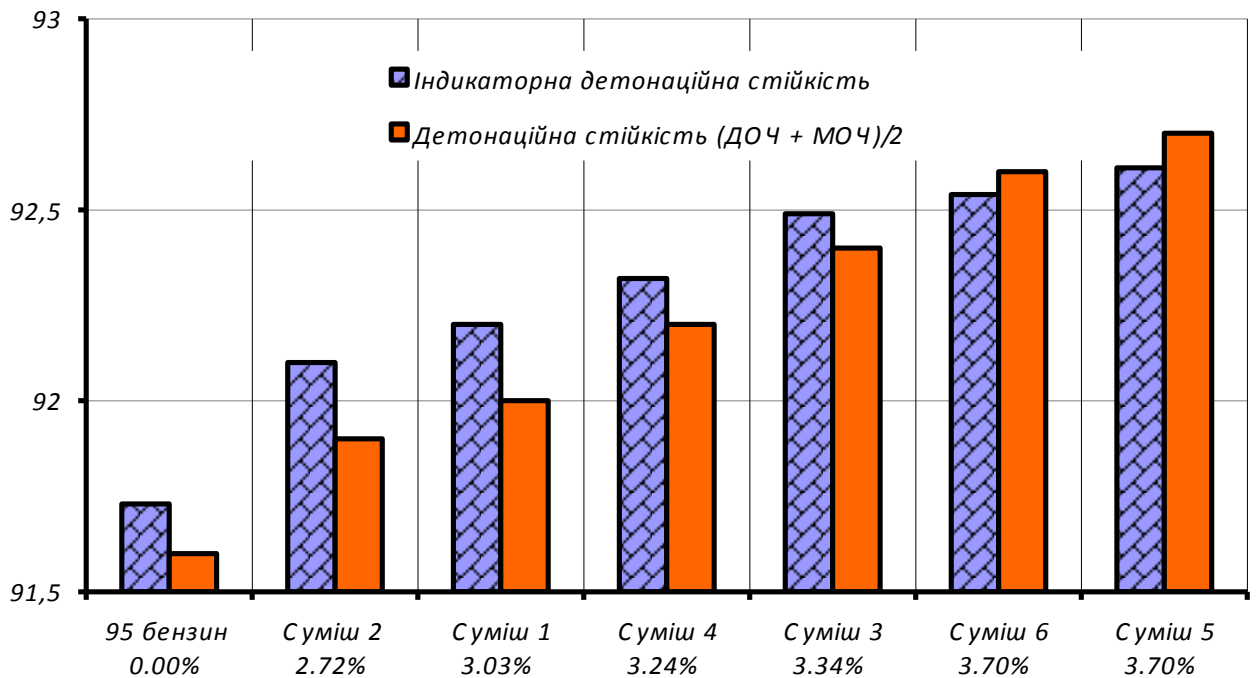


Рисунок 3.7 - Індикаторні детонаційні стійкості (ІДС) паливних сумішей із додаванням спиртів у порівнянні із детонаційною стійкістю бензину (ОЧ=95)

Разом з тим, суміші №5 та №6, в яких міститься 3,7% O_2 , мають вищі значення ІДС. Паливна суміш №5 має кращу детонаційну стійкість, ніж паливна суміш №6, що характеризує підвищення нижчими спиртам детонаційних характеристик сумішей. Паливна суміш №5 містить 5,64% метанол/етанолу та 4,36% вищих спиртів, а паливна суміш №6 - 5,44% метанол/етанолу та 4,56% вищих спиртів. Аналогічним чином можна зробити висновок й для паливних сумішей №1 та №2: суміш №1, що містить 2,67% метанолу/етанолу та 7,33% вищих спиртів, володіє підвищеною здатністю до детонаційної стійкості, натомість як суміш №2, в якій міститься 0,82% метанол/етанолу та 9,18% вищих спиртів - має меншу детонаційну стійкість через малу кількість метанол/етанолу. Паливні суміші №3 й №4 додатково підтверджують висновок про те, що із зниженням порядку спирту збільшується детонаційна стійкість паливної суміші. Паливні суміші №3 й №4 містять ідентичну кількість метанолу, етанолу та пропанову; разом з тим, суміш №3 (із 2,88% бутанолу та 0,12% пентанову) має кращу детонаційну стійкість, ніж суміш №4 (із 0,12% бутанолу та 2,88% пентанову). Більш того, суміші №1 й №2 мають найменші значення детонаційної стійкості із усіх досліджених й містять найменшу кількість метанол/етанолу та

найбільшу кількість вищих спиртів. Суміші №5 й №6, що показали найбільшу детонаційну стійкість серед усіх досліджених, містять підвищену кількість метанол/етанолу й найменшу кількість вищих спиртів.

Наступний етап досліджень передбачав визначення швидкості тепловиділення (тепла, що вивільняється при згоранні паливо/повітряної суміші), масової частки згорання, інтервалу горіння й затримки займання для різних бензо-метанольних сумішей. Графіки зміни швидкості тепловиділення та масової частки згорання (МЧЗ) бензину (ОЧ=95) та дослідних сумішей представлені на рис. 3.8 – 3.14, а інтервали горіння та затримки запалювання - на рис. 3.15. Слід зазначити, що дані про кількість тепла були отримані при значенні кута випередження запалення та ОДС, що відповідали значенню максимальної потужності ДВЗ для кожної дослідної суміші (у відповідності до в таблиці 3.3).

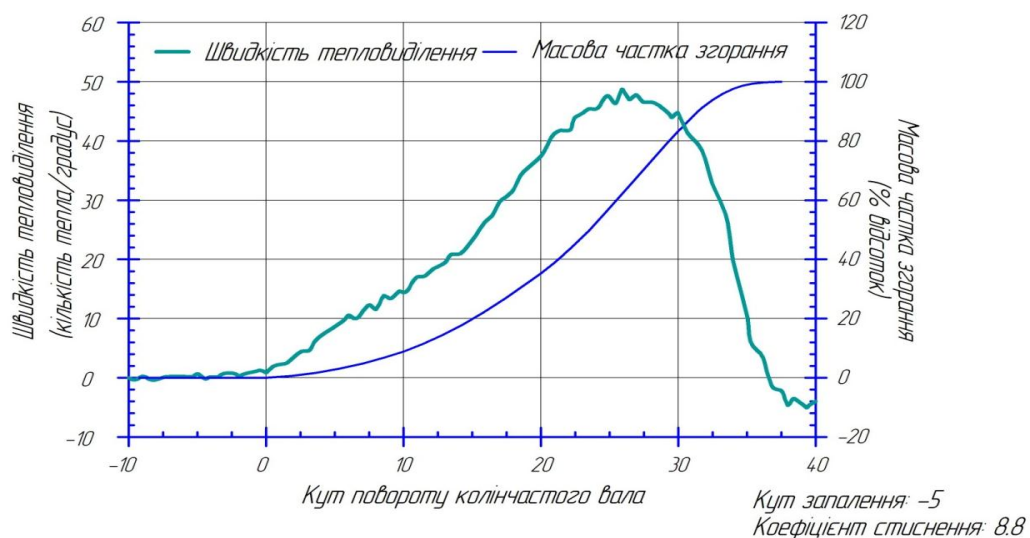


Рисунок 3.8 - Залежність швидкості тепловідведення та масової частки згорання від кута повороту колінчастого вала (для бензину ОЧ=95)

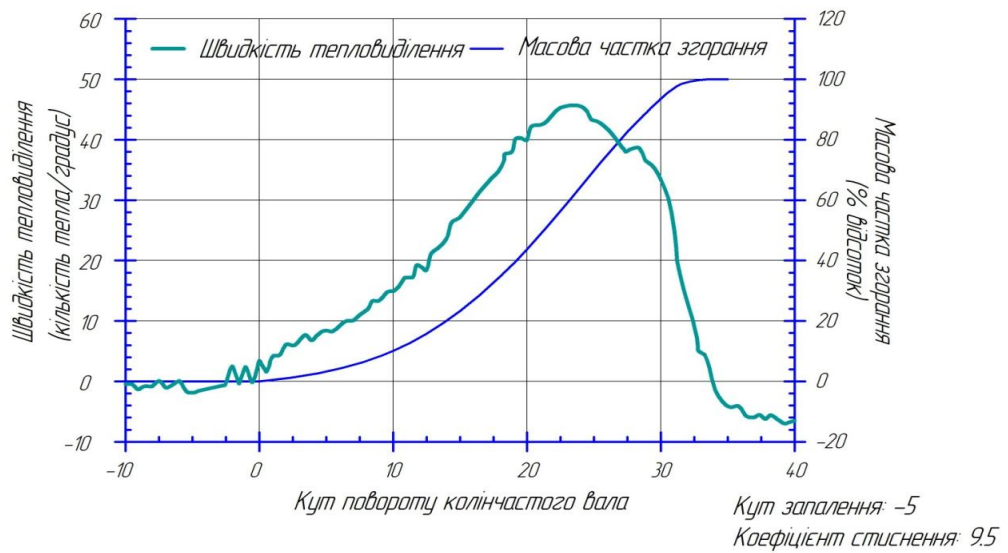


Рисунок 3.9 - Залежність швидкості тепловідведення та масової частки згорання від кута повороту колінчастого валу (для паливної суміші №1)

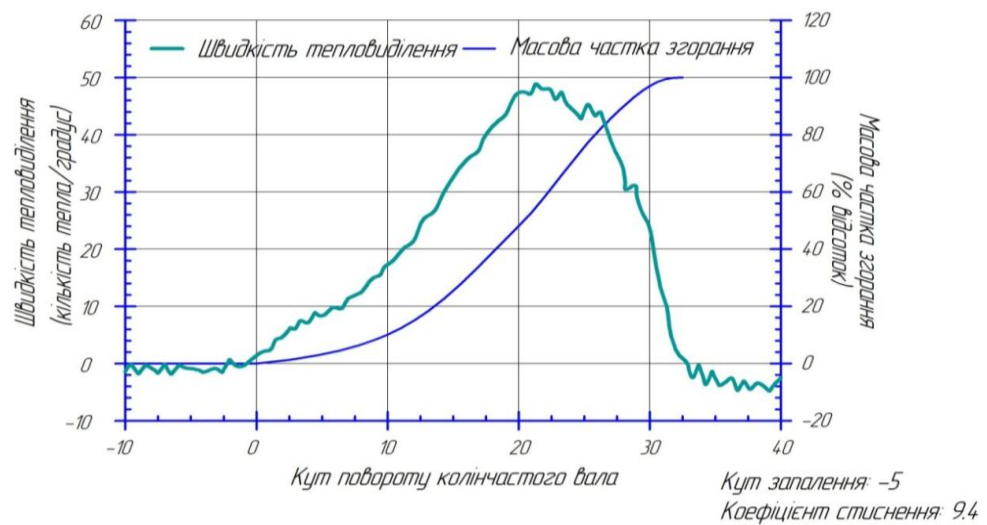


Рисунок 3.10 - Залежність швидкості тепловідведення та масової частки згорання від кута повороту колінчастого валу (для паливної суміші №2)

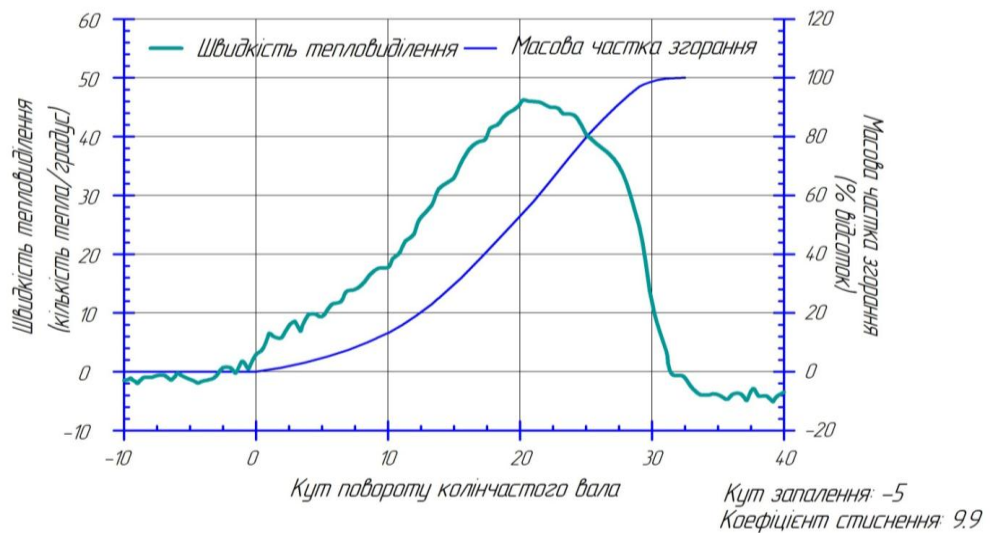


Рисунок 3.11 - Залежність швидкості тепловідведення та масової частки згорання від кута повороту колінчастого валу (для паливної суміші №3)

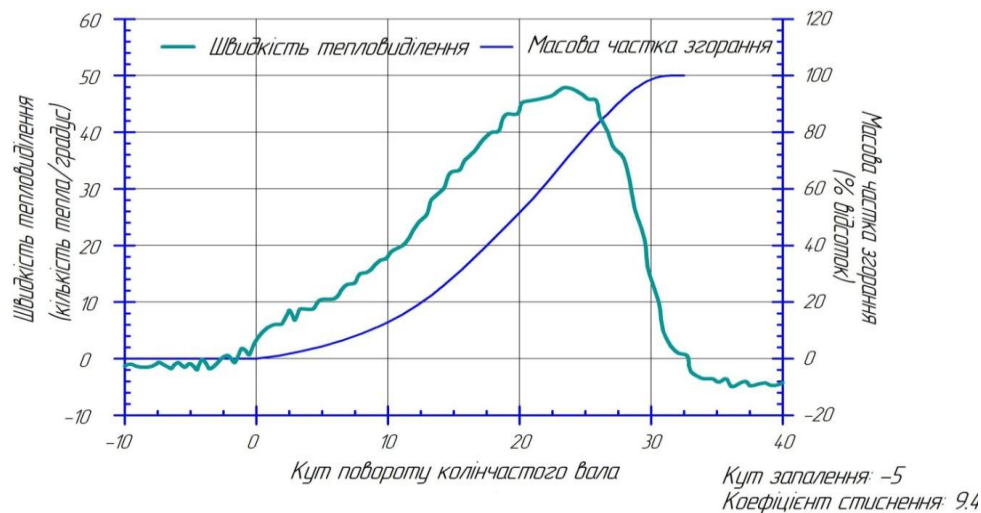


Рисунок 3.12 - Залежність швидкості тепловиділення та масової частки згорання від кута повороту колінчастого вала (для паливної суміші №4)

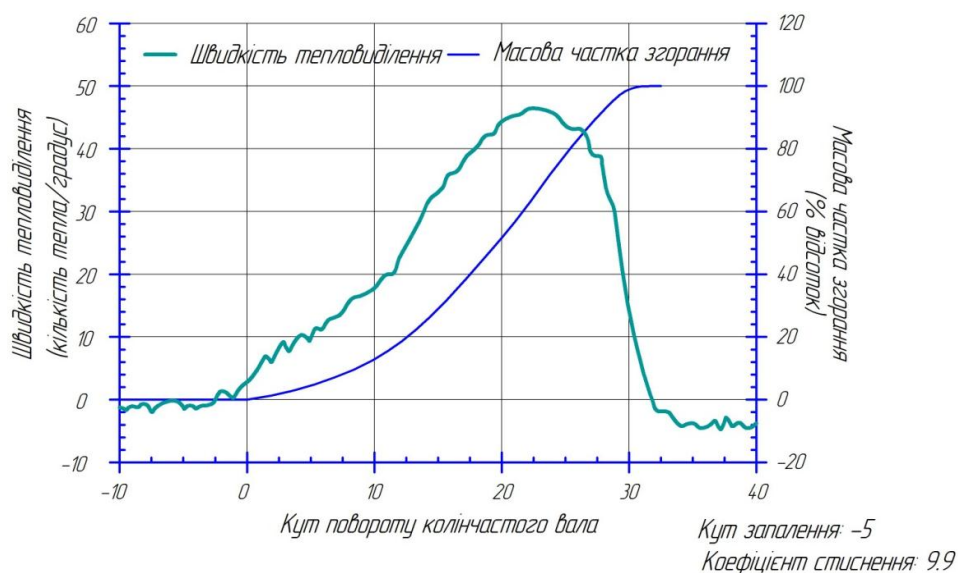


Рисунок 3.13 - Залежність швидкості тепловиділення та масової частки згорання від кута повороту колінчастого вала (для паливної суміші №5)

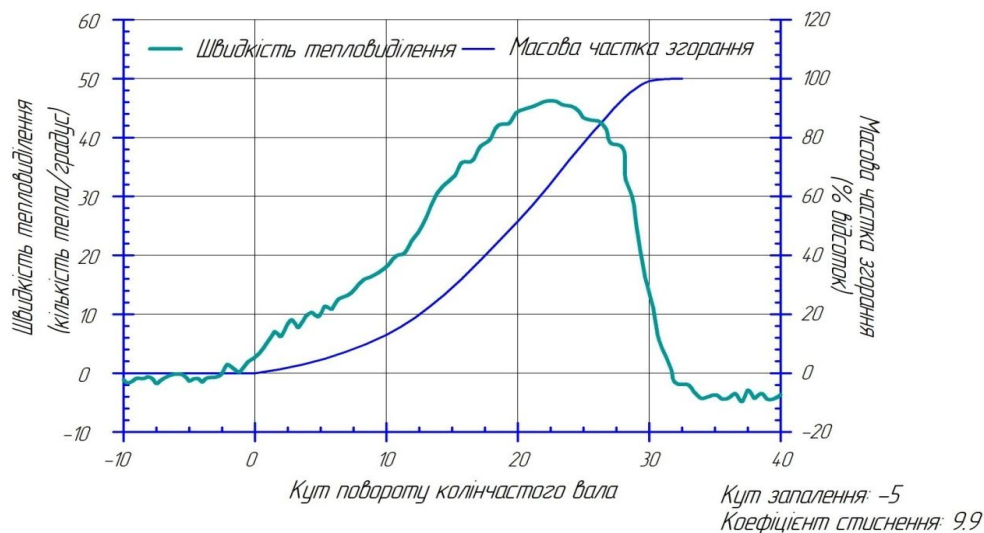


Рисунок 3.14 - Залежність швидкості тепловиділення та масової частки згорання від кута повороту колінчастого вала (для паливної суміші №6)

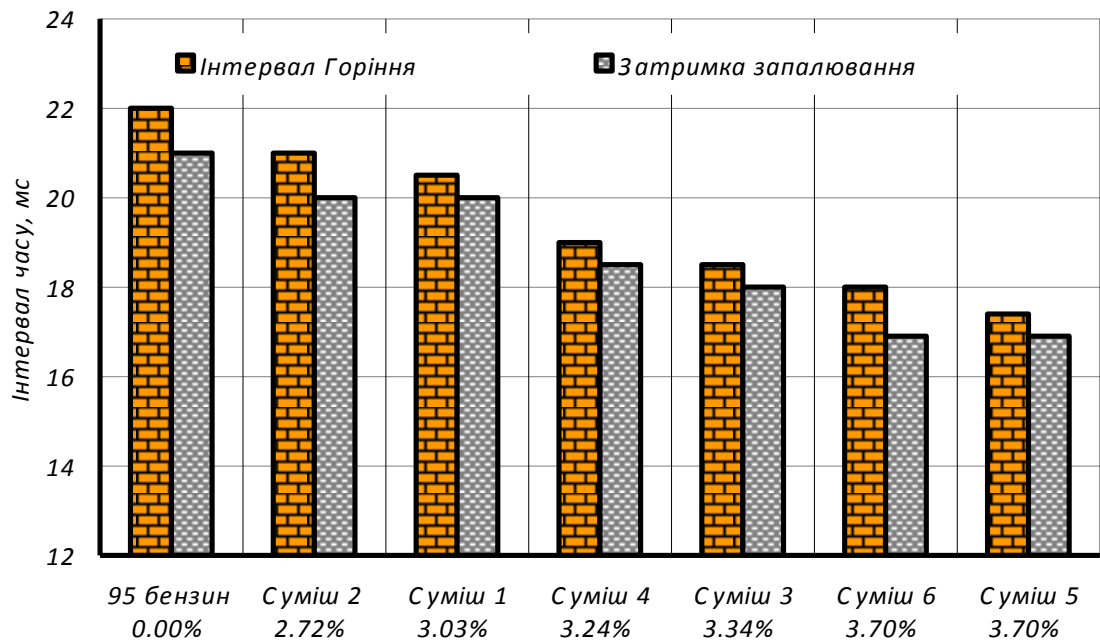


Рисунок 3.15 - Порівняння інтервалу горіння та затримки запалювання бензину (ОЧ=95) та дослідних паливних сумішей із додаванням спиртів

Діаграма затримки займання і інтервалу горіння, представлена на рис. 3.15, дає уявлення про величини швидкостей згорання бензину та паливних сумішей із додаванням спиртів та дозволяє зробити наступні висновки: більш коротка затримка запалювання забезпечує менше часу для займання паливо-повітряної суміш, й навпаки; чим коротший інтервал зоріння, тим швидше згорає основна частина робочого заряду в камері згорання ДВЗ, й навпаки.

Крім цього, представлена діаграма дозволяє встановити зменшення кута затримки запалювання й інтервалу згорання від збільшення вмісту O_2 у паливі, що дає підстави для висновку про те, що із збільшенням вмісту O_2 час займання паливних сумішей зменшується, а швидкість згорання – відповідно збільшується. Суміші №5 й №6, які мають однаковий вміст O_2 , характеризуються й однаковим часом затримки запалення, але у суміші №6 інтервал згорання більший. Отже, чим більше вміст нижчих спиртів у паливній суміші, тим вища швидкість згорання. Аналогічна залежність спостерігалася й для сумішей №1 та №2: суміш №1 (із 2,67% метанол/етанолу та 7,33% вищих спиртів) має однаковий час затримки займання із сумішшю №2, натомість як суміш №2 (із 0,82% метанол/етанол та 9,18% вищих спиртів) – має більший інтервал згорання. Крім

того, суміші №3 й №4 показали підвищення швидкості згорання при більш високих вмістах нижчих спиртів та ідентичних кількостях метанолу, етанолу й пропанолу. Разом з тим, суміш №3 (із 2,88% бутанолу та 0,13% пентанолу) має більш короткий інтервал згорання й затримки займання суміші, ніж у суміші №4 (із 0,12% бутанолу та 2,88% пентанолу).

На останньому етапі було проведено дослідження тиску насиченої пари всіх дослідних сумішей та бензину, результати якого представлені на рис. 3.16. Аналізуючи дану діаграму слід відзначити, що із збільшенням ТНП більш проблемним є контроль за викидами у вигляді випарів. Суміш №1 (із 2,67% метанол/етанолу, 7,33% вищих спиртів) показала лише незначне збільшення ТНП у порівнянні із бензином (ОЧ=95), а суміш №2 (із 0,82% метанол/етанолу, 9,18% вищих спиртів) – навпаки, має незначне зменшення ТНП у порівнянні з бензином. Суміші №5 та №6 мають найвищий ТНП із усіх досліджених сумішей, крім того маючи найвищу кількість нижчих спиртів (в суміші №5 - 5,64% метанол/етанолу, а у суміші №6 - 5,44% метанол/етанолу). Суміші №3 й №4 показали ідентичні результати за винятком того, що суміш №3 містить 2,88% бутанолу та 0,12% пентанолу, а в суміші №4 - 0,12% бутанолу та 2,88% пентанолу. Інша тенденція у сумішей №5 й №6 в яких найбільше вищих спиртів, що може компенсувати вплив на ТНП із нижчими спиртами. Не зважаючи на те, що суміш №5 містить 3,24% метанолу у порівнянні із 3,04% метанолу в суміші №6, обидві мають фактично однаковий ТНП.

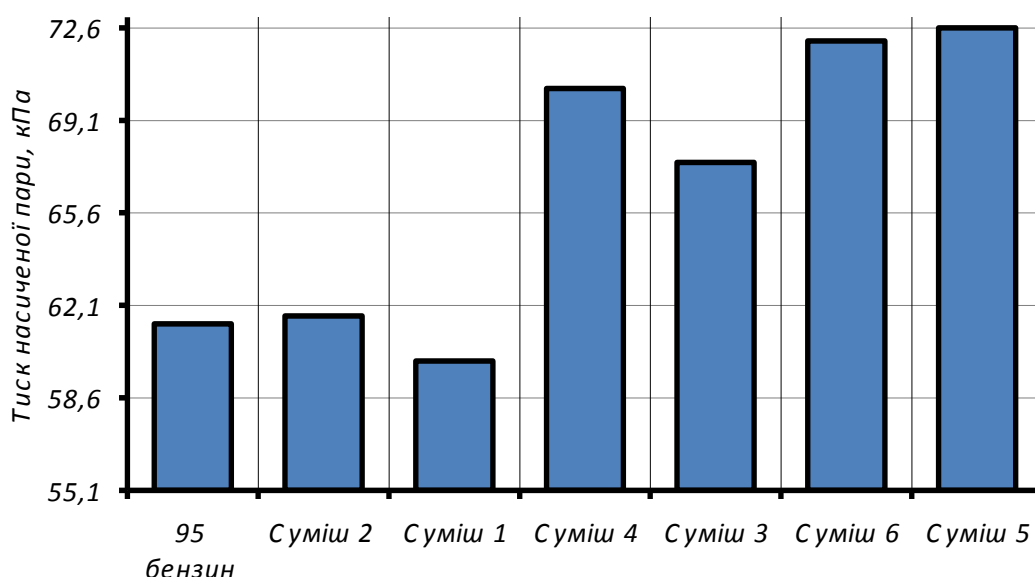


Рисунок 3.16 - Тиск насиченої пари дослідних паливних сумішей та бензину

Попередніми дослідженнями було визначено, що наявність спиртів у бензині знижує криву дистиляції палива, що може викликати проблеми із запуском ДВЗ й появою парових пробок у системі паливоподачі (особливо при низьких температурних показниках навколишнього середовища). На рис. 3.17 – рис. 3.22 представлені графічні залежності зміни величини дистиляції для кожної із дослідних сумішей у порівнянні із бензином (ОЧ=95).

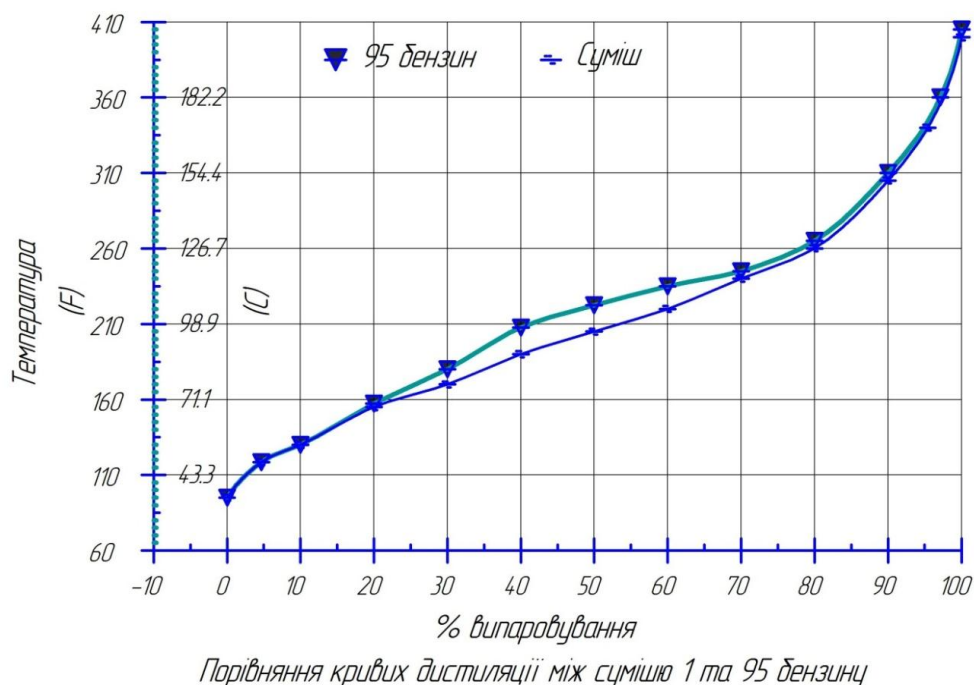


Рисунок 3.17 - Графік залежності температури від частки (%) випаровування для паливної суміші №1 та бензину (ОЧ=95)

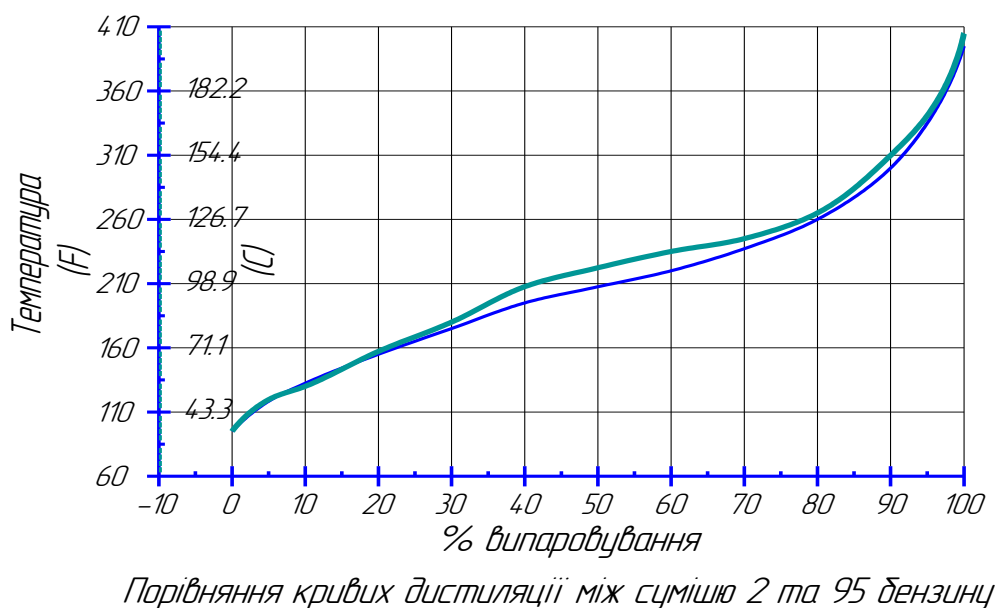


Рисунок 3.18 - Графік залежності температури від частки (%) випаровування для паливної суміші №2 та бензину (ОЧ=95)

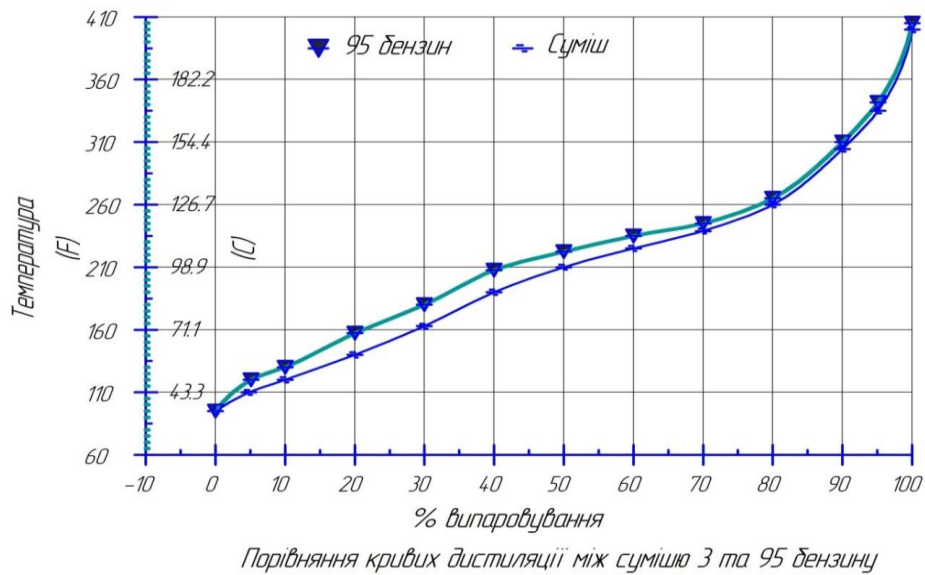


Рисунок 3.19 - Графік залежності температури від частки (%) випаровування для паливної суміші №3 та бензину (ОЧ=95)

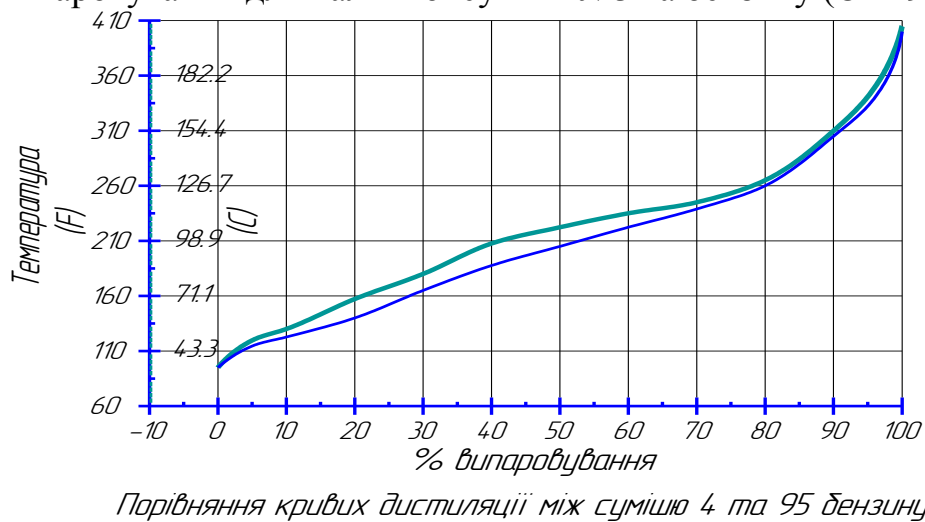


Рисунок 3.20 - Графік залежності температури від частки (%) випаровування для паливної суміші №4 та бензину (ОЧ=95)

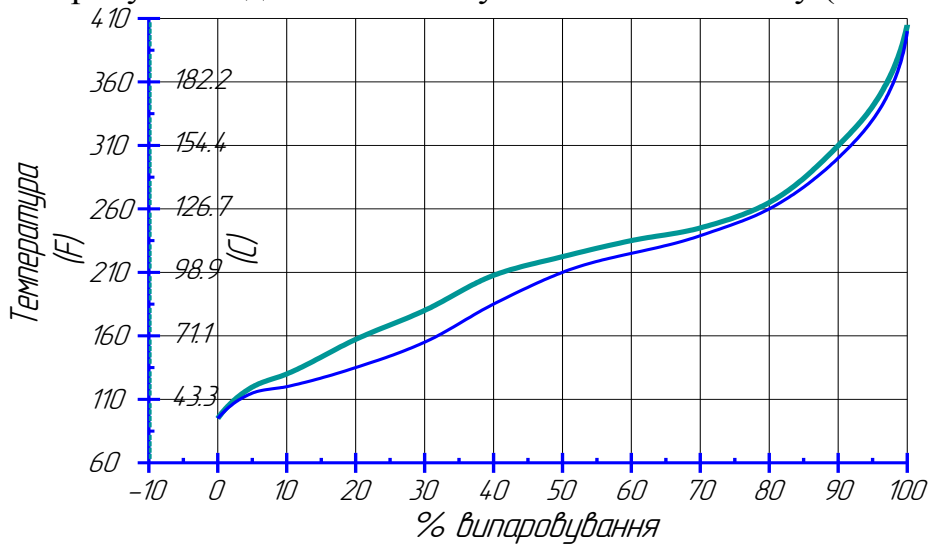
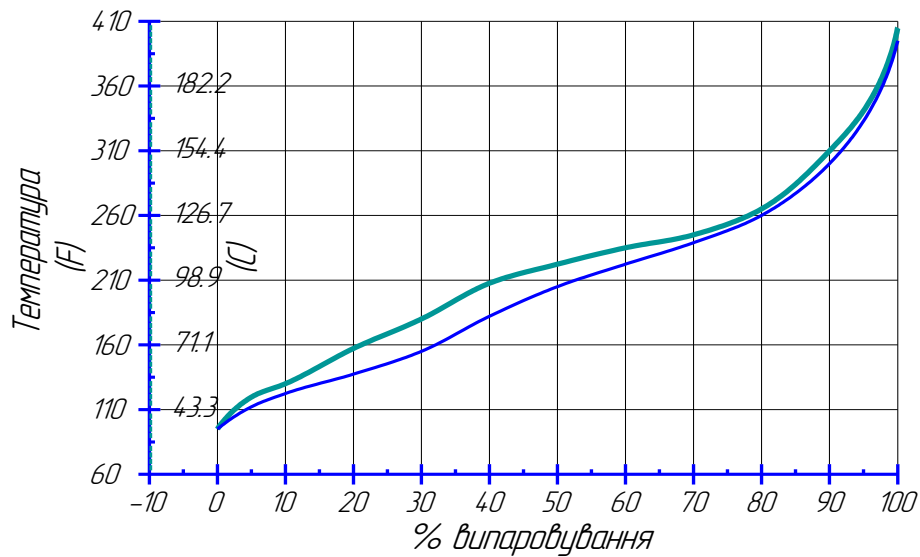


Рисунок 3.21 - Графік залежності температури від частки (%) випаровування для паливної суміші №5 та бензину (ОЧ=95)



Порівняння кривих дистиляції між сумішю 6 та 95 бензину

Рисунок 3.22 - Графік залежності температури від частки (%) випаровування для паливної суміші №6 та бензину (ОЧ=95)

Визначення впливу вмісту різних спиртів на криву дистиляції для кожної суміші в діапазоні швидкості випаровування від 0% до 60% показано на рис. 3.23. За даними цієї діаграми, оцінюючи криві дистиляції сумішей №1 й №2, які містять найменшу кількість метанол/етанолу можна відзначити, що вони характеризуються найвищими швидкостями випаровування, натомість як суміші №5 й №6, які містять найбільшу концентрацію метанол/етанолу та показали найбільш виражений вплив на криву дистиляції. Таким чином можна зробити однозначний висновок про те, що нижчі спирти мають більш істотний вплив на криву дистиляції, ніж вищі спирти.

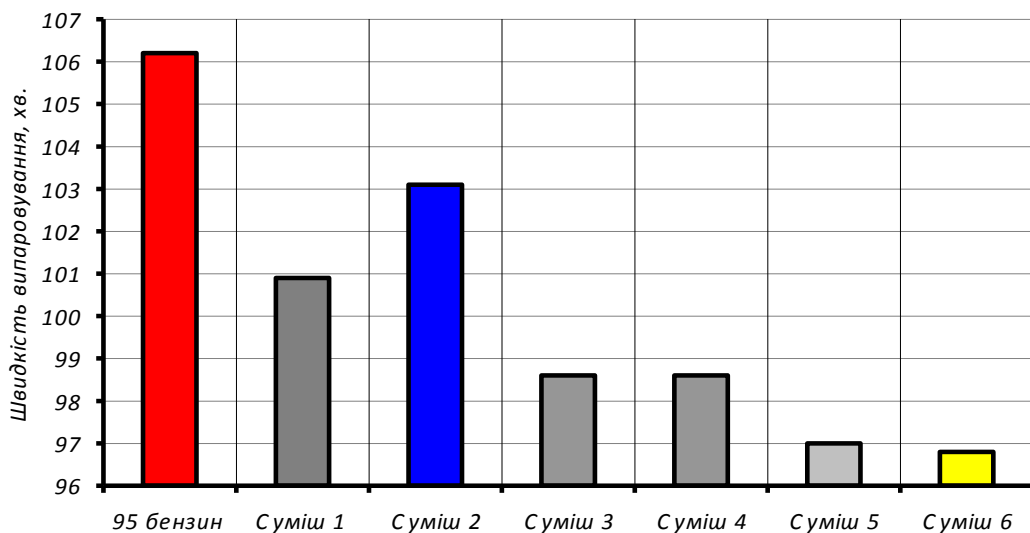


Рисунок 3.23 – Зміна швидкості випаровування (від 0 до 60%) паливних сумішей із вмістом спиртів й бензину (ОЧ=95)

4. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ДВЗ НА БЕНЗО-ЕТАНОЛЬНИХ СУМІШАХ

4.1. Особливості конструкції та принцип роботи системи подачі етанолу

У попередніх розділах роботи було відзначено, що до основних стримуючих використання бензо-етанольних сумішей в якості палив у ДВЗ АТЗ, є необхідність внесення суттєвих змін до конструкції систем паливоподачі двигунів, обумовлена підвищеною хімічною агресивністю спиртів та швидке розшарування бензо-етанольних палив в паливних баках та системах паливоподачі. Саме тому, максимально ефективним способом подачі спиртів, є не їх додавання до палива, а додаткове оснащення системи сумішоутворення окремою підсистемою вприскування метанолу без необхідності втручання у базову систему паливоподачі та внесення недопустимих змін до її конструкції.

Технологія що пропонується, передбачає організацію створення бензо-етанольних сумішей у системі сумішоутворення ДВЗ, безпосередньо перед початком подачі робочої суміші у циліндри двигуна шляхом поєднання трьох компонентів: очищеного повітря; бензину, що вприскується штатними форсунками та метанолу, який подається власною окремою форсункою. При цьому у баку автомобіля і його системі паливоподачі присутній звичайний бензин (ОЧ=92...95), що виключає появу означених вище негативних факторів.

До комплекту підсистеми вприскування метанолу було включене наступне обладнання наведене у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Комплект обладнання для системи вприскування метанолу

№	Найменування	Кількість, од.
1	Електронний блок керування роботою системи	1
2	Програмне забезпечення блок керування	1
3	Насос (електромеханічний шибєрний)	1
4	Шланг гідравлічний спиртостійкий, м	1,0
5	Форсунка електромагнітна	1
6	Гофрований рукав для електричної мережі підсистеми, м	1,2 м
7	Комплект дротів електричних з роз'ємом	1
8	Штуцер бачка	1
9	Бачок для спирту	1

Безпосередньо сам принцип роботи підсистеми впорскування метанолу є простим й полягає у наступному: з ємкості (бачка) метанол закачується електричним насосом оснащеним фільтруючим елементом та під тиском 1,5...3,5 МПа подається до інжекційної електромагнітної форсунки. Форсунка встановлюється безпосередньо у впускному колекторі за дросельною заслінкою (що не є складним та не несе значних конструктивних змін) та дозволяє створити мелкодисперсну суміш спирту та повітря в системі сумішоутворення ДВЗ. Остаточне утворення свіжої бензо-етаноло-повітряної суміші відбувається після впорскування палива штатними форсунками, розміщеними безпосередньо перед впускними клапанами у ГБЦ двигуна. Насос і форсунка підсистеми впорскування спирту, отримують керуючі сигнали з власного окремого блоку керування, який розраховує необхідний об'єм метанолу індивідуально для кожного такту циклу ДВЗ за параметрами, запрограмованими в ньому. При цьому ЕБК підсистеми отримує й обробляє сигнали керування, що надходять від бензинових форсунок, датчиків температури двигуна, масової витрати повітря, й наявності метанолу у бачку. Керуючі сигнали, генеровані блоком підсистеми, надходять на її насос й форсунку, відповідальну за подачу спирту а максимальна ефективність системи досягається за рахунок безпосередньої корекції часу його впорскування. З метою уникнення конфліктів із основним ЕБК автомобілів, сигнал лямбда-зонда формується блоком керування підсистемою подачі метанолу. Схема підключення елементів системи впорскування метанолу наведена на рис. 4.1.

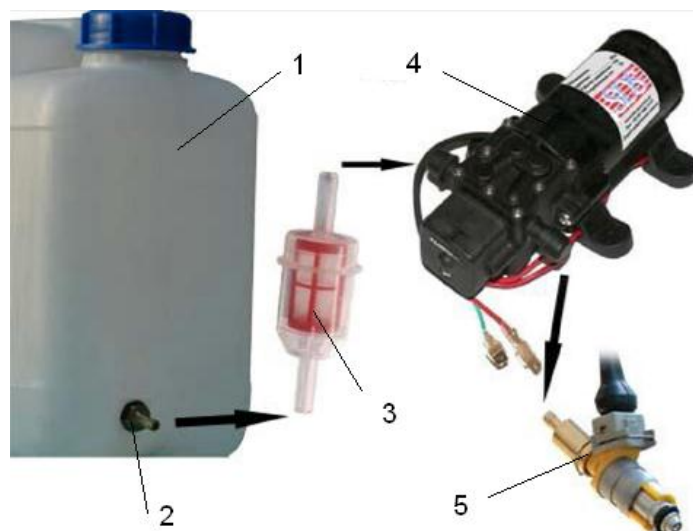


Рисунок 4.1 – Основні елементи підсистеми впорскування метанолу та монтажна схема їх підключення (показана стрілками):

1 – бачок із спиртом; 2 – штуцер бачка; 3 – фільтр; 4 – насос; 5 – спиртова форсунка

Насос

Еcomax!

Жовтий
Зелений
Маса як найближче до Еcomax
Червоний

Живлення +12 В

Білий "1"
Синій "1"

Білий "2"
Синій "2"

Білий "3"
Синій "3"

Білий "4"
Синій "4"

Бензинові форсунки

Поділений дрот із розеткою

Спиртова форсунка

Датчик температури виконаний у вигляді кріпильного болта

ДМВУ

Жовтий
Білий

Зелений
Білий

Лямбда зонд 1

Розірвати після з'єднання

Лямбда зонд 2

Підключити до сигнального дроту

ЕБК автомобіля

Робота підсистеми подачі метанолу є доволі простою. В експлуатації, водію АТЗ потрібно лише своєчасно дозаправляти бачок метанолом, про мінімальний рівень якого його буде сповіщено індикатором червоного кольору встановленому на панелі приладів салону автомобіля. Падіння рівня метанолу нижче мінімально допустимого призводить до автоматичного блокування цієї системи та також автоматичного відновлення її роботи після наповнення бачка.

які будуть використані в якості палива про що свідчать результати досліджень проведених в другому розділі даної магістерської роботи.

На підтвердження цього, доцільно привести дані порівняльних експериментальних досліджень, проведених Центром автомобільних досліджень (MnCAR, Міннесота, США), якими було оцінено та проаналізовано паливні економічності та токсичності відпрацьованих газів для 4-ох АТЗ категорії M_1 , ДВЗ яких працювали на бензо-етанолі різного структурного складу [12]. При цьому слід зауважити, що дані дослідження проводилися для АТЗ, які використовували бензо-етанол в якості основного виду палива, який заправлявся в їх паливні баки, подавався основною системою паливоподачі й розпилювався штатними форсунками. Дослідження виявили, що суттєвого поліпшення показників роботи двигунів можна отримати лише за умови адаптації системи електронного керування кожного конкретного типу ДВЗ до роботи на бензо-етанолі визначеного складу певними методами адаптації, які можуть бути як апаратними, так й програмними в залежності від ступеня досконалості ЕБК двигуна.

Так, для більш давніх моделей ЕБК потрібна додаткова програма керування ДВЗ або коригування існуючої базової; натомість як більш пізні моделі ЕБК до складу яких входить датчик детонації із програмою корегування оптимальної величини кута випередження запалення на кожному швидкісному режимі, потребують застосування додаткових адаптерів для роботи двигуна на бензо-етанолі або додаткової програми керування системою паливоподачі [13].

Основною перевагою адаптерів є те, що вони не змінюють програми базової ЕБК автомобіля, легко й швидко монтуються й демонтуються, без жодних негативних наслідків. Для забезпечення роботи ДВЗ на бензо-етанолі, адаптер підключається послідовно між штатним ЕБК автомобіля й паливними форсунками та обирається режим його роботи відповідно до складу бензо-етанолу. До недоліків застосування адаптерів слід віднести їх максимально ефективну роботи лише із сучасними ЕБК, обладнаними датчиком детонації із програмою оптимізації кута випередження запалювання суміші; для всіх інших ЕБК обов'язковою вимогою є програмна адаптація кута випередження

запалювання суміші для кожного обраного складу бензо-етанолу, або обладнання ЕБК варіатором зміни кута випередження запалювання [14]. Відомі й інші апаратні методи адаптації ДВЗ до роботи на бензо-етанолі, які є суто індивідуальними й на практиці застосовуються вибірково. Так, наприклад, до таких методів відносять заміну базових форсунок на форсунки із підвищеною витратною характеристикою, яка визначається складом бензо-етанолу.

4.2. Оцінка ефективних показників роботи ДВЗ на бензо-етанольних сумішах

Порівняльні випробування ефективності роботи ДВЗ на бензо-етанольних сумішах проводили на дослідно-випробувальній установці побудованій на базі двигуна МеМЗ-307.1 (див. рис. 3.1 та таблицю 3.1) з ЕБК версії ПЗ «МІКАС-7,6», на бензині А-95 та бензо-етанолі проводились у стаціонарних умовах дослідної лабораторії авто сервісного підприємства «Ковальов-Авто» [1].

Для приготування бензо-етанольної суміші використовували бензини марки А-95 придбані на АЗС «ОККО» й етиловий спирт (96%). Враховуючи обмежені часові терміни проходження переддипломної практики, моторні випробування було проведено лише на двох швидкісних режимах:

1) економічному режимі - який імітував й відповідав руху АТЗ із двигуном МеМЗ-307.1 із швидкістю 90 км/год при частоті обертання колінчастого вала ДВЗ $n = 2800 \text{ хв}^{-1}$ та значенні крутного моменту $M_e = 43,0 \text{ Нм}$;

2) режимі максимального крутного моменту, що розвивається ДВЗ при $n = 3200 \text{ хв}^{-1}$.

Для визначення впливу концентрації етанолу в бензо-етанольній суміші на ефективні показники та токсичність ДВЗ, підсистема подачі етанолу (див. рис. 4.1 та 4.2) проходила програмну та апаратну адаптацію, що дозволяло отримати бензо-етанольні суміші у концентраційному діапазоні від 5,0% до 25,0% C_2H_5OH (з градацією 5,0%) та забезпечити оптимальний кут випередження запалювання для кожної концентрації бензо-етанолу та без детонаційного режиму роботи ДВЗ. Обробку результатів випробувань ДВЗ проводили у відповідності до діючих стандартів.

Результати проведених досліджень представлені на рис. 4.3 – рис. 4.6 та у таблиці 4.2.

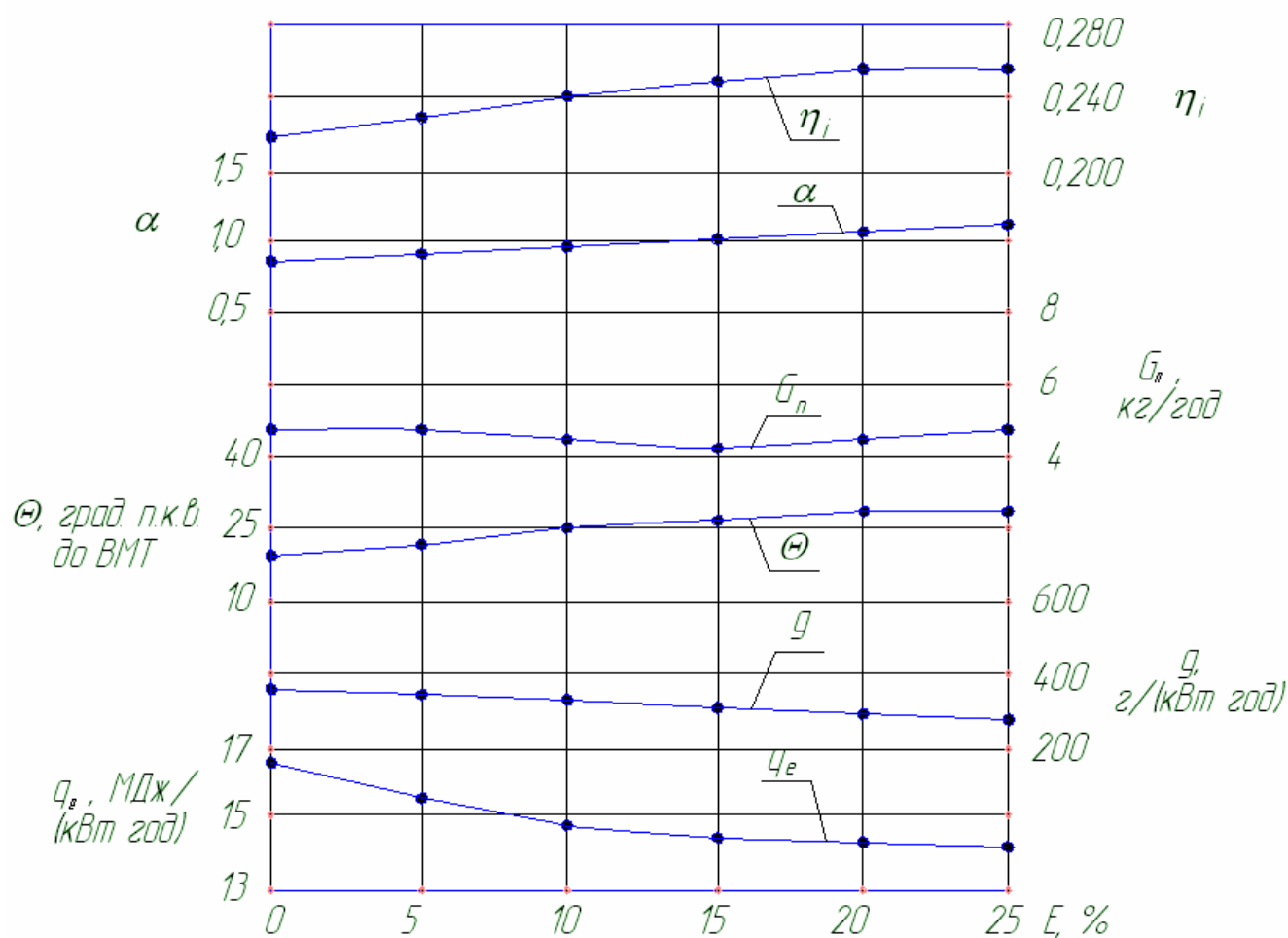


Рисунок 4.3 - Вплив вмісту бензо-етанолу на ефективні показники роботи ДВЗ (економічний режим - $n = 2800 \text{ хв}^{-1}$)

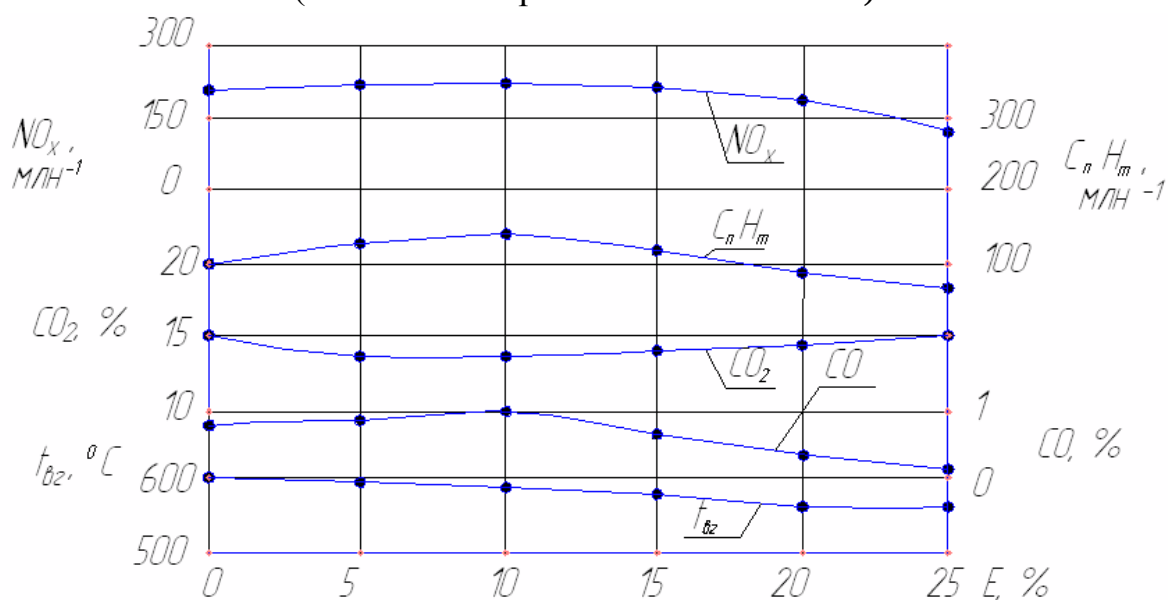


Рисунок 4.4 – Вплив вмісту бензо-етанолу на токсичність відпрацьованих газів (економічний режим - $n = 2800 \text{ хв}^{-1}$)

Характеризуючи та оцінюючи представлені на рис. 4.3 результати роботи ДВЗ на бензо-етанольних сумішах різних складів слід відмітити, що на економічному режимі роботи дослідного ДВЗ на бензо-етанольній суміші із мінімальним вмістом етанолу у 5%, годинна витрата палива (G_n) фактично залишається ідентичною роботі ДВЗ на бензині із ОЧ=95; мінімальне значення G_n досягається при концентрації етанолу у 15%, що є меншим на 6,8% із подальшим зростанням до початкових величин при вмісті етанолу від 20% до 25%. Питомі ефективні витрати палива (g_e) мають тенденцію до зниження на всьому діапазоні від 0% до 25% вмісту етанолу досягаючи мінімальної величини при концентрації етанолу у 25%, що складає -31,2%. Про кращу ефективність роботи ДВЗ на бензо-етанолі, у порівнянні із роботою на бензині, свідчить й динаміка зміни питомого ефективного використання теплоти (q_e), яка має тенденцію до зниження, особливо в діапазоні від 0% до 15% вмісту етанолу (зниження на 13,2%); при концентрації етанолу від 15% до 25% темпи зниження ефективного використання теплоти зменшуються й досягають мінімальної величини у -12,9%. ЕБК двигуна при роботі на бензо-етанолі на економічному режимі у всьому діапазоні зміни концентрації етанолу, за сигналом датчика кисню (лямбда-зонду) автоматично забезпечує зменшення витрати палива, що ілюструє крива коефіцієнта надлишку повітря α від значення $\alpha = 0,85$ для бензину до $\alpha = 1,07$ при роботі на суміші із вмістом етанолу 25%, що свідчить про ефективність роботи програми керування системою. Отримані результати досліджень свідчать, що необхідність збільшення кута випередження запалювання бензо-етанольної суміші до оптимальних значень (18..27 град. п.к.в.) залишається у всьому діапазоні використання етанолу. Це відбувається автоматично за програмою роботи ЕБК підсистеми подачі етанолу із урахуванням сигналів датчику детонації, який забезпечує роботу ДВЗ за відсутності останньої.

Характеристики токсичності відпрацьованих газів дослідного двигуна МеМЗ- 307.1 на економічному режимі роботи представлені на рис. 4.4. В першу чергу слід відзначити зниження температури відпрацьованих газів із 596 °С (при відсутності подачі етанолу) до 574 °С (при вмісті етанолу 25%), що позитивним чином впливає на зменшення концентрації монооксиду (СО), діоксиду вуглецю

(CO_2) у відпрацьованих газах при роботі ДВЗ із вмістом етанолу 5...20%. Що ж стосується інших шкідливих компонентів, таких як C_nH_m та NO_x то в діапазоні зміни концентрації бензо-етанолу від 0% до 10% спостерігається зростання концентрації цих величин в діапазоні 23...35% із наступним зменшенням при вмісті етанолу 15...25% на 14,5%...17,6% у порівнянні із роботою ДВЗ на бензині.

На режимі максимального крутного моменту (рис. 4.5) найкращі показники економічності ДВЗ МеМЗ-307.1 (визначені за значеннями q_e , G_n та g) проявляються при роботі на бензо-етанолі із максимальним для даного експерименту вмістом у 25% (у порівнянні із бензином А-95) й у середньому дають підвищення на 11,6...13,3%, натомість як показники крутного моменту $M_{кр}$ за рахунок значного меншої теплотворної здатності бензоетанолу для цього складу суміші, дещо знижуються (на 4,3%). Слід також відзначити збільшення показника α з 0,91 (для чистого бензину) до 0,98 (для бензо-етанольної суміші із 25% вмістом етанолу, що свідчить до наближення складу суміші до стехіометричного й позитивним чином впливає на показники токсичності відпрацьованих газів, дані за якими представлені на рис. 4.6.

Характеризуючи отримані залежності токсичності відпрацьованих газів (рис. 4.6) можна відмітити, що на режимі максимального крутного моменту при роботі ДВЗ на бензо-етанолі вони підпорядковуються класичній залежності. Найвищою є емісія NO_x при роботі на чистому бензині; збільшення вмісту етанолу у паливі позитивним чином спливає на зменшення концентрації цієї речовини на 8,1% при 25% етанолу, що пояснюється зниженням температур горіння робочих сумішей оцінених за температурою відпрацьованих газів $t_{гз}$, яка знижується із показника 608 °С до 574 °С (фактично на 5,9%). Рівень CO при роботі на бензо-етанолі, у порівнянні із роботою на бензині, постійно знижується й є меншим за початковий фактично у 2,64 рази (при вмісті 25% етанолу у суміші). Зменшується, хоча й не так інтенсивно й вміст вуглеводнів, що не згоріли (на 4,71%), що пояснюється підвищенням кількості O_2 у складі суміші за рахунок підвищення коефіцієнту надлишку повітря α та збільшення величини кута випередження запалювання суміші θ .

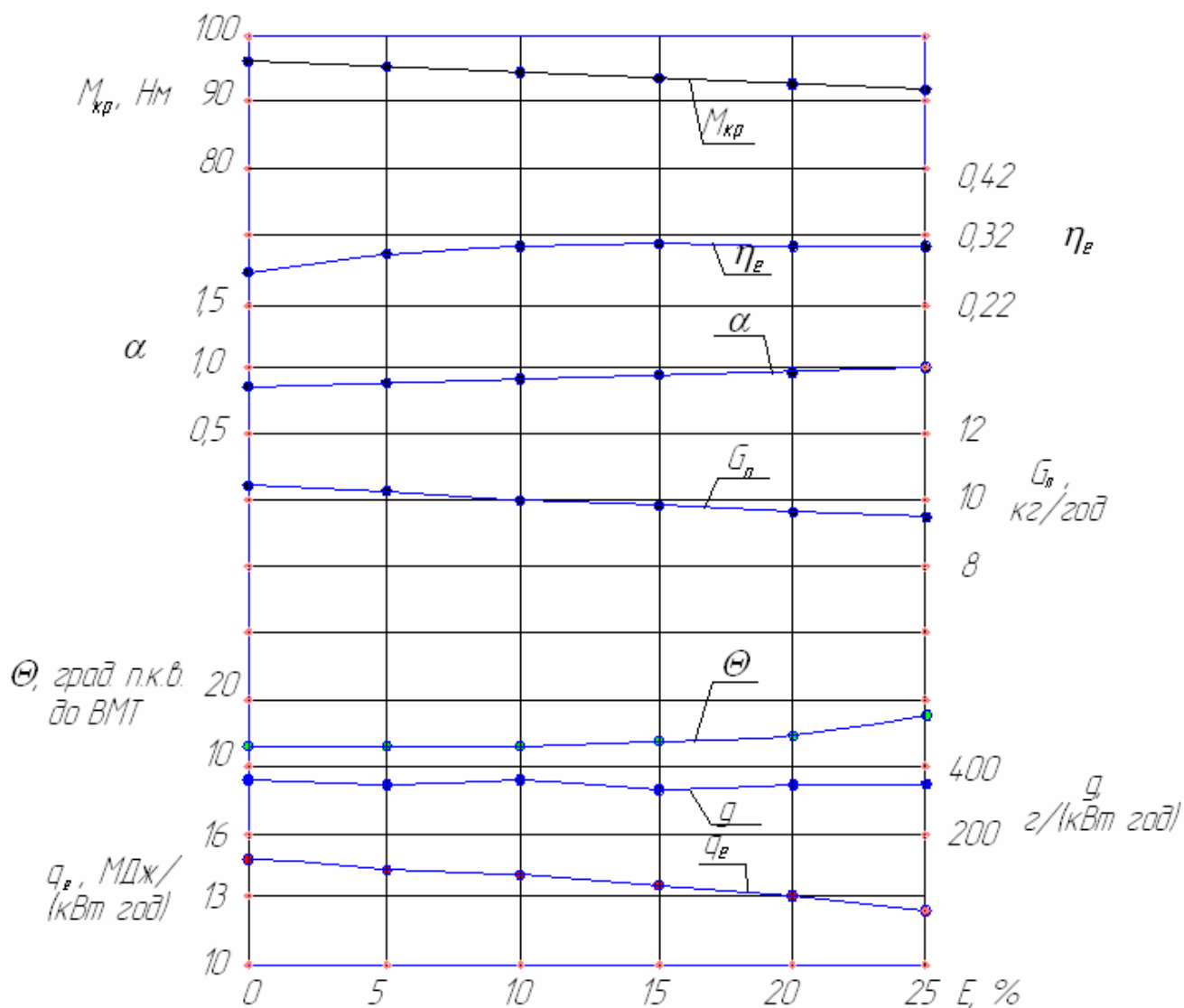


Рисунок 4.5 - Вплив вмісту бензо-етанолу на ефективні показники роботи ДВЗ (режим максимального крутного моменту $n = 3200 \text{ хв}^{-1}$)

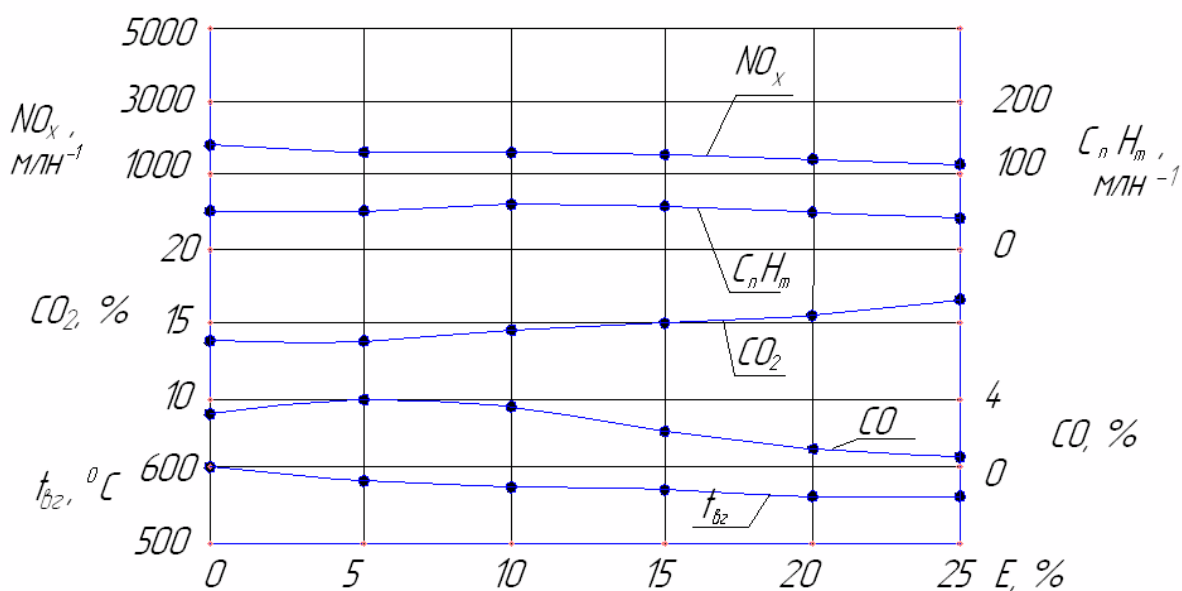


Рисунок 4.6 - Вплив вмісту бензо-етанолу на токсичність відпрацьованих газів (режим максимального крутного моменту $n = 3200 \text{ хв}^{-1}$)

Вміст різних компонентів шкідливих компонентів у відпрацьованих газах ДВЗ в залежності від складу палива наведено у таблиці 4.2, дані якої свідчать, що концентрація всіх компонентів забруднення (NO_2 , SO_2 , CO та CH_2O) концентраційних межах від 5,0% до 25,0% C_2H_5OH зменшується із збільшенням вмісту етанолу у бензо-етанольній суміші, особливо в контексті зменшення викидів NO_2 . Це пояснюється тим, що при підвищенні вмісту етанолу у суміші, збільшується й октанове число; при цьому паливо згорає більш рівномірно, без локальних детонаційних фронтів й перегрівів. Саме тому, що є загально відомим, підвищення температури та тиску горіння суміші сприяє кращому окисненню атмосферного N_2 й відповідно зменшує утворення NO_2 , а отже й позитивним чином впливає на зменшення агресивної корозійної дії азотної кислоти (HNO_3) на деталі ЦПГ, ГРМ та системи випуску ДВЗ.

Таблиця 4.2 – Вміст токсичних речовин у відпрацьованих газах ДВЗ при роботі на бензо-етанольних сумішах (для режиму максимального крутного моменту $n = 3200 \text{ хв}^{-1}$)

№ суміші	Вміст етилового спирту, %	Вміст бензину А-95, %	Концентрація речовин, мг/м ³				Характеристика роботи ДВЗ
			NO_2	SO_2	CO	CH_2O	
1	0,0	100,0	3,84	0,15	0,48	6,88	стабільна
2	5,0	95,0	3,81	0,12	0,76	6,71	стабільна
3	10,0	90,0	3,58	0,09	0,28	6,55	стабільна
4	15,0	85,0	3,24	0,06	0,22	6,18	стабільна
5	20,0	80,0	2,41	0,04	0,19	5,76	стабільна
6	25,0	75,0	1,36	0,03	0,17	5,23	стабільна

Не можна не відмітити й наступний позитивний момент, який стосується такого елемента як сірка (S). Сірка потрапляє до камери згорання як із паливом (бензини марки А-95 містять його у концентрації до 0,05% мас.), так й із повітрям (фонова присутність), натомість як у етиловому спирті S практично відсутня. Тому, робота ДВЗ на суміші із підвищеними вмістом етанолу, сприяє зменшенню, на порядок, концентрації у відпрацьованих газах оксиду сірки (SO_2), яка при взаємодії із водяною парою (продуктом згорання бензину), утворює сірчану кислоту, що інтенсивно руйнує стінки циліндра, поршні, клапани, ГБЦ та інші деталі системи випуску відпрацьованих газів (в першу чергу доволі вартісний платиново-родієвий каталітичний нейтралізатор). Саме тому, суттєвою перевагою

використання спирто-вмішуючих палив, окрім зниження концентрації токсичних речовин у відпрацьованих газах, є збільшення експлуатаційного терміну основних ресурсоутворюючих систем ДВЗ.

Зменшення концентрації чадного газу (CO) у відпрацьованих газах також є вкрай важливим результатом, так як його значення нормуються у відповідності до законодавчих правил ЄЕК ООН та нашої країни й виступає критерієм придатності АТЗ оснащеного ДВЗ до експлуатації. На утворення CO суттєвий вплив здійснює зміна величин температури і тиску в камері згорання двигуна, який зменшується обернено-пропорційно ОЧ суміші за рахунок зменшення кількості детонаційних осередків. Добавка до бензину етанолу, підвищує ОЧ й тим самим забезпечує кращу повноту згорання суміші за рахунок формування більш турбулентного фронту полум'я, ніж при роботі на бензині.

Зниження концентрації у відпрацьованих газах ДВЗ формальдегіду – теж є позитивним результатом впливу етилу, підвищене ОЧ якого сприяє більш рівномірному процесу горіння суміші, що призводить до зменшення концентрації проміжних продуктів окиснення (CH_2O) [15]. Максимальна ефективність етанолу за всіма критеріями (екологічними, економічними і ін.) спостерігається при його концентраційних у бензині саме у діапазоні 5,0%...25,0%, досягаючи максимального ефекту при 25% вмісті, що є найбільш оптимальним для застосування. Дані таблиці 4.2 свідчать, що бензо-етанольні палива характеризуються низкою переваг перед бензинами, перш за все, за рівнем токсичності: навіть 20% додавання етанолу до бензину, знижує викиди найбільш токсичних речовин NO_2 й SO_2 на 73...86% та у значній мірі зменшує концентрацію у відпрацьованих газах формальдегіду, CO та C_nH_m . На завершення слід сказати, що альтернативні види палив можуть стати ефективними заміниками так званим «нафтовим» паливам й забезпечити стабільність всіх основних показників ДВЗ (енергетичних, ресурсних, економічних та ін.) при підвищенні рівня екологічних показників.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Проведений в роботі аналіз напрямків підвищення економічності та екологічності роботи в експлуатаційних умовах ДВЗ показав, що одним із перспективних є покращення характеристик тепловиділення під час згорання паливо-повітряних сумішей за рахунок додавання до звичайних бензинів спиртових добавок – етанолів або метанолів, які характеризуються більшими октановими числами й забезпечують більш високі значення термічних ККД та зниження вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах. Оцінюючи технічну можливість реалізації даної технології, та її застосування вимагає лише незначної модернізації окремих систем ДВЗ, наприклад, перепрограмування ЕБК й заміни деяких, схильних до надмірної корозії, матеріалів деталей більш стійкими (у разі утворення бензо-спиртових палив) або оснащення додатковою підсистемою подачі спиртів до штатної системи сумішеутворення, що визнано більш ефективним та технічно простим, для створення одразу бензо-спиртових сумішей.

Для оцінки переваг та недоліків змішування спиртів із бензином був проведений порівняльний аналіз детонаційних меж, середніх індикаторних тисків та паливних характеристик сумішей із різним вмістом вищих й нижчих спиртів. Тести проводилися у стаціонарних умовах для стехіометричних паливно-повітряних сумішей. Результати досліджень детонаційної стійкості проведені при зміні кутів випередженні подачі іскрових розрядів (до ВМТ) в діапазоні $30^0 \dots 5^0$ дозволили встановити найбільш оптимальні значення цих кутів для бензо-спиртових сумішей різного складу та зробити висновок про зростання детонаційної стійкості сумішей за при додаванні бо бензинів більш вищих спиртів. Дані затримки запалювання та інтервалу згорання також показують, що вищі спирти у паливних сумішах, як правило, позитивним чином впливають на швидкість їх згорання паливо-повітряних сумішей, збільшуючи величини швидкостей горіння.

Разом з тим встановлено, що тиск насиченої пари й фракційний склад сумішей знижуються, через додавання спиртів до бензину; нижчі спирти (метанол та етанол) сприяють найбільш різкому збільшенню тиску насиченої пари й обумовлюють дисперсію кривої випаровування. Із додаванням бензинів до вищих

спиртів (пропанолу, бутанолу, пентанову тощо), у паливних сумішах обмежується вплив метанолу та етанолу на тиск насиченої пари.

Подальшими дослідженнями було запропоновано раціональну технологію утворення бензо-етанольних сумішей для використання без суттєвих конструктивних змін у ДВЗ. Її сутність полягає у дооснащенні базової системи сумішоутворення підсистемою подачі та впорскування етанолу, яка має власний паливний бак, форсунку та блок контролю. Останній забезпечує інтеграцію підсистеми до ЕБК та їх спільну роботу на різних експлуатаційних режимах, що не потребує адаптації базового ЕБК ДВЗ та дозволяє, за потребою, зупинити роботу підсистеми подачі етанолу без жодних наслідків для роботи двигуна.

Проведені дослідження показників автомобільного двигуна MeM3-307.1 на бензині А-95 для двох режимів - економічному та режимі максимального крутного моменту із містом C_2H_5OH у концентраційному діапазоні від 5,0% до 25,0% показали що:

- питомі ефективні витрати палива (g_e) знижуються у всьому означеному діапазоні зміни вмісту етанолу досягаючи мінімальної величини при його концентрації у 25% (на 31,2%); кращими показниками характеризується й динаміка зміни питомого ефективного використання теплоти (q_e), яка має тенденцію до зниження, особливо в діапазоні від 0% до 15% вмісту етанолу (на 13,2%);

- оптимальні результати досягаються лише при збільшенні кута випередження запалювання бензо-етанольних сумішей в діапазоні 18..27 град. п.к.в.)

- характеристики токсичності відпрацьованих газів дослідного ДВЗ на виявили зниження у межах до 10% температури відпрацьованих газів, що позитивним чином впливає на зменшення концентрації монооксиду (CO), діоксиду вуглецю (CO_2) у відпрацьованих газах при роботі ДВЗ із вмістом етанолу 5...20%; аналіз величин таких речовин як C_nH_m та NO_x показав, що у діапазоні зміни концентрації бензо-етанолу 0...10% спостерігається зростання концентрації цих величин на 23...35% із наступним зменшенням при вмісті етанолу 15...25% на 14,5%...17,6% у порівнянні із роботою ДВЗ на бензині;

- на режимі максимального крутного моменту (рис. 4.5) найкращі показники економічності ДВЗ (визначені за q_e , G_n та g) проявляються при роботі на бензо-етанолі із максимальним для даного експерименту вмістом у 25% (у порівнянні із бензином А-95) й у середньому дають підвищення на 11,6...13,3%, натомість як показники крутного моменту $M_{кр}$ за рахунок значного меншої теплотворної здатності бензоетанолу для цього складу суміші, дещо знижуються (на 4,3%). Слід також відзначити збільшення показника α з 0,91 (для чистого бензину) до 0,98 (для бензо-етанольної суміші із 25% вмістом етанолу, що свідчить до наближення складу суміші до стехіометричного й позитивним чином впливає на показники токсичності відпрацьованих газів.

Підсумовуючи слід відзначити, що в цілому, робота ДВЗ на бензо-етанолі характеризується більш високим ефективним ККД, нижчим рівнем температури та токсичності відпрацьованих газів. Встановлено, що із збільшенням октанового числа суміші, яке залежить від вмісту у бензині спиртів, концентрація токсичних речовин у відпрацьованих газах зменшується. Для найбільш вигідного компромісу між потужністю, економічністю двигуна та токсичністю відпрацьованих газів при використанні бензо-етанолу необхідно обов'язкове регулювання кута випередження запалювання в залежності від величини коефіцієнту надлишку повітря. Використання спиртів суттєво покращує екологічні характеристики ДВЗ: із збільшенням вмісту етанолу у бензо-повітряних сумішах знижується концентрація таких токсичних речовин як: CO , NO_2 , SO_2 та CH_2O у відпрацьованих газах. Результати досліджень свідчать, що граничною ефективною концентрацією C_2H_5OH у ДВЗ бензинових АТЗ є його 25% вміст.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Електронний ресурс. Опендатабот ПП «Ковальов-Авто». URL: <https://opendatabot.ua/c/37277402>
2. А.Є. Солових (АТ-23М2). Звіт з переддипломної практики «Підвищення екологічності та економічності роботи бензинових двигунів в експлуатаційних умовах на базі ФОП «Ковальов Олександр Стефанович» с. Соколівське Кропивницького району Кіровоградської області». – Кропивницький, ЦНТУ, кафедра ЕРМ, 2024. 16 с.
3. Дяченко В.Г., Саловський В.С., Кропівний В.М., Магопець С.О. та ін. Розрахунок автомобільних двигунів / Навчальний посібник до курсового проектування. – Кіровоград, КДТУ, 2003. 266 с.
4. Двигуни внутрішнього згоряння. Екологізація ДВЗ. Марченко А.П., Парсаданов І.В., ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л. Л., ШЕХОВЦОВ А.Ф. – 2007. 256 с.
5. Г.О. Ковальчук, В.П. Сахно. Основи конструкції автомобіля. Навчальний посібник в електронному вигляді. – К.: В-во: "КВІЦ", 2011. 805 с.
6. Ф.І. Абрамчук та ін. Автомобільні двигуни. Підручник. – К.: В-во «Арістей», 2009. 476 с.
7. Склярів В.М. Автомобільні двигуни. Особливості конструкції. – Харків: ЗНАДУ, 2011. 384 с.
8. Сахно В. П., Корпач А. А. Аналіз показників двигунів автомобілів при роботі на альтернативних паливах. //Вісник СХУ ім. Володимира Даля – 2010 – № 7 (149)
9. Відновлювальні джерела енергії / За ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлювальної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с.
10. Graeme M. Science and technology of fuel alcohol. Walker & Ventus publishing ApS 2010. 114 p.
11. Мхітарян Н.М. Стан та перспективи біоенергетики в Україні // Енергоінформ. – 2003. №29 (211).
12. Optimal Ethanol Blend-Level Investigation [Електронний ресурс] // Richard E. Shockey, Ted R. Aulich, Bruce Jones, Gary Mead, Paul Steevens – 2007. – Режим доступа:
http://www.ethanol.org/pdf/contentmgmt/ACE_Optimal_Ethanol_Blend_Level_Study_final_12507.pdf.
13. Fuel Economy of 2013 Flex-Fuel (E85) Vehicles [Електронний ресурс] / U.S. Department of Energy. – 2012. – Режим доступу: <http://www.fueleconomy.gov/feg/byfuel/FFV2013.html>.
- 14. Процесор кута випередження запалювання STAG-TAP-01-02**

[Електронний ресурс] / AC Spotka Akcyjna. – 2011. – Режим доступу: <http://www.ac.com.pl/ru/produkt/317/tap-01>.

15. Гомонай В.І. Лобко В.Ю. Формальдегід – основний компонент забруднення атмосфери автомобільним транспортом у містах України // Екологічний Вісник. січень-лютий. – 2007.

16. Маркович, С.І. Експлуатація та ремонт двигунів внутрішнього згоряння : навч. посіб. / С.І. Маркович, О.В. Бевз ; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2022. 334 с. <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/11863>.

17. Технічна експлуатація та надійність автомобілів : Навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Є.Ю. Формальчик, М.С. Олісевич, О.Л. Мاستикаш, Р.А. Пельо. - Л. : Афіша, 2004. 492 с.

18. Практикум з експлуатації легкових автомобілів. Навчальний посібник / В.Я. Чабанний, С.О. Магопець, Є.К. Солових та ін. – Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2013. 622 с.

19. М.А. Подригало Нове в теорії експлуатаційних властивостей автомобілів та тракторів / [М.А. Подригало, В.В. Шелудченко] – Суми: Сумський національний аграрний університет, 2015. 213 с.

20. Електронний ресурс. Вікіпедія. Вихлопні гази. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B8%D1%85%D0%BB%D0%BE%D0%BF%D0%BD%D1%96_%D0%B3%D0%B0%D0%B7%D0%B8

21. Захара І.Я. Новітні технології на автомобільному транспорті : практикум. - Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2017. 30 с.

22. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Підруч. / О.А. Лудченко - К.: Знання-Прес, 2003. 511 с.

24. Охорона праці на автомобільному транспорті: навчальний посібник / Пістун І.П., Хомяк Й.В., Хомяк В.В. – 2-ге вид., стер. – Суми: Університетська книга, 2015. 374 с.

25. Основи охорони праці: Підручник / За ред. Проф. В.В. Березуцького – Х.: Факт, 2005. 480 с.

26. Методичні вказівки для виконання випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів за освітньо-професійної програми «Автомобільний транспорт» другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 274 – «Автомобільний транспорт» денної та заочної форми навчання / уклад.: С.О. Магопець, Ю.В. Кулешков, О.В. Бевз, М.В. Красота, Д.В. Голуб, А.С. Максименко; під заг. редакцією к.т.н., доц. Магопця С.О. - Кропивницький: ЦНТУ, 2022. 46 с.