



ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА
ЕНЕРГЕТИКИ



КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

МАГІСТЕРСЬКА ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

**«Зниження шкідливих викидів тракторних дизелів застосуванням
присадок до палив у КАТП «Агробудавтосервіс» м. Кропивницький»**

Виконав:

магістрант групи ТС23М-1 спеціальності 208
«Агроінженерія» ОПП «Технічний сервіс
сільськогосподарської техніки»

_____ Нікіта КАШТАЛЯН

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: 20 «Аграрні науки та продовольство»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

Освітньо-професійна програма: «Технічний сервіс сільськогосподарської техніки»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри «Експлуатація та
ремонт машин»

_____ Сергій МАГОПЕЦЬ
«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ

КАШТАЛЯНУ Никіті Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Зниження шкідливих викидів тракторних дизелів застосуванням присадок до палив у КАТП «Агробудавтосервіс» м. Кропивницький»

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. Визначити особливості організації та ефективності діяльності КАТП «Агробудавтосервіс»; встановити можливі перспективні напрямки реорганізації виробництва; сформулювати мету, об'єкт, предмет досліджень та завдання, які потребують подальшого вирішення в роботі.

4.2. Розділ 2. Встановити основні оціночні параметри токсичності відпрацьованих газів ДВЗ; виконати аналіз доцільності застосування присадок до дизельних палив для зниження рівня токсичності.

4.3. Розділ 3. Навести методику та апаратне забезпечення, що застосовуються для оцінки рівня димності відпрацьованих газів дизельних ДВЗ; визначити ефективність практичного застосування існуючих присадок до дизельних палив на зменшення рівня димності відпрацьованих газів та вмісту інших токсичних речовин.

4.4. Розділ 4. Обґрунтувати доцільність застосування нового типу присадок для зниження токсичності й димності відпрацьованих газів дизельних ДВЗ; виконати теоретичні та експериментальні дослідження ефективності застосування розроблених присадок.

5. Перелік ілюстративного матеріалу:

5.1. Оцінка ефективності виробничої діяльності підприємства. 5.2. Обґрунтування актуальності досліджень магістерської роботи. Мета, об'єкт, предмет та задачі дослідження. 5.3. Параметри оцінки рівня токсичності відпрацьованих газів дизельних ДВЗ. 5.4. Аналіз ефективності застосування паливних присадок для зниження токсичності дизельних ДВЗ. 5.5. Аналіз ефективності застосування паливних присадок для зниження токсичності дизельних ДВЗ. 5.6. Результати експериментальних досліджень екологічних та економічних показників дизельних ДВЗ при роботі на паливах із найбільш поширеними серійними присадками. 5.7. Результати експериментальних досліджень ефективності дії на екологічні характеристики ДВЗ розроблених присадок до дизельних палив. 5.8 Загальні висновки по роботі.

ГРАФІК ВИКОНАННЯ ЕТАПІВ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Назва етапів магістерської дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1.	28.10.2024	
2	Розділ 2.	08.11.2024	
3	Розділ 3.	15.11.2024	
4	Розділ 4.	22.11.2024	
5	Загальні висновки по роботі	24.11.2024	
6	Оформлення структурних елементів МР	25.11.2024	
7	Ілюстративний матеріал до МР	28.11.2024	

Магістрант

_____ Нікіта КАШТАЛЯН
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ Сергій МАГОПЕЦЬ
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Метою дослідження є покращення екологічних показників тракторних дизелів при застосуванні протидимних присадок до палива на основі рідкоземельних елементів, що забезпечують ефективне зниження шкідливих викидів в експлуатаційних умовах.

В першому розділі роботи «Визначення пріоритетних напрямків досліджень» оцінено перспективи розширення виробничої діяльності підприємства та визначено найбільш перспективні напрямки його реорганізації; обґрунтована актуальність виконання досліджень, сформовано їх мету, об'єкт, предмет та задачі, що потребують розв'язання.

Так за *об'єкт дослідження* прийнято робочий процес дизельного ДВЗ при роботі на паливі із протидимними присадками на основі рідкоземельних елементів, натомість як за *предмет* - екологічні показники й характеристики дизельного ДВЗ при роботі на різних швидкісних й навантажувальних режимах із протидимною присадкою у паливі.

У другому розділі «Оцінка екологічних показників дизельних ДВЗ при застосуванні існуючих присадок до палив» досліджуються оціночні параметри токсичності відпрацьованих газів дизельних ДВЗ й ефективності застосування паливних присадок для зниження токсичності дизельних ДВЗ.

У третьому розділі «Експериментальні дослідження екологічності дизельних ДВЗ при роботі на паливі з базовими присадками» виконані експериментальні дослідження екологічних та економічних показників дизельних ДВЗ при роботі на паливах із базовими присадками.

Дослідженнями четвертого розділу «Розробка присадок для зменшення димності відпрацьованих газів дизельних ДВЗ на основі рідкоземельних елементів» встановлені теоретичні передумови ефективності застосування присадок до палива даного типу для зниження токсичності й димності відпрацьованих газів дизельних ДВЗ та підтверджуючі результати експериментальних досліджень ефективності дії розроблених присадок.

Магістерська робота складається із пояснювальної записки обсягом 57 сторінок (із 24 рисунками та 6 таблицями), яка містить завдання, реферат, зміст, вступ, 4 основні розділи, загальні висновки, перелік використаної літератури, 3 додатки та 8 слайдів ілюстративного матеріалу загальним обсягом сторінок.

РЕФЕРАТ	
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	
ВСТУП	
РОЗДІЛ 1. ВИЗНАЧЕННЯ ПРІОРИТЕТНИХ НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	
1.1. Виробнича характеристика та оцінка ефективності діяльності КАТП «Агробудавтосервіс» м. Кропивницький	
1.2. Визначення перспективних для підприємства напрямків досліджень	
1.3. Вибір актуальної тематики. Мета та задачі подальших досліджень	
РОЗДІЛ 2. ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДИЗЕЛЬНИХ ДВЗ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ІСНУЮЧИХ ПРИСАДОК ДО ПАЛИВ	
2.1. Параметри оцінки рівня токсичності відпрацьованих газів дизельних ДВЗ	
2.2. Аналіз ефективності застосування паливних присадок для зниження токсичності дизельних ДВЗ	
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ ДИЗЕЛЬНИХ ДВЗ ПРИ РОБОТІ НА ПАЛИВІ ІЗ БАЗОВИМИ ПРИСАДКАМИ	
3.1. Загальна характеристика лабораторного обладнання	
3.2. Методика виміру димності ВГ дизельних ДВЗ	
3.3. Методика проведення експериментальних досліджень із визначення впливу присадок до дизельних палив на рівень токсичності ВГ ДВЗ	
3.4. Результати експериментальних досліджень екологічних та економічних показників дизельних ДВЗ при роботі на паливах із присадками	
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ПРИСАДОК ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ДИМНОСТІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДИЗЕЛЬНИХ ДВЗ НА ОСНОВІ РІДКОЗЕМЕЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ	
4.1. Теоретичні передумови зниження токсичності й димності відпрацьованих газів дизельних ДВЗ при застосування присадок до палива	
4.2. Результати експериментальних досліджень ефективності дії розроблених присадок	
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	
ДОДАТКИ	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АЗС – автозаправна станція
АТЗ – автотранспортний засіб
АТП – автотранспортне підприємство
БДР – безпека дорожнього руху
ВГ – відпрацьовані гази
ВМТ – верхня мертва точка
ВНЗ – вищий навчальний заклад
ДВЗ – двигун внутрішнього згорання
ГБЦ – головка блоку циліндрів
ГРМ – газорозподільчий механізм
ЗШХ - зовнішня швидкісна характеристика (двигуна)
КВ – колінчастий вал
КВВ – кут випередження вприскування
КШМ – кривошипно-шатунний механізм
МТЗ – механічний транспортний засіб
ПАР – поверхнево-активні речовини
ПКВ – поворот колінчастого валу
ПНВТ – паливний насос високого тиску
ТЗ – транспортний засіб
ТР – токсичні речовини
ТЧ – тверді частинки
ЦПГ – циліндро-поршнева група
ЦТМ - циклопентадієнілтрикарбонілмарганець
ЦЧ – цетанове число

ВСТУП

Дослідженнями науковців встановлено, що з кожним роком стрімко погіршуються екологічні показники атмосфери нашої планети. До основних та найбільш впливових чинників такої ситуації є підвищений техногенний вплив на екосистему механічних транспортних засобів – автомобілів та енергетичних установок МТА, збільшення кількості яких спричиняє забруднення навколишнього середовища відпрацьованими газами їх двигунів

Переважає більшість автомобілів, тракторів й різноманітних сільськогосподарських машин оснащена двигунами внутрішнього згорання, які працюють на важкому рідкому паливі, яке в процесі згорання у складі паливо-повітряних сумішей обумовлює появу низки токсичних (канцерогенних) речовин у їх відпрацьованих газах. Найбільш шкідливими серед них є оксиди азоту NO_x , різні вуглеводні (C_nH_m), окисли азоту (NO_x) й сірки (SO_2), оксид вуглецю (CO) й, в першу чергу, сажа (C).

Так, сажа є найбільш канцерогенною речовиною й основним токсичним компонентом роботи дизельного двигуна. Для всіх біологічних організмів, небезпека сажі проявляється у появі надмірно токсичної речовини – бензапірену, який адсорбується на поверхні її часточок. Потрапляючи у дихальні шляхи, сажа разом із бензапіреном, активно підсилюють дію інших шкідливих речовин, що містяться у відпрацьованих газах.

Наявність значної кількості сажі у відпрацьованих газах одночасно із іншими токсичними речовинами та твердими частинками, надає відпрацьованим газам крім токсичних властивостей ще й характер димлення. Дослідженнями встановлено, що робота дизельного двигуна супроводжується викидами у атмосферу в середньому близько 20 кг сажі при спаленні 1 т дизельного палива. Концентрація сажі, що утворюється в процесі роботи двигуна, може бути й значно більшою в залежності від швидкісного та навантажувального режимів його роботи. При цьому присутність сажі може надавати відпрацьованим газам від 30% до 90% рівня їх загальної токсичності.

Систематична дія навіть незначних обсягів сажі й оксиду вуглецю на організм людини спричиняє розвиток серцево-судинних захворювань, інколи не

зворотних, натомість як підвищена їх концентрація під час дихання - порушує живлення тканин киснем й, як наслідок, може спровокувати кому й, навіть, смертельні випадки.

Причина утворення сажі загальновідома – вона утворюється у камері згорання ДВЗ в процесі згорання паливо-повітряних сумішей при появі піролізу палива під дією високих температур й тисків за нестачі кисню (O_2). Особливою схильністю до сажоутворення характеризуються дизельні ДВЗ, що пояснюється відсутністю часу на процеси сумішоутворення й горіння, так як паливо в двигунах цього типу потрапляє в камеру згорання в кінці такту стискування, а процеси сумішоутворення й горіння відбуваються фактично одночасно й протікають доволі швидко.

Рівень токсичності відпрацьованих газів дизельного ДВЗ залежить від багатьох чинників, до яких відносять й його конструктивні особливості (досконалість); й якості виготовлення, складання та налаштування; й ефективності та якості проведення сервісних операцій, які визначають здатність до ефективної подачі та розпилення палива та, безумовно, й фізико-хімічних властивостей та характеристик палива, що використовується для здійснення його робочого процесу.

Зменшення вмісту токсичних речовин у ВГ автотракторних дизельних ДВЗ досягається різними способами, найбільш поширеним серед яких є їх нейтралізація у спеціальних пристроях – каталітичних нейтралізаторах, уловлювання й опалювання вуглецю (сажі) у сажових фільтрах, рециркуляції (повторного спалення) відпрацьованих газів, оптимізації процесів паливоподачі, розпилення, утворення та згорання паливо-повітряних сумішей та використанням більш якісних дизельних палив (із більшими цетановими числами) та обмеженням вмістом в них свинцю й сірки та ін.

У порівнянні з описаними способами зниження димності відпрацьованих газів дизелів доволі ефективним й мало витратним є додавання до дизельних палив спеціальних проти димних присадок, які здатні знизити концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах без втручання й зміни конструкцій ДВЗ та їх систем живлення.

Розділ 1.

ВИЗНАЧЕННЯ ПРИОРИТЕТНИХ НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Виробнича характеристика та оцінка ефективності діяльності КАТП «Агробудавтосервіс» м. Кропивницький

КАТП «Агробудавтосервіс» відноситься до автотранспортних підприємств та на поточний час забезпечує надання транспортних послуг вантажними АТЗ у відповідності до основного виду діяльності за КВЕД, а саме 49.41 «Вантажний автомобільний транспорт» та діючої транспортної ліцензії на міжнародні перевезення вантажів вантажними автомобілями (крім перевезення небезпечних вантажів та небезпечних відходів) від 14.06.2022 р. До інших видів послуг, які на замовлення виконує підприємство відносяться: 45.20 «Технічне обслуговування та ремонт автотранспортних засобів», 52.21 «Допоміжне обслуговування наземного транспорту», 77.11 «Надання в оренду автомобілів і легкових автотранспортних засобів», оптова та роздрібна торгівля деталями та приладдям для АТЗ та ін. [1, 2].

Основне виробниче спрямування підприємства залишається незмінним вже більш як 65 років. На момент заснування (у 1959 р.) підприємство отримало назву «Кіровоградська автобаза №13» й забезпечувало вантажні перевезення різних видів продукції в структурі Мінавтотрансу; але вже у 1969 р. було передане у підпорядкування Кіровоградського тресту «Кіровоградсільбуд» й перепрофільоване на забезпечення регіональної доставки будівельних матеріалів. Наступні зміни відбулися у 1980 р., коли підприємство було передане до структури Кіровоградського підприємства «Агробуд» й отримало індивідуальний код №1162. В цей час відбулися й зміни профільності підприємства, так до основного виду - перевезення вантажів, додалися й такі як: переробка м'яса та виготовленню ковбасних виробів, виробництво рослинної олії та ін. Останню редакцію власної назви - Кіровоградське АТП «Агробудавтосервіс», підприємство отримало 32 роки тому, у 1994 р. одночасно із зміною форми власності на відкриту акціонерну компанію (ВАТ). На поточний час юридичний статус (організаційно-правова форма) підприємства - приватна акціонерна компанія (ПрАТ), статутний капітал якої становить 239 760,00 грн. [1, 2]. Уповноваженою особою та головою правління підприємства, з 2001 р. й по цей час, виступає

Кириченко Володимир Володимирович [1, 2].

Основні виробничі потужності КАТП «Агробудавтосервіс» розташовані на вул. Виставковій, буд. 2б (рис. 1.1 та рис. 1.2) [3].



Рисунок 1.1 – Розташування КАТП «Агробудавтосервіс» у промзоні м. Кіровоград



Рисунок 1.2 – Адміністративна будівля та основні транспортні ворота КАТП «Агробудавтосервіс»

Ефективна робота підприємства забезпечується наявністю у його структурі певних виробничих підрозділів, служб та відділів, а саме: керівництва (директора, наглядової ради, ревізійної ради), бухгалтерії, відділу кадрів, служби експлуатації разом із групою безпеки руху (БДР), технічної (сервісної) служби, комерційного та адміністративно-господарського відділів тощо (див. рис. 1.3) [3].

Структура управління ПрАТ Кіровоградське АТП «Агробудавтосервіс»

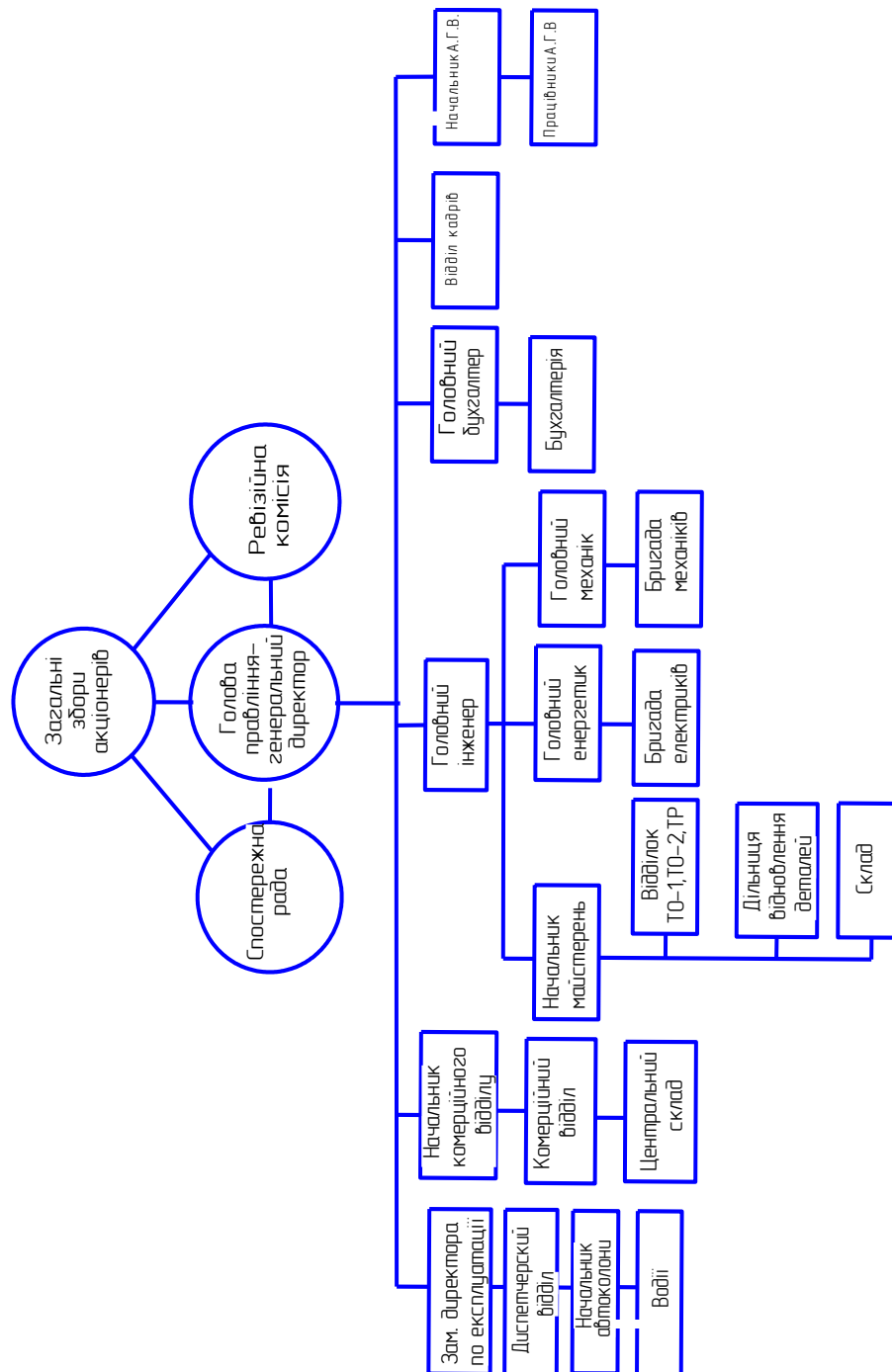


Рисунок 1.3 – Виробнича структура КАТП «Агробудавтосервіс» м. Кропивницький [3]

Задля забезпечення потреб у запасних частинах як до власних АТЗ, так й для транспорту клієнтів, підприємство має договірні зобов'язання й є офіційним регіональним дилером багатьох провідних вітчизняних та світових виробників даної продукції, що дозволяє як виконувати сервісні дії із високим рівнем якості у повній відповідності до стандартів й нормативних вимог так отримувати додаткові прибутки від реалізації запасних частин для АТЗ та с.-г. техніки, мастильних матеріалів та технологічних рідин (рис. 1.4) [3].



Рисунок 1.4 – Власний магазин автотоварів та запасних частин КАТП «Агробудавтосервіс» (м. Кропивницький)

За останні роки відбулася суттєва реорганізація виробничої структури підприємства, яка мала за мету підвищення його ефективності та розширення видів виробничої діяльності та була реалізована в таких напрямках як: зміна структури (модельної та вікової) власного парку вантажних АТЗ та іншої техніки; впровадження новітніх методик й технологій сервісного обслуговування рухомого складу на рівні європейських стандартів; діджиталізації диспетчерського та сервісного супроводу та ін. [3].

До структури підприємства були введені нові структурні підрозділи – дільниці механічної обробки та відновлення деталей, які укомплектовані сучасним верстатним та ремонтним обладнанням, що надало можливість якісного виконання всіх видів ремонтних дій за вузлами, механізмами та системами АТЗ й іншої техніки [3].

Разом з тим, оцінюючи оприлюднені економічні показники ефективності діяльності підприємства (за офіційною фінансовою звітністю) за останні роки можна відзначити, що не зважаючи на певні річні коливання рівня доходів підприємства у $\pm 35\%$, його чистий прибуток за останні 2 роки скоротився фактично у 2 рази (в порівнянні із 2021 р.) та більш як у 8,5 рази по відношенню до 2020 р. (таблиця 1.1) [2]. Поясненням цього є спад виробництва обумовлений кризою, що виникла в більшості галузей промисловості нашої країни, в тому числі й у транспортній, після початку широкомасштабної російської збройної

агресії. Додали негативу й зміни, що відбулися у штатному й професійному складі виробничих працівників підприємства – більшість професіоналів, в першу чергу водіїв та ремонтників, були призвані до лав Збройних сил України та на поточний час захищають цілісність нашої країни та її суверенність (таблиця 1.1) [2].

Таблиця 1.1 – Основні фінансові та кадрові показники підприємства за 2020-2023 рр. [2]

Показник	Фінансовий рік			
	2023	2022	2021	2020
Дохід, грн.	42448300,0	31163900,0	54763400,0	41688000,0
Чистий прибуток, грн.	748000,0	782600,0	1659000,0	6418100,0
Активи, грн.	33603800,0	24725800,0	27155300,0	22618900,0
Зобов'язання, грн.	15834800,0	5267900,0	8515500,0	дані відсутні
Кількість працівників, осіб	52	60	64	дані відсутні

З метою більш детального визначення існуючих на підприємстві проблем та пошуку можливих варіантів виходу із ситуації, що склалася, був виконаний критичний аналіз (SWOT) його поточної виробничої діяльності, який виокремив перспективні для майбутньої реалізації напрямки (рис. 1.5) [3].

1.2. Визначення перспективних для підприємства напрямків досліджень

На основі виконаного критичного аналізу (SWOT) перспективними для підприємства напрямками визнано:

- 1) розробку та впровадження стратегії розширення й омолодження колективу, залучення висококваліфікованих фахівців з експлуатації і сервісу машин;
- 2) розширення додаткових видів виробничої діяльності, номенклатури послуг та її обсягів;
- 3) ефективної роботи з різними групами клієнтів й замовників послуг - підтримку існуючих та залучення нових;
- 4) чіткє планування та дотримання графіку виконання й обсягів планових робіт;
- 5) підтримка високого рівня якості виконання всіх видів дій;
- 6) проведення наукових досліджень із використанням наявної матеріальної бази підприємства, як для власних потреб так й на замовлення, із залученням фахівців науково-дослідних підприємств та профільних ВНЗ регіону та ін.

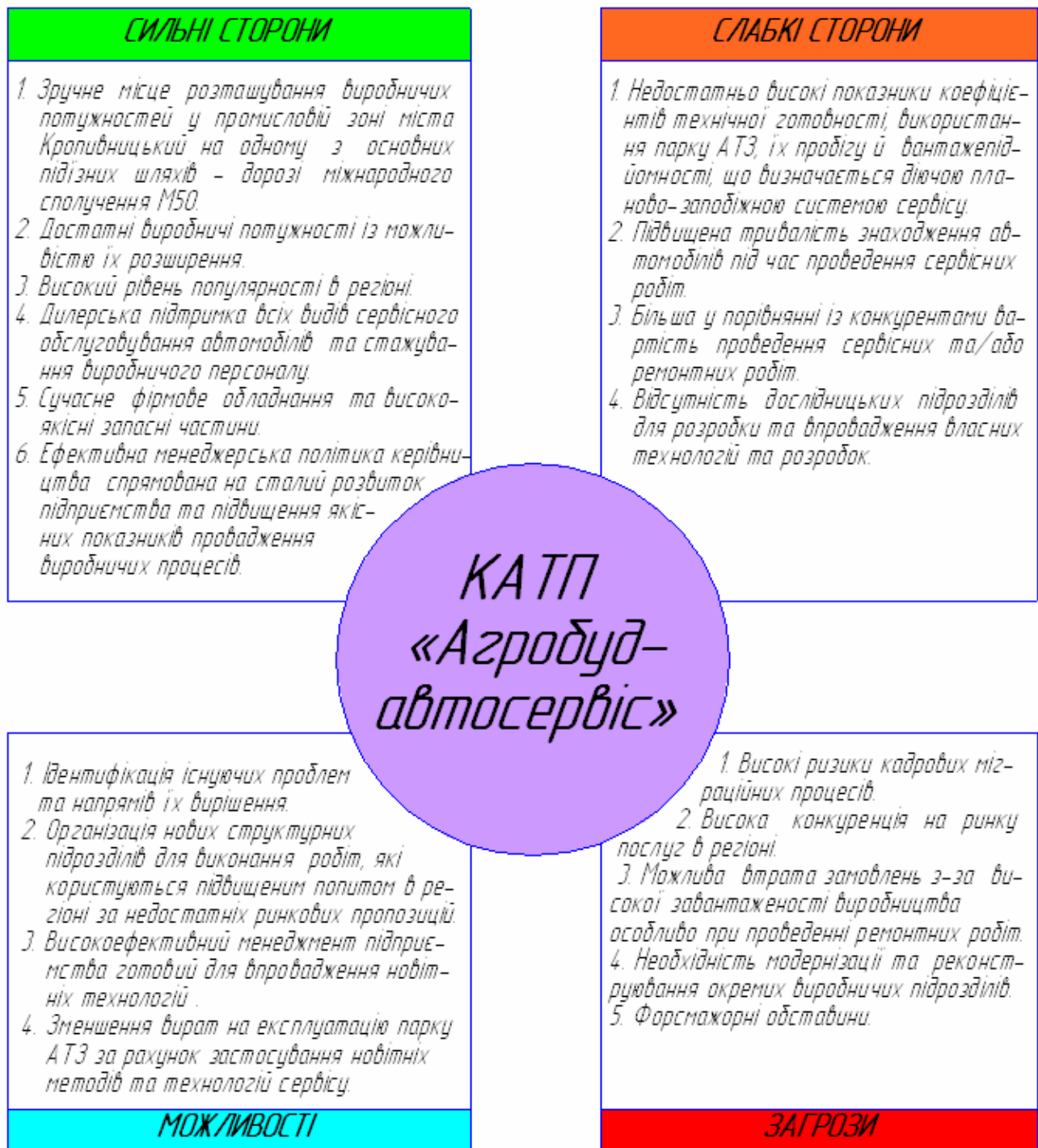


Рисунок 1.5 – Критичний аналіз (SWOT) поточного стану виробничої діяльності КАТП «Агробудавтосервіс»

Наступний етап, передбачав виокремлення одного з перелічених вище, напрямку проведення актуальних для підприємства заходів. Основним критерієм вибору була прийнята можливість його швидкої реалізації без суттєвих фінансових вкладень та часових термінів проведення підготовчих процесів. Найбільш доцільним визнано останній (6-ий) напрямок, а саме проведення наукових досліджень так як КАТП «Агробудавтосервіс» має для його реалізації всі необхідні передумови: наявну потужну виробничу базу, сучасне обладнання та

достатньо кваліфікований персонал, тісні зв'язки як стейкхолдера із ЦНТУ та потенційну наукову проблематику, реалізація якої дозволить підприємству підвищити власні рейтинги в регіоні та залучити нових клієнтів, а отже, одночасно дозволить й вирішити ще й завдання під номерами 2. 3 та 5.

1.3. Вибір актуальної тематики. Мета та задачі подальших досліджень

Збільшення обсягів використання у різних галузях економіки та у побуті механічних транспортних засобів (МТЗ), в конструкціях яких присутні теплові двигуни, є важливою складовою технічного прогресу; разом з тим, парна наявності суттєвих переваг, має й недоліки, дія яких спричиняє появу негативних наслідків [4]. Оскільки найбільш поширеними типами їх двигунів (на сьогодні) все ще залишаються двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ), які використовують в якості палива екологічно небезпечні продукти переробки нафти, відбувається суттєве забруднення навколишньої атмосфери токсичними та канцерогенними речовинами, що містяться у продуктах їх діяльності - відпрацьованих газах (ВГ) [4].

Зниження токсичності ВГ було, є й буде залишатися однією з найбільш важливих й актуальних проблем людства, так як наявні шкідливі хімічні елементи та сполуки є основною причиною появи хвороб у людей і тварин, погіршення агроумов росту рослин та глобальних змін клімату нашої планети [4].

Саме тому, були розроблені, впроваджені й діють вже майже 55 років нормативи, якими регламентується та обмежується концентрація шкідливих компонентів у ВГ ДВЗ. Ці нормативи отримали назву «Правил ЄЕК ООН» й є обов'язковими до виконання у всіх європейських країнах, в тому числі й в Україні. Ними регламентуються допустимі норми викидів (за масою - у г/км) токсичних речовин у ВГ МТЗ (АТЗ, тракторів тощо) на один пройдений кілометр (або мілю) для кожного виду нафтового палива.

Можливість дотримання норм екологічності (стандартів «Євро») в тій чи іншій країні визначається наявним в цій країні парком МТЗ. Так, якщо більшість європейських країн вже впровадили стандарти «Євро-6», то в Україні діють, на зараз, лише норми «Євро-3», що зумовлює появу значної кількості шкідливих компонентів у атмосфері України. До переліки контрольованих речовин ВГ

відносять: залишки вуглеводнів (C_nH_m), оксиди вуглецю (CO) та азоту (NO_x) та тверді частинки з розмірами до 10 мкм – обгорілий вуглець (C) (або сажу) [4].

Порівняльний аналіз двох найбільш поширених типів ДВЗ: із примусовим запаленням суміші та роботою на легких рідких паливах (бензинах) й із займанням суміші при її стисканні, щодо рівня токсичності їх відпрацьованих газів показав, що дизельні ДВЗ є гіршими лише за рівнем концентрації сажі (у 5 разів), переважаючи бензинові ДВЗ за вмістом усіх інших шкідливих компонентів в середньому фактично на порядок – у 10 разів й більше (таблиця 1.2) .

Таблиця 1.2 – Вміст токсичних компонентів у відпрацьованих газах ДВЗ, що працюють на різних нафтових паливах, при спаленні 1,0 кг палива та роботі на стехіометричних складах сумішей ($\alpha \approx 1,0$)

Вміст шкідливих речовин у ВГ ДВЗ, г	Вміст шкідливої речовини у ВГ при роботі ДВЗ на...	
	дизельному паливі	бензині
Вуглеводні (C_nH_m)	4,3	20,2...23,3
Окис вуглецю (CO)	20,6	400,0...464,0
Окисли азоту (NO_x)	18,2	14,3...15,1
Ангідрид сірчаної кислоти (SO_2)	7,7	2,1
Альдегіди	0,6	1,1
Сажа (C)	5,0	1,0
Всього	≈50	≈510

Негативна компонента ВГ дизельних ДВЗ, а саме (C) - сажа або тверді частинки (ТЧ), в більшості з'являється під час їх роботи на швидкісних й навантажувальних режимах [5].

«Сажа - твердий продукт, що складається здебільшого із вуглецю. Вона утворюється за температури понад 1200 °С внаслідок термічного розкладання (піролізу) вуглеводнів (C_nH_m) палива за умови нестачі кисню O_2 » [4].

Процес утворення сажі залежить безпосередньо від властивостей нафтового (або іншого) палива й, як вже було відзначено, в більшій мірі притаманний ДВЗ із самозайманням робочої суміші, що працюють на важких рідких паливах – тобто дизельним ДВЗ [5, 6]. «Концентраційні межі спалахування суміші в двигунах з іскровим запалюванням не збігаються з межами початку утворення сажі, тому її кількість у таких двигунах є невеликою» [6].

Причиною сажоутворення дизелів є виникнення в циліндрах ДВЗ явища піролізу, обумовленого переважно дифузійним згоранням суміші, швидкість якого залежить не стільки від швидкості протікання хімічних реакцій окислення, а в більшій мірі від швидкості проникнення (дифузії) парів палива (C_nH_m) у повітря [5]. Розвиток даного явища (піролізу) починається з того, що у камері згорання виникають зони із різною концентрацією C_nH_m у повітрі: багатою, нормальною або стехіометричною й недостатньою (бідною) [5]. Після початку процесу згорання паливо-повітряної суміші та появи дифузійного горіння, в камері згорання поряд із ділянками, що характеризуються високими температурними показниками (при $\alpha = 1,0$), розміщуються зони із збагаченою паливо-повітряною сумішшю ($\alpha < 1,0$), що й активує механізм появи явища піролізу (сажоутворення) – або появи у чистому вигляді такого хімічного елементу як вуглець (C) [5, 6]. Візуальною ознакою його присутності є поява чорного диму у системі випуску відпрацьованих газів ДВЗ.

Щодо оцінки шкідливої дії сажі на біологічні організми та екосистему нашої планети, то вона зумовлена не самим вуглецем (C), а наявністю канцерогенних поверхнево-активних речовин (ПАВ). Так, наприклад, відносно крупні частинки сажі (2,0...10,0 мкм) не наносять жодної шкоди нашому організму й безперешкодно виводяться з нього, натомість як більш дрібні (0,5...2,0 мкм), навпаки - затримуються у легенях й можуть бути активаторами алергії дихальних шляхів [4]. Іншою негативною властивістю сажі є її надмірна активність щодо підвищеної абсорбції вуглеводневих сполук, серед яких найбільш небезпечною, з точки зору інтенсифікації онкологічних захворювань, беззаперечно є бензопірен [4].

В експлуатаційних умовах, іншими факторами, які підвищують рівень димності (сажоутворення) дизельних ДВЗ є: технічний стан деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ), зміна кута випередження впорскування палива, циклова подача палива й, безумовно, якісні характеристики палива, що використовується [5].

Зменшення вмісту токсичних речовин у ВГ автотракторних дизельних ДВЗ можна досягти різними методиками й технологіями. На поточний час, найбільш широко (масово) використовується такі основні способи:

- 1) нейтралізація більшості шкідливих компонентів (C_nH_m , (CO) та NO_x)

шляхом їх хімічного перетворення на безпечні речовини (CO_2, H_2O, N_2, O_2), яке відбувається у спеціальному приладі – нейтралізаторі, встановленому безпосередньо у системі випуску ВГ ДВЗ, а прискорення часу нейтралізації – за рахунок активації хімічних реакцій в присутності каталізаторів – платини (Pt) та родію (Ro);

2) нейтралізація вуглецю (C) або сажі, шляхом її уловлювання в спеціальних сажових фільтрах, які розміщуються перед каталітичними нейтралізаторами, із наступним її допалюванням (повторним згоранням);

3) оптимізація робочих процесів сумішоутворення та згорання паливо-повітряних сумішей за рахунок більш точного й якісного розпилювання палива системою паливоподачі й оптимального співвідношення палива із повітрям;

4) використання більш якісних дизельних палив (із більшими цетановими числами) та обмеженням вмістом в них свинцю й сірки та ін.

Реалізація кожного із цих способів дійсно впливає на зменшення рівня концентрації шкідливих компонентів у ВГ дизелів, але й має певні обмеження щодо меж застосування [6].

Так, ефективність застосування нейтралізаторів у дизельних ДВЗ знижується з-за підвищеного вмісту у ВГ сажі (C) й кисню (O_2) за їх порівняно невисоких температурних показниках. Покращення екологічних параметрів ВГ дизелів ускладнюється й тим, що реалізація заходів, спрямованих на зниження концентрації NO_x , обумовлює збільшення вмісту іншого шкідливого компоненту - сажі. У дизелях для зниження вмісту NO_x більш ефективною виявилася технологія рециркуляції ВГ, натомість як використання звичайного (для бензинових ДВЗ) трикомпонентного нейтралізатора для зниження викидів шкідливих речовин в тому числі й NO_x , неефективне. Більш ефективним є використання каталітичних окислювальних нейтралізаторів, що зумовлено температурою ВГ дизелів, достатньою для окислення CO , C_nH_m й розчинних органічних часток та, нажаль, недостатньою для утворення підвищеного вмісту сульфатів; встановлено, що за температур понад $300\text{ }^{\circ}C$ концентрація CO зменшується на $85,0\ldots 90,0\%$, C_nH_m - на $75,0\ldots 80,0\%$ [6].

Оцінюючи зміну кута випередження впорскування (КВВ) дизельного палива, в контексті заходів із оптимізації робочих процесів сумішоутворення та згорання, можна відзначити, що величина цього кута дійсно має вплив на якісний склад суміші, а його відхилення від оптимального значення зумовлює зростання рівня димності ВГ дизелів. Доведено, що зміна КВВ на $4...6^\circ$ ПКВ зумовлює збільшення рівня димності на $25...30\%$ [5, 6].

Оптимізація величин КВВ дизельного палива при зміні швидкісних режимів роботи ДВЗ, закладена у принцип роботи їх паливних насосів високого тиску (ПНВТ) систем паливоподачі, до конструкції яких входять регулятори - автоматичні корегувальні муфти, які із збільшенням частоти обертання кулачкового валу ПНВТ автоматично збільшують КВВ, а із зменшенням - відповідно зменшують його величину [5, 7].

Іншим приладом, який повинен забезпечити зменшення рівня сажі у ВГ є обмежувач димності. Справа в тому, що задля збільшення потужності ДВЗ необхідно збільшити й рівень паливоподачі; при цьому порушується оптимальне співвідношення компонентів суміші «паливо – повітря», збільшується тривалість згорання та вміст у ВГ незгорілих C_nH_m та сажі (C), отже зростає й рівень димності. Саме «для зменшення димності ВГ й підвищення економічності дизелів із наддувом на перехідних режимах і режимі розгону (коли тиск наддуву недостатній і кількість палива, що подається в циліндри, не відповідає кількості повітря - відбувається неповне згорання), й призначений обмежувач димності» [6]. Конструктивно він розміщений у задній кришці регулятора ПНВТ, а активується й керується – в залежності від тиску повітря у системі повітреподачі (тиску наддуву) [5, 6, 7].

Позитивний ефект на зменшення токсичності ВГ дизельних ДВЗ оказує використання палива (солярки) із підвищеною здатністю до самозаймання, що визначається його цетановим числом, й забезпечує більш ефективний процес згорання паливо-повітряних сумішей та зменшення викидів NO_x . Практичними дослідженнями доведено, що із збільшенням вмісту у дизельному паливі легких фракцій C_nH_m , димність ВГ й вміст NO_x знижуються [6]. Нажаль у експлуатаційних умовах практично неможливо швидко й точно оцінити рівень якості дизельного палива за його метановим числом, так як такі дослідження

потребують використання спеціального контрольно-діагностичного обладнання та виконуються у лабораторних умовах [8, 9].

Перспективним, але малодослідженим напрямком є зменшення вмісту найбільш шкідливих й залежних між собою речовин - NO_x й часточок сажі (С) при застосуванні спеціальних присадок до дизельних палив. Перспектива застосування присадок визначається відсутністю необхідності втручання у конструкцію й роботу систем паливо- й повітреподачі дизельних ДВЗ й може бути реалізована на двигунах різних конструктивних рівнів – із традиційними ПНВТ й більш сучасними системами Common Rail; не знижує показників потужності й практично не впливає на паливну економічність (в окремих випадках навіть підвищує її). Використання присадок дозволяє змінити фізико-хімічні властивості дизельних палив й покращити як процеси згорання паливних сумішей, так й зменшити вміст шкідливих речовин у ВГ двигунів, особливо сажі. Крім власного основного призначення, протидимні присадки здатні забезпечувати регенерацію (очищення) сажових фільтрів, забезпечуючи вигорання часточок сажі навіть при температурах ВГ, що відповідають незначним навантаженням двигуна.

На поточний час існують протидимні присадки до палив, які знижують вміст сажі у ВГ дизелів. Так, наприклад, доведено, що застосування антидимних присадок на основі барію (Ba), із додаванням їх лише у 1,0% до палива, знижує вміст сажі у ВГ на 70,0...80,0%.

Разом з тим, органічні компоненти цих присадок під час згорання утворюють інші шкідливі речовини, що в значній мірі нівелює ефективність їх застосування, а інколи й робить їх недоцільною. Значний інтерес й перспективи викликає застосування протидимних присадок на основі координаційних з'єднань рідкоземельних елементів - ербію й лантану, які є більш екологічно безпечними у порівнянні з присадками органічного походження.

Отже, метою подальших досліджень роботи виступає покращення екологічних показників тракторних дизелів при застосуванні протидимних присадок до палива на основі рідкоземельних елементів, що забезпечують ефективне зниження шкідливих викидів в експлуатаційних умовах.

Об'єктом досліджень виступає - робочий процес дизельного ДВЗ при

роботі на паливі із протидимними присадками на основі рідкоземельних елементів.

Предмет дослідження - екологічні показники й характеристики дизельного ДВЗ при роботі на різних швидкісних й навантажувальних режимах із протидимною присадкою у паливі.

У відповідності до вище проведеного аналізу, попередньо зроблених висновків та поставленої мети, були визначені наступні *задачі*, які потребують вирішення у подальших дослідженнях роботи:

- виконати аналіз наявних присадок до дизельного палива, що здатні забезпечити зниження рівня токсичності ВГ дизельних ДВЗ;
- запропонувати нові протидимні присадки до дизельного палива на основі рідкоземельних елементів;
- розробити математичні моделі тепловиділення й утворення сажі у камері згорання поршневого дизельного ДВЗ, при роботі на паливі із присадками, для різних швидкісних й навантажувальних режимів;
- теоретично й експериментально встановити основні закономірності зміни ефективних й токсичних характеристик дизельних ДВЗ при роботі на паливі із присадками на різних робочих режимах.

Розділ 2.

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ДИЗЕЛЬНИХ ДВЗ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ ІСНУЮЧИХ ПРИСАДОК ДО ПАЛИВ

2.1 Параметри оцінки рівня токсичності відпрацьованих газів дизельних ДВЗ

В першу чергу слід відмітити, що у ВГ ДВЗ присутні майже 200 різних хімічних речовин, більша частина з яких є токсичною [4].

Токсичні речовини (ТР), що містяться у відпрацьованих газах ДВЗ та є продуктами процесів згорання нафтових вуглеводнів C_nH_m з киснем O_2 та іншими елементами, що містяться у повітрі (наприклад, азотом N_2 тощо) відносяться до 3-ох різних груп, основні представники яких наведені нижче:

- *I-а група* – це продукти неповного згорання C_nH_m : моно оксид вуглецю (CO), залишки вуглеводнів (C_nH_m) (поліциклічні, ароматичні тощо);
- *II-а група* – вуглець (C) або сажа;
- *III-а група* – оксиди азоту (NO_x), сірчані з'єднання (SO_2) й золи [4].

Наближена порівняльна оцінка ступеня впливу типу ДВЗ на середній рівень присутності у їх ВГ токсичних компонентів при згоранні 1-го умовного обсягу палива (1 кг) представлена у таблиці 2.1 [4].

Таблиця 2.1 – Усереднений вміст ТР у ДВЗ різних типів [4]

Токсична речовина	Тип ДВЗ	
	Отто (з іскровим примусовим запаленням)	Дизель (самозапалення від стискання)
Вуглеводи (C_nH_m)	30,2	10,4
Оксид вуглецю (CO)	372	22,8
Оксиди азоту (NO_x)	22,0	40,9
Сірчані з'єднання (SO_2)	1,6	5,5
Сажа (C)	1,5	7,8

Аналізуючи дані таблиці 2.1 можна відзначити, що у дизельних ДВЗ вирішальну роль у рівні токсичності його ВГ відіграють тверді часточки або сажа (C) вміст яких становить фактично 75,0...85,0% від загальної концентрації ТР у ВГ [7].

Більш детально вміст у ВГ дизельних ДВЗ ТР (у % за масою) представлений на рис. 2.1.



Рисунок. 2.1 – Вміст ТР у ВГ дизельних ДВЗ (у % за масою)

В нашій країні в експлуатаційних умовах оцінювати вміст твердих часточок або сажі (С) у ВГ дизелів, регламентовано за рівнем димності цих газів, який в свою чергу визначається натуральним показником ослаблення дії світлового потоку K у відповідності до стандарту «Норми методів вимірювань димності відпрацьованих газів автомобілів з дизелями або газодизелями» (ДСТУ 4276:2004) введеного в дію з 2005 р. для всіх МТЗ із дизельними (газодизельними) ДВЗ [10].

Цим стандартом «встановлені гранично допустимі величини нормативних показників викидів видимих забруднювальних речовин (димності) відпрацьованих газів ДВЗ у режимі їх вільного прискорення та методи їх вимірювань» [10].

Так, для ДВЗ МТЗ, які пройшли офіційну сертифікацію за ДСТУ UN/ECER 24-03 («Правилами ЄЕК ООН №24-03») рівень димності ВГ не повинен перевищувати нормативних значень, «що вказані в документі про сертифікацію або наведені заводом-виробником на знаку офіційного затвердження типу транспортного засобу для режиму вільного прискорення» [10]. Натомість як димність ДВЗ, не сертифікованих за наведеними ДСТУ, повинна бути меншою за регламентовані значення, які наведені у таблиці 2.2 [10].

Загалом же, димність ВГ дизельного ДВЗ є показником, що характеризує ступінь поглинання ВГ потоку світла, яким їх просвічують [10].

Таблиця 2.2 – Гранично допустимі значення рівня димності дизельних ДВЗ не сертифікованих за ДСТУ UN/ECER 24-03

Тип ДВЗ	Гранично допустима величина...	
	натурального показника ослаблення світлового потоку $K_{don}, \text{м}^{-1}$	коефіцієнта ослаблення світлового потоку $N_{don}, \%$
Дизельний		
- без наддуву	2,5	66,0
- з наддувом	3,0	73,0
Газодизельний		
- без наддуву	1,7	52,0
- з наддувом	2,0	58,0

Перевірку відповідності дизельних ДВЗ затвердженими екологічним нормативам й стандартам, виконують за допомогою спеціального контрольного обладнання – вимірювачів димності ВГ або димомірів, приладів принцип роботи яких заснований на використанні ефекту ослаблення виробленого потоку світла у вимірювальній камері за рахунок його поглинання й розсіювання потоком ВГ [11]. В якості оціночних параметрів використовують два показники димності ВГ: натуральний показник (коефіцієнт поглинання K_{don}) та лінійний показник (коефіцієнт поглинання N_{don}) (див. таблицю 2.2) [10, 11].

Нормативами передбачені наступні умови експериментального визначення димності ВГ дизельних ДВЗ [10]:

- дослідження проводиться на обраному швидкісному режимі ЗШХ ДВЗ, який визначається шляхом порівняльної оцінки двох можливих варіантів – величин $n = 0,45 \cdot n_{max}$ та вільного прискорення $n = 16,7 \text{с}^{-1}$ при обов’язковому 6-ти разовому повторенні випробувань;

- димність ВГ дизельних ДВЗ із наддувом, який може бути відключений або конструктивно оснащений перепускним клапаном, випробування виконують при активованих й дезактивованих агрегаті наддуву (турбіні) й перепускному клапані, а у якості оціночного показника приймають більшу з двох виміряних величин;

- різниця отриманих результатів вимірювань (за одиницями фізичних величин шкали діагностичного приладу) не повинна бути більшою за 4,0%, а часовий проміжок між вимірюваннями повинен укладатися у 1,0 хв.;

- за кінцевий результат приймають середню арифметичну величину встановлену за групою з 3-ох послідовно виконаних вимірювань [10, 12].

Крім оцінки рівня димності ВГ дизельних ДВЗ, нормативами передбачена й доцільність діагностування екологічних характеристик ефективності роботи їх систем живлення за допомогою аналізу концентрації найбільш токсичної речовини – з'єднань азоту (NO_x) [12].

«Найбільш прогресивним методом визначення вмісту NO_x є збудження хімілюмінісценції у інфрачервоній ділянці за допомогою реакції окислення NO_x з наступним визначенням її інтенсивності. Суть методу полягає в тому, що реакція окислення NO_x відбувається в атмосфері озону із виділенням променистої енергії світлового спектру. Кількість виділеної енергії пропорційна вмісту NO_x у пробі ВГ, що піддаються аналізу. При застосування сучасних приладів, час аналізу близько складає близько 1,0 с. при забезпеченні точності вимірів до 1,0% вимірювальної шкали» [12].

Разом з тим, сажа (C), що з'являється у камері згорання в результаті термічного розпаду молекул вуглеводнів (C_nH_m) в умовах значної нестачі O_2 та міститься у ВГ дизельного ДВЗ не самостійно формує концентрацію твердих частинок (ТЧ), концентрація яких нормується стандартами. У ВГ дизелів присутні й ТЧ які є як продуктами зношення деталей КШМ та ЦПГ так й недопалених вуглеводнів (C_nH_m) [4].

Саме тому, доцільно визначити особливості формування ТЧ в процесі згорання паливо-повітряних сумішей у дизельних ДВЗ та виконати структурну оцінку їх складу.

Так, якщо розглянути процес згорання дизельних паливо-повітряних сумішей, що були утворені такими компонентами як: очищене повітря, паливо (вуглеводи C_nH_m) та залишкові відпрацьовані гази, то суто теоретично в процесі їх згорання повинні бути утворені такі речовини як: H_2O , CO_2 , SO_2 , N_2 та O_2 . Разом із тим, внаслідок недосконалості протікання окислювальних реакцій в камері згорання, ВГ дизелів містять набагато більшу кількість хімічних речовин, в тому числі й токсичних (канцерогенних) - пряме окислення C_nH_m перетворює їх

на CO_2 й H_2O , натомість як паралельно відбуваються процеси термічного розпаду C_nH_m й їх повільного окислення, що й обумовлює появу продуктів неповного згорання - CO , CH та сажі (C) [13].

«Утворення сажі в процесі згорання палива у циліндрах дизельного ДВЗ пов'язане із його термічним розкладанням (піролізом) під впливом високих температур й умов нестачі O_2 . Піроліз палива має, як правило, локальний характер - у окремих зонах камери згорання відбуваються реакція розпаду C_nH_m на C й H ($CH \rightarrow mC + (n/2) \cdot H_2$). В результаті, у пристінкових зонах камери згорання, які мають нижчі температурні показники паливо-повітряної суміші, частинки C охолоджуються й утворюють сажу» [13]. Експериментальними дослідженнями встановлена наближена залежність вмісту сажі (C) у ВГ дизельного ДВЗ при зміні величини його ефективної потужності, що генерується (рис. 2.2) [13].

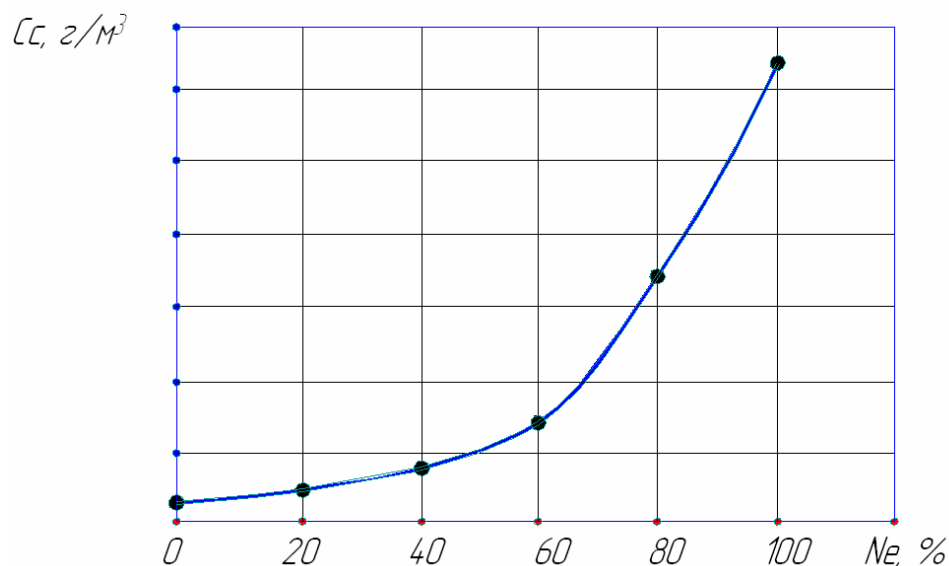


Рисунок 2.2 – Наближений вміст сажі (C) у ВГ дизельних ДВЗ

У відповідності до досліджень В.О. Звонова, механізм утворення сажі включає різні стадії: 1) конденсацію двоатомного вуглецю C_2 із утворенням сажі в результаті полімеризації його молекул; 2) високотемпературного сажоутворення у зонах камери згорання із низькою концентрацією O_2 ; 3) сажоутворення, що є результатом протікання гетерогенної реакції (крекінг-процесу) й процесів дегідрогенізації й полімеризації; 4) одностадійне утворення сажі без утворення проміжних продуктів.

Більшість же науковців згодні із тим, що процес утворення сажі під час згорання паливо-повітряних сумішей, відбувається впродовж 3-ох послідовних фаз: 1) утворення осередків (початкових частинок); 2) збільшення розмірів осередків (поява безпосередньо вже часточок сажі); 3) коагуляція (збільшення розмірів) цих частинок [4].

При цьому, первинні частинки (осередки) або кристаліти, розміри яких знаходяться у діапазоні $0,001 \dots 0,0015$ мкм, з'являються у 1-ій та 2-ій фазах сажоутворення. Під час 3-ої фази вони набувають кінцевої сферичної форми із розмірами $0,01 \dots 0,17$ мкм. В подальшому, процес коагуляції цих частинок призводить до утворення пластинчастих конгломератів сажі із розмірами $0,2 \dots 2,0$ мкм, натомість як окремі її частинки здатні досягати розмірів до $10,0$ мкм [4].

Спектральний аналіз процесів утворення та одночасного вигорання сажі в камері згорання дизельного ДВЗ показав, що процес розширення робочого тіла, який супроводжується інтенсивним рухом газів й дифузії молекул O_2 , забезпечує надходження O_2 до частинок сажі, що створює гарні передумови для активації процесів вигорання утвореної сажі $C_{утв}$ та зменшення її вмісту ($C_{зал}$) (рис. 2.3).

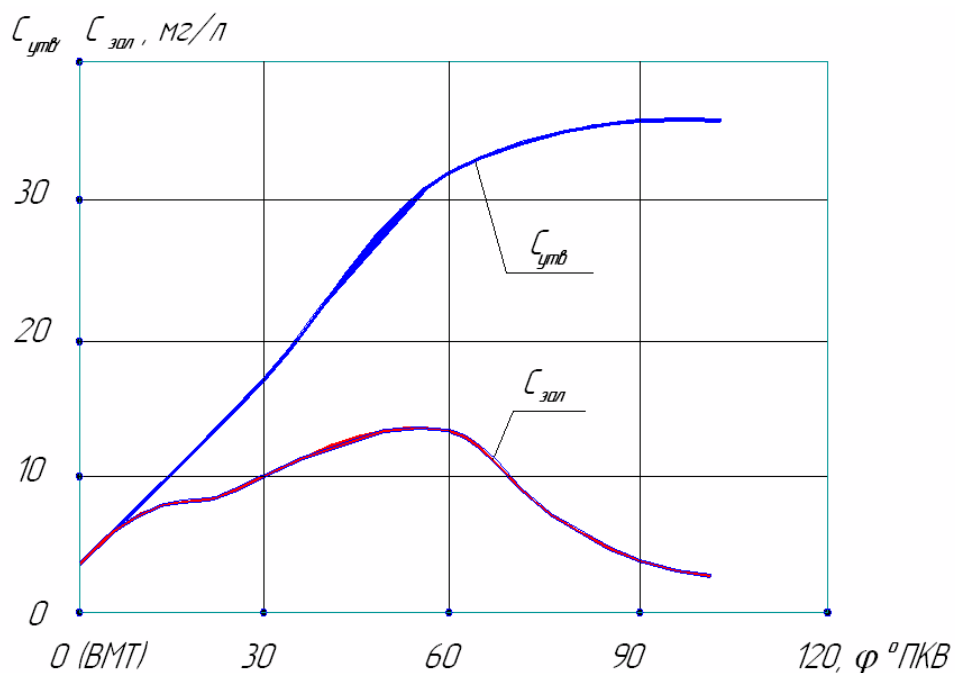


Рисунок 2.3 – Динаміка зміни вмісту сажі (C) в камері згорання дизельного ДВЗ в процесі горіння паливо-повітряної суміші

Доведено, що утворення сажі сприяє й певному збільшенню тиску в камері згорання. При цьому, турбулентне перемішування горючої суміші знижує

процеси утворення сажі, натомість як процеси її вигорання, навпаки, лише інтенсифікуються. Іншим напрямком утворення сажі в дизельних ДВЗ є формування й рух факелів палива у відносно холодних пристінкових зонах камери згорання.

Відмічається й залежність інтенсивності сажоутворення від властивостей дизельного палива – прискорення утворення сажових частинок пропорційне збільшенню молекулярної ваги C_nH_m , так як міцність зв'язків між групами вуглеводнів зменшується із збільшенням кількості атомів C . Саме тому, збільшення вмісту сажі зростає із збільшенням співвідношення C/H у паливі [4].

На рис. 2.4 наведено наближений структурний й фракційний склади різних компонентів у ВГ дизельних ДВЗ, в якому враховані як речовини твердої та й рідкої фаз (за виключенням H_2O). При цьому, всі ТЧ поділені на дві групи: 1) частинки органічного походження (утворені із палива та моторної оливи виготовлених із нафти) та 2) частинки неорганічного походження (сажа (C), сульфати (SO_2), нітрати (NO_2), метали та ін) [4].

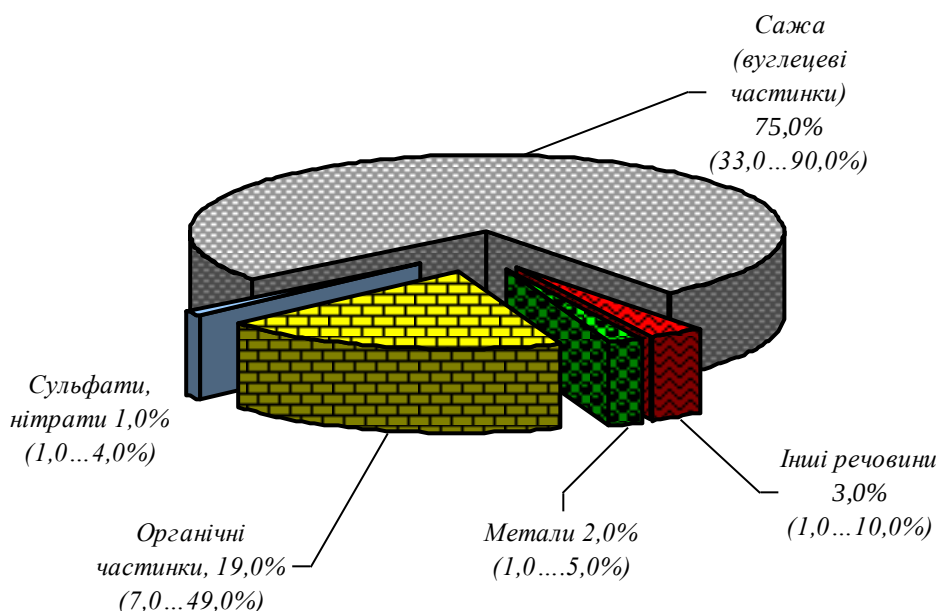


Рисунок 2.4 - Структурний й фракційний склади різних компонентів у ВГ дизельних ДВЗ

«Органічна фракція – це незгорілі частинки палива й моторної оливи, що викидаються в краплиннорідкому або у адсорбованому на частинках сажі вигляді. Фракція сульфатів та нітратів включає дві групи неорганічних з'єднань: сірчану

та азотну кислоти й їх солі. Сульфати утворюються в основному з S , яка входить до складу палива. Фракція металів та інших елементів включає неорганічні з'єднання, що утворюються з домішок та присадок до палива і моторної оливи, продуктів зносу поверхонь деталей тощо» [4].

2.2. Аналіз ефективності застосування паливних присадок для зниження токсичності дизельних ДВЗ

Для забезпечення потрібних експлуатаційних властивостей та якісних характеристик нафтових палив для ДВЗ МТЗ, технологія їх промислового виробництва передбачає використання спеціальних присадок, кількість яких варіюється й може доходити до двадцяти. Застосування присадок є одним із найбільш дефективних та мовитратних способів зменшення негативного впливу токсичних речовин, що містяться у ВГ ДВЗ автомобілів й тракторів. За принципом дії всі існуючі присадки класифікуються на дві групи. До першої відносять ті, дія яких призводить до покращення процесів згорання палива, натомість як до другої – присадки, що зменшують рівень димності ВГ [4].

Дія присадок 1-ої групи спрямована на оптимізацію процесів горіння паливо-повітряних сумішей за рахунок підвищення цетанових чисел (ЦЧ) палива, що зменшує період затримки запалення, зменшує «жорсткість» роботи дизеля й знижує вміст токсичних речовин у ВГ. Ефективність дії присадок цієї групи, в значній мірі залежить від значення ЦЧ й підвищується із його зменшенням (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 – Ефективність дії присадок, що підвищують ЦЧ дизельного палива та оптимізують процеси горіння сумішей у дизельних ДВЗ [8]

Вид присадки	Базове ОЧ палива	ЦЧ дизельного палива при додаванні присадки у кількості ..., %				
		0,5	1,0	2,0	3,0	4,0
Метил-ацетат	33	41	45	49	54	60
Ацетон-пероксид		42	46	50	58	62
Етил-нітрат		38	44	48	52	58
Бутил-пероксид		43	47	54	56	61

Експериментальні дослідження показали, що крім підвищення ЦЧ дані присадки при тривалому експлуатаційному застосуванні не здійснюють негативного впливу на деталі відповідальних пар тертя паливної апаратури

дизелів (ПНВТ та форсунок) й деталей ЦПГ двигунів, не інтенсифікують процеси їх зношення й не збільшують рівень шлакових відкладень на поверхнях деталей камери згорання [8].

Серед антидимних присадок, призначених для зменшення рівня сажоутворення дизелів, які відносяться до органічних металовмісних присадок, найбільшого поширення й ефективності дії здобули присадки на основі барію (*Ba*), метилциклопентадієнілтрикарбонілмарганцю та ін. Їх присутність у паливі жодними чином не впливає на підвищення рівня *CO* й інших ТР, натомість відмічається суттєве зниження рівня альдегідів і бензопірену [4, 8].

Димність ВГ можна зменшити й при додаванні до дизельного палива окремих метал-органічних з'єднань, наприклад *Pb*, *Cu*, *Cr* та *Ni*, в присутності яких відбувається зниження температури згорання сажі.

Відомі як присадки й сульфааміни лужноземельних металів, які збільшують якість розпилення паливних факелів й, тим самим, запобігають агломерації кристалів сажі та прискорюючи процеси їх опалювання в камері згорання ДВЗ. Дослідження іноземних науковців виявили й довели позитивний вплив навіть незначної концентрації таких присадок (до 0,01% за масою) у ДП на зменшення вмісту сажі у ВГ. Найбільша же ефективність їх роботи й максимальний рівень зниження димності фіксується при концентрації 0,02%...0,025% (за масою) [14].

В якості присадок до дизельного палива використовують, хоча й рідше, й органічні з'єднання такі як: *n*-метиланіл, динітро-пропан, етилнітрат та ін., які володіють властивостями до підвищеного окислення. Їх присутність у паливі забезпечує швидке виділення активного O_2 , при температурі стиснутого заряду у камері згорання, та позитивним чином впливає на параметри процесу згорання забезпечуючи зменшення періоду затримки самозапалення. Недоліком цих присадок є те, що за для досягнення їх ефективності на рівні ефективності металоорганічних присадок, потрібна їх більша (фактично у 4 рази) концентрація у паливі [4, 8].

Залежність зміни рівня сажоутворення дизельних ДВЗ із зміною величини індикаторного тиску (P_i) при роботі на паливах із додавання таких присадок як ЦТМ (циклопентадієнілтрикарбонілмарганцю) та А-2 (ацетон-пероксид), представлена на рис. 2.5.

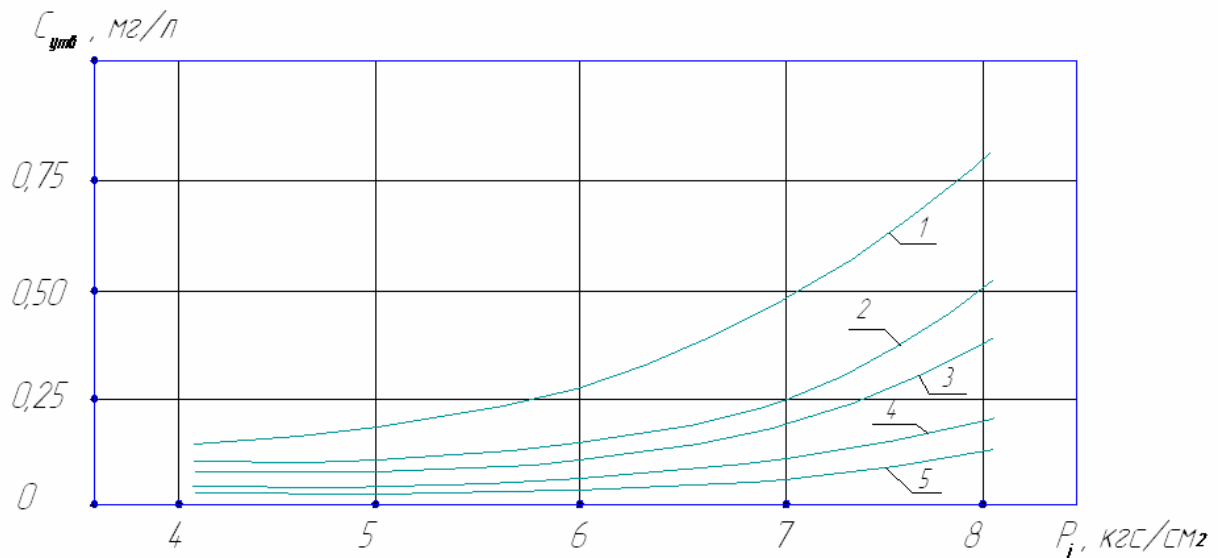


Рисунок 2.5 – Залежність зміни рівня сажоутворення дизельного ДВЗ від величини індикаторного тиску (P_i):

1 – на базовому паливі (без присадок); 2 – із присадкою ЦТМ (0,05%); 3 – із присадкою А-2 (1,0%); 4 – із присадками: А-2 (1,0%) й ЦТМ (0,05%); 5 – із присадками: А-2 (1,0%) й ЦТМ (0,05%).

Оцінюючи ефективність дії цих присадок можна констатувати, що додавання до дизельного палива присадки ЦТМ значно пришвидшує процес вигорання сажі на інтервалі від ВМТ (0^0 ПКВ) до 100^0 ПКВ після ВМТ, натомість як присадка А-2 - ефективна на останній фазі процесу догорання паливо-повітряної суміші, що відбувається одночасно із випуском ВГ. Підсумовуючи слід зазначити, що доцільним є створення так званих комплексних присадок, які б доповнювали властивості й забезпечували переваги кожної з них.

Разом з тим, більшість дослідників вважають найбільш ефективними із усіх відомих антидимних присадок для дизельних ДВЗ, присадки із вмістом барію (Ba), які дозволяють знизити рівень сажі у ВГ фактично у 3 рази й більше (рис. 2.6) на всіх їх швидкісних й навантажувальних режимах роботи [15, 16].

Дослідження зміни вмісту ТЧ, що містяться у ВГ дизелів в процесі їх руху по камері згорання до випускного клапану, виявили присутність ефекту перешкоджання утворенню агломератів сажі та, відповідно, зменшення розмірів частинок сажі з 0,025 мм до 0,0075 мм при застосуванні присадок на основі Ba . Таким чином було зроблено висновок про те, що присадки виконують функцію каталізаторів процесу згорання [16].

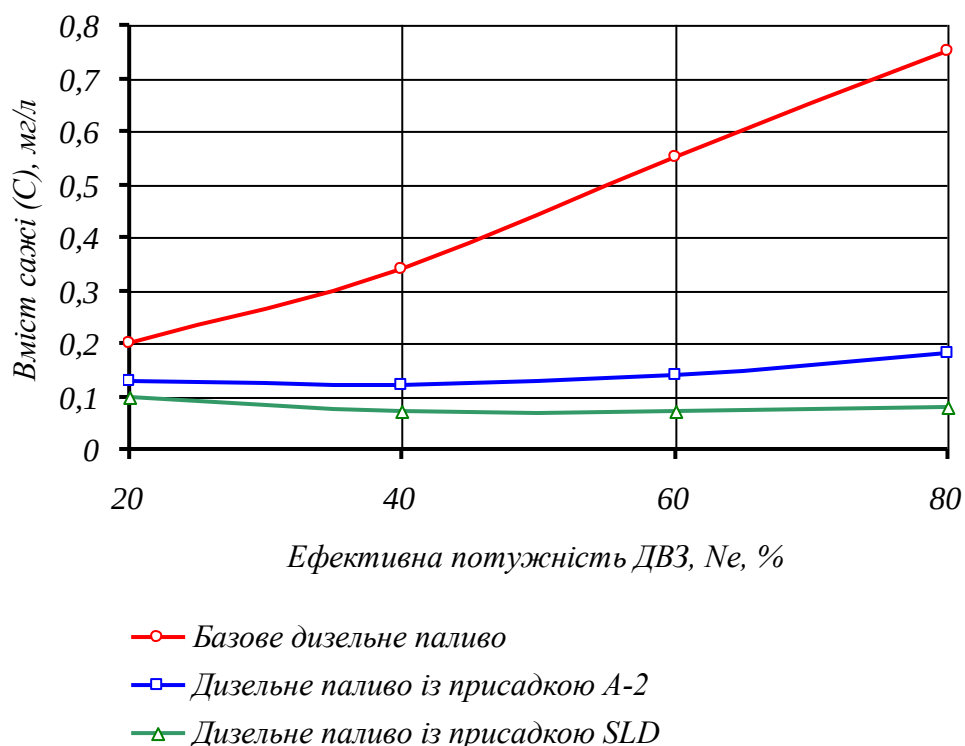


Рисунок 2.6 – Ефективності зниження вмісту сажі (C) у ВГ дизельного ДВЗ при роботі на паливах із Ba -вміщуючими присадками

Експериментальними дослідженнями фільмування процесу згорання паливо-повітряної суміші із присадками на основі Ba встановлено, що такі з'єднання «перешкоджають протіканню процесу дегідрогенізації молекул палива, який призводить до утворенню частинок вуглецю» [17]. Доведено й те, що застосування Ba -вміщуючих присадок до дизельних палив забезпечує мінімізацію шарових відкладень на стінках камери згорання й тим самим підвищує ресурсні показники прецизійних деталей (розпилювачів) форсунок, зменшує інтенсивність зношування деталей ЦПГ. При цьому, наявні мінімальні відкладення на основі C відкладення характеризуються підвищеним рівнем крихкості й при руйнування перетворюються на дрібнодисперсні частинки, які не володіють абразивними властивостями [18].

Використання протисажових присадок до палив позитивним чином впливає й на ефективність та надійність роботи таких приладів дизельних ДВЗ як каталітичні нейтралізатори та сажові фільтри, зменшуючи рівень інтенсивності їх забивання за рахунок зниження C у ВГ.

На рис. 2.7 наведені результати ефективності дії присадки SSA, щодо рівня зменшення димності ВГ дизельних ДВЗ, при зміні її концентрації у паливі.

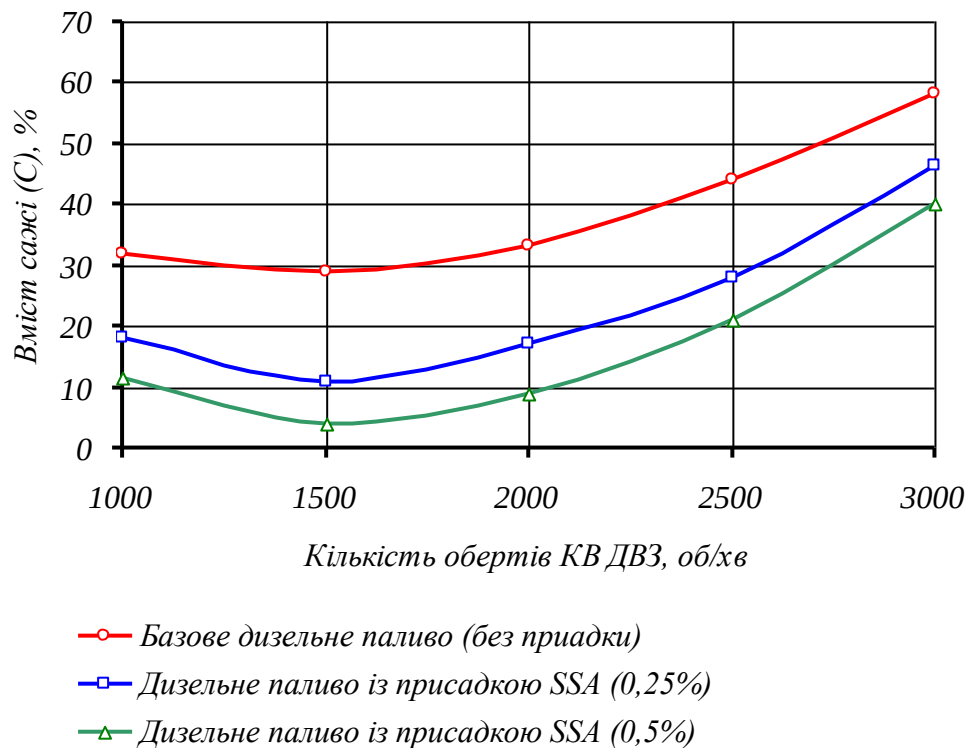


Рисунок 2.7 – Динаміка зміни рівня димності ВГ дизельного ДВЗ при роботі на різних швидкісних режимах та наявності у паливі присадки SSA із різною концентрацією

Підсумовуючи слід відзначити, що на поточний час більшість із описаних в даному розділі протисажових (протидимних) присадок для дизельних палив не використовуються й не реалізуються промисловістю у вільному продажу. Натомість є інші присадки, які призначені для цих цілей, але їх дієвість не знайшла наукового підтвердження у відкритих джерелах, що потребує проведення подальших натурних експериментів й вироблення відповідних висновків щодо ефективності та доцільності їх застосування.

Розділ 3.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОСТІ ДИЗЕЛЬНИХ ДВЗ ПРИ РОБОТІ НА ПАЛИВІ ІЗ БАЗОВИМИ ПРИСАДКАМИ

3.1. Загальна характеристика лабораторного обладнання

Рівень димності ВГ дизельних ДВЗ при оцінці ефективності дії протидимних присадок до палив, досліджувався у режимі їх вільного прискорення із визначенням значень натуральних показників коефіцієнту поглинання $K_{\text{дон}}$ при використанні сертифікованого димоміру «ІНА-109» (рис. 3.1).

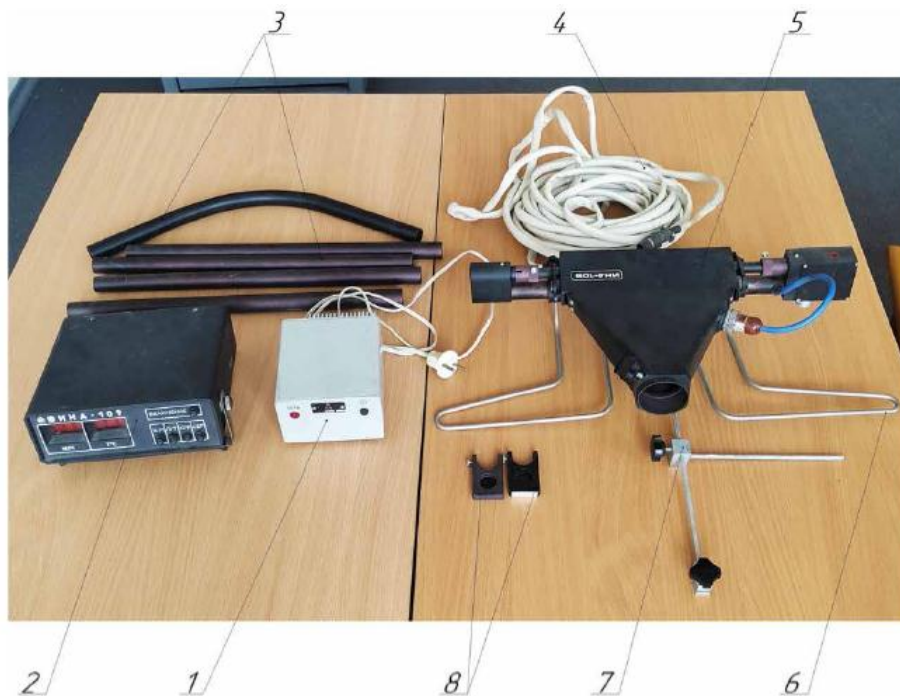


Рисунок 3.1 – Комплект приладів для вимірення рівня димності ВГ автомобільних й тракторних дизельних ДВЗ:

1 - блок живлення; 2 - димомір «ІНА-109»; 3 - монтажні трубки; 4 – з'єднувальні шнури; 5 - оптичний блок; 6 – розсувна стійка; 7 – фіксатор стійки; 8 – змінні світлофільтри.

Принцип роботи димоміру «ІНА-109» заснований на ефекті втрати потужності світлового потоку при просвічуванні ним ВГ двигуна із додатковим вимірюванням їх температури для забезпечення наступної корекції коефіцієнту поглинання ВГ із врахуванням величини фотометричної бази до нормативних значень у відповідності до діючих стандартів (величина фотометричної бази $L = 0,43 \text{ м}$, температура $T = 100^\circ \text{C}$) [12].

Даний прилад та всі інші прилади, обладнання й методи випробувань в повній мірі відповідали ДСТУ 4276:2004.

3.2. Методика виміру димності ВГ дизельних ДВЗ

Експериментальні дослідження проводились на тракторі МТЗ-82 в сервісній зоні КАТП «Агробуавтосервіс» (м. Кропивницький).

Методика заміру димності у ВГ дизеля прийнята у відповідності до вимог діючих нормативів [10]. Перед початком проведення замірів було виконано комплекс робіт із оцінки відповідності технічного стану ДВЗ та системи випуску ВГ а саме: зовнішнім оглядом встановлена комплектність вузлів і механізмів ДВЗ, відсутність візуальних несправностей елементів випускної системи та нещільностей у з'єднаннях, які зумовлюють появи витоків ВГ. Перед вимірюванням димності ДВЗ трактора був прогрітий до робочого температурного діапазону ($T = 85...95^{\circ}\text{C}$) у відповідності до рекомендацій заводу-виробника даної машини.

Наступні дії передбачали [10]:

- роз'єднання ДВЗ та трансмісії шляхом установки керуючого важеля у нейтральну позицію;
- фіксація трактора стоянковим гальмом та додатковими колісними упорами;
- відкриття капоту моторного відділення та його фіксацію;
- під'єднання приладу для вимірювання температури моторної оливи ДВЗ;
- під'єднання контрольної магістралі димоміру «ІНА-109» до випускної системи трактора;
- перевірка готовності показника димоміру до початку вимірювання;
- пуск ДВЗ та забезпечення його роботи в режимі холостого ходу;
- плавне, але швидке (не більш як за 10 с.) переведення ДВЗ з роботи в режимі холостого ходу в максимальний швидкісний режим (обмежений регулятором), шляхом активації та утримання в крайньому положенні педалі акселератора;
- визначення за показами димоміру максимальної величини коефіцієнту димності у режимі вільного прискорення за період розгону двигуна;
- повернення педалі керування паливоподачею ДВЗ у початкове положення задля забезпечення режиму мінімальної частоти обертання КВ ДВЗ із витримкою даного режиму впродовж 10 с...15 с для стабілізації швидкісного режиму й показань димоміру;

- 6-ти разове безперервне повторення циклу вільного прискорення ДВЗ для забезпечення очищення (продувки) системи випуску ВГ;
- проведення 4-ох кратного тестового циклу вільного прискорення ДВЗ до стабілізації значень коефіцієнту димності ВГ;
- зупинку роботи ДВЗ та від'єднання всіх приладів й датчиків.

Так як трактор МТЗ-82 офіційно не затверджений у відповідності до ДСТУ UN/ECE R 24 (Правилами ЄЕК ООН №24-03), то димність ВГ його дизельного ДВЗ у режимі вільного прискорення не повинна перевищувати значень, наведених у таблиці 2.2 розділу 2 [10].

3.3. Методика проведення експериментальних досліджень із визначення впливу присадок до дизельних палив на рівень токсичності ВГ ДВЗ

Для оцінки впливу проти димних присадок до дизельного палива на зміну рівня токсичності його ВГ були придбані у вільному продажу 7 присадок різних виробників (дані будуть наведені нижче). Кожну з присадок розчиняли у 10 л дизельного палива марки «Еуго» придбаного на АЗС компанії «Окко» у м. Кропивницький забезпечуючи її потрібну концентрацію у відповідності до вимог виробника кожної присадки та надаючи їй відповідний номер. Порівняння результатів ефективності дії присадок (№1-№7) виконували шляхом їх порівняння із результатами отриманими на базовому дизельному паливі (№0 - без жодних присадок) після витрати всього контрольного об'єму палива. Середня витрата палива ДВЗ трактора, під час кожного випробування фіксувалась спеціальними приладом – витратоміром палива, яким було оснащено трактор.

Основні характеристики присадок, розробники яких декларують при їх застосуванні в тому числі й зменшення рівня димності відпрацьованих газів, що були випробувані в даному дослідженні, представлені в таблиці А1 додатку А [21, 22, 23, 24, 25].

Отримані показники димності «коригувались у відповідності до графіку зміни натурального показника поглинання (K) від лінійного показника поглинання (N)» [10] (додаток Б) й таблиці із «перерахунку значень лінійного показника поглинання N у значення натурального показника поглинання K (додаток В)» [10].

Першим етапом досліджень вступало вимірювання димності ДВЗ при роботі на базовому дизельному паливі без присадок (№1). Наступний етап, який тривав 7 діб, передбачав проведення ще 7-ми досліджень (по одному на добу) роботи трактора поетапно на паливі із різними присадками (№1-№7). Результати випробувань вимірювання димності ВГ дизеля МТЗ-82 протоколювалися й піддавалися обробці. Присадки додавались до палива безпосередньо перед його заправкою у бак у відповідності до рекомендацій їх виробників.

Для забезпечення чистоти експериментів при зміні палив з присадками, проводили промивання системи паливоподачі задля її очищення від попередньо використаного палива із присадкою, яке виконували базовим дизельним паливом. Обов'язковою умовою проведення досліджень виступало визначення середньої витрати палива трактором за показаннями витратоміру палива.

3.4. Результати експериментальних досліджень екологічних та економічних показників дизельних ДВЗ при роботі на паливах із присадками

Результати експериментальних досліджень зміни екологічних (за рівнем димності) й економічних (за обсягами витрати палива) показників дизельного ДВЗ МТЗ-82 при роботі на паливах із різними присадками представлені у таблиці 3.1 та на рис. 3.2 й 3.3.

Таблиця 3.1 – Результати експериментальних досліджень зміни екологічних (за рівнем димності) й економічних (за обсягами витрати палива) показників дизельного ДВЗ МТЗ-82 при роботі на паливах із різними присадками

№ суміш і	Склад паливної суміші (паливо + присадка)	Показники димності ВГ		Витрата палива, л/100 км
		$K, \text{м}^{-1}$	$N, \%$	
№0	Базове дизельне паливо (без присадок)	8,64	0,21	16,7
№1	Дизельне паливо із « <i>MOTUL Cold Flow+ Diesel</i> »	6,37	0,14	16,2
№2	Дизельне паливо із « <i>Xenum Anti Smoke Diesel</i> »	8,50	0,20	16,6
№3	Дизельне паливо із « <i>Liqui Moly Russ - Stop</i> »	6,33	0,16	16,3
№4	Дизельне паливо із « <i>WYNN'S Eco Diesel</i> »	8,42	0,21	16,6
№5	Дизельне паливо із « <i>MEGUIN DIESEL SMOKE STOP CONCENTRATE</i> »	8,59	0,23	16,8
№6	Дизельне паливо із « <i>STP Emission - Reducer - Diesel</i> »	11,23	0,26	16,8
№7	Дизельне паливо із « <i>Bardahl BDC Anti - Pollution</i> »	7,51	0,18	16,5

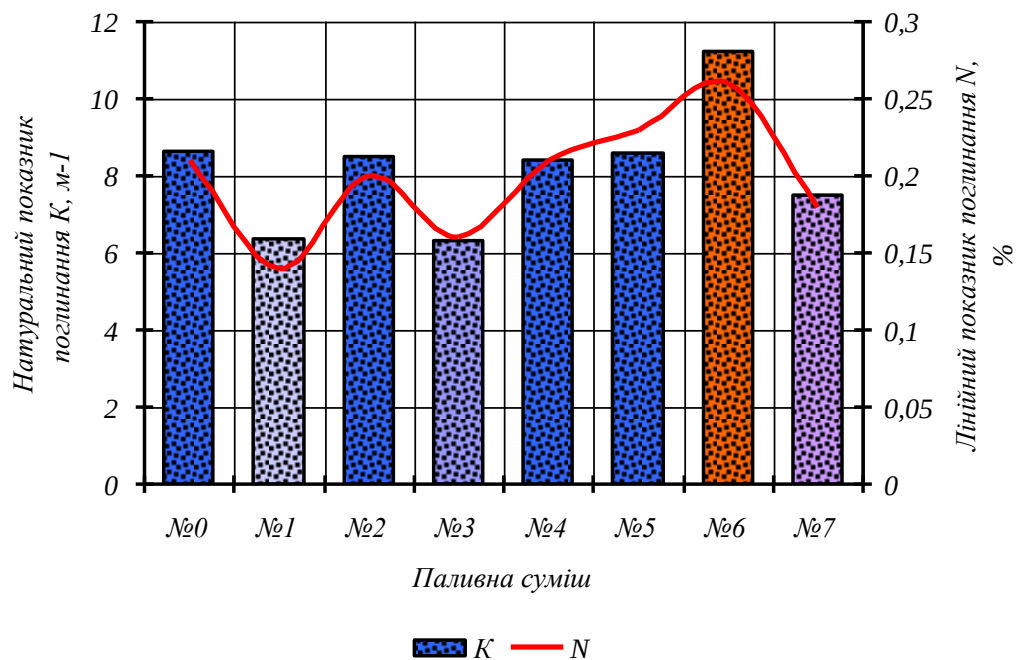


Рисунок 3.2 – Результати експериментальних досліджень зміни рівня димності ВГ дизельного ДВЗ при роботі на паливі із різними присадками

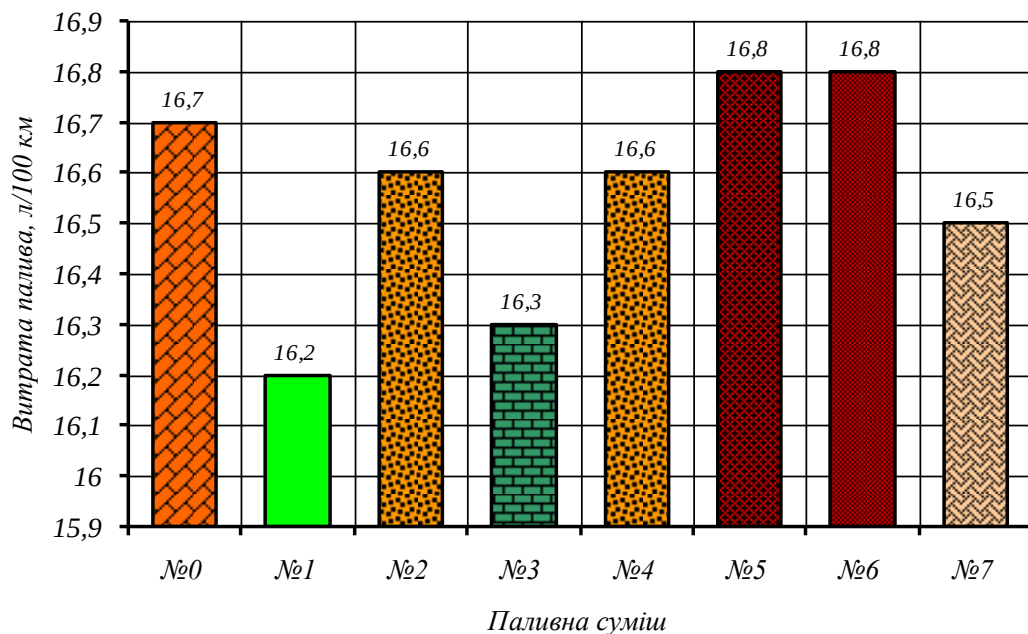


Рисунок 3.3 – Результати експериментальних досліджень зміни витрати палива дизельного ДВЗ при роботі на паливі із різними присадками

Результати досліджень свідчать (див. рис. 3.2), що використання присадок до дизельних палив в більшості позитивно впливає на зниження рівня димності їх ВГ, а отже й підвищує екологічні показники роботи ДВЗ. Так, показники димності ВГ зменшуються при використанні наступних присадок: присадки «*MOTUL Cold Flow+ Diesel*» - на 31,2%, присадки «*Xenum Anti Smoke Diesel*» - на

81%, присадки «*Liqui Moly Russ - Stop*» - на 32 %, присадки «*WYNNS Eco Diesel*» - на 9,3%, присадки «*MEGUIN DIESEL SMOKE STOP CONCENTRATE*» - на 1,6% й присадки «*Bardahl BDC Anti - Pollution*» - на 18,4%. Разом з тим, використання присадки «*STP Emission - Reducer - Diesel*» навпаки підвищує рівень димності аж на 23,2%.

Оцінюючи ефективність дії присадок на кількісні показники витрати палива (див. рис. 3.3), можна стверджувати, що на цей показник роботи ДВЗ вплив присадок до дизельних палив є неоднозначним. Так, фіксується зниження рівня витрати палива при використанні у паливі таких присадок як: «*MOTUL Cold Flow+ Diesel*» - на 11,4%, «*Xenum Anti Smoke Diesel*» - на 5,6%, «*Liqui Moly Russ - Stop*» - на 6,6% й «*Bardahl BDC Anti - Pollution*» - на 2,9%; натомість як використання у паливі присадки «*WYNNS Eco Diesel*» не змінює рівень витрати палива (у порівнянні із витратами базового дизельного палива), а паливо із присадками «*STP Emission - Reducer - Diesel*» та «*MEGUIN DIESEL SMOKE STOP CONCENTRATE*» витрачається у більших на 1,6% обсягах.

Оцінюючи наведені дані можна стверджувати, що більшість присадок не здійснюють суттєвого впливу на показники витрати палива, а отримані розбіжності до 6,6% лежать в межах похибки проведення експериментів. Отже їх використання з точки зору отримання прямого економічного ефекту (від зменшення витрат на паливо) визнано неефективним. Кращими показниками характеризується присадка «*MOTUL Cold Flow+ Diesel*», використання якої забезпечує зниження витрати палива понад 10,0% - на 11,4%, що при довготривалому застосуванні може дати прямий економічний ефект від скорочення витрат на паливо. Доцільно відмітити, що найбільш збалансованими властивостями володіє присадка «*MOTUL Cold Flow+ Diesel*», яка забезпечує як покращення показників димності, так й знижує витрату палива. Загальним недоліком всіх присадок, що були задіяні у тестах є їх високі вартісні показники у співвідношенні до ефекту, який вони надають.

Так, в даних дослідженнях не було визначено та враховано ефективність застосування цих присадок для підвищення ресурсу ДВЗ (ЦПГ, форсунок, ПНВТ

тощо) та систем нейтралізації ВГ (нейтралізаторів й сажових фільтрів). Такі дослідження є складними й довготривалими й не можуть бути виконані в контексті підготовки даної дипломної роботи.

Разом з тим, актуальним залишається задача пошуку більш дешевих й ефективних вітчизняних присадок до дизельних палив, які б дозволяли підвищувати екологічні й економічні показники роботи дизельних ДВЗ АТЗ, тракторів й комбайнів в масштабах всієї країни.

Розділ 4.

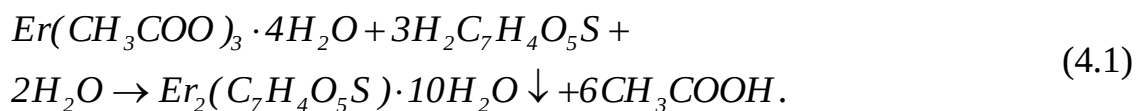
РОЗРОБКА ПРИСАДОК ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ДИМНОСТІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДИЗЕЛЬНИХ ДВЗ НА ОСНОВІ РІДКОЗЕМЕЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

4.1 Теоретичні передумови зниження токсичності й димності відпрацьованих газів дизельних ДВЗ при застосування присадок до палива

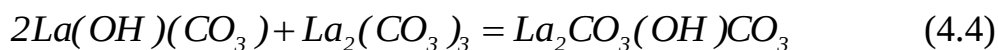
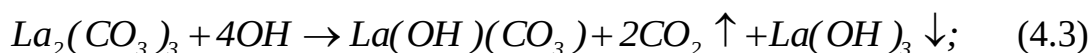
Як вже було відзначено у попередніх розділах роботи, найбільш ефективним й економічно доцільним способом зниження вмісту ТР у ВГ дизелів є застосування спеціальних проти димних присадок до дизельного палива [4, 8, 13, 15, 16, 17, 18]. Крім цього реалізація даного способу забезпечує додатковий ряд переваг до яких відносяться: відсутність змін у конструкціях ДВЗ, стабільність їх динамічних показників й паливної економічності (в окремих випадках навіть незначне покращення). Більш того, за виключенням свого прямого призначення, протидимні присадки здатні виконувати регенерацію (очищення) сажових фільтрів, забезпечуючи вигорання часточок сажі (С) навіть при низьких температурних режимах ВГ, що є характерними для малих навантажень ДВЗ. Саме тому, актуальним є створення та практичне застосування протидимних присадок на основі координаційних з'єднань рідкоземельних елементів - ербію й лантану, які володіють кращими екологічними властивостями у порівнянні з присадками органічного походження.

Подальші дослідження були спрямовані на визначення особливостей застосування двох протидимних присадок цієї групи елементів, а саме: декааква-2-сульфобензоату ербію й гідроксокарбонату лантану.

Синтез декааква-2-сульфобензоату ербію здійснювався за умови розчинення сухого ацетату ербію ($Er(CH_3COO)_3 \cdot 4H_2O$) у о-сульфобензойній кислоті:



Інша комбінована протидимна присадка є з'єднанням карбонату лантану (La_2CO_3) та гідроксокарбонату лантану ($La(OH)CO_3$) у мольному співвідношенні 1 до 2:



При термічному розкладі у камері згорання дизельного ДВЗ кожної із наведених присадок - декаква-2-сульфобензоату ербію ($Er_2(C_7H_4O_5S)_3 \cdot 10H_2O$) й гідроксокарбонату лантану ($La_2CO_3 \cdot 2La(OH)CO_3$) відмічається поява двох позитивних ефектів від їх дії на процеси випаровування й горіння крапель дизельного палива, які суттєво змінюють як ефективні, так й токсичні показники роботи дизельного ДВЗ. По-перше, це виділення додаткової кількості теплової енергії в результаті протікання екзотермічної реакції при термічному розкладі присадок у камері згорання, що суттєво прискорює процес випаровування паливних (C_nH_m) крапель й сприяє більш ефективному протіканню процесу сумішоутворення й запалення. По-друге, ефект спостерігається за рахунок їх каталітичної дії на процес згорання дизельного палива, що зумовлене наявністю рідкоземельного металу у хімічних речовинах даних присадок.

Для аналітичного опису ефектів дії запропонованих присадок на процес згорання дизельного палива у першому наближенні доцільно використати наступний вираз:

$$\zeta = \xi_0 \left[1 + k_{p1} m_p / g_c + k_{p2} (m_p / g_c)^2 + 1 / H_u \int \Delta E(m_p, T(t)) dt \right], \quad (4.5)$$

Де ξ_0 - коефіцієнт використання теплоти в камері згорання дизельного ДВЗ від згорання палива без присадки;

k_{p1}, k_{p2} - коефіцієнти регресії;

m_p / g_c - відносна концентрація за масою (m_p) дослідної присадки у цикловій подачі (g_c) одного циліндру дизельного ДВЗ;

H_u - найменша теплота згорання дизельного палива, Дж;

ΔE - енергія активації екзотермічних хімічних реакцій при термічному розкладі присадки, що досліджується, Дж;

T - температура в циліндрі дизельного ДВЗ, К;

t - час, с.

Слід відзначити, що перша частина виразу (4.5) описує ефект каталітичної дії присадок, натомість як друга – відносне значення енергії, що виділяється при протіканні екзотермічної реакції термічного розкладу присадок.

При врахуванні результатів дослідження механізму дії протидимних присадок, константи швидкостей кожної і-ої хімічної реакції при згоранні палива з дослідною присадкою декаква-2-сульфобензоату ербію можна визначити за виразом:

$$K_i = A_i \cdot 10^m e^{\left[-E - AE(m_p \cdot T(t)) \right] / RT(t)}. \quad (4.6)$$

де A_i - коефіцієнт регресії;

m - константа, що визначається видом палива;

E - енергія активації екзотермічних хімічних реакцій згорання палива за відсутності присадки, Дж;

R - газова постійна.

Тепловий розрахунок робочого процесу дизельного ДВЗ при роботі на паливі із присадкою декаква-2-сульфобензоату ербію необхідний для оцінки числових значень початкових умов системи нелінійних диференціальних рівнянь у математичній моделі індикаторного процесу в циліндрі дизеля 44 11/12,5 для порівняння основних показників циклу, що були визначені моделюванням, й для розрахунку швидкісних й навантажувальних характеристик дизельного ДВЗ.

До відомої методики теплового розрахунку Гриневецького - Колчина був доданий ряд нових регресійних залежностей: молекулярних теплоємностей (mc_p , кДж/(кмоль °С)) компонентів робочого тіла у циліндрі ДВЗ від температури газів (T_g , °С); ефективної потужності (N_e , кВт), погодинної витрати палива (G_T , кг/ч), температури ВГ, коефіцієнта використання тепла від частоти обертання КВ (n , мин⁻¹); коефіцієнта надлишку повітря й ступеня підвищення тиску від середнього ефективного тиску (p_e , МПа).

Рівняння регресійних залежностей молекулярних теплоємностей компонентів робочого тіла у циліндрі дизельного ДВЗ від температури й відповідні їм значення похибок апроксимації ($O_1 = \max(mc_p - mc_{p_2})$), отримані при порівнянні значень експериментальних (mc_p) й розрахункових (mc_{p_2}) теплоємностей, мають наступний вигляд:

- для діоксиду вуглецю (CO_2):

$$\begin{aligned} mc_p CO_2 = & 5,0825 + 0,015923T_z - 1,1092 \cdot 10^{-5} T_z^2 + \\ & + 3,623 \cdot 10^{-9} T_z^3 - 4,4331 \cdot 10^{-13} T_z^4, \\ O_1 = & 0,272248; \end{aligned} \quad (4.7)$$

- для азоту (N_2):

$$\begin{aligned} mc_p N_2 = & 6,7204 + 0,0002387T_z + 1,4853 \cdot 10^{-6} T_z^2 - \\ & - 8,0276 \cdot 10^{-10} T_z^3 + 1,1908 \cdot 10^{-13} T_z^4, \\ O_1 = & 0,10802; \end{aligned} \quad (4.8)$$

- для оксиду вуглецю (CO):

$$\begin{aligned} mc_p CO = & 6,7462 + 0,0003951T_z + 1,3595 \cdot 10^{-6} T_z^2 - \\ & - 7,5663 \cdot 10^{-10} T_z^3 + 1,1279 \cdot 10^{-13} T_z^4, \\ O_1 = & 0,0921; \end{aligned} \quad (4.9)$$

- для водню (H_2):

$$\begin{aligned} mc_p H_2 = & 6,7616 + 0,000123487T_z + 4,9205 \cdot 10^{-7} T_z^2 - \\ & - 8,3381 \cdot 10^{-10} T_z^3 + 6,6332 \cdot 10^{-15} T_z^4, \\ O_1 = & 0,099825; \end{aligned} \quad (4.10)$$

- для кисню (O_2):

$$\begin{aligned} mc_p O_2 = & 6,2638 + 0,00029725T_z - 1,1319 \cdot 10^{-6} T_z^2 + \\ & + 1,9131 \cdot 10^{-10} T_z^3 - 8,0069 \cdot 10^{-15} T_z^4, \\ O_1 = & 0,088766. \end{aligned} \quad (4.11)$$

Швидкість втрат теплової енергії у процесі тепловіддачі від газів до стінок циліндру й камери згорання можна записати у вигляді наступного виразу:

$$dQ_w / d\varphi = \alpha_i (T_z - T_{cp}) F_x(\varphi) / (3600 \cdot 6n), \quad (4.12)$$

де α_i - коефіцієнт теплообміну, Вт/(м²К);

T_{cp} - середня температура стінки циліндру з боку робочого тіла, К;

$F_x(\varphi)$ - поточна поверхня теплообміну між робочим тілом й стінкою циліндру, м²:

$$F_x(\varphi) = \frac{\pi D S_x(\varphi) \varepsilon}{(\varepsilon - 1)} + \frac{(f_k - f_p) \pi D^2}{4}. \quad (4.13)$$

D - діаметр циліндру, м;

$S_x(\varphi)$ - поточне положення (хід) поршня, м;

f_k, f_p - частки ділянок поверхонь ГБЦ та поршня, що безпосередньо піддаються охолодженню.

Для одночасного температурного поля баланс тепла визначається диференціальним рівнянням з похідними наступного виду:

$$\partial q_x \partial x = c \rho \partial T_z / \partial t, \quad (4.14)$$

$$q_x = -\lambda \partial T_z / \partial x - T_{ze} \partial q_x / \partial t, \quad (4.15)$$

де c - питома теплоємність, Дж/(кгК);

T_z - температура у локальній точці із координатою x , К;

t - час, с;

λ - коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²К);

T_{ze} - постійна часу, с.

При постійних значеннях λ й T_{ze} після об'єднання виразів (4.14) й (4.15) отримаємо:

$$T_{ze} \partial^2 T_z / \partial t^2 + \partial T_z / \partial t - a \partial^2 T_z / \partial x^2 = 0, \quad (4.16)$$

де a - температуропровідність, м²/с.

Узагальнену фізико-хімічну модель процесу результуючого утворення токсичних компонентів у циліндрі дизельного ДВЗ, що працює на паливі із протидимною присадкою декаква-2-сульфобензоату ербію, можна сформулювати на основі математичних моделей хімічної кінетики й моделей зміни температури у формі рівняння (4.16).

Ефективність використання присадок до палива при роботі дизеля 44 11/12,5 на швидкісних й навантажувальних режимах визначали за показниками коефіцієнтів виходу. Так, коефіцієнти виходу j -го токсичного компонента із ВГ дизельного ДВЗ, що працює на паливі без присадки й з i -ою присадкою, слід розраховувати за виразом:

$$K_{ij} = \frac{C_j - C_{ij}}{C_j}, \quad (4.17)$$

де C_j, C_{ij} - відповідно концентрації j -го токсичного компонента у ВГ

дизельного ДВЗ без присадки у дизельному паливі й з і-ою присадкою, ppm.

Токсичні характеристики дизельного ДВЗ представлені як залежності значень коефіцієнту виходу j -го токсичного компонента із ВГ дизельного ДВЗ від показників швидкісного й навантажувального режимів його роботи визначаються залежністю:

$$K_{ij}(n, p_e) = \frac{C_j(n, p_e) - C_{ij}(n, p_e)}{C_j(n, p_e)}, \quad (4.18)$$

де $C_j(n, p_e), C_{ij}(n, p_e)$ - відповідно концентрації j -го токсичного компонента у ВГ дизельного ДВЗ, що працює на паливі без присадки й з і-ою присадкою, ppm;

n - частота обертання КВ ДВЗ, хв.^{-1} ;

p_e - середній ефективний тиск в циліндрі дизельного ДВЗ, МПа.

4.2 Результати експериментальних досліджень ефективності дії розроблених присадок

Отримані присадки додавали до дизельного палива ц процентному співвідношенні для забезпечення їх концентрації у паливі 0,15% за масою. Результати експериментального дослідження дизельного ДВЗ 44 11/12,5, що працює на паливі з присадкою декаква-2-сульфобензоату ербію й без присадки за навантажувальною характеристикою за частоти обертання КВ $n = 1800 \text{ хв}^{-1}$, представлені на рис. 4.1 й 4.2.

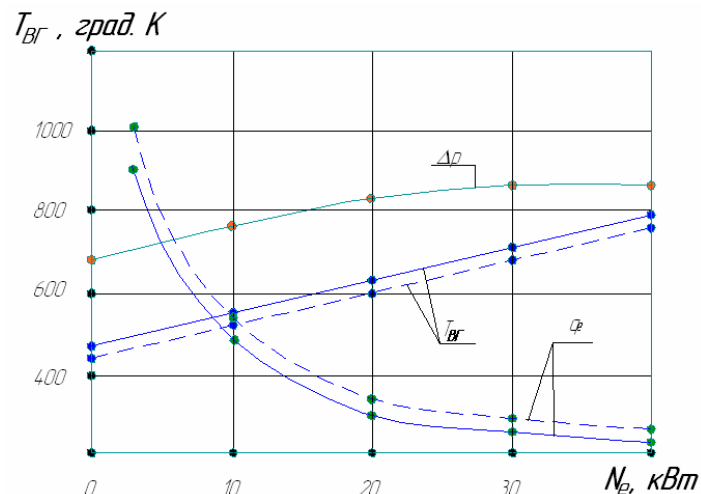


Рисунок 4.1 – Залежності зміни питомої ефективної витрати палива q_e , температури ВГ T_{BG} , перепаду тиску Δp від ефективної потужності N_e дизельного ДВЗ 44 11/12,5 при роботі із частотою обертання $n = 1800 \text{ хв}^{-1}$.

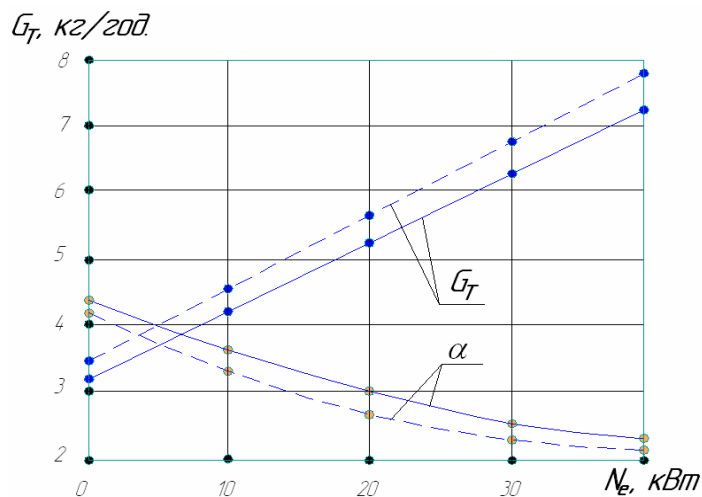
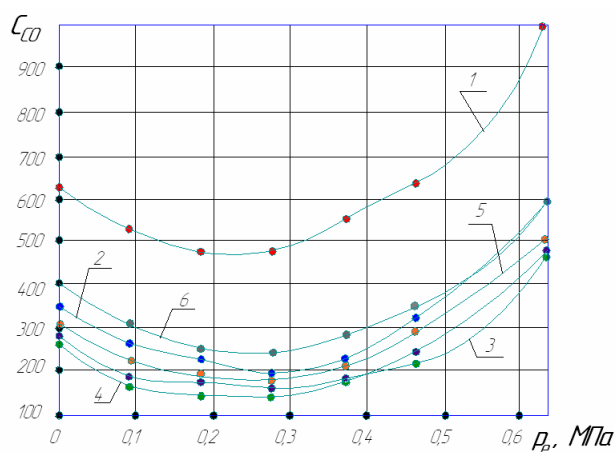


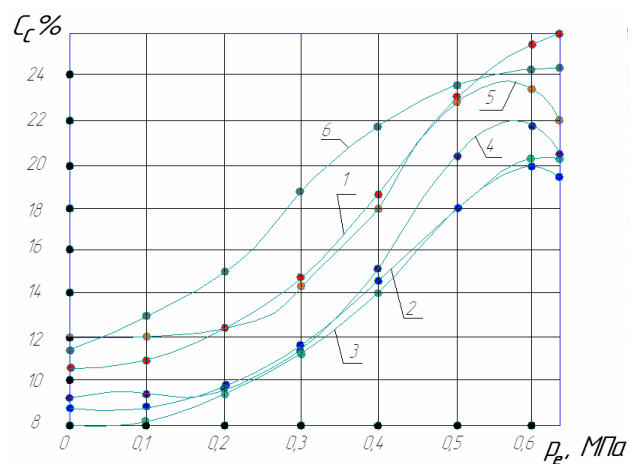
Рисунок 4.2 – Залежності зміни погодинної витрати палива G_T , коефіцієнта надлишку повітря α від ефективної потужності N_e дизеля 44 11/12,5 дизельного ДВЗ 44 11/12,5 при роботі із частотою обертання $n = 1800 \text{ хв}^{-1}$.

Дослідженнями встановлено, що при потужності $N_e = 34 \text{ кВт}$ температура ВГ T_{BG} збільшується при роботі дизельного ДВЗ на паливі з присадкою декаква-2-сульфобензоату ербію до 745 K , натомість як без присадки – лише до 727 K , коефіцієнт надлишку повітря α - відповідно до 2,27 й 2,45. Дослідження на даному режимі також показали, що погодинна витрат палива G_T з присадкою декаква-2-сульфобензоату ербію складає $6,57 \text{ кг/год}$, натомість як без присадки - $7,1 \text{ кг/год}$; мінімальна питома ефективна витрата палива – відповідно $238,2$ й $258,4 \text{ г/(кВт-год)}$. Таким чином, паливна економічність дизельного ДВЗ, що працює на паливі з присадкою декаква-2-сульфобензоату ербію, покращилася на $8,1\%$.

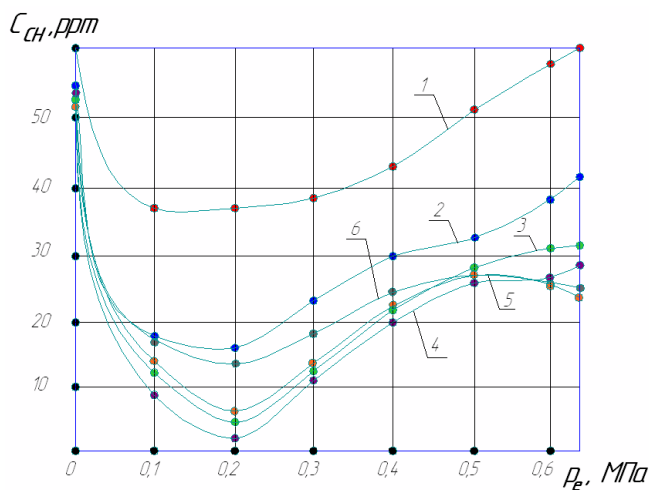
Токсичні характеристики дизельного ДВЗ 44 11/12,5 досліджували при його роботі із частотою обертання $\text{КВ } n = 1000 \dots 2200 \text{ хв}^{-1}$ й ефективним тиском $p_e = 0,0 \dots 0,63 \text{ МПа}$.



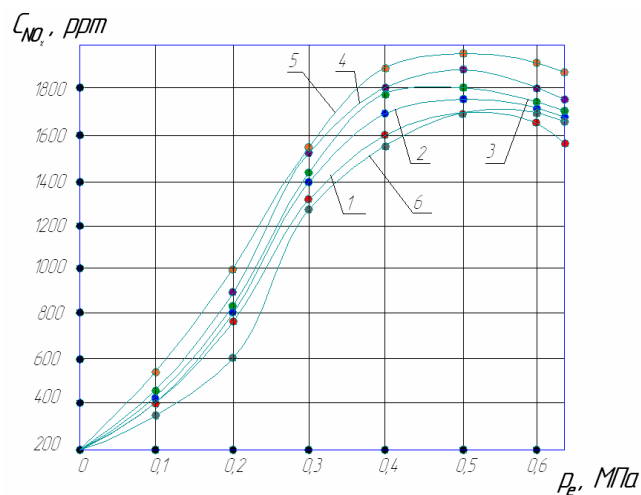
а)



б)



в)



г)

Рисунок 4.3 - Експериментальні залежності зміни концентрацій:

а - оксиду вуглецю (C_{CO}); б - сажі (C_C); в - вуглеводнів (C_{CH}); г - оксидів азоту (C_{NO_x}) у ВГ дизельного ДВЗ 44 11/12,5, що працює на паливі з присадкою декааква-2-сульфобензоату ербію, від зміни середнього ефективного тиску p_e при заданих значеннях частоти обертання КВ:

1 - $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$; 2 - $n = 1400 \text{ хв}^{-1}$; 3 - $n = 1600 \text{ хв}^{-1}$; 4 - $n = 1800 \text{ хв}^{-1}$;

5 - $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$; 6 - $n = 2200 \text{ хв}^{-1}$.

Дані рисунка 4.3 а свідчать, що із збільшенням середнього ефективного тиску p_e концентрації оксиду вуглецю (C_{CO}) спочатку зменшуються від $C_{CO} = 290...630 \text{ ppm}$ до $C_{CO} = 144...475 \text{ ppm}$ (при $p_e = 0,24 \text{ МПа}$), а потім – збільшуються до $C_{CO} = 472...989 \text{ ppm}$ (при $p_e = 0,63 \text{ МПа}$).

Концентрації сажі (C_C) на рис. 4.3 б на початку збільшуються від $C_C = 6,3...11,3\%$ до $C_C = 9,0...16,0\%$ (при $p_e = 0,24 \text{ МПа}$), а потім зменшуються від $C_C = 19,0...26,0\%$ при $p_e = 0,63 \text{ МПа}$.

Криві зміни концентрацій вуглеводнів (див. рис. 4.3 в) мають форму увігнутих парабол, які спочатку різко знижуються від $C_{CH} = 47,5...59,0 \text{ ppm}$ до $C_{CH} = 4,0...36,0 \text{ ppm}$ при $p_e = 0,16...0,19 \text{ МПа}$, потім збільшуються до $C_{CH} = 25,0...60,0 \text{ ppm}$ при $p_e = 0,63 \text{ МПа}$.

Концентрації оксидів азоту (C_{NO_x}) (див. рис. 4.3 г) на початку збільшуються від $C_{NO_x} = 198...227 \text{ ppm}$ до $C_{NO_x} = 370...494 \text{ ppm}$ (при $p_e = 0,15 \text{ МПа}$), натомість потім спостерігається стрімке зростання концентрацій до $C_{NO_x} = 1276...1420 \text{ ppm}$ (при $p_e = 0,47...0,51 \text{ МПа}$).

Залежності коефіцієнтів вмісту сажі й оксиду вуглецю у ВГ дизельного ДВЗ, що працює на паливі з присадкою декаква-2-сульфобензоату ербію, представлені на рис. 4.4 а, б.

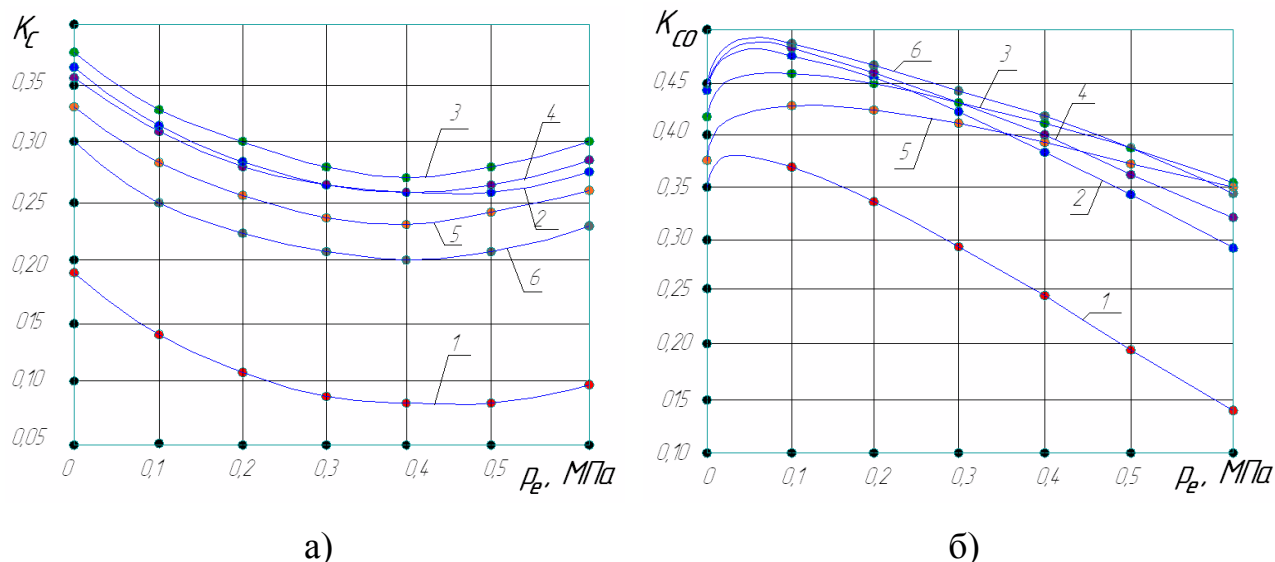


Рисунок 4.4 – Розрахункові залежності коефіцієнтів появи:

а - сажі (K_C); б - оксиду вуглецю (K_{CO}) у ВГ дизельного ДВЗ 44 11/12,5, що працює на паливі з присадкою декаква-2-сульфобензоату ербію, від зміни середнього ефективного тиску p_e при заданих значеннях частоти обертання КВ:

1 - $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$; 2 - $n = 1400 \text{ хв}^{-1}$; 3 - $n = 1600 \text{ хв}^{-1}$; 4 - $n = 1800 \text{ хв}^{-1}$;
5 - $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$; 6 - $n = 2200 \text{ хв}^{-1}$

Оцінюючи отримані результати (див. рис. 4.4 а) можна відзначити, що значення коефіцієнту появи сажі (K_C) на початку знижуються від $K_C = 0,19...0,38$ до мінімальних значень $K_C = 0,08...0,28$ при $p_e = 0,4 \text{ МПа}$, натомість як потім збільшуються до $K_C = 0,1...0,3$ при $p_e = 0,63 \text{ МПа}$. Величини коефіцієнту появи оксиду вуглецю (K_{CO}) (див. рис. 4.4 б) на початку збільшуються від $K_{CO} = 0,35...0,50$ до максимальних значень при навантаженні $p_e = 0,04...0,05 \text{ МПа}$, а потім знижуються майже прямолінійно до $K_{CO} = 0,13...0,35$ при $p_e = 0,63 \text{ МПа}$.

Наступний етап досліджень передбачав проведення порівняльної оцінки результатів аналізу термічного розкладу речовин досліджуваних присадок (рис. 4.5), процесів тепловиділення (рис. 4.6 й рис. 4.7) й утворення сажі при згоранні (рис. 4.8) в циліндрі ДВЗ дизельного палива із дослідною присадкою декаква-2-сульфобензоату ербію на основі рідкоземельних елементів. Також був проведений

порівняльний аналіз концентрацій токсичних речовин й сажі у ВГ дизельного ДВЗ, що працює на паливі без присадок й із проти димними присадками; коефіцієнтів появи токсичних компонентів у ВГ дизельного ДВЗ при його роботі на паливі з кожною проти димною присадкою: декаква-2-сульфобензоат ербію й гідроксокарбонатом лантану.

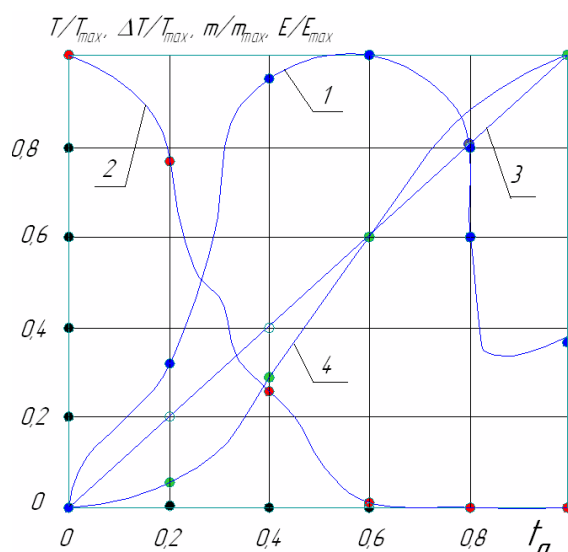


Рисунок 4.5 - Результати термічного розкладу присадки декаква-2-сульфобензоат ербію:

1 - різниця відносних значень температур $\Delta T / T_{max}$ речовини присадки й температури її навколишнього середовища; 2 – відносне значення маси m / m_0 присадки у дизельному паливі; 3 – відносне значення температури T / T_{max} нагріву присадки; 4 - інтегральна характеристика відносної теплової енергії хімічної реакції E / E_{max} ; t / t_0 - відносне значення часу.

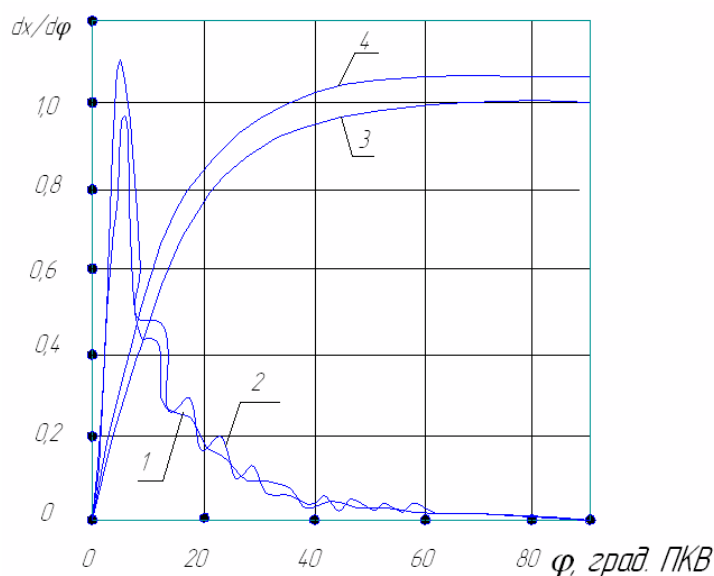


Рисунок 4.6 – Залежність зміни модельованих нормованих характеристик тепловиділення $x(3,4)$ й швидкості тепловиділення $dx / d\varphi$ (1,2) в циліндрі дизельного ДВЗ 4411/12,5 від кута ПКВ φ :

1,3 - без присадки у паливі; 2,4 - із присадкою у паливі декаква-2-сульфобензоату ербію

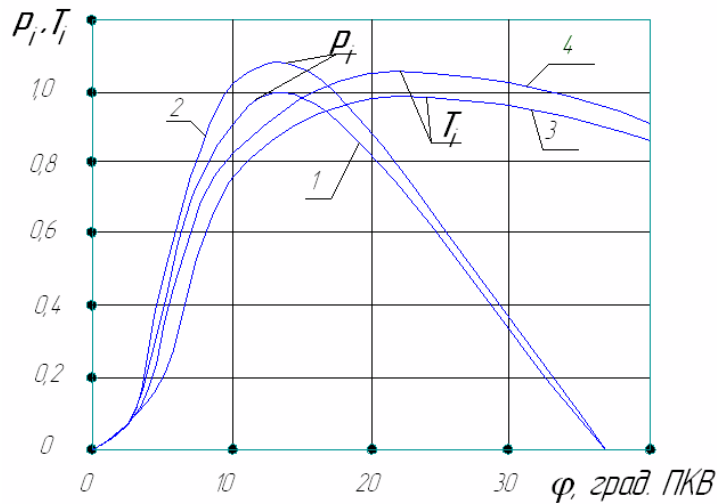


Рисунок 4.7 – Залежності зміни нормованого тиску робочого тіла p_i й нормованої індикаторної температури T_i від кута ПКВ у першому циліндрі дизельного ДВЗ 44 11/12,5 (експериментальні індикаторні діаграми):
1, 3 - паливо без присадки; 2, 4 - паливо із присадкою декаква-2-сульфобензоату ербію

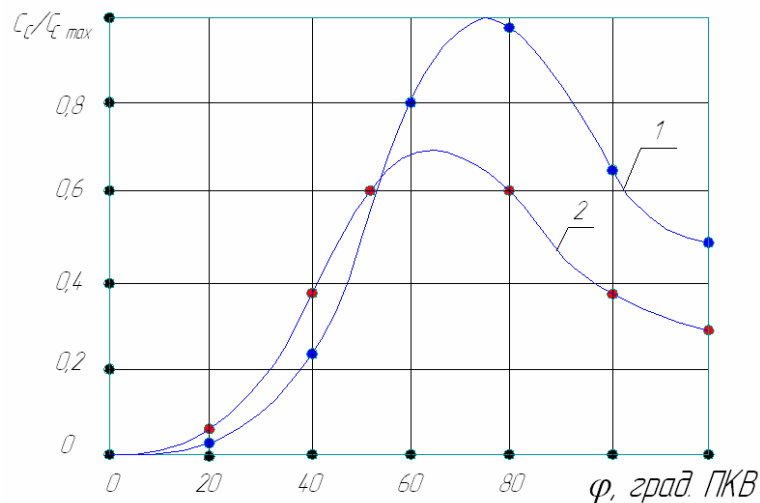


Рисунок 4.8 – Залежність зміни модельованих відносних значень концентрації сажі у циліндрі дизельного ДВЗ 4Ч 11/12,5 від кута ПКВ при його роботі на номінальному режимі:
1 - без присадки, 2- із присадкою декаква-2-сульфобензоату ербію

Аналіз графічних залежностей представлених на рис. 4.5 свідчить, що при термічному розкладі присадки декаква-2-сульфобензоату ербію у початковий часовий момент відмічається найбільша швидкість виділення теплової енергії при протіканні екзотермічної хімічної реакції розкладу, надалі до моменту часу $t/t_0 = 0,1$ вона сповільнюється. При відносному значенні часу $t/t_0 = 0,20 \dots 0,36$ швидкість виділення теплової енергії підвищується, маса присадки складає 0,41, відносне значення температури нагріву T/T_{max} змінюється від 0,2 до 0,35. Надалі, швидкість збільшення росту теплової енергії істотно сповільнюється й на момент

часу $t/t_0 = 0,53$ маса присадки становить лише $m/m_0 = 0,9$, $\Delta T/T_{max}$ досягає максимуму при $T/T_{max} = 0,53$. Подальше підвищення температури у часовому інтервалі $t/t_0 = 0,78 \dots 0,83$ швидкість зростання теплової енергії істотно знижується, що пояснюється незначною кількістю маси m/m_0 присадки, що залишилася, при її розкладенні.

Результати математичного моделювання процесів згорання у циліндрі дизельного ДВЗ показали достатньо високу точність розробленої математичної моделі процесів утворення сажі в циліндрі дизельного ДВЗ 44 11/12,5, що працює на паливі з присадкою декаква-2-сульфобензоату ербію (див. рис. 4.6). Точність проведеного математичного моделювання оцінювали за допомогою показника середнього квадратичного відхилення даних розрахунку й експерименту. Вона склала 95,0...97,0% й забезпечується моделями у формі диференціальних рівнянь із звичайними похідними (4-6-го порядку для процесів згорання).

Додавання присадки декаква-2-сульфобензоату ербію у дизельне паливо збільшує максимальне нормоване значення тепловиділення на 8,0%.

Наявність присадки декаква-2-сульфобензоат ербію у дизельному паливі підвищує індикаторний тиск в середньому на 9,1% (див. рис. 4.7), що пояснюється каталітичним ефектом дії присадки на процес згорання й інтенсифікації та збільшення швидкості згорання палива. Перевищення швидкості зростання індикаторної температур на 8,5% на ділянці згорання у циліндрі дизельного ДВЗ пояснюється збільшенням кількості теплової енергії, яка трансформується у корисну роботу при каталітичній дії присадки.

Результати визначення вмісту сажі у циліндрі дизельного ДВЗ 44 11/12,5 за розробленими математичними моделями наведені на рис. 4.8. Максимальне значення концентрації сажі у циліндрі ДВЗ, що працює на паливі без присадки, спостерігається при куті ПКВ $\varphi = 77^\circ$, натомість із присадкою декаква-2-сульфобензоату ербію - при $\varphi = 67^\circ$.

Результати порівняльного аналізу концентрацій ТК сажі у ВГ дизельного ДВЗ при його роботі на паливі без присадок й із протидимними присадками представлені на рис. 4.9.

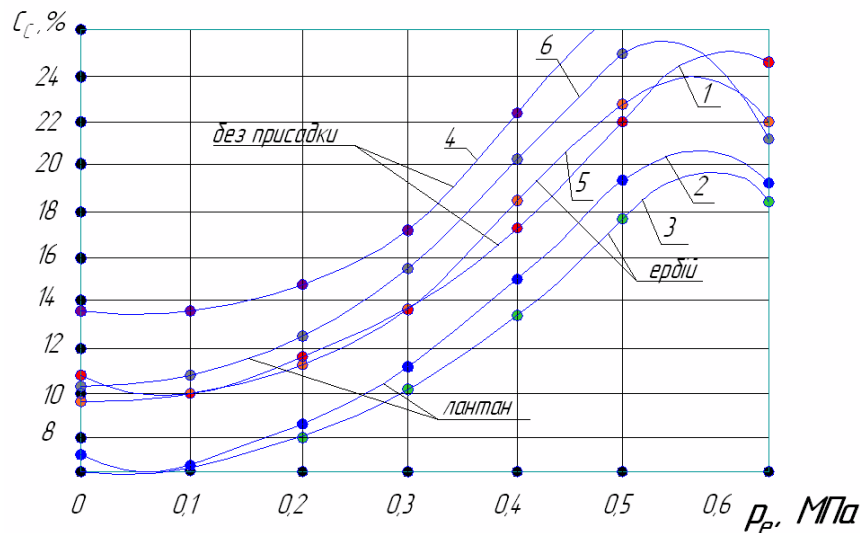


Рисунок 4.9 - Експериментальні залежності зміни концентрації сажі у ВГ дизельного ДВЗ 44 11/12,5, що працює на паливі без присадки, із присадками гідроксокарбонату лантану й декаква-2-сульфобензоату ербію, від зміни середнього ефективного тиску p_e , при заданих значеннях частоти обертання КВ:

$$1, 2, 3 - n = 1600 \text{ хв}^{-1}; 4, 5, 6 - n = 2000 \text{ хв}^{-1}$$

Аналіз наведених графічних залежностей (див. рис. 4.9) дає підстави стверджувати, що присадка декаква-2-сульфобензоату ербію є більш ефективною за присадку гідроксокарбонату лантану. Її присутність у паливі знижує вміст сажі у ВГ дизельного ДВЗ при частоті обертання $n = 1600 \text{ хв}^{-1}$ в середньому на 14,2%, а при $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ - на 10,4%.

Порівняльний аналіз коефіцієнтів появи оксиду вуглецю (CO) й сажі (C) при додаванні до палива кожної з присадок декаква-2-сульфобензоату ербію й гідроксокарбонату лантану показав, що значення коефіцієнта появи оксиду вуглецю із ВГ дизельного ДВЗ при його роботі на паливі із присадкою декаква-2-сульфобензоату ербію на швидкісному режимі $n = 2200 \text{ хв}^{-1}$ при всіх навантаженнях у 2,3...2,4 рази є вищою ніж при використанні присадки гідроксокарбонату лантану. Коефіцієнт утворення сажі при додаванні до палива присадки на основі ербію у 1,3 рази є вищим ніж при наявності присадки на основі лантану.

Порівняння дії присадок на зниження концентрації сажі й оксиду вуглецю у ВГ дизельного ДВЗ було встановлено, що присадка декаква-2-сульфобензоату ербію є більш ефективною, ніж гідроксокарбонату лантану.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

В магістерській роботі проведені дослідження найбільш ефективних напрямків підвищення екологічності та зниження рівня токсичності й димності відпрацьованих газів дизельних ДВЗ в експлуатаційних умовах.

Для цього у розділі роботи «Визначення пріоритетних напрямків досліджень» були визначена виробнича характеристика підприємства та проаналізовано специфіку організації виробничої діяльності підприємства КАТП «Агробудавтосервіс» (м. Кропивницький). Виконаний «SWOT-аналіз» ефективних показників його діяльності дозволив критично оцінити як існуючий рівень виробництва й якісні показники його виконання, так й визначити перспективні напрямки розширення спектру послуг підприємства, яке спеціалізується на експлуатації, сервісі та ремонті засобів транспорту й с.-г. машин. Найбільш потенційно перспективним було визнано проведення наукових досліджень, що дозволить підприємству підвищити власні рейтинги в регіоні, впровадити новітні технології та залучити нових клієнтів. Одним із найбільш актуальних запитів сьогодення є покращення екологічних показників дизелів АТЗ й тракторів при застосуванні присадок до палива, що забезпечують ефективне зниження шкідливих викидів в експлуатаційних умовах.

У другому розділі роботи «Оцінка екологічних показників дизельних ДВЗ при застосуванні існуючих присадок до палив» було виконано оцінку рівня токсичності відпрацьованих газів дизельних ДВЗ, яка показала, що в більшій мірі рівень токсичності дизелів визначається вмістом твердих частинок, в більшості сажі, що підвищує рівень димності на більшості експлуатаційних режимів їх роботи. Доведено, що найбільш ефективним заходом із зниження вмісту твердих часток є застосування спеціальних присадок до моторних палив, які покращують процеси згорання паливо-повітряних сумішей й знижують рівень димності та концентрацію канцерогенних елементів у відпрацьованих газах. Крім цього, використання протисажових присадок до палив позитивним чином впливає й на ефективність та надійність нейтралізаторів й сажових фільтрів ДВЗ, зменшуючи рівень інтенсивності їх забивання за рахунок зниження вуглецю у відпрацьованих газах.

Аналіз існуючих присадок до дизельного палива показав, що вони знижують

димність відпрацьованих газів на 30...50%, вміст оксиду вуглецю й вуглеводнів - на 10...30%, натомість містять органічні компоненти, які при згоранні додатково утворюють шкідливі речовини. Проведений аналіз опублікованих досліджень з цієї проблематики дозволив встановити, що серед усіх розроблених протидимних присадок, призначених для зменшення рівня сажоутворення дизелів, найбільшу ефективність дії мають присадки на основі барію, які відносяться до групи органічних металовмісних присадок. Їх присутність у паливі жодними чином не впливає на підвищення рівня CO й інших токсичних речовин, натомість відмічається суттєве зниження рівня альдегідів і бензопірену. Разом з тим, на даний час ці присадки не використовуються.

У третьому розділі «Експериментальні дослідження екологічності дизельних ДВЗ при роботі на паливі з базовими присадками» був виконаний лабораторний аналіз 7-ми присадок до дизельного палива, придбаних у торгівельній мережі, в характеристиках яких (визначених їх виробниками) задекларовано зменшення рівня токсичності й димності відпрацьованих газів ДВЗ. Дослідження проводили на тракторі МТЗ-82 за стандартною методикам ДСТУ 4276:2004 у режимі вільного прискорення дизельного ДВЗ із використанням діагностичного приладу - димоміру «ІНА-109». Результати досліджень свідчать, що використання присадок до дизельних палив в більшості позитивно впливає на зниження рівня димності їх відпрацьованих газів, а отже й підвищує екологічні показники роботи ДВЗ – зафіксовано, що димність відпрацьованих газів у порівнянні із роботою на звичайному паливі (без присадок) знижується на 8...32%. Натомість доведено, що більшість присадок не здійснюють жодного суттєвого впливу на економічність роботи двигуна, а отримані розбіжності до 6,6% лежать в межах похибки проведення експериментів, що робить неефективним використання присадок з точки зору зменшення експлуатаційних витрат на паливо.

В четвертому розділі «Розробка присадок для зменшення димності відпрацьованих газів дизельних ДВЗ на основі рідкоземельних елементів» було запропоновано використання більш екологічно безпечних протидимних присадок на основі координаційних з'єднань рідкоземельних елементів.

Були розроблені нові протидимні присадки до дизельного палива, які не містять органічних компонентів – на основі декаква-2-сульфобензоату ербію й гідроксокарбонату лантану. Виконано моделювання динаміки тепловиділення й сажоутворення у циліндрі дизельного ДВЗ, яке показало, що динаміка процесів задовільно описується запропонованими математичними моделями у формі системи диференціальних рівнянь.

Оцінка розроблених математичних моделей виявила їх достатню точність для практичного застосування, а отриманий математичний вираз для розрахунку коефіцієнта використання теплоти, який враховує позитивні ефекти від дії присадок на процеси випаровування й згорання крапель дизельного палива у камері згорання ДВЗ - виділення додаткового об'єму теплової енергії від екзотермічної реакції за термічного розпаду присадок й дії присадок в якості каталізаторів.

Стендовими й експлуатаційними дослідженнями підтверджена ефективність використання розроблених присадок на основі рідкоземельних елементів: вміст у відпрацьованих газах дизельного ДВЗ оксиду вуглецю й вуглеводнів знизився в середньому на 15...30%, а димність зменшилася на 30...45%. При експлуатаційних випробуваннях трактора МТЗ-82 димність відпрацьованих газів на режимі вільного прискорення й при використанні присадки гідроксокарбонату лантану усереднено склала 45%, декаква-2-сульфобензоату ербію - 40%, що відповідно у 1,3 й 1,5 рази є меншим за встановлені норми. При додаванні до палива присадки на основі ербію паливна економічність дизельного ДВЗ 44 11/12,5 усереднено покращилася на 6,5%, а із присадкою на основі лантану - на 5,7%.

Значення коефіцієнта появи сажі у відпрацьованих газах під час роботи на паливі з присадкою декаква-2-сульфобензоату ербію у 1,3 рази є вищим, ніж при роботі на паливі із присадкою гідроксокарбонату лантану. Однак, остання також рекомендується до використання внаслідок більш простої технології приготування в умовах агропідприємств.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Реєстр підприємств України. URL: ПРАТ "КАТП "АГРОБУДАВТОСЕРВІС" 05387653
https://youcontrol.com.ua/catalog/company_details/05387653/
2. ПРАТ «КАТП «АГРОБУДАВТОСЕРВІС»». URL:
<https://opendatabot.ua/c/05387653>
3. Н.А. Кашталян. Звіт з переддипломної практики «Зниження шкідливих викидів тракторних дизелів застосуванням присадок до палив у КАТП «Агробудавтосервіс» м. Кропивницький». – Кропивницький, ЦНТУ, кафедра ЕРМ, 2024. – 16 с.
4. Марченко А.П. Двигуни внутрішнього згоряння. Екологізація ДВЗ / За редакцією проф. А.П. Марченка. – Х.: Видавничий центр НТУ «ХП», 2014. – 348 с.
5. Саловський В.С. Трактори та автомобілі. Лабораторний практикум з паливної апаратури дизелів. [Текст]: навчально-методичний посібник / Садовський В.С., Кропівний В.М., Магопець С.О., Кулешков Ю.В., Саловська Л.В. Кіровоград : КНТУ, 2004. 148 с.
6. Пропозиція - Головний журнал з питань агробізнесу. Засоби зниження токсичності автомобільних й тракторних двигунів
<https://propozitsiya.com/ua/zasobi-znizhennya-toksichnosti-avtomobilnih-traktornih-dviguniv>
7. Ф.І. Абрамчук та ін. Автомобільні двигуни. Підручник. – К.: В-во «Арістей», 2009. 476 с.
8. В.Я. Чабанний Паливо-мастильні матеріали та засоби їх забезпечення : Навчальний посібник / В.Я. Чабанний, С.О. Магопець, В.В. Аулін та ін. Кіровоград, Центрально-Українське видавництво, 2008. (у 2-х кн.): Кн. 1. 353 с.
9. В.Я. Чабанний Паливо-мастильні матеріали та засоби їх забезпечення : Навчальний посібник / В.Я. Чабанний, С.О. Магопець, В.В. Аулін та ін. Кіровоград, Центрально-Українське видавництво, 2008. (у 2-х кн.): Кн. 2. 500 с.
10. Атмосфера. Норми і методи вимірювання димності відпрацьованих газів автомобілів з дизелями або газодизелями: ДСТУ 4276:2004. – [Чинний від 2004-01-31]. – К.: Держспоживстандарт України, 2004. – 14 с. – (Національний стандарт України).
11. Приміський В. Стандарти і засоби вимірювання димності відпрацьованих газів дизельних двигунів / В. Приміський // Стандартизація сертифікація якості, №3. – 2014. – 17-21.
12. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Вимірювання димності відпрацьованих газів автомобілів з дизельними двигунами». Укладачі: В.А. Сиволапов, А.В. Новицький, З.В. Ружило, О.О. Банний та ін. – Київ: НУБІП, 2023. – 16 с.
13. Гутаревич Ю.Ф. Екологія автомобільного транспорту / Ю.Ф. Гутаревич, Д.В. Зеркалов, А.Г. Говорун, А.О. Корпач, Л.П. Мержієвська. – К.: Основа, 2002. – 312 с.
14. Khan I. Coagulation and Soot Particle Diesel Engines // Combustion and Flame. Vol 17. 1992. – P. 409-419.

15. Glover J. The fuel additive approach to words the alleviation of the nuisance of diesel smoke. Journal of the JNST. Vol/ 52/ - 1976. – P. 121-135.
16. Daniel W. Engine Variable Effects on Exhausts Hydrocarbon Composition. SAE. Preprints № 670124.
17. Golgotha D. Diesel engine exhaust smoke; the influence of fuel properties and the effects of using of barium containing fuel additive. SAE. Preprints № 670002.
18. Rhan I. Formation and Combustion of Carbon in Diesel Engine. Lucas Engineering Reviev. Vol. 5. – P. 42-47.
19. Cold Flow + Diesel. [Електронний ресурс]: <https://www.motul.com/ru/ru/products/cold-flow-diesel>.
20. Протидимна присадка для покращення згорання дизеля XENUM DIESEL ANTI-SMOKE (3048300). [Електронний ресурс]: <https://www.xenum.ua/ru/additives/fuel/diesel/diesel-anti-smoke/>.
21. Liqui Moly Diesel Russ-Stop. [Електронний ресурс]: https://liquimoly.com.ua/index.php?route=product/product&path=57&product_id=370&gclid=EAIaIQobChMI6KP2s83R7AIVmqSyCh2jDgUREAAYASAAEgKsGfD_BwE.
22. Eco Diesel WYNNS – 62195 [Електронний ресурс]: https://teman.com.ua/buy/wynns_62195.
23. MEGUIN DIESEL SMOKE STOP CONCENTRATE 250МЛ. [Електронний ресурс]: http://meguin.com.ua/index.php?route=product/product&product_id=642.
24. STP mission-reducer-diesel. [Електронний ресурс]: <https://vse.ua/md/wynns-diesel-emission-reducer-diesel-power-3-500-ml-w50393-2385095/>.
25. Bardahl BDC Anti-Pollution. [Електронний ресурс]: <https://drossel.ua/content/22555-bardahl-bdc-anti-pollution-1072-1200-prisadka>.
26. Методичні вказівки для виконання випускної дипломної роботи : для здобувач. другого (магістерського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою «Технічний сервіс сільськогосподарської техніки» / [уклад. : О.В. Бевз, С.О. Магопечь, І.В. Шепеленко та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральнoукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – 39 с. <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/14613>.