


Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

*Нерешітний доповідний ідентифікаційний за
змістом і наявністю примірників.
Вчений секретар*



На правах рукопису

В.Р. Козак

УДК 502.174:663.551.7

Мельник Василь Миколайович



**РОЗРОБЛЕННЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ПРОЦЕСІВ ТА УСТАТКУВАННЯ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ СИВУШНИХ
МАСЕЛ ЯК СКЛАДНИКА МОТОРНИХ ПАЛИВ**

Спеціальність 21.06.01 – Екологічна безпека (технічні науки)

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник:
кандидат технічних наук, професор
Козак Федір Васильович



Івано-Франківськ – 2011

d409

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ СПИРТОВОЮ ПРОМИСЛОВІСТЮ ТА АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ	9
1.1 Аналіз методів і засобів використання та знешкодження сивушних масел	10
1.2 Оцінка динаміки шкідливого впливу відхідних газів автомобільних двигунів на довкілля та аналіз шляхів зменшення цього впливу.....	12
1.3 Вибір та обґрунтування напряму дослідження.....	27
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУМІШЕЙ СИВУШНИХ МАСЕЛ З МОТОРНИМИ ПАЛИВАМИ.....	29
2.1 Розроблення методів дослідження фізико-технічних характеристик сумішей сивушних масел з моторними паливами.....	29
2.1.1 Методи дослідження основних фізико-технічних характеристик сумішей сивушних масел з бензином.....	31
2.1.2 Методи дослідження основних фізико-технічних характеристик сумішей сивушних масел з дизельним паливом.....	34
2.2 Результати експериментальних досліджень фізико-технічних характеристик сумішей сивушних масел з бензином.....	35
2.3 Результати експериментальних досліджень фізико-технічних характеристик сумішей сивушних масел з дизельним паливом.....	47
2.4 Розроблення устаткування для процесу утворення сумішей моторних палив з СМ.....	53
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ДВИГУНІВ ВНУТРІШ- НЬОГО ЗГОРЯННЯ НА СУМІШАХ СИВУШНИХ МАСЕЛ З МОТОРНИ- МИ ПАЛИВАМИ.....	61
3.1 Розроблення експериментальної установки для дослідження екологіч- них та експлуатаційних показників роботи двигуна з зовнішнім суміше- утворенням на паливних сумішах сивушних масел з бензином.....	62

3.2	Методи експериментального дослідження показників роботи двигуна ЗИЛ-130.....	65
3.3	Методи дослідження впливу вмісту СМ у паливній суміші на вміст важких металів у відхідних газах ДВЗ.....	68
3.4	Розроблення експериментальної установки для дослідження екологічних та експлуатаційних показників роботи дизельного двигуна на паливних сумішах сивушних масел з дизельним паливом.....	71
3.5	Методи експериментального дослідження показників роботи дизельного двигуна Д21А1.....	73
3.6	Експериментальні дослідження екологічних та експлуатаційних показників роботи двигуна ЗИЛ-130.....	76
3.7	Експериментальні дослідження екологічних та експлуатаційних показників роботи дизельного двигуна Д21А1.....	88
3.8	Експериментальні дослідження впливу вмісту СМ в товарних паливах на концентрацію важких металів у відхідних газах ДВЗ	96
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ В ҐРУНТІ ШКІДЛИВИХ СПОЛУК ВІДХІДНИХ ГАЗІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ		
	4.1 Розроблення методології прогнозування розповсюдження в ґрунті шкідливих сполук відхідних газів автомобільних двигунів.....	100
	4.2 Дослідження концентрації важких металів у ґрунтах та рослинах.....	107
РОЗДІЛ 5 ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СИВУШНИХ МАСЕЛ ЯК СКЛАДНИКА МОТОРНИХ ПАЛИВ ТА ПРОМИСЛОВА АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....		
	5.1 Оцінка економічної ефективності використання сивушних масел як складника альтернативного моторного палива.....	115
	5.2 Промислова апробація результатів дослідження.....	126
ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ПІДСУМКОВІ ВИСНОВКИ.....		130
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....		132
ДОДАТОК А.....		145

ДОДАТОК Б.....	148
ДОДАТОК В.....	159

ВСТУП

Актуальність теми. На сучасному етапі розвитку цивілізації до глобальних джерел штучного забруднення довкілля, зокрема таких, як об'єкти теплоенергетики, гірничо-металургійного і хімічного комплексів та ін., належить і автомобільний транспорт.

Одним з радикальних методів зниження токсичності відхідних газів автомобільних двигунів є використання альтернативних палив, потреба в яких диктується жорсткими екологічними вимогами до складу відхідних газів і дефіцитом традиційних моторних палив, що в Україні зростає з року в рік. Перспективними альтернативними паливами є суміші, одержані на основі товарних палив з речовинами, що мають наближені до товарних палив фізико-технічні властивості, достатню сировинну базу та є дешевими.

Такими якостями володіють сивушні масла (СМ), які є шкідливими для довкілля відходами спиртової промисловості. На спиртових заводах України за один рік у середньому накопичується 3,5 – 4 тис. м³ СМ. Проблема знешкодження чи використання такої кількості СМ не розв'язана і вимагає розроблення і застосування принципово нових технологій.

Таким чином, завдання розроблення екологічно безпечних технологічних процесів та устаткування для використання СМ як складника альтернативного моторного палива для двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) є безумовно актуальним. Розв'язання поставленого завдання дозволить не тільки перетворити СМ із шкідливого забрудника довкілля в корисне додаткове джерело енергії, що сприятиме певною мірою зменшенню дефіциту моторних палив, але й знизити рівень забруднення довкілля як спиртовою промисловістю, так і автомобільним транспортом.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася як складова «Загальнодержавної програми формування національної екологічної мережі України на 2000-2015 рр.» та базується на результатах держбюджетних і госпдоговірних науково-дослідних робіт Івано-

Франківського національного технічного університету нафти і газу: ОБ-05/2010 «Розробка «Обласної програми охорони навколишнього природного середовища до 2015 р.» (№ держреєстрації 0110U008157), К2/2009 «Екологічна безпека і земельпорядне забезпечення адміністративно-територіальних одиниць та експлуатаційна надійність промислових об'єктів» (№ держреєстрації 0110U000339) та Д-3/07-П «Науково-методологічні основи діагностування і управління у нафтогазовій галузі для оптимізації витрат енергоресурсів» (№ держреєстрації 0107U001560), що виконувалися за безпосередньою участю автора.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розроблення екологічно безпечних технологічних процесів та устаткування для використання СМ як складника моторних палив.

Для досягнення поставленої мети були сформовані такі основні завдання:

- провести аналіз сучасного стану процесів і устаткування для екологічно безпечного використання СМ, динаміки шкідливого впливу відхідних газів ДВЗ автомобільного транспорту на довкілля та шляхів зменшення цього впливу;

- розробити екологічно безпечні технологічні процеси і устаткування використання СМ як складника моторних палив на основі досліджень фізико-технічних властивостей сумішей СМ з моторними паливами для ДВЗ та встановити оптимальний вміст СМ у цих сумішах;

- розробити методи і дослідне устаткування, на якому виконати експериментальні дослідження екологічних і експлуатаційних показників роботи ДВЗ на сумішах СМ з товарними бензинами та дизельними паливами;

- удосконалити методологію прогнозування розповсюдження в ґрунті шкідливих компонентів, що викидаються з відхідними газами ДВЗ автомобільного транспорту;

- провести промислову апробацію розроблених процесів та устаткування для використання СМ як альтернативного моторного палива та економічно оцінити одержані результати.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси утворення та використання в

ДВЗ сумішей СМ з товарними бензинами та дизельним паливом.

Предмет дослідження – методи та засоби застосування СМ, як складника альтернативних моторних палив.

Методи дослідження. Основні фізико-технічні властивості сумішей товарних палив з СМ – густина, кінематична в'язкість, октанове число та ін. досліджувалися експериментальним шляхом. У процесі розроблення методології прогнозування розповсюдження в ґрунті шкідливих компонентів, що викидаються з відхідними газами ДВЗ автомобільного транспорту, використовувався метод математичного моделювання.

Під час проведення експериментальних досліджень та обробки результатів застосовувалися методи найменших квадратів та математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у тому, що:

- вперше експериментально визначені густина, в'язкість, тиск насичених парів, температурні межі перегонки, кислотність, температура спалаху, октанове та цетанове число сумішей СМ з моторними паливами для ДВЗ;
- вперше обґрунтовані та експериментально апробовані оптимальні склади сумішей СМ з товарними моторними паливами;
- вперше розроблено і досліджено новий тип пристрою для змішування компонентів утвореного палива;
- вперше досліджені екологічні та техніко-експлуатаційні показники роботи ДВЗ на створених сумішах товарних палив з СМ;
- удосконалена методологія прогнозування розповсюдження в ґрунті шкідливих компонентів, що викидаються з відхідними газами ДВЗ автомобільного транспорту.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що на основі теоретичних та експериментальних досліджень фізико-технічних властивостей сумішей товарних палив з СМ розроблено екологічно безпечні технологічні процеси та устаткування для практичного використання СМ як складника моторних палив.

В результаті реалізації запропонованих методів використання СМ забезпе-

чується їх раціональна і безпечна утилізацію на засадах ресурсоенергоощадності, що не потребує додаткових затрат енергії та в загальному дозволяє здешевити моторні палива на 15-20%.

Особистий внесок здобувача. Основні теоретичні та експериментальні дослідження, висновки та рекомендації виконані автором самостійно. Зокрема особисто автором:

- проведено експериментальні дослідження основних фізико-технічних показників утворених паливних сумішей СМ з товарними паливами та запропоновано їх оптимальні склади;
- розроблено та досліджено змішувач для моторних палив;
- досліджено основні екологічні та техніко-експлуатаційні показники роботи бензинового та дизельного ДВЗ на сумішах товарних палив з СМ;
- виконано промислову апробацію одержаних результатів.

З опублікованих у співавторстві робіт використовуються результати, які отримані здобувачем особисто.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювалися на: Міжнародній науково-технічній конференції “Ресурсозберігаючі технології у нафтогазовій енергетиці” (м. Івано-Франківськ, 2007); Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених “Техніка і прогресивні технології у нафтогазовій інженерії” (м. Івано-Франківськ, 2008); Міжнародній науково-технічній конференції “Нафтогазова енергетика: проблеми та перспективи” (м. Івано-Франківськ, 2009).

Публікації. За результатами досліджень, що викладені в дисертації, опубліковано 8 статей у фахових виданнях (3 статті одноосібно), 3 тези матеріалів конференцій (2 тези одноосібно), отримано 1 патент України на винахід.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, п’яти розділів, висновків, переліку використаних джерел із 138 найменування, трьох додатків, і викладена на 160 сторінках, у тому числі 54 рисунки, 35 таблиць.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ СПИРТОВОЮ ПРОМИСЛОВІСТЮ ТА АВТОМОБІЛЬНИМ ТРАНСПОРТОМ

Автомобільний транспорт – одне з найпотужніших джерел забруднення навколишнього середовища, а також це – основне джерело шуму у містах та теплового забруднення.

Відхідні гази, які виділяються внаслідок спалювання палива у ДВЗ, є головним складником забруднення довкілля автомобільним транспортом і містять більше 200 найменувань шкідливих речовин, у тому числі канцерогени. На концентрацію шкідливих речовин у відхідних газах ДВЗ впливають ряд факторів: вид палива, режим руху автотранспорту, рельєф дороги, технічний стан автомобіля та ін. Оскільки екологічні вимоги до складу відхідних газів ДВЗ посилюються тож проблемі зменшення впливу вказаних факторів на склад відхідних газів ДВЗ з кожним роком зосереджують все більшу увагу. Значущість і гострота цієї проблеми зростають у зв'язку зі щорічним збільшенням викидів автотранспортними засобами речовин, які забруднюють атмосферу (в середньому на 3-5%) [1].

На сьогодні не розв'язаною залишається проблема використання СМ, що є забрудником довкілля спиртовою промисловістю [2]. Оскільки Україна імпортує 75 % необхідного обсягу природного газу та 85 % сирової нафти та нафтопродуктів і є енергодефіцитною країною, то можливість одержання з відходів спиртової промисловості додаткових джерел енергії без суттєвих ресурсозатрат є актуальною.

СМ – побічний продукт ректифікації етилового спирту, що є сумішшю спиртів (ізоамілового, ізобутилового, н-пропілового, етилового), води та в незначних кількостях інших органічних сполук. СМ відноситься до шкідливих продуктів 3-го класу небезпеки, а тому питання зберігання та утилізації СМ для навколишнього середовища є важливими.

1.1 Аналіз методів і засобів використання та знешкодження сивушних масел

Розробка нових технологічних прийомів утилізації сивушних фракцій на брагоректифікаційних установках (БРУ) описується у [2-4]. Розроблені нові технологічні прийоми в схемах БРУ такі, як відбір епюрата у вигляді бічного погону з епюраційної колони та установка трифазного сепаратора, які забезпечують утилізацію сивушних і підсивушних фракцій [2-4].

До недоліків такого методу слід віднести складність установки, збільшену енергоємність процесу утилізації, значні економічні витрати на переобладнання виробництва та залишки СМ в результаті роботи цієї установки.

Технологія утилізації відходів спиртової промисловості та одержання на стендовій установці з сивушної фракції харчового ректифікованого спирту згідно ГОСТ 51652-2000 запропонована у [5-9].

Проте така переробка СМ потребує додаткових ресурсозатрат, а тому виготовлений продукт має високу вартість, також вказаний спосіб не забезпечує повне знешкодження СМ.

Один із напрямків використання СМ – це виробництво жирних кислот, наприклад, за допомогою модуля Альфа-9У-100, що оснащений підведенням повітря [10]. СМ поступають в модуль з герметичної місткості. В модуль подається повітря. Під впливом кисню повітря, радикалів і каталізатора відбувається процес окислення спиртів до карбонових кислот, які використовуються у виробництві мила, фарб. Процес відбувається при температурі 120°C , час процесу – 2 години [10]. Проте такий метод є енергоємним та довготривалим.

Досить перспективним напрямком використання відходів спиртової промисловості є виробництво етанолу [11, 12]. У 2000 р. уряд України прийняв програму “Етанол”, яка передбачає випуск як кисневмісної добавки до бензинів на основі етанолу, так і бензинів, що містять цю добавку. В результаті було розроблено ГСТУ 320.00149943.015-2000 на бензин, що містить етанол, і ТУ У 30183376.001

на високооктанову кисневмісну добавку на базі етанолу (до 6% мас.). Проте ця продукція реалізовується погано, оскільки є новою та дорогою.

До інших способів використання СМ відноситься їх спалювання у котельних установках у суміші з котельним паливом у кількості 10, 20 та 30% об. У результаті проведеної роботи були досліджені фізико-хімічні властивості важких і легких котельних палив, СМ, з метою їх раціонального використання у складі модифікованого палива [13-15].

Встановлено, що поліпшується ряд характеристик палива: знижується вміст сірки, зменшується коксованість, в'язкість і температура застигання [15].

Розроблена технологія модифікації палива з утворенням стійкої системи котельне паливо - СМ. У результаті, модифікацію палив можна рекомендувати для зменшення таких показників, як вміст сірки, коксоємості та в'язкості. Необхідне співвідношення компонентів може змінюватися залежно від вимог споживача [15].

Недоліком є зменшення температури спалаху та теплотворної здатності палива, а також необхідність змішувати палива при температурі не нижче ніж 83°C. Саме ці недоліки не дозволяють широко застосовувати СМ як добавки до котельних палив.

Отже, аналіз існуючих методів утилізації СМ показав, що у незначних кількостях СМ використовується для отримання технічних спиртів, як розчинники у лакофарбовій промисловості, як каталізаторів у мікробіологічній промисловості при виробництві кормових дріжджів, у деяких хімічних технологіях (при флотації графіту, для отримання пластифікаторів і т.д.).

Останнім часом з метою економії пального палива СМ стали застосовувати як добавку до мазуту для опалювальних систем. Проте використання СМ як добавки до котельного палива призводить до збільшення шкідливих викидів в атмосферу, оскільки котельні установки у більшості випадків не обладнані системами очищення відхідних газів [15].

Тому найбільш перспективний спосіб утилізації СМ – додавання до товарних моторних палив та спалювання на ДВЗ, що обладнаний системою знешко-

дження відхідних газів. Вказаний метод не передбачає великих енергетичних затрат, є простим та забезпечує ефективну очистку відхідних газів ДВЗ.

1.2 Оцінка динаміки шкідливого впливу відхідних газів автомобільних двигунів на довкілля та аналіз шляхів зменшення цього впливу

На сьогодні розрізняють такі основні джерела забруднення довкілля автомобільним транспортом:

- 1) відхідні гази ДВЗ;
- 2) відпрацьовані моторні та трансмісійні оливи, охолодні рідини (гліколи), гальмівні рідини, акумуляторні батареї тощо;
- 3) механічні продукти зношення шин та гальмівної системи (накладки);
- 4) шумове, теплове забруднення довкілля.

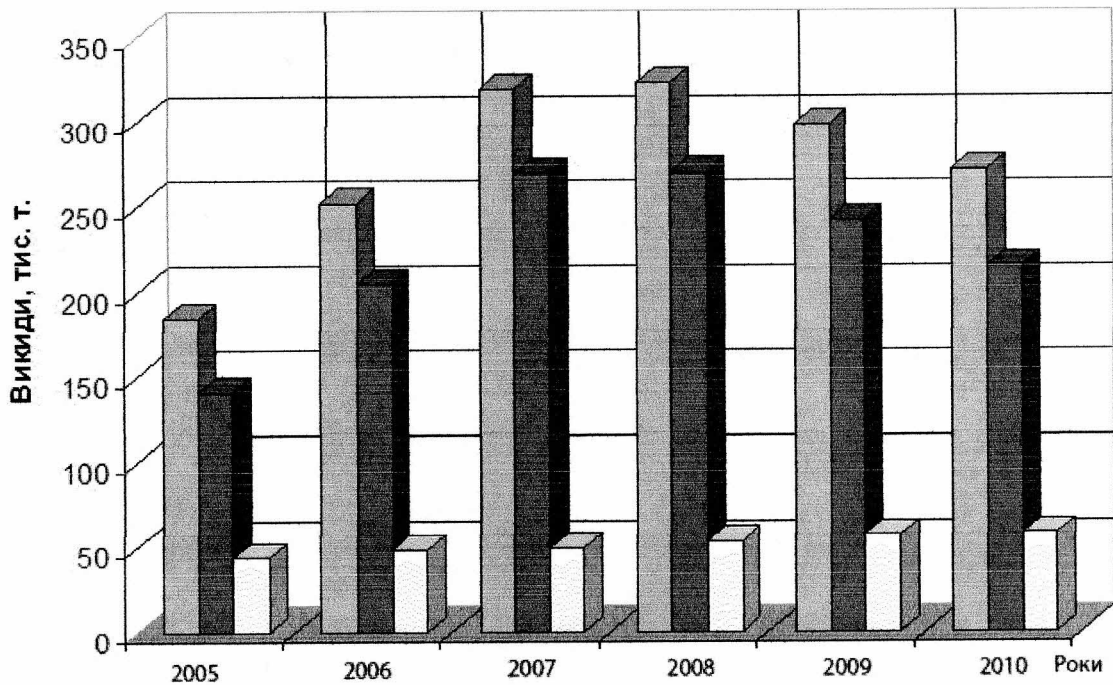
У порівнянні з іншими забрудниками, джерело забруднення 2) не розпоршується в довкіллі і знешкоджується централізовано. З наведеної групи забрудників відхідні гази – основне та найбільш небезпечне джерело забруднення, оскільки вони є токсичними, накопичуються в нижніх шарах атмосфери та містять канцерогенні речовини.

Значний внесок в оцінку забруднення довкілля внесли вчені: Адаменко О.М., Гумницький Я.М., Міщенко Л.В. та ін. [16-18].

На основі аналізу екологічного паспорта Івано-Франківської області побудовано гістограму динаміки зміни викидів шкідливих компонентів в атмосферне повітря (рис.1.1). З 2007 року спостерігається тенденція зниження загальних викидів шкідливих компонентів в атмосферу за рахунок зменшення викидів стаціонарними джерелами, що за період з 2007 по 2010 роки становить близько 20% [1].

Постійно зростають викиди шкідливих компонентів в атмосферне повітря пересувними джерелами. Так, за період з 2005 до 2010 року викиди збільшились на 24,5% (рис. 1.1), а це сприяє посиленню небезпеки для навколишнього середовища.

Велика кількість шкідливих компонентів з часом осідає на поверхні ґрунтів, проникає у рослини та водойми. На рис. 1.2 наведена карта еколого-туристичного районування Івано-Франківської області [17]. Як видно з рис. 1.2, велика територія області забруднена важкими металами, пестицидами, нафтопродуктами та радіонуклідами.






кількість викидів шкідливих компонентів у повітря:  - загальна;  - від стаціонарних джерел;  - від пересувних джерел

Рис. 1.1 – Динаміка викидів шкідливих компонентів в атмосферне повітря в Івано-Франківській області за останні п'ять років

Найбільша частка забруднення шкідливими викидами стаціонарних джерел та автомобільного транспорту в Івано-Франківській області припадає на м. Івано-Франківськ. Аналіз забруднення повітря важкими металами та оксидами вуглецю здійснено Адаменком О.М. у роботі [16]. Сумарні карти забруднення м. Івано-Франківська наводяться на рис. 1.3 та 1.4.

Отже, на прикладі Івано-Франківської області та обласного центру обсяги забруднення довкілля шкідливими компонентами є досить великими та постійно

змінюються. Тому розв'язання задачі прогнозування концентрації шкідливих компонентів у атмосферному повітрі та ґрунтах є досить актуальним.

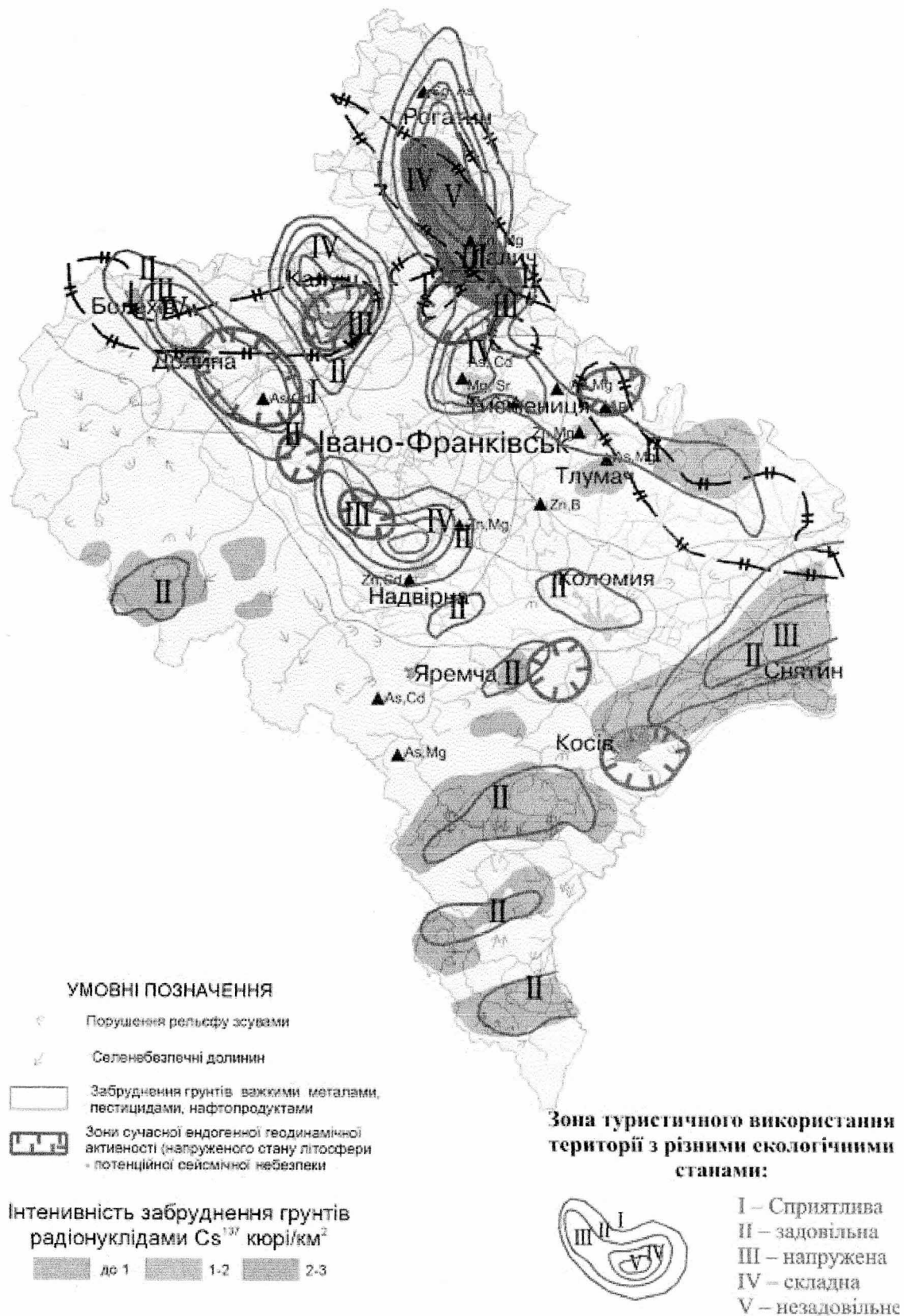
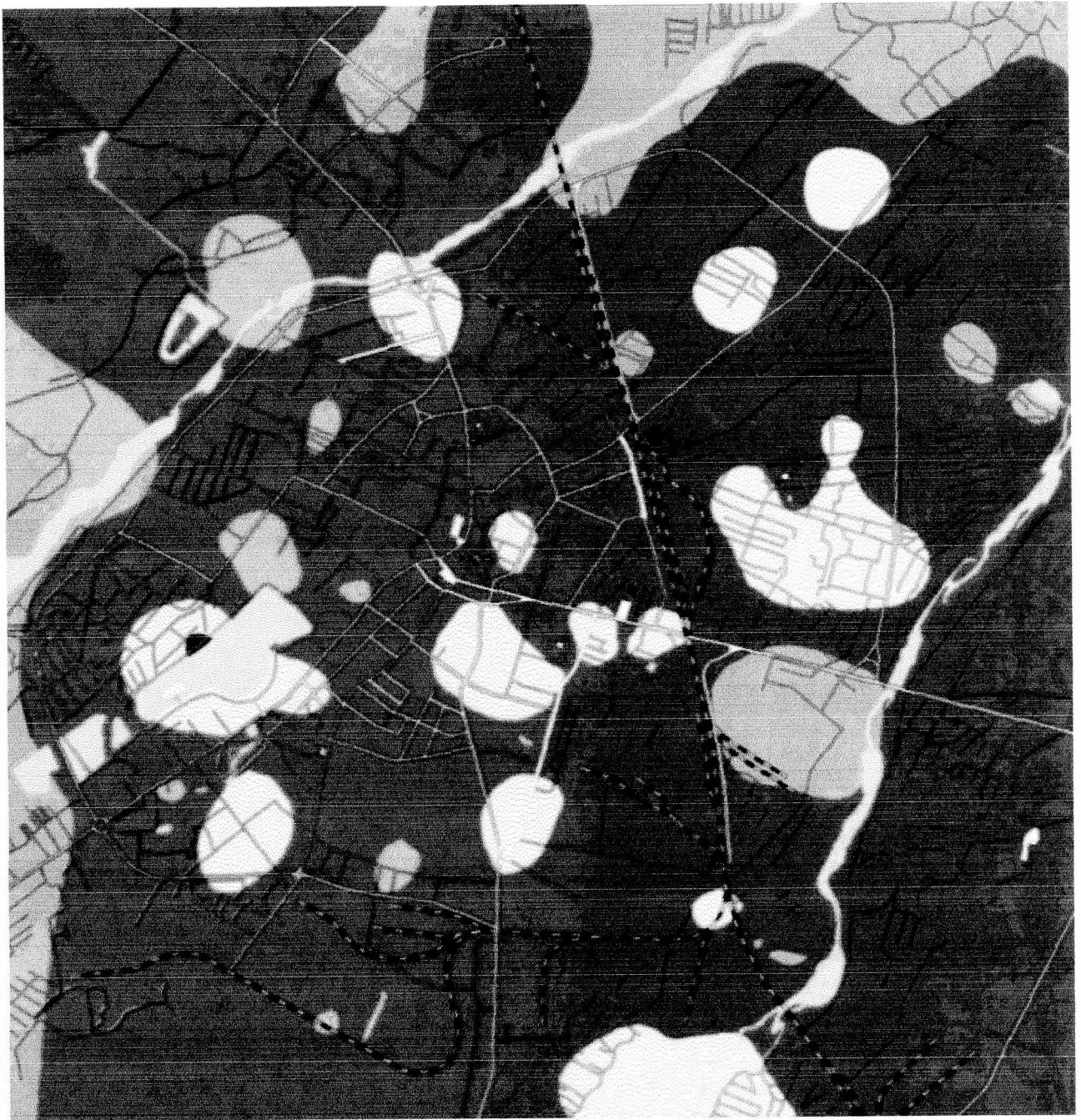






Рис. 1.2 – Карта стану забруднення Івано-Франківської області



Умовні позначення:

- | | | | |
|--|------------------------------------|---|---|
|  | - слабо забруднене (К від 1 до 5); |  | - помірно забруднене (К більше 5 до 10) |
|  | - забруднене (К більше 10 до 15); |  | - брудне (К більше 15 до 20); |

К- сумарний коефіцієнт комплексного забруднення, значення в умовних одиницях.

Рис. 1.3 – Карта сумарного комплексного забруднення м. Івано-Франківська важкими металами за даними Адаменка О.М. та ін. [16]



Концентрація забруднювача, мг/м^3 :



Рис. 1.4 – Карта сумарного комплексного забруднення м. Івано-Франківська оксидами вуглецю за даними Адаменка О.М. та ін. [16]

Над розповсюдженням шкідливих компонентів у повітрі та ґрунтах працювали вчені: Бояршинов М.Г., Рузский А.В., Донченко В.В., Петрухин В.А., Лебедева О.Ю., Люта О.В., Трунова І.О., Скопецка О.В., Вергунова В.І., Москальков М.М., Кладівко Е.І., Монке Е.І. та ін. [18-23].

Задача математичного опису розповсюдження шкідливих компонентів, що викидаються в атмосферне повітря, на теперішній час в основному розв'язана. Для стаціонарних джерел таке розповсюдження можна дослідити за програмними комплексами ЕОЛ – 2000 v 3.1 та ЕОЛ (ГАЗ) – 2000 v 3.1 [18].

Ряд досліджень виконано безпосередньо для автомобільного транспорту. Так, Бояршинов М.Г. [19] розв'язав задачу розповсюдження шкідливих компонентів, що викидаються з відхідними газами автомобільних двигунів у повітря для ділянки дороги (однорядної) з непроникним для шкідливих компонентів покриттям. Оскільки для протяжної ділянки дороги математичне очікування концентрації викидів шкідливих компонентів є не залежною величиною від часу, то М.Г. Бояршиновим нестационарний процес перенесення і розсіювання шкідливих викидів від автомобілів, що випадково з'являються, був змодельований стаціонарним рівнянням дифузії з безперервно розподіленим уздовж дороги площинним джерелом постійної інтенсивності. Для даних умов одержано рівняння, що описує математичне очікування концентрації викидів шкідливих речовин автомобільним транспортом у довільній точці G вздовж автомобільних шляхів [19].

У моделі розповсюдження шкідливих компонентів у ґрунті, яку запропонувала Люта О.В. [21] розглядається процес молекулярно-дифузійного та конвекційного перенесення. Проте, у разі щільних ґрунтів частка сполук шкідливих компонентів, що проникають у ґрунт конвективним способом буде не істотною у порівнянні з молекулярно-дифузійним перенесенням. У роботі відсутнє рівняння для розрахунку концентрацій шкідливих компонентів за глибиною ґрунту, а експериментальні дані автором наведено тільки для глибини до 0, 24 м.

У роботі Трунової І.О. [22] розглядалася задача накопичення та міграції шкідливих компонентів у ґрунті. Зауважимо, що в роботі обрано некоректний шлях визначення критерію Шервуда, до якого входить визначуваний коефіцієнт

масовіддачі. Також не наведений розв'язок диференціального рівняння для визначення концентрації шкідливих компонентів у ґрунті.

Задача моделювання міграції свинцю в системі “ґрунт-рослина” розглянута у роботі Скопечької О.В. [23]. У моделі не враховано зміну концентрації шкідливих компонентів за глибиною ґрунту, що прийнята у роботі сталою по висоті кореневої системи.

Отже, розглянута задача потребує подальшого дослідження з метою забезпечення достатньої точності прогнозування концентрацій шкідливих компонентів за глибиною у ґрунті.

Проблемі знешкодження відхідних газів ДВЗ, використання альтернативних палив та утилізації СМ присвячені роботи вчених: Сорокодумов С.Н., Константинов Е.Н., Сіюхов Х.Р., Короткова Т.Г., Мариненко О.В., Чич С.К., Романишин П.Е., Бондарь Л.М., Гутаревич Ю.Ф., Говорун А.Г., Корпач А.О., Мороз О.Г., Цирлин Ю. А., Смаль Ф.В., Арсенов Е.Е., Артамонова В. В. та ін. [24-104].

Для ефективної боротьби з токсичністю відхідних газів автомобільних двигунів на сьогоднішній час розробляються і втілюються в життя заходи щодо зниження забруднення атмосфери викидами автомобільних двигунів, включаючи:

- пошук нових видів альтернативного палива, використання різних добавок до існуючих товарних палив;
- удосконалення конструкцій двигунів та підвищення якості їх виготовлення;
- створення енергосилових установок для автомобілів, що викидають у довкілля меншу кількість шкідливих речовин;
- розробка пристроїв, що знижують токсичність відхідних газів.

Для якісної оцінки використання альтернативних видів палив можна виділити такі основні критерії:

- екологічна безпечність;
- відповідність їх властивостей властивостям товарних моторних палив;
- низька собівартість їх виготовлення у порівнянні з існуючими моторними паливами.

Перспективним альтернативним паливом для використання в двигунах є спирти та відходи від їх виробництва у чистому вигляді, та в сумішах з бензинами та дизельними паливами у певних співвідношеннях [24, 25].

Використання спиртів та сполук на їх основі на серійних бензинових двигунах без суттєвих змін в конструкції можливе лише при обмеженому додаванні їх до основного палива (бензину) [25].

У ряді країн світу вже застосовуються бензини з 10-15% різних паливних домішок. Зокрема суміш бензину з етанолом (10-12%) успішно використовується у США та Канаді, а також у Бразилії, де її виробництво здійснюється на основі національної програми. У США 80% виробленого етанолу використовується як паливо. У Франції застосовується пальне з вмістом у ньому 5% етанолу [26].

У наш час для зменшення обсягу імпорту нафти та нафтопродуктів доцільно організувати виробництво паливного спирту при додаванні якого у кількості 6-12% до бензину не потрібно вносити зміни в конструкції ДВЗ [27].

Згідно даних, отриманих вченими Німеччини, етанол більш придатний як домішка до нафтового палива, ніж метанол, оскільки етанол більшою мірою підвищує розчинність води в бензині, знижуючи небезпеку розшарування [28]. Використання метанолу пов'язане з небезпекою для здоров'я людей: допустима концентрація його в повітрі робочої зони становить 5 мг/м^3 , в той час як для етанолу вона становить 1000 мг/м^3 , для бензину — 100 мг/м^3 [29].

У зв'язку з тим, що в етанолу, в порівнянні з бензином, вище ОЧ, при переведенні двигуна на живлення етанолом можна суттєво підвищити міру стиску і таким чином збільшити коефіцієнт корисної дії ДВЗ і покращити його паливну економічність [27-29].

Таким чином, можна стверджувати, що етиловий спирт як моторне паливо в ДВЗ може використовуватись двома шляхами: в суміші з бензином та в чистому вигляді [27-32].

У 1998-1999 роках ДержавтотрансНДІпроектотом Мінтрансу України та УкрНДІНП "МАСМА" Мінпаливенерго проведено випробування високооктанової кисневмісної добавки до бензинів (ВКД) українського виробництва – аналогу па-

ливної етанолової добавки до бензинів, яка використовується у світі. Внаслідок цього було затверджено галузевий стандарт ГСТУ 320.00149943.015-2000 “ Бензини моторні сумішеві. Технічні умови ” згідно яких сумішеві бензини з вмістом ВКД до 6 % виробляються і використовуються в Україні як автомобільне паливо [33]. До основних недоліків ВКД належать такі: нижча у порівнянні з бензином, теплота згорання, а також вища собівартість виготовлення [34-37].

На кафедрі "Двигуни і теплотехніка" Національного транспортного університету були проведені порівняльні стендові випробування двигуна MeM3-245, обладнаного карбюраторною системою живлення, під час роботи на штатному бензині й на суміші бензину та ВКД з 10% і 20% її добавками встановлено, що при переході двигуна на живлення сумішевими паливами з ВКД, горюча суміш, що поступає в циліндри двигуна, збіднюється, а максимальний вміст ВКД у сумішевих паливах для карбюраторних двигунів не повинен перевищувати 20% [38-42].

Біодизельне паливо не є нічим новим – воно було відоме з початку минулого століття, але не використовувалося через наявність дешевих нафтових палив. Це паливо отримують за допомогою процесу естерифікації з залученням реакції зі спиртом у присутності каталізатора. Продукти ефіру різні (PME – ріпаковий метилефір, KME – конопельний метилефір тощо). Через вміст кисню це паливо є дуже чистим і дає на 50 % менше часток вуглецю, ніж дизельне, а також меншу кількість азоту [43-45].

Ряд країн ЄС використали переваги законодавства Європейської Економічної Комісії (ЄЕК), що дозволило виробляти “дослідну кількість біопалива” – 5 млн. т. нафтового еквіваленту шляхом скорочення податку на біопаливо [45].

Виробництво олійної культури ріпаку в Німеччині ще у 1995 році було оцінено в 300 тис. га., за умови створення в сільськогосподарському секторі 5 тис. нових робочих місць. Це виправдовує 70% податкових поступок, які надав уряд Німеччини. Франція віддала 70% своїх земель державного резерву під культури для виробництва біологічного палива і створила 27 тис. нових сільськогосподарських робочих місць [45].

У США розвиток виробництва біологічного палива у великих масштабах

почався з етанолу, а саме з виробництва близько 4,4 млн. м³ (1999р.) у рік (понад 3,5 млн. т.) і забезпечило 200 тис. робочих місць у сільськогосподарському секторі. За інформацією, отриманою після проведення Міжнародного семінару з розвитку паливного етанолу (Вашингтон, 27 вересня 2001 року), у 2000 році виробництво етанолу із зерна в США досягнуло понад 4,8 млн. т. [45-48].

Щоб оцінити, наскільки реальною і масштабною може бути заміна нафтового дизельного палива біологічним паливом на основі ріпакової олії, необхідно проаналізувати два питання:

– якою мірою ріпакова олія або продукти її переробки відповідають вимогам дизельного палива;

– за яких умов можлива заміна дизельного палива ріпаковою олією або її похідними.

Для цього розглянуто властивості ріпакової олії як моторного палива у порівнянні з властивостями дизельного палива [49].

Дані аналізу властивостей ріпакової олії свідчать про можливість застосування її як палива для дизелів. Проте деякі властивості ріпакової олії не дозволяють застосовувати її безпосередньо в сучасних дизелях, які призначені для роботи на дизельному паливі. До таких властивостей належать в'язкість та температура спалаху, які у ріпакової олії вищі в 14...25 разів та в 2,8...3,1 рази. Ці властивості ріпакової олії призводять до погіршення розпилювання, сумішоутворення і згоряння в дизелі, що спричиняє появу відкладень на стінках камери згоряння і швидкого виходу з ладу дизеля. Крім того, зустрічаються жирові відкладення в каналах паливної апаратури [49-51].

Під час випробовування виявлено появу осаду, слідів слизу і жиру на стінках посудини, в якій зберігались суміші, що свідчить про слабку хімічну стабільність сумішей та скорочує термін їхнього зберігання [51, 52].

Можна стверджувати про можливість широкого застосування продукту переробки ріпакової олії — РМЕ, який за своїми моторними якостями (цетановим числом, в'язкістю, температурою википання та застигання) близький до дизельного палива. Тому його можна застосовувати на серійних дизелях без будь-яких змін

їх конструкції [50].

Лабораторні, стендові та експлуатаційні випробування на двигунах і автомобілях показали, що суміш РМЕ (в кількості 5%) і дизельного палива не впливає на довговічність деталей дизеля та автомобіля, стан його вузлів і систем, призводить до дуже незначного збільшення витрати палива, практично не впливає на екологічні показники двигуна, дещо погіршує пускові якості холодного дизеля у зв'язку з більшою в'язкістю [49-53].

Відомі також сучасні технології одержання рідкого палива для дизельних двигунів із біомаси шляхом швидкого піролізу [54, 55].

Конструкція установок швидкого пролізу біомаси, їх продуктивність наводиться [55-63].

Порівняльна оцінка піропаливо з традиційними паливами дизельних двигунів, оцінка собівартості виготовлення біопалива, а також перспективи розвитку даного методу одержання палива показано [64-69].

За останні роки в Україні та світі спостерігається стійке зростання використання стисненого природного газу (СПГ) в автомобілях. Основною причиною такої уваги до газового моторного палива є його низька вартість порівняно з бензином і дизельним паливом. Цьому сприяє також і розгалужена мережа автогазонаповнювальних компресорних станцій (АГНКС) ДП " Укртрансгаз ", яка на сьогодні становить близько 150 станцій і постійно зростає.

Сьогодні мережею АГНКС у країні користуються 35 тисяч автомобілів, що дозволяє Україні за кількістю автомобілів, які працюють на СПГ, посідати сьоме місце у світі [69, 70].

До основних переваг використання природного газу як моторного палива належать його фізико-хімічні властивості. Так, на 85 - 99% природний газ складається з метану (CH_4), має високу теплоту згоряння стехіометричної газоповітряної суміші та антидетонаційну стійкість, оскільки його октанове число становить понад 105-110 од. (згідно моторного методу) та досить добре змішується з повітрям [69-72].

На відміну від бензину і дизельного палива, природний газ не містить от-

руйних домішок і добавок, має широкі межі запалювання. Відхідні гази двигунів, що працюють на природному газі, містять незначну кількість нормованих шкідливих викидів [72, 74].

Типи та основні технічні характеристики двигунів та силових агрегатів на яких може використовуватися природний газ наведені в [71, 74].

Кожний із відомих типів двигунів та способів їх переобладнання має свої переваги і недоліки, їхній огляд наводиться в [68, 71-75].

Суттєвий вплив на енергетичні й екологічні показники роботи газових двигунів спричиняє вибір способу регулювання його потужності у зв'язку з тим, що для компенсації втраченої потужності при переході на газове паливо необхідно збільшувати циклову подачу палива [76-79].

Як наслідок у відхідних газах ДВЗ різко зростає кількість CO і NO_x. Кількість викидів C_nH_m при цьому не збільшується [80-82].

Користуючись методиками наведеними в [81-83], було одержано показники ефективності роботи двигунів на бензиновому паливі та при роботі на газі та виявлено недоліки такого виду палива:

- віддаленість підприємств від джерела заправки;
- малий пробіг автомобілів на газовому паливі;
- велика вартість газової системи живлення двигуна;
- втрата потужності двигуна при роботі на газі;
- важкість пуску в зимовий період та ін.

Але не дивлячись на такі недоліки газового палива майже у 20 країнах світу прийняті програми щодо розширення використання природного газу на транспорті, створена міжнародна асоціація з власників автомобілів, які працюють на стисненому природному газі, яка координує роботу у цій галузі [84].

У США спостерігається ріст газобалонних автомобілів на 2005р. до 1 млн., а у Канаді до 1,5 млн. автомобілів. Необхідно підкреслити, що уряди США, Канади, Італії, Австралії, Іспанії, Франції підтримують застосування природного газу як пального для автомобілів, проводячи ефективну кредитну та пільгову податкову політику [84-88].

У наш час досить вагомим конкурентом вуглеводневих палив ДВЗ стає водень в продуктах згорання якого не міститься токсичних продуктів неповного згорання вуглеводневих палив (CO , C_nH_m , NO) [89, 90].

Для масштабного використання водню як палива для автомобільного транспорту необхідно вирішити дві основні задачі:

- потрібно організувати його масове та дешеве виробництво;
- створити ефективні та надійні засоби зберігання запасів водневого палива на борту автомобіля в кількості, необхідній для забезпечення потрібної дальності автономного пробігу [89-91].

Такі проблеми частково вирішено, проте для організації виробництва водневого палива необхідно знайти шляхи для багаторазового збільшення виробництва електроенергії. Проблема зберігання водню в автомобілі має декілька шляхів вирішення табл. 1.1 [90].

У результаті дослідження роботи ДВЗ на водневому паливі було виявлено такий недолік – явище калильного запалювання при подачі в циліндри ДВЗ водню, опис якого наведено в [89-91].

Таблиця 1.1 –

Способи зберігання водню на автотранспортному засобі

Спосіб зберігання або одержання		Питома енергоємність, кДж/кг
Газ під тиском в балонах	Стальні	1000-1200
	Пластикові і металопластикові	2000-2500
Рідкий водень в криогенному баку		6800-7200
Металогідридний акумулятор		1000-4000
Сплави, що реагують з водою		3400-3800
Рідке паливо		30000

Після детального і всебічного дослідження процесів горіння водню в циліндрах ДВЗ запропоновано напрямки вирішення вказаних недоліків водневого па-

лива [90-99].

Як показує практика, досягнення рівня токсичності відхідних газів, що вимагається законодавством розвинених країн (табл. 1.2), без використання нейтралізації відхідних газів в системі випуску неможливе. При використанні нейтралізації відхідних газів токсичні пари, що вийшли з циліндрів двигуна, нейтралізуються до викиду їх в атмосферу [100, 101].

Таблиця 1.2 –

Європейські та американські норми токсичності відхідних газів

Європейські і каліфорнійські (LEV, ULEV, SULEV) стандарти							
Норми токсичності	Бензиновий двигун			Дизельний двигун			
	CO	CH	NO _x	CO	NO _x	CH+NO _x	Сажа
Євро III, з 2000 р.	2,3	0,2	0,15	0,64	0,5	0,56	0,05
Євро IV, з 2005 р.	1,0	0,1	0,08	0,5	0,25	0,30	0,025
LEV	2,1	0,2	0,15	-	-	-	-
ULEV	1,0	0,02	0,03	-	-	-	-
SULEV, з 2004 р.	0,62	0,006	0,0125	-	-	-	0,006

Існує декілька способів нейтралізації відхідних газів у випускній системі автомобіля:

- окислення відхідних газів шляхом подачі до них додаткового повітря в термічних реакторах; реактори особливо ефективні на режимах багатой суміші при великих навантаженнях, не виходять з ладу з часом, проте не дають повного окислення CO і C_nH_m та не відновлюють NO, тому застосовуються як додаткові пристрої перед каталітичним нейтралізатором [100, 101];

- поглинання токсичних компонентів рідиною в рідинних нейтралізаторах; цей спосіб не набув широкого поширення через малу ефективність і необхідність частой заміни рідини [101, 106];

- використання каталітичних нейтралізаторів і фільтрів сажі у дизельних двигунах [101-107].

Сучасні каталітичні нейтралізатори бувають окисні – платинові Pt або палладієві Pd, відновні – родієві Rh та трикомпонентні [100, 101].

Окисні каталітичні нейтралізатори забезпечують допалювання або доокиснення вуглеводнів C_nH_m і оксиду вуглецю (II) CO з утворенням води (H_2O) і оксиду вуглецю (IV) (CO_2). Часткове (не повне) окиснення вуглеводнів C_nH_m зумовлює утворення спиртів, альдегідів, кетонів, органічних кислот тощо. Окисні нейтралізатори дозволяють зменшити вміст CO та C_nH_m на 30...95% [101, 102].

Відновні нейтралізатори – призначені для зменшення концентрації оксидів азоту NO, що відновлюється з утворенням молекулярного азоту (N_2) і диоксиду вуглецю (IV) (CO_2) [100-102].

Трикомпонентні (або селективні) каталітичні нейтралізатори забезпечують скорочення вмісту трьох основних компонентів викидів: CO, C_nH_m і NO, завдяки одночасному перебігу окисно-відновних реакцій [101, 102].

Щоб знизити шкідливі викиди під час запуску холодного двигуна, іноді застосовують також вбудований в каталізатор адсорбер вуглеводнів. Серед подібних пристроїв можна назвати нейтралізатор "Едкет" фірми "Делфай" або "Пума" фірми "Корнінг" [105].

Сучасні комплексні системи очищення відхідних газів для дизелів складаються з каталітичних і рідинних нейтралізаторів, а також фільтрів сажі [105, 106].

Фірми, що пропагують економічні легкові дизелі, для збереження довкілля пропонують встановлювати додаткові бачки з реактивами, що знижують кількість утворення сажі, яка нагромаджується у спеціальному нейтралізаторі сажі "Пежо" [106].

"Тойота" розробила свою ефективну систему очищення відхідних газів дизеля, названу DPNR [104-106]. Вона одночасно знешкоджує канцерогенні частинки сажі та оксиди азоту. Основну роль відіграє новий мікропористий керамічний фільтр, покритий шаром, що здатний накопичувати азот і каталізатором на основі платини.

У жовтні 2005 року, в країнах Євросоюзу для автомобілів почали діяти строгі екологічні норми Євро 4 (табл. 1.2). Це спонукало світових автовиробників активно працювати над тим, щоб зробити відхідні гази ДВЗ двигунів якомога чистим. Фахівці “DaimlerChrysler” створили одну з найефективніших систем - SCR (Selective Catalytic Reduction), що у перекладі означає “селективний каталітичний перетворювач” [106].

Принцип дії системи SCR полягає в хімічній реакції аміаку з оксидом азоту відхідних газів ДВЗ, в результаті якого утворюються нешкідливий азот і водяна пара.

Вирішити питання перевезення на автомобілі аміаку – досить токсичну речовину вдалося концерну “Total”, що свого часу створив безпечний замітник аміаку, розроблений на водній основі і відповідає стандартам DIN 70070. Сьогодні він широко застосовується в сільському господарстві, текстильній промисловості, а також при виготовленні косметики та парфумерії. Це рідина не токсична, без кольору і запаху, в “автомобільному” виконанні називається Ad Blue [105].

Отже, як видно з розглянутих джерел у наш час можна досить ефективно боротися з шкідливими викидами бензинових та дизельних двигунів, забезпечуючи їх очищення 30-95% у залежності від режиму роботи двигуна. Така степінь очищення відхідних газів ДВЗ та використання на автомобільному транспорті альтернативних палив досить суттєво підвищить екологічну безпечність автомобіля для довкілля.

1.3 Вибір та обґрунтування напряму дослідження

На основі проведеного аналізу проблем забруднення довкілля автомобільним транспортом та спиртовою промисловістю, методів зменшення шкідливого впливу відхідних газів ДВЗ на довкілля та проблеми з безпечного знешкодження СМ можна зробити такі висновки:

1. Відомі методи використання чи знешкодження СМ є дорогими, потребують відповідних енергозатрат, призводять до утворення додаткових шкідливих

компонентів, а реалізація цих методів зумовлює необхідність переобладнання виробництва або створення нових технологій і відповідних підприємств.

2. Шкідливий вплив відхідних газів ДВЗ автомобільного транспорту на довкілля невинно зростає. Серед існуючих методів зниження токсичності відхідних газів автомобільних двигунів одним з основних є використання альтернативних палив, потреба в застосуванні яких диктується жорсткими європейськими та світовими нормами токсичності відхідних газів і дефіцитом традиційних моторних палив, що в Україні зростає з року в рік.

3. Найперспективнішими альтернативними паливами є суміші, одержані на основі товарних палив з речовинами, які мають наближені до вказаних палив техніко-експлуатаційні властивості, достатню сировинну базу та є дешевими. Такими якостями володіють СМ, які є шкідливими для довкілля відходами спиртової промисловості.

4. У зв'язку з великими обсяги забруднення довкілля розв'язання завдання прогнозування концентрації шкідливих компонентів у атмосферному повітрі та ґрунтах є досить актуальним. Існуючі моделі прогнозування розповсюдження шкідливих компонентів у ґрунті потребують подальшого дослідження.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУМІШЕЙ СИВУШНИХ МАСЕЛ З МОТОРНИМИ ПАЛИВАМИ

Технологія одержання будь-якого альтернативного палива передбачає дві головні стадії:

- процес екологічно безпечного утворення (синтезу) нового моторного палива з певними фізико-технічними та експлуатаційними характеристиками, що апріорі не вимагатиме в наступному внесення змін до конструкції ДВЗ;

- процес використання (спалювання) одержаного моторного палива в ДВЗ з дотриманням екологічних нормативів щодо складу відхідних газів.

Ці процеси, особливо другий, поєднують комплекс складних фізико-хімічних, термодинамічних, газодинамічних та екологічних явищ, а тому досліджуються в абсолютній більшості експериментальними шляхами.

Дослідження фізико-технічних характеристик сумішей СМ з товарними моторними паливами дозволить науково обґрунтувати оптимальні пропорції змішування СМ з бензинами та дизельними паливами для забезпечення їх властивостей близьких до значень, передбачених у держстандартах на товарні моторні палива. До основних нормативних властивостей товарних моторних палив належать октанове та цетанове число, в'язкість, густина, температура спалаху, тиск насичених парів, фракційний склад та ін. [106, 107].

У разі успішної реалізації сформульованої задачі дослідження застосування сумішей СМ з товарними моторними паливами не вимагатиме зміни конструкції ДВЗ.

2.1 Розроблення методів дослідження фізико-технічних характеристик сумішей сивушних масел з моторними паливами

Методи дослідження розроблялися з урахуванням основних фізичних та хімічних властивостей СМ. Усі експерименти в роботі виконані на СМ Івано-Франківського обласного державного об'єднання спиртової та лікєро-горілчаної

промисловості "Княгинин" (ОДОСП). Основні властивості СМ на відповідність стандарту [106] були визначені у хімічній лабораторії підприємства (табл. 2.1).

Крім властивостей, які передбачені стандартом, додатково визначалися інші показники СМ, наведені в наступних підрозділах.

Наведені в табл. 2.1 показники СМ є близькими до характеристик товарних моторних палив.

Таблиця 2.1 –

Основні фізико-хімічні властивості СМ

Назва показника	Значення	
	Згідно ГОСТ 17071-91	Експериментальні
1	2	3
Зовнішній вигляд	Прозора рідина, що не містить механічних домішок, колір якої коливається в діапазоні від світло-жовтого до світло-коричневого	Прозора рідина, не містить механічних домішок, колір світло-жовтий
Температурні межі перегонки при тиску 101,325 кПа(760 мм. рт. ст.), не менше	120	120
Густина при 20°C, кг/м ³ , не більше	837	834
В'язкість, м ² /с	-	4,44·10 ⁻⁶
Компонентний склад сивушних масел, %:		
- етанол;	-	9
- н-пропанол;	-	15
- ізобутанол;	-	11
- ізоамілол;	-	57
- вода;	-	8

Продовж. табл. 2.1

1	2	3
Тиск насичених парів, $P_{\text{тнп}}$, мм.рт.ст.	-	44
Кислотність, рН	-	5,7
Показники заломлення, n_D^{20}	1,395	1,397
Температура спалаху, °С	40	42
Температура самозаймання, °С	400	-
Нижча теплота згоряння, Q_n кДж/кг	-	34240

Процес змішування СМ з товарним бензином А-80, а також з літнім дизельним паливом здійснювався у закритій посудині за допомогою мішалки з електричним приводом протягом 5 хв. Цього часу було достатньо для повного розчинення СМ в зазначеному бензині та дизельному паливі.

Змішування проводилося за температури складників 20-21°С та атмосферного тиску 735-740 мм.рт.ст.

Спостереження за процесом змішування засвідчило повне розчинення СМ як у бензині так і у дизельному паливі. Утворені суміші витримувалися в герметично закритих скляних посудинах протягом 60 діб за температури 21 °С. За цих умов зберігання в сумішах не зафіксовані розшарування товарного палива і СМ та виникнення не однорідностей у всьому об'ємі сумішей.

2.1.1 Методи дослідження основних фізико-технічних характеристик сумішей сивушних масел з бензином

До основних фізико-технічних характеристик бензинів та їх сумішей з СМ, що будуть досліджуватися відносяться: детонаційна стійкість (октанове число визначене за моторним та дослідним методом); фракційний склад; тиск насичених парів; вміст водорозчинних кислот і лугів; густина при 20°С; кислотність за показником рН та ін. [107].

Октанове число, що характеризує детонаційну стійкість палива визначали за допомогою приладу „Октанометр” ПЭ – 7300 згідно інструкції для експлуатації, сертифікат відповідності якого №РОСС RU.МЕ 48.Н01329.

Коротка технічна характеристика приладу „Октанометр” ПЭ – 7300 наведена в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 –

Коротка технічна характеристика приладу „Октанометр” ПЭ – 7300

Поз.	Назва параметру	Одиниці вимірювання	Значення параметра
1	Діапазон вимірювання октанового числа	од.	66-100
2	Діапазон вимірювання цетанового числа	од.	30-70
3	Час вимірювання, не більше	сек.	10
4	Код на дисплеї для визначення октанового числа моторним методом	-	888
5	Код на дисплеї для визначення октанового числа дослідним методом	-	444
6	Код на дисплеї для визначення цетанового числа	-	333
7	Напруга живлення	В	220
8	Максимальна абсолютна похибка вимірювання	%	2

При визначенні октанового числа палива та паливних сумішей за допомогою приладу ПЭ – 7300 готуються проби об'ємом 50 мл з кожного взірця палива та попередньо витримуються в приміщенні для досягнення сталої температури. Експеримент з визначення октанового числа повторюється тричі для кожного взірця палива.

Фракційний склад палива визначали на спеціальному стандартному приладі (апараті Енглера) згідно ГОСТ 2177-82 з максимальною похибкою вимірювання $\pm 2\%$. Сутність методу полягає у визначенні температур початку та кінця кипіння палива і вмісту фракцій, що википають у певних температурних межах [108].

Під час дослідження фракційного складу бензину та його сумішей з СМ, враховували температурну поправку на барометричний тиск, котрий визначали за по-

казами барометра М-67, що призначений для вимірювання атмосферного тиску в діапазоні 610-790 мм.рт.ст у наземних приміщеннях при температурі від -10°C до $+50^{\circ}\text{C}$ і відносній вологості повітря до 80%. Максимальна похибка приладу складає $\pm 0,8$ мм.рт.ст.

Тиск насичених парів бензину А-80 та його сумішей з СМ визначали згідно ГОСТ 1756-62 в стандартному приладі – бомбі Рейда з максимальною похибкою вимірювання $\pm 2,5\%$ [108].

Відсутність в паливі та його сумішах водорозчинних кислот і лугів визначаємо за допомогою індикаторів фенолфталеїну і метилового оранжевого згідно ГОСТ 6307-75 [109].

Густина бензину та паливних сумішей бензину і СМ вимірювали з максимальною похибкою $\pm 1\%$ за ГОСТ 3900-85. Ареометри для визначення густини підбирали згідно ГОСТ 18481, проби палива та паливних сумішей відбирали згідно ГОСТ 2517.

Для визначення показника рН товарного бензину та паливних сумішей бензину з СМ був використаний іонометр моделі ЭВ-74 з максимальною похибкою вимірювання $\pm 3\%$ (табл. 2.3) [110]. Для приготування буферних розчинів згідно ГОСТ 10171—62 при рН-метрії були використані стандартні титри згідно ГОСТ 8135-74 [110].

Нижчу теплоту згоряння сумішей СМ та бензину визначали розрахунковим методом за методикою [111].

Таблиця 2.3 –

Коротка технічна характеристика іонометра моделі ЭВ-74

№ п/п	Назва параметра	Одиниці вимірювання	Значення
1	Границі вимірювання рН: - від - до	рН рН	-1 +19
2	Відносна похибка: - верхня шкала - нижня шкала	% %	$\pm 0,5$ $\pm 1,5$
3	Струм повного відхилення	мкА	200

2.1.2 Методи дослідження основних фізико-технічних характеристик сумішей сивушних масел з дизельним паливом

Для дизельних палив та їх сумішей з СМ визначали наступні фізико-технічні показники: цетанове число; фракційний склад; кінематичну в'язкість при 20°C; низькотемпературні властивості (температури помутніння та застигання); температуру спалаху в закритому тиглі; вміст водорозчинних кислот і лугів; густину при 20°C та ін. [109].

Цетанове число дизельного палива та його сумішей з СМ вимірювали приладом „Октанометр” ПЭ – 7300 згідно інструкції з експлуатації.

Фракційний склад дизельного палива та його сумішей з СМ визначали згідно ГОСТ 2177-82 з максимальною похибкою вимірювання $\pm 2\%$. Цей показник для дизельних палив нормується згідно ДСТУ 3868 – 99 температурою 50% та 96% википання.

Кінематичну в'язкість дизельного палива вимірювали з максимальною похибкою $\pm 3\%$ згідно ГОСТ 33-66 капілярним віскозиметром ВПЖ-2 в комплекті з рідинним термостатом моделі СЖМЛ-19 /2,5-И1 [109].

Температуру спалаху дизельного палива та його сумішей з СМ визначали згідно ГОСТ 6356-75 на приладі моделі ТВ-2 з максимальною похибкою $\pm 1,5\%$ [109].

Відсутність у паливі водорозчинних кислот і лугів визначали згідно ГОСТ 6307-75 згідно пункту 2.1.1.

Низькотемпературні властивості дизельних палив та паливних сумішей, що характеризуються граничною температурою фільтрованості та температурою застигання, визначали з максимальною абсолютною $\pm 1,5\%$ згідно ГОСТ 22254 та ГОСТ 20287 [109].

Густину дизельного палива та паливних сумішей визначали ареометром з максимальною похибкою $\pm 1\%$ згідно ГОСТ 3900-85 згідно пункту 2.1.1.

Нижчу теплоту згоряння сумішей СМ та дизельного палива визначали розрахунковим методом за методикою [111].

2.2 Результати експериментальних досліджень фізико-технічних характеристик сумішей сивушних масел з бензином

Октанове число СМ становить більше 100 од. [112]. Тому для створення суміші з СМ було обрано бензин А-80, що відрізняється найменшим октановим числом порівняно з іншими вітчизняними марками бензину, а тому при утворенні паливних сумішей кількість використаних СМ буде максимальною.

Згідно результатів дослідження одержані наступні залежності октанового числа суміші СМ та бензину від відсоткового об'ємного вмісту СМ (рис. 2.1).

Визначені в експериментах октанові числа за дослідним методом (ОЧ_д) на кілька одиниць вищі, ніж октанові числа за моторним методом (ОЧ_м), це пояснюється м'якшими режимами роботи установки для визначення ОЧ_д, а саме менша частота обертання колінчастого вала двигуна 10c^{-1} і постійний кут випередження запалення 13° у порівнянні з моторним методом [111].

Одержані графічні залежності на рис. 2.1 описуються апроксимаційними рівняннями – поліномами другого порядку відносно об'ємного вмісту СМ у сумішах:

$$\text{ОЧ}_M = 76 - 0,1113V_{\text{СМ}}^2 + 2,9V_{\text{СМ}}, \quad (2.1)$$

$$\text{ОЧ}_d = 80 - 0,0744V_{\text{СМ}}^2 + 2,5786V_{\text{СМ}}, \quad (2.2)$$

де ОЧ_м – визначене октанове число суміші за моторним методом;

ОЧ_д – визначене октанове число суміші за дослідним методом;

$V_{\text{СМ}}$ – об'ємний вміст СМ в паливних сумішах, %.

Рівняння (2.1), (2.2) отримані за методом найменших квадратів [114]. Коефіцієнт кореляції для рівняння (2.1) дорівнює $\rho = 0,98$, а рівняння (2.2) $\rho = 0,99$.

Коефіцієнт кореляції розраховували за класичною методикою [114].

За результатами визначення октанового числа нами встановлено оптимальні склади паливних сумішей для отримання з них товарних марок палива:

- А-80+5% СМ – ОЧ збільшується до його значення для бензину А-92;
- А-80+8% СМ – ОЧ збільшується до його значення для бензину А-95;
- А-80+10% СМ – ОЧ збільшується до його значення для бензину А-96.

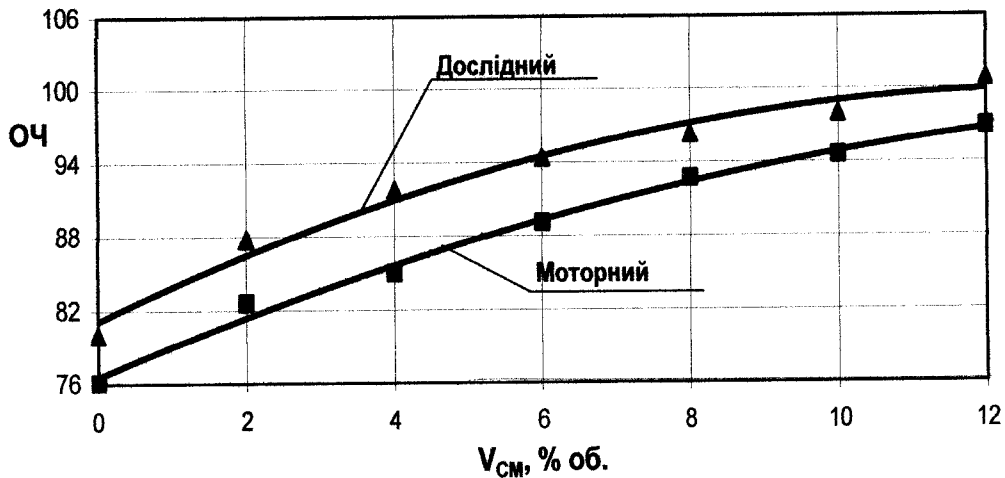


Рис. 2.1 - Залежність октанового числа бензину А-80 ОЧ від об'ємного вмісту сивушних масел, $V_{см}$

В'язкість і густина бензину А-80 істотно впливають на подачу палива через калібрований отвір жиклера карбюратора. Чим вища в'язкість бензину, тим меншою буде його об'ємна витрата через жиклер карбюратора, а із зростанням густини збільшиться його масова витрата. Густина бензину також впливає на склад горючої суміші та якість її приготування в камері згоряння ДВЗ [111], оскільки велика густина призводить до поганого змішування палива, утворюються краплі великого діаметру, що не встигають повністю згоріти у камері (механічна неповнота згоряння), як наслідок – зростання питомої витрати палива.

Досліджувані паливні суміші витримували певний час для досягнення ними температури навколишнього середовища [112]. Оскільки температура навколишнього середовища складала близько 23°C , то для визначених дослідним шляхом значень густини вносили температурну поправку для її переводу до густини при температурі 20°C , ρ^{20} [111]:

$$\rho^{20} = \rho^t + \gamma \cdot (t - 20), \quad (2.3)$$

де ρ^t - густина нафтопродукту при температурі визначення t , $\text{кг}/\text{м}^3$;

γ - середня температурна поправка зміни густини на 1°C , $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{C})$ [111].

Кінематичну в'язкість ν^{20} досліджуваних сумішей вимірювали за допомогою віскозиметра типу ВПЖ-2 в комплекті з термостатом СЖМЛ-19 /2,5-И1 для забез-

печення сталої температури 20°C [112]. Значення ν^{20} визначається за формулою[111]:

$$\nu^{20} = c \cdot \tau, \quad (2.4)$$

де c – стала віскозиметра, що дорівнює $c=0,1765 \text{ мм}^2/\text{с}^2$;

τ – час витікання паливної суміші через капіляр від верхньої мітки M_1 до нижньої M_2 у віскозиметрі, с.

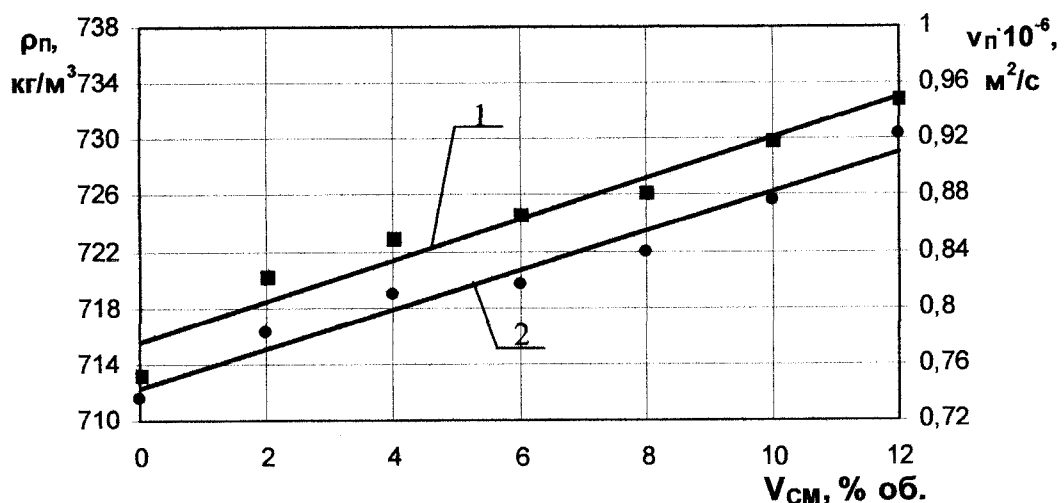
Результати дослідів з визначення в'язкості сумішей бензину і СМ наведені на рис. 2.2.

Зображені на рис. 2.2 криві зміни густини та в'язкості описуються наступними апроксимаційними залежностями з коефіцієнтами кореляції 0,954 та 0,963 відповідно:

$$\rho_{\text{п}} = a + b \cdot V_{\text{СМ}}, \quad (2.5)$$

$$\nu_{\text{п}} = a_1 + b_1 \cdot V_{\text{СМ}}, \quad (2.6)$$

де a, b, a_1, b_1 , – експериментальні коефіцієнти, що наведені в табл. 2.4 та визначаються за методом найменших квадратів [114].



1- густина палива; 2- кінематична в'язкість палива

Рис. 2.2 – Вплив об'ємного вмісту сивушних масел $V_{\text{СМ}}$ на кінематичну в'язкість $\nu_{\text{п}}$ і густину $\rho_{\text{п}}$ паливних сумішей

Коефіцієнт кореляції, як показники сили зв'язку між змінними x та y , визначався за класичною формулою [114]:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{(n-1) \cdot S_y \cdot S_x}, \quad (2.7)$$

де \bar{x} , \bar{y} - середні значення x_i та y_i ;

n - об'єм вибірки.

Дисперсії S_x , S_y розраховувалися за наступними формулами:

$$S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad (2.8)$$

$$S_y^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2. \quad (2.9)$$

Таблиця 2.4 –

Експериментальні значення коефіцієнтів в рівняннях (2.5) та (2.6)

Значення коефіцієнтів			
$\rho_{\text{п}}, \text{кг/м}^3$		$v_{\text{п}}, \text{м}^2/\text{с}$	
a	b	a_1	b_1
715,55	1,14554	$0,7426 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-8}$

Перевірку адекватності полінома першого порядку (2.5) – рівняння регресії з експериментальними значеннями коефіцієнтів a і b (табл. 2.4), отриманими за методом найменших квадратів за даними до рис. 2.2 [114], здійснювали за допомогою критерію Фішера [114]. Рівняння регресії вважається адекватним за умови:

$$F_P \leq F_T, \quad (2.10)$$

де F_P і F_T - значення критерію Фішера дослідне та табличне відповідно.

Дисперсію відтворюваності дослідів S_y^2 для кожної серії експериментів визначали в точці $V_{CM}=0,5(V_{CM \min} + V_{CM \max})$ в конкретній серії експериментів [114]:

$$S_y^2 = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k (\rho_i - \bar{\rho})^2, \quad (2.11)$$

де $k=5$ – кількість паралельних вимірювань;

ρ_{Bi} - значення густини i -го заміру;

$\bar{\rho}_B = (1/k) \cdot \sum_{i=1}^k \rho_{Bi}$ - середнє арифметичне значення густини паливних сумішей.

Дисперсію адекватності S_{ad}^2 знаходили за формулою [114]:

$$S_{ad}^2 = \frac{1}{N-B} \sum_{i=1}^N (\rho_{di} - \rho_{pi})^2, \quad (2.12)$$

де N - кількість дослідів у серії;

$B=2$ - кількість відшукваних коефіцієнтів у рівнянні (2.5);

ρ_{di} , ρ_{pi} - відповідно дослідне та розраховане за рівнянням (2.5) значення густини.

Розрахункове значення критерію Фішера дорівнює [114, 137]:

$$F_P = \frac{\max(S_{ad}^2; S_y^2)}{\min(S_{ad}^2; S_y^2)}, \quad (2.13)$$

де в чисельнику знаходиться більша, а в знаменнику – менша з вказаних дисперсій.

Табличне значення критерію Фішера F_T визначали за таблицями [138] при рівні значущості $q=5\%$ та числах степенів свободи $\nu_1=N-B$, $\nu_2=k-1$, так як у чи-

сельнику виразу (2.13) знаходилась дисперсія адекватності.

Отримані за експериментальними даними до рис. 2.2 значення S_{ad}^2 , S_y^2 , F_P , F_T наведені у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 –

Результати розрахунків з перевірки адекватності рівняння регресії (2.5) для паливних сумішей товарного бензину з СМ

ρ_i , кг/м ³	S_y^2	N	S_{ad}^2	F_P	F_T	$\bar{\rho}$, кг/м ³
725,1	0,65	7	2,443	3,75	5,05	724,6
724,7						
724,3						
724,8						
724,1						

Оскільки нерівність (2.10) задовольняється (табл.2.5), то рівняння регресії (2.5) з коефіцієнтами a , b , що наведені в табл. 2.4, адекватно описує результати дослідів.

Для визначення довірчого інтервалу коефіцієнтів a та b (табл. 2.4) рівняння регресії (2.5) послідовно вираховуються такі величини [114]:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\rho_{B \partial i} - \rho_{B pi})^2}{N}}, \quad (2.14)$$

$$Q_x = \sum_{i=1}^N V_{CM}^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^N V_{CM}\right)^2}{N}, \quad (2.15)$$

$$S_a = \frac{S}{\sqrt{N-2}}, \quad (2.16)$$

$$S_b = \sqrt{\frac{1}{(N-2)} \cdot \frac{S}{Q_x}} \quad (2.17)$$

Табличне значення критерію Стюдента t приймається за 5%-го рівня значущості та при числі степенів свободи $\nu = N - 2$ [114].

Довірчий інтервал коефіцієнтів a, b дорівнює добутку:

$$S_i \cdot t, \quad (2.18)$$

де індекс “ i ” відповідає коефіцієнту a чи b .

Обчислені за експериментальними даними до рис. 2.2 значення S, S_a, S_b, t наведені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 –

Результати розрахунків з визначення довірчих інтервалів коефіцієнтів a, b рівняння (2.5) для густини паливних сумішей товарного бензину з СМ

N	S	S_a	S_b	t	$(S_a \cdot t)$	$(S_b \cdot t)$
7	1,321	0,591	0,049	2,571	1,519	0,125

Оскільки абсолютна величина коефіцієнтів a, b суттєво більша за довірчий інтервал $(S_i \cdot t)$ для густини паливних сумішей товарного бензину з СМ, то оцінювані коефіцієнти a та b є статистично істотними, що засвідчує надійність одержаних результатів.

Результати всіх інших експериментальних даних у роботі оцінювалися статистично за аналогією з розглянутими результатами експериментальних досліджень залежності густини паливних сумішей від вмісту в них СМ.

Значення густини автомобільних бензинів різних марок коливається в діапазоні від 710 до 785 кг/м³ [113]. Визначена в дослідгах густина паливних сумішей знаходиться в межах від 713 до 734 і не виходить за межі зазначеного діапазону, а

істотне підвищення густини паливної суміші вплине на рівень палива у поплавковій камері порівняно з бензином.

Малі значення коефіцієнтів при V_{CM} у рівнянні (2.6) свідчать, що кінематична в'язкість одержаних паливних сумішей не істотно відрізняється від в'язкості чистого бензину. Отже, добавка СМ до бензинів в кількості до 12% об. негативно не вплине на прокачуваність суміші через систему живлення.

Додавання СМ до інших марок бензинів можливе тільки у малих кількостях, оскільки бензини А-92, А-95 мають високі октанові числа і їх підвищення можливе тільки до значень для бензину А-98, а тому негативного впливу на їх фізико-технічні показники не буде.

Тиск насичених парів. При обробці результатів експерименту для визначення істинного значення тиску насичених парів p_H було враховано поправку на барометричний тиск [108]:

$$p_H = p_M - \Delta p, \quad (2.19)$$

де p_H – істинне значення ТНП відповідного палива, мм.рт.ст.;

p_M – експериментальне значення ТНП відповідного палива за ртутним манометром, мм.рт.ст.;

Δp – поправка на барометричний тиск, мм.рт.ст. [108].

Розрахунок температури, при якій можливе утворення парових пробок у підкапотному відділенні системи живлення, здійснювали за формулою [108]:

$$t_{ПП} = 123 - 0,751p_H \quad (2.20)$$

де $t_{ПП}$ – температура утворення парових пробок, °С.

Згідно результатів дослідження ТНП побудовано експериментальну залежність ТНП від об'ємного вмісту в паливі СМ (рис.2.3).

За вимогами стандарту [107] для бензинів ТНП не повинен перевищувати 500 мм.рт.ст., що за результатами експерименту відповідає цим межам.

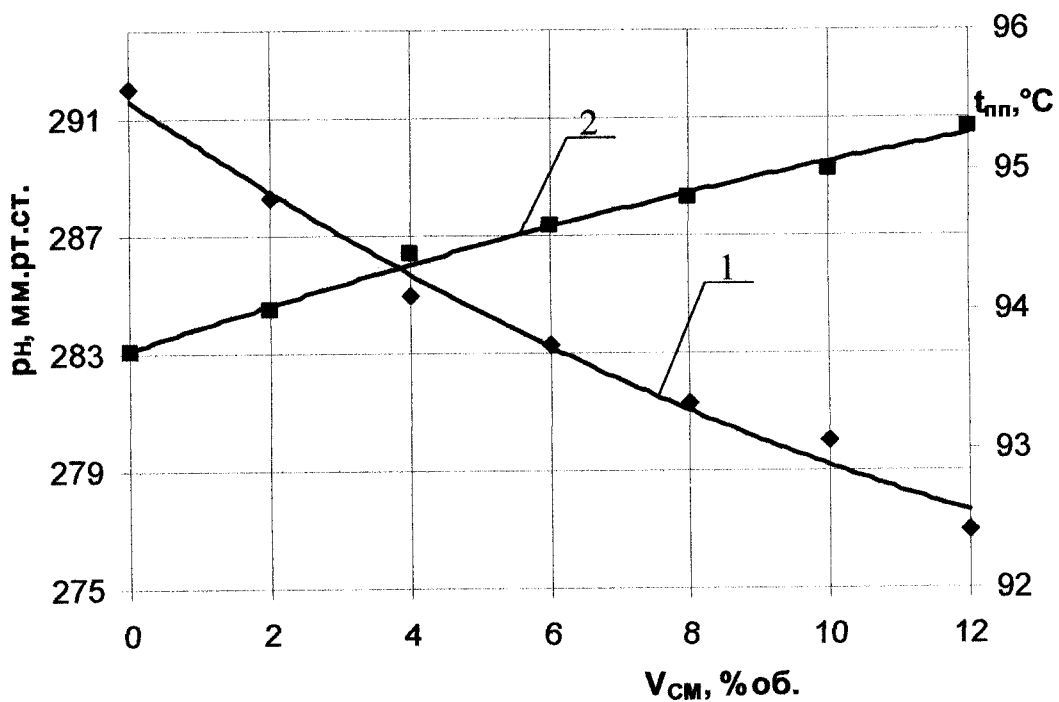
Згідно результатів дослідів збільшення вмісту СМ у паливі (рис. 2.3) призводить до зростання температури утворення парових пробок у системі живлення, що дозволяє використовувати такі паливні суміші за високих температур навколишнього середовища без загрози утворення парових пробок в системі живлення ДВЗ.

Результати дослідів описуються наступними поліномами:

$$p_H = 292 + 0,0384V_{CM}^2 - 1,6268V_{CM}, \quad (2.21)$$

$$t_{ПП} = 93,7 - 0,003V_{CM}^2 + 0,1643V_{CM}. \quad (2.22)$$

Коефіцієнти кореляції для поліномів (2.21) та (2.22) складають $\rho = 0,98$ і $\rho = 0,99$ відповідно.



1- ТНП; 2- температура утворення парових пробок; $t_{HC}=20^{\circ}C$, $p_B=720$ мм.рт.ст.

Рис. 2.3 – Експериментальна залежність тиску насичених парів p_H та температури утворення парових пробок $t_{ПП}$ від об'ємного вмісту в паливних сумішах СМ V_{CM}

Вміст водорозчинних кислот і лугів у паливі спричиняє сильну корозію металічних деталей двигуна та системи живлення, а тому наявність їх у бензинах недопустима [115]. Їхній вміст у паливі визначали згідно ГОСТ 6307-75 [109].

За результатами проведеного експерименту вмісту водорозчинних кислот та лугів у бензині А-80 та паливних сумішей бензину А-80 і СМ згідно пункту 2.1.1 не виявлено.

Показник рН паливних сумішей бензину з СМ визначали за допомогою іонометра ЭВ-74.

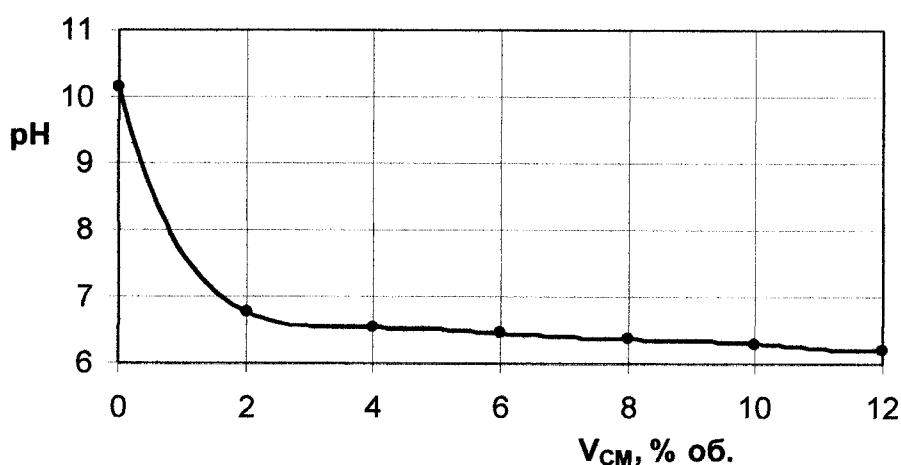
Згідно результатів визначення рН побудована експериментальна залежність рН паливної суміші бензину та СМ від об'ємного вмісту в СМ $V_{\text{СМ}}$ (рис. 2.4).

Як видно з рис. 2.4, при додаванні СМ до бензинів паливо з більш лужного середовища зменшується до показника нейтрального середовища, що сприятиме зменшенню корозійної активності таких паливних сумішей.

Наведена на рис. 2.4 крива описується наступним поліномом:

$$\text{pH} = 10,2 + 5 \cdot 10^{-5} V_{\text{СМ}}^6 - 0,002 V_{\text{СМ}}^5 + 0,038 V_{\text{СМ}}^4 - 0,334 V_{\text{СМ}}^3 + 1,575 V_{\text{СМ}}^2 - 3,773 V_{\text{СМ}} \quad (2.23)$$

де рН – показник рН суміші бензину і СМ.



$t_{\text{НС}}=20^{\circ}\text{C}$; $p_{\text{Б}}=730 \text{ мм.рт.ст.}$; коефіцієнт кореляції $\rho = 0,99$

Рис. 2.4 – Експериментальна залежність рН суміші бензину А-80 з СМ від об'ємного вмісту СМ $V_{\text{СМ}}$

При додаванні СМ до інших марок бензину спостерігається аналогічний перехід з лужного середовища до нейтрального.

Визначення фракційного складу паливних сумішей проводилося за наступних умов: температура навколишнього середовища $t_{\text{НС}}=20^{\circ}\text{C}$, барометричний тиск $p_{\text{Б}}=735$ мм.рт.ст. за ГОСТ 2177-82.

Згідно результатів експерименту побудовано експериментальну залежність температури википання бензину А-80 від об'ємного вмісту СМ, $V_{\text{СМ}}$ (рис. 2.5).

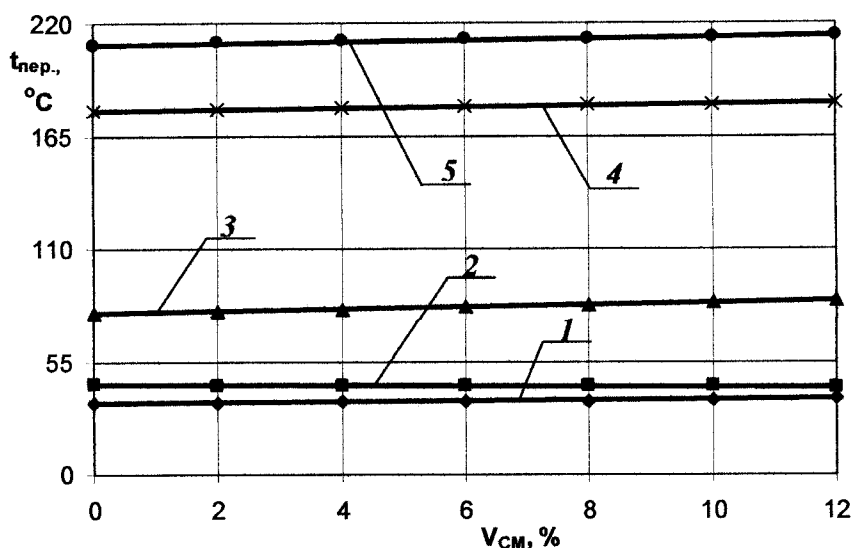
При об'ємі залишку палива у колбі і втрат під час перегонки паливних сумішей бензину та СМ побудований графік (рис. 2.6).

Відносний об'єм залишку у колбі r_i обчислено із співвідношення:

$$r_i = \frac{V_{\text{зал.}}}{V_{\text{заг.}}}, \quad (2.24)$$

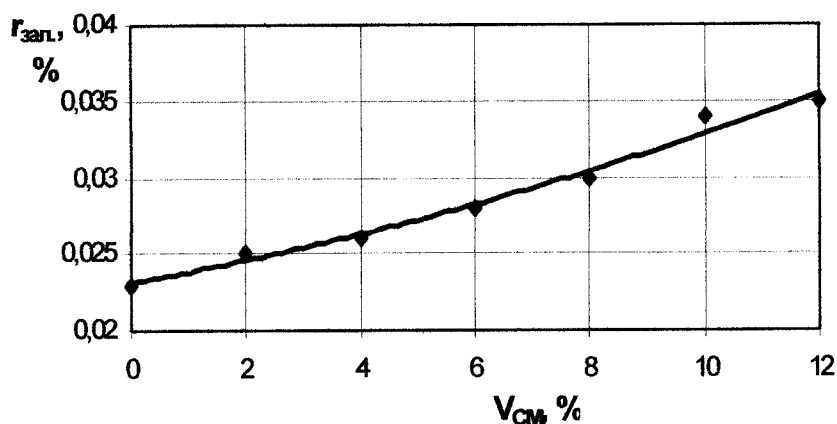
де $V_{\text{заг.}}$ - загальний об'єм суміші взятої для перегонки, мл.;

$V_{\text{зал.}}$ - об'єм суміші, що залишився у колбі після перегонки, мл.



1- температура початку кипіння; 2- температура 10% википання; 3- температура 50% википання; 4- температура 90% википання; 5- температура кінця кипіння, $\rho=0,98$

Рис. 2.5 – Залежність температури перегонки $t_{\text{пер.}}$ суміші бензину А-80 з СМ від об'ємного вмісту СМ $V_{\text{СМ}}$



$$\rho = 0,99$$

Рис. 2.6 – Залежність об'єму залишку $\gamma_{залиш.}$ суміші бензину з СМ у колбі при перегонці від об'ємного вмісту СМ $V_{СМ}$

Залежність, що наведена на рис. 3.6 описується наступним поліномом:

$$\gamma_{залиш.} = 0,023 + 3 \cdot 10^{-5} V_{СМ}^2 + 0,0007 V_{СМ}, \quad (2.25)$$

де $\gamma_{залиш.}$ – відносний об'єм паливної суміші бензину А-80 з СМ, що залишився у колбі при перегонці.

Для забезпечення нормальних умов зберігання палива температура початку кипіння повинна бути не нижча ніж 30°C [107]. Добавка до бензину СМ дещо збільшує цю температуру (див. рис.2.5), що покращить умови зберігання палива.

Температура 10% википання ($t_{10\%}$), що характеризує легкість пуску ДВЗ та впливає на інтенсивність зношування циліндро-поршневої групи під час запуску, згідно стандарту повинна бути для бензинів не більше ніж 75°C [107]. Як довели досліді, температура паливних сумішей відповідає стандарту.

Температура 50% википання ($t_{50\%}$) впливає на прогрівання ДВЗ після пуску, його динамічність, інтенсивність розгону автомобіля до певної швидкості після різкого відкриття дросельної заслінки і для бензинів не повинна перевищувати 120°C [107]. Згідно дослідів (рис. 2.5) температура $t_{50\%}$ википання паливних сумішей теж

відповідає вимогам стандарту.

Важливе значення мають температури 90% ($t_{90\%}$) та кінця википання, які характеризують склад робочої суміші в циліндрах в кінці такту стиску, повноту згорання палива, приймальність двигуна, спрацювання деталей циліндро-поршневої групи, витрату оливи, склад відпрацьованих газів [107].

Для бензинів температура $t_{90\%}$ википання повинна бути не більша ніж 190°C, а температура кінця кипіння не більша ніж 215°C [107]. Як показали досліди, за даними температурами суміш відповідає вимогам стандарту (рис.2.5).

Важливе значення для роботи ДВЗ має об'єм залишку палива у колбі і втрат при перегонці, зі зростанням яких збільшується нагар в камері згорання і на деталях циліндро-поршневої групи та потрапляння палива в моторну оливу, що розріджує її [116]. Згідно стандарту залишок палива у колбі з втратами при перегонці не повинен перевищувати 4% [107]. Одержані результати (рис. 2.6) відповідають цим вимогам.

2.3 Результати експериментальних досліджень фізико-технічних характеристик сумішей сивушних масел з дизельним паливом

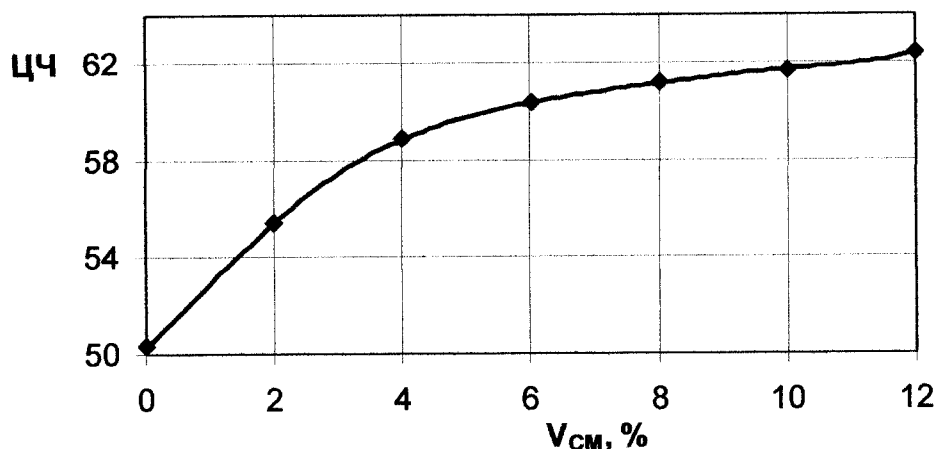
Цетанове число СМ Івано-Франківського ОДОСП "Княгинин" становить більше 70 од. [117], а тому для створення паливних сумішей СМ та дизельного палива взято вітчизняне літнє дизельне паливо, оскільки його цетанове число має найнижче значення і під час утворення сумішей та спалюванні їх у ДВЗ утилізується максимальна кількість СМ. Вимірювання цетанового числа проводилися за допомогою октанометра моделі ПЭ-7300.

Згідно результатів дослідження побудовані графічні залежності цетанового числа суміші дизельного палива з СМ від об'ємного вмісту СМ $V_{\text{СМ}}$ (рис. 2.7).

Відповідно до результатів визначення цетанового числа сумішей дизельного палива та СМ отримано наступне апроксимаційне рівняння:

$$\text{ЦЧ} = 49,9 - 0,1366V_{\text{СМ}}^2 + 2.5532V_{\text{СМ}}, \quad (2.26)$$

е ЦЧ– цетанове число суміші дизельного палива і СМ.



$$\rho = 0,99$$

Рис. 2.7 - Експериментальна залежність цетанового числа ЦЧ суміші дизельного палива з СМ від об'ємного вмісту СМ $V_{\text{СМ}}$

Зростання цетанового числа із збільшенням вмісту СМ призводить до полегшення пуску дизеля та збільшення максимального тиску згоряння палива. Значне підвищення цетанового числа обумовлює збільшення питомої витрати палива, токсичності та димності відпрацьованих газів, а тому за цим показником оптимальний вміст СМ в дизельному паливі – 4-10 % об'ємних [117].

Згідно тенденцій розвитку дизельних двигунів збільшується міра стискування в них, що дозволяє використовувати дизельне паливо з вищим цетановим числом. Тому можна підняти вміст СМ в дизельному паливі до 12% [117].

За результатами визначення цетанового числа паливних сумішей та з урахуванням технічної характеристики дизельного двигуна Д21А1, що входить до складу розробленої дослідної установки для дослідження екологічних та техніко-експлуатаційних показників роботи дизельного двигуна, досліджувались паливні суміші з об'ємним вмістом СМ 2-6 % [117].

Досліджувані паливні суміші витримували в лабораторії до досягнення ними температури навколишнього середовища, почергово заливши в скляний циліндр ємністю 100 мл. Суміші для дослідження густини обирали нафтоденсиметр згідно ГОСТ 3900 з діленням шкали 820-880 кг/м³. Згідно результатів вимірів густини до-

ліджуваних сумішей дизельного палива та СМ побудовано експериментальну залежність густини суміші дизельного палива з СМ від об'ємного вмісту сивушних масел, $V_{\text{СМ}}$ (рис. 2.8).

В'язкість досліджуваних сумішей визначали за допомогою віскозиметра типу ВПЖ-2 за ГОСТ 33-66 у комплекті з термостатом СЖМЛ-19/2,5-И1 для забезпечення сталої температури 20°C (рис. 3.8). Для розрахунку в'язкості використали формулу (2.4).

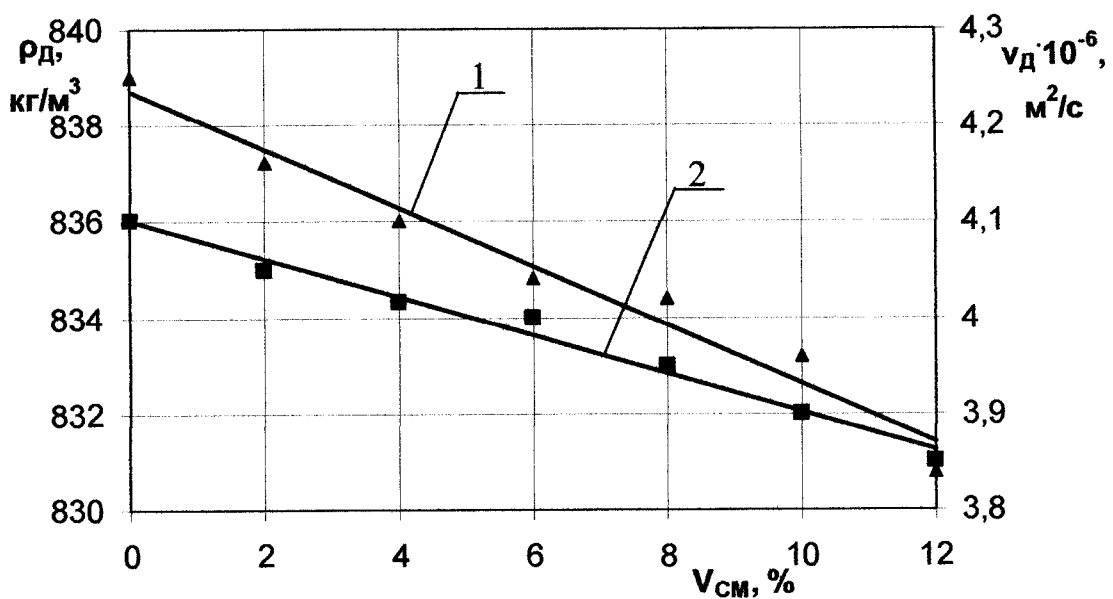
Експериментальні залежності (рис. 2.8) апроксимуються наступними рівняннями з коефіцієнтами кореляції $\rho = 0,93$ та $\rho = 0,99$ відповідно:

$$\nu_{\text{Д}} = 4,236 \cdot 10^{-6} - 3,05 \cdot 10^{-8} V_{\text{СМ}}, \quad (2.27)$$

$$\rho_{\text{Д}} = 836 - 0,398 V_{\text{СМ}}, \quad (2.28)$$

де $\nu_{\text{Д}}$ – кінематична в'язкість суміші дизельного палива і СМ, $\text{м}^2/\text{с}$;

$\rho_{\text{Д}}$ – густина суміші дизельного палива і СМ, $\text{кг}/\text{м}^3$.



1- в'язкість паливних сумішей, $\rho = 0,97$; 2- густина паливних сумішей, $\rho = 0,98$;
 $t_{\text{НС}} = 20^{\circ}\text{C}$; $p_{\text{Б}} = 730 \text{ мм.рт.ст.}$

Рис. 2.8 – Залежність в'язкості $\nu_{\text{Д}}$ і густини $\rho_{\text{Д}}$ сумішей дизельного палива та СМ від об'ємного вмісту СМ $V_{\text{СМ}}$

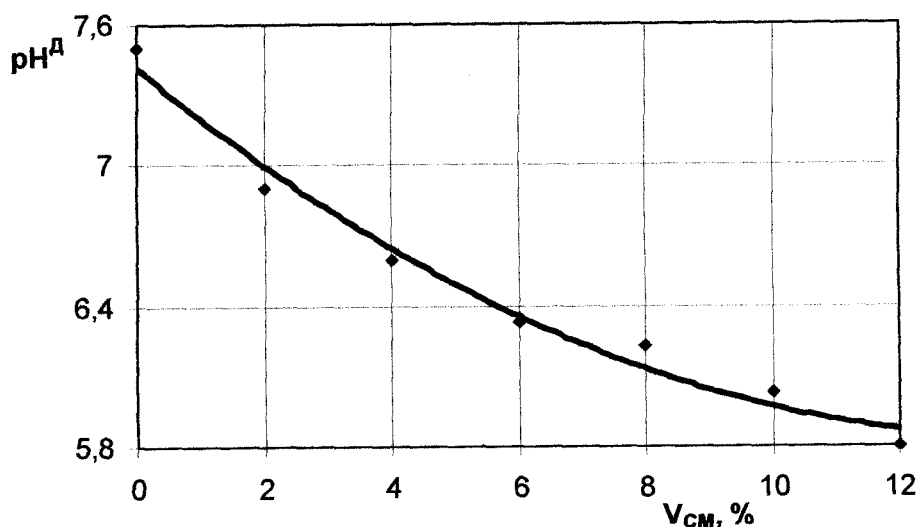
В'язкість та густина дизельного палива впливають на процес його прокачування системою живлення, безвідмовну роботу паливного насоса високого тиску, спрацювання прецизійних пар, безперервну подачу палива в циліндри, якість розпилення та повноту згоряння, на його витрату та склад відпрацьованих газів [111].

Густина палива для сучасних дизелів коливається в межах $820 - 860 \text{ кг/м}^3$, а в'язкість для літнього дизельного палива – в межах $(3,0 - 6,0) \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ [113].

Згідно експерименту (рис. 2.8) добавки СМ до дизельного палива суттєво не впливають на в'язкість і густину утворених сумішей, отже, властивості цих паливних сумішей відповідають вимогам ДСТУ на дизельні палива [113].

Показник рН дизельного палива та його сумішей з СМ визначали за допомогою іонометра ЭВ-74.

За результатами визначення рН побудовано експериментальну залежність рН сумішей дизельного палива з СМ від об'ємного вмісту СМ, $V_{\text{СМ}}$ (рис. 2.9).



$\rho=0,98$; умови експерименту: $t_{\text{НС}}=20 \text{ }^\circ\text{C}$; $p_{\text{Б}}=740 \text{ мм.рт.ст.}$

Рис. 2.9 – Експериментальна залежність $\text{рН}^{\text{Д}}$ сумішей дизельного палива з СМ від об'ємного вмісту СМ $V_{\text{СМ}}$

Експериментальна залежність показника $\text{рН}^{\text{Д}}$ сумішей дизельного палива та СМ описується наступним поліномом:

$$\text{рН}^{\text{Д}} = 7,5 + 0,0161V_{\text{СМ}}^2 - 0,2993V_{\text{СМ}}, \quad (2.29)$$

де $\text{рН}^{\text{Д}}$ – показник рН суміші дизельного палива з СМ.

При додаванні СМ до дизельного палива показник рН з більш лужного сере-

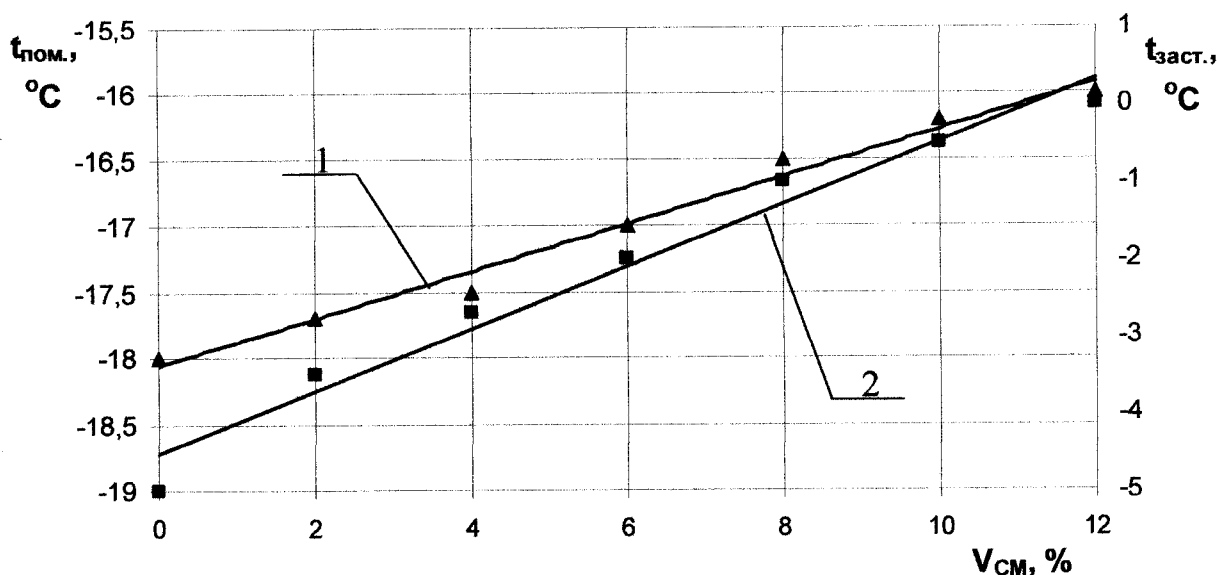
овища знижується до показника нейтрального середовища, що буде сприяти зменшенню корозійної активності таких паливних сумішей.

Водорозчинні кислоти, луги та кислотність дизельного палива спричиняють корозію металічних деталей двигуна та системи живлення. А тому кислотність палива більша 5 мг КОН на 100 см³ та наявність водорозчинних кислот і лугів неприпустима [113]. Їх наявність в паливі визначили згідно ГОСТ 6307-75.

Результати експерименту з визначення водорозчинних кислот і лугів засвідчують про їх відсутність у створених паливних сумішах.

Визначення граничної температури фільтрованості та температури застигання дизельного палива та його сумішей з СМ визначали за допомогою стандартного приладу згідно ГОСТ 22254 та ГОСТ 20287.

За результати визначення граничної температури фільтрованості і застигання сумішей дизельного палива та СМ побудовано експериментальну залежність цих температур від об'ємного вмісту в сумішах СМ (рис. 2.10).



1- температура застигання, $\rho = 0,98$; 2- температура помутніння, $\rho = 0,99$; умови експерименту: $t_{НС} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$; $p_{Б} = 740 \text{ мм.рт.ст.}$

Рис. 2.10 – Експериментальна залежність граничних температур фільтрованості $t_{пом.}$ і застигання $t_{заст.}$ суміші дизельного палива з СМ від об'ємного вмісту СМ $V_{СМ}$

Залежності граничної температури фільтрованості та застигання дизельного палива від об'ємного вмісту СМ описуються наступними поліномами:

$$t_{\text{заст}} = -18 - 9 \cdot 10^{-16} V_{\text{СМ}}^2 + 0,1786 V_{\text{СМ}}, \quad (2.30)$$

$$t_{\text{пом}} = -5 + 0,4054 V_{\text{СМ}}, \quad (2.31)$$

де $t_{\text{заст}}$ – температура застигання суміші дизельного палива і СМ, °С;

$t_{\text{пом}}$ – температура помутніння суміші дизельного палива і СМ, °С.

Як видно з результатів дослідження (рис. 2.10) додавання СМ до дизельних палив призводить до підвищення граничної температури фільтрованості та застигання, отже паливні суміші дизельного палива з вмістом СМ 12% слід використовувати при температурі не нижче -16 °С.

Важливим показником, що впливає на пожежну безпеку під час зберігання дизельного палива є температура спалаху, що для літнього палива має бути не нижчою за 40° С [113].

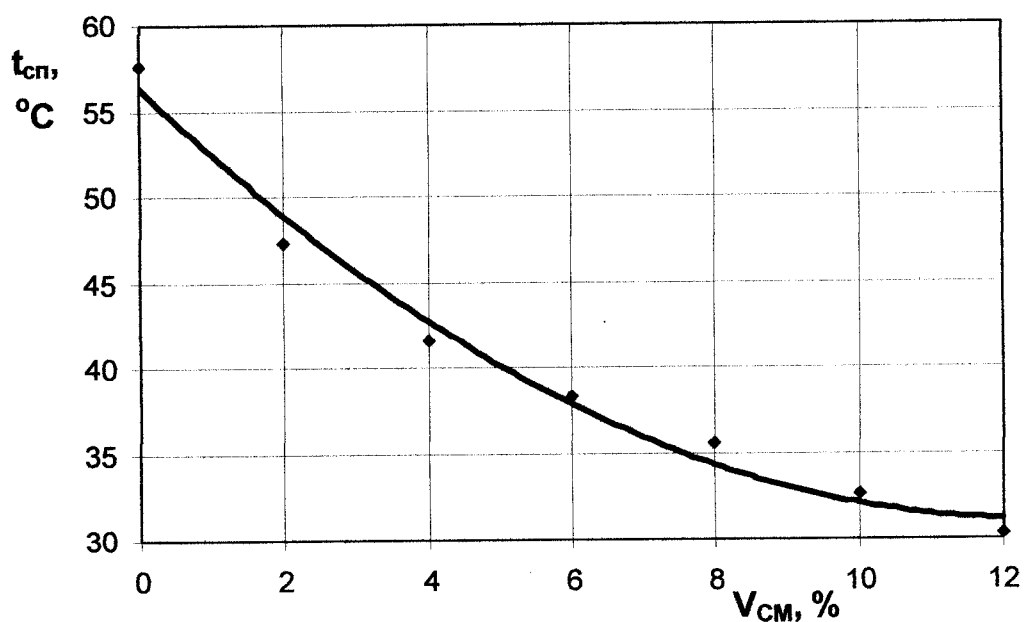
Температура спалаху визначалася в стандартному приладі моделі ТВ-2 згідно ГОСТ 6356-75. За результатами визначення температури спалаху в закритому тиглі сумішею дизельного палива і СМ побудована експериментальна залежність температури спалаху дизельного палива від об'ємного вмісту СМ $V_{\text{СМ}}$, (рис. 2.11).

Експериментальна залежність температури спалаху сумішею дизельного палива з СМ описується наступним поліномом:

$$t_{\text{сп}} = 58 + 0,1628 V_{\text{СМ}}^2 - 4,0482 V_{\text{СМ}}, \quad (2.32)$$

де $t_{\text{сп}}$ – температура спалаху суміші дизельного палива і СМ, °С.

Отже, згідно результатів дослідження (рис. 2.11) при додаванні СМ до дизельних палив температура спалаху знижується, а тому за цим показником до дизельного палива слід додавати СМ не більше 6% за об'ємом.



$\rho = 0,99$

Рис. 2.11 – Залежність температури спалаху $t_{сп}$ сумішей дизельного палива з СМ від об'ємного вмісту СМ $V_{СМ}$

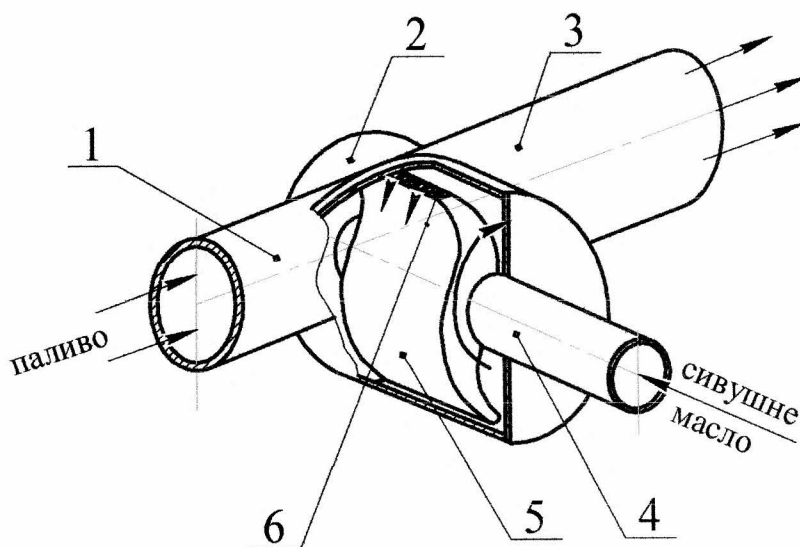
Отримані у цьому розділі результати складають основу для проведення досліджень екологічних показників роботи ДВЗ у процесі застосування новостворених альтернативних палив.

2.4 Розроблення устаткування для процесу утворення сумішей моторних палив з СМ

Для змішування СМ з товарними паливами у виробничих умовах було розроблено та виготовлено змішувач (рис. 2.12, 2.13) за патентом автора [118].

Товарне паливо поступає під створеним зовні тиском через патрубок 1 до корпуса змішувача 2 і спричиняє обертання ротора Савоніуса 5, а утворена паливна суміш залишає змішувач через патрубок 3 (рис. 2.12). Внутрішній діаметр патрубок 1, 3 та корпуса 2 дорівнюють відповідно 17, 21 мм та 68 мм. У процесі обертання ротора СМ засмоктується під дією відцентрових сил через патрубок 4 діаметром 12 мм до внутрішньої осьової порожнини ротора Савоніуса 5. Висота лопаті ротора Савоніуса складає 32 мм, осьова довжина лопаті 45 мм. Під час обертання ротора

розпилювання СМ здійснюється через двадцять радіальних отворів 6 (по десять на кожній лопаті) в роторі діаметром 1,5 мм, що сполучені з внутрішньою осьовою порожниною ротора.



1 – патрубок для подачі палива; 2 – корпус; 3 – патрубок для відведення паливної суміші; 4 – патрубок для подачі СМ; 5 – ротор Савоніуса; 6 – отвори

Рис. 2.12 – Змішувач для моторних палив за патентом автора [118]

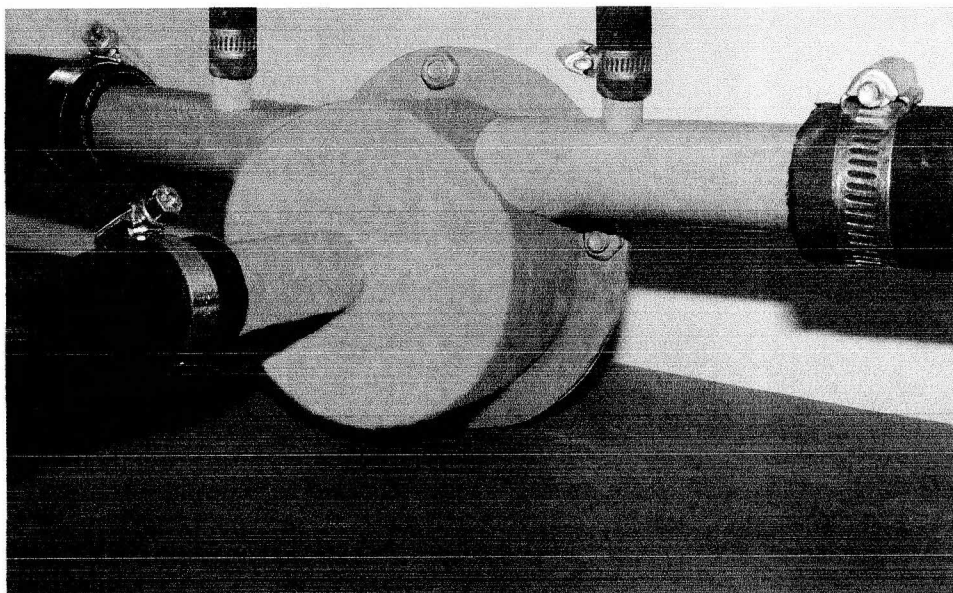
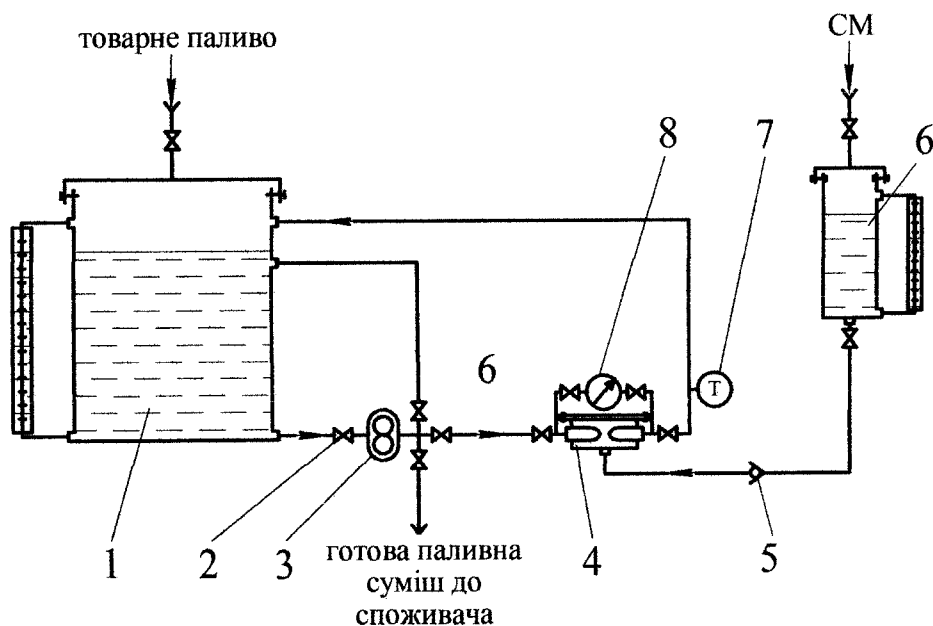


Рис. 2.13 – Зовнішній вигляд змішувача для моторних палив розробленого за патентом [118]

Для процесу одержання сумішей товарних палив з СМ в умовах діючого автотранспортного підприємства та для дослідження характеристики змішувача розроблена і змонтована установка, схема якої зображена на рис 2.14.



1 – посудина для товарного палива; 2 – вентилі; 3 – насос шестеренний; 4 – змішувач моторних палив; 5 – клапан зворотний; 6 – мірник для СМ; 7 – термометр термоелектричний; 8 – манометр диференціальний

Рис. 2.14 – Схема установки для одержання сумішей товарних палив з СМ у виробничих умовах

Процес одержання паливних сумішей, що містять СМ, реалізується наступним чином. Посудина 1 (рис. 2.14) заповнюється товарним паливом так, щоб об'єм утвореної в наступному паливної суміші з наперед заданим вмістом СМ не перевищував місткості посудини 1 – 200 літрів. Пропорційно кількості товарного палива в посудині 1 до мірника 6 об'ємом 35 літрів заливається відповідна кількість СМ. Після цього вмикається насос 3, який подає паливо з посудини 1 до змішувача 4 і далі утворену суміш повертає до посудини 1. Циркуляція паливної суміші через змішувач 4 припиняється після випорожнення мірника 6, а одержана паливна суміш насосом 3 подається до споживача.

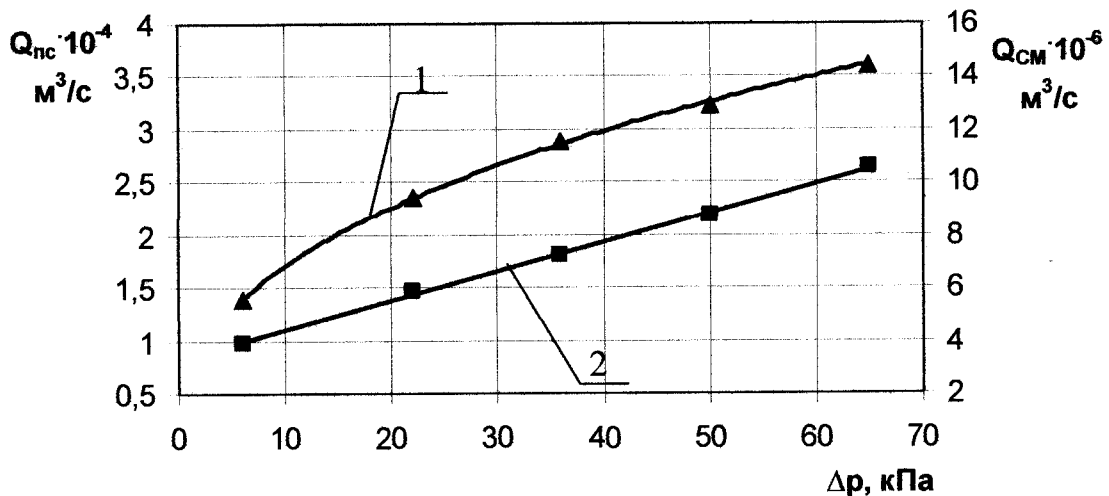
В установці використано змішувач за патентом автора [118], характеристика якого наведена на початку підрозділу, та насос шестеренний моделі НМШФ 2-40-

1,6/4Б-13. Максимальна подача насоса $1,6 \text{ м}^3/\text{год}$ за максимального надлишкового тиску $0,4 \text{ МПа}$, а номінальна потужність його приводу дорівнює $1,1 \text{ кВт}$. Для дослідження характеристики змішувача 4 використані диференціальний манометр ДМТ-3583М11 з максимальною приведеною похибкою вимірювання $\pm 0,6 \%$ та платино-родієва термопара з вторинним приладом моделі М890G для вимірювання температури палива з максимальною похибкою $\pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Характеристика змішувача 4 досліджена на прикладі сумішей дизельного палива з СМ за такою методикою:

- течія товарного палива чи паливної суміші через змішувач 4 створювалася шестеренним насосом 3, а подача палива регулювалася за способом байпасу;
- гідравлічний опір або втрати повного тиску під час протікання палива через змішувач 4, вхідний та вихідний патрубки котрого були розташовані в одній горизонтальній площині, фіксували за допомогою диференціального манометра 8; при цьому зміною питомої кінетичної енергії між замірними перерізами нехтували з причин неістотної різниці в густинах та швидкостях течії;
- витрату паливної суміші на виході із змішувача 4 визначали масовим способом з максимальною похибкою $\pm 0,05 \%$, а витрату СМ - об'ємним способом за шкалою мірника 5 з максимальною похибкою $\pm 0,1\%$.
- стабільність режиму течії за конкретної витрати оцінювали візуально за незмінністю показів диференціального манометра 7 і температури течії; за досягненням зазначених умов фіксували не менше трьох показів диференціального манометра, температури течії та витрат СМ і паливної суміші, а в процесі обробки результатів дослідів використовували середні значення виміряних і зафіксованих показників;
- результати досліджень залежностей витрати паливної суміші $Q_{\text{пс}}$, витрати СМ $Q_{\text{см}}$ від втрат повного тиску Δp на змішувачі 4 за незмінної температури течії обробляли графічно та отримували апроксимаційні рівняння зазначених залежностей за методом найменших квадратів.

На рис. 2.15 наведена характеристика змішувача для приготування суміші дизельного палива з СМ за значення температури $20 \text{ }^\circ\text{C}$.



1 – витрата паливної суміші $Q_{пс}$; 2 – витрата СМ $Q_{СМ}$

Рис. 2.15 – Характеристика змішувача за патентом [118] для змішування товарного дизельного палива з СМ

Залежності витрати паливної суміші $Q_{пс}$ та СМ $Q_{СМ}$ від втрат повного тиску Δp на змішувачі (рис. 2.15) апроксимуються наступними рівняннями, що отримані шляхом оброблення даних експериментів за методом найменших квадратів:

$$Q_{пс} = 0,68 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta p^{0,4}, \quad (2.33)$$

$$Q_{СМ} = 0,111 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta p + 3,265 \cdot 10^{-6} \quad (2.34)$$

з коефіцієнтами кореляції $\rho=0,99$ та $\rho=0,98$ відповідно.

Далі, виходячи з відомих геометричних розмірів змішувача, витрат паливної суміші $Q_{пс}$ і СМ $Q_{СМ}$ та густини суміші дизельного палива з СМ було розраховано коефіцієнт гідравлічного опору змішувача $\zeta_{зм}$ за відомою формулою:

$$\zeta_{зм} = \frac{2 \cdot \Delta p}{\rho \cdot w^2}, \quad (2.35)$$

де Δp – втрати повного тиску на змішувачі, Па;

w – розрахункова швидкість протікання паливної суміші через змішувач, м/с;
 ρ – густина паливної суміші, кг/м³.

Розрахункова швидкість w віднесена до площі осьового перерізу лопаті Савоніуса (висота лопаті помножена на довжину лопаті) з тих міркувань, що в корпусі 2 змішувача (рис. 2.12) течія рідини на виході з патрубка 1 набігає на лопать і, створюючи силову дію на лопать, розтікається по її поверхні.

У критерії Рейнольдса $Re = d_e \cdot w / \nu$ використано діаметр кола d_e , яке по площі еквівалентне площі осьового перерізу лопаті Савоніуса.

За результатами розрахунків побудовано залежність коефіцієнта гідравлічного опору змішувача $\zeta_{зм}$ від критерію Рейнольда Re (рис. 2.16).

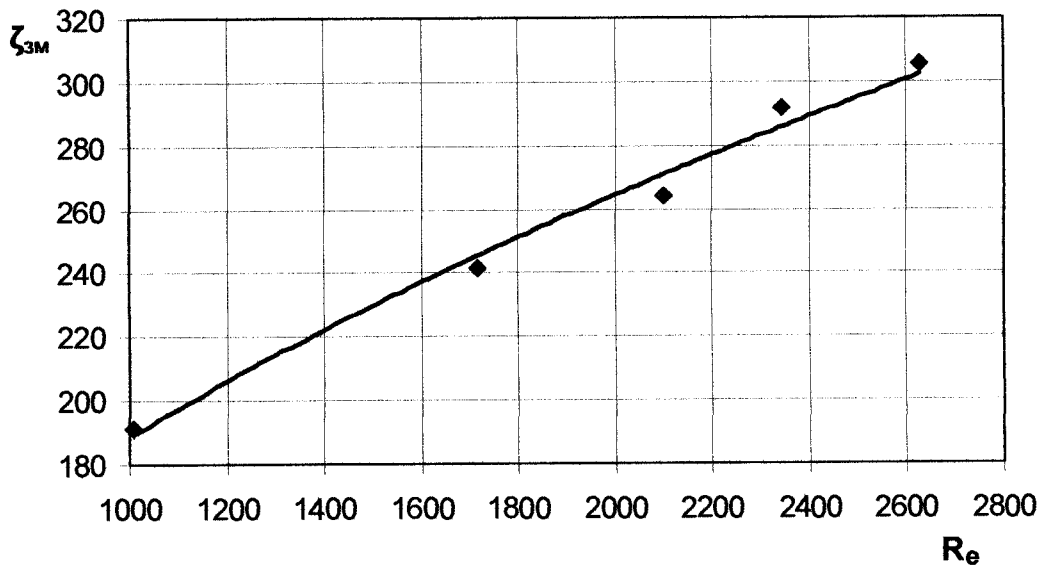


Рис. 2.16 – Залежність коефіцієнта гідравлічного опору змішувача $\zeta_{зм}$ від числа Рейнольдса Re

Залежність коефіцієнта гідравлічного опору змішувача $\zeta_{зм}$ від числа Рейнольдса Re (рис. 2.16) апроксимується рівнянням, що одержане за методом найменших квадратів:

$$\zeta_{зм} = 6,436 \cdot Re^{0,489} \quad (2.36)$$

з коефіцієнтом кореляції $\rho=0,98$.

Втрати повного тиску на змішувачі Δp , як і в будь-якому складному елементі трубопроводу, з фізичної точки зору неподільні, але для зручності їх можна розчленувати на “місцеві” втрати Δp_M та втрати “тертя” Δp_T [119]. Останніми втратами Δp_T доцільно знехтувати з причин незначної довжини шляху течії через змішувач. Місцеві втрати Δp_M складаються з втрат на виході з патрубка 1 (рис. 2.12) – раптове розширення течії Δp_R , на вході в патрубок 3 – раптове звуження течії Δp_3 , місцевого опору ротора Савоніуса (суто гідравлічний опір та втрати енергії на перемішування рідини в корпусі змішувача) $\Delta p_{\text{рот}}$:

$$\Delta p \approx \Delta p_M = \Delta p_R + \Delta p_3 + \Delta p_{\text{рот}} . \quad (2.37)$$

Методологія розрахункового визначення втрат Δp_R , Δp_3 на даний час добре відпрацьована (див. наприклад, [119]). За нашими розрахунками ці втрати сягають до 6% від Δp , що дозволяє у разі потреби, за наявності формул (2.36) і (2.37) визначити втрати $\Delta p_{\text{рот}}$.

Рівняння (2.33), (2.34), (2.36) справедливі в інтервалі зміни $Q_{\text{пс}}$ від $1,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ до $3,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$, $Q_{\text{см}}$ від $4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ до $10,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ та для густин товарного дизельного палива $836 \text{ кг}/\text{м}^3$, СМ – $834 \text{ кг}/\text{м}^3$ за температури складників палива 20°C .

Дослідження характеристики змішувача у складі схеми на рис. 2.14 показали, що за температури навколишнього середовища 20°C , при втраті повного тиску на змішувачі $\Delta p \approx (60 - 65) \text{ кПа}$, об’ємна витрата СМ сягала до $10,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$. Час приготування паливної суміші у кількості 195 л з вмістом СМ 10% коливався в межах від 30 до 33 хв. Отримана за допомогою змішувача паливна суміш була гомогенною і не розшаровувалась протягом 30 діб зберігання за коливань температури від 14 до 21°C .

В подальшому установка для одержання сумішей товарних палив з СМ (рис.2.14) була використана під час промислової апробації результатів дисертаційної роботи.

Висновки

1. Досліджені бензин і дизельне паливо утворюють з СМ стійкі однорідні суміші, що не розшаровуються з часом, а сам процес одержання на цій основі нових альтернативних палив для ДВЗ є екологічно безпечним, безвідходним та не енергоємним.

2. Експериментальним шляхом отримані фізико-технічні характеристики альтернативних паливних сумішей з використанням СМ: густина, в'язкість, тиск насичених парів, показника рН, октанове та цетанове число, температурні межі перегонки і експериментальні залежності для розрахунку зазначених характеристик.

3. Згідно результатів експериментів встановлені оптимальні склади сумішей бензину А-80 з СМ, дизельного палива з СМ, котрі не вимагають внесення змін до конструкції системи живлення ДВЗ у процесі практичного використання цих сумішей.

4. Застосування бензину А-80 для утворення альтернативного палива з СМ дозволяє не тільки використати максимальну кількість СМ, але і не вимагатиме у подальшому зміни технології переробки нафти на окремих нафтопереробних заводах України з метою одержання бензинів з високим октановим числом.

5. Розроблений і досліджений змішувач для моторних палив за патентом автора, який використаний в установці для одержання сумішей товарних палив з СМ під час апробації результатів дисертаційної роботи у виробничих умовах.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ НА СУМІШАХ СИВУШНИХ МАСЕЛ З МОТОРНИМИ ПАЛИВАМИ

Процес згоряння палива є основним процесом робочого циклу ДВЗ і характер цього процесу впливає на екологічні та експлуатаційні показники двигуна. Згоряння рідкого палива в ДВЗ відбувається в газовій фазі і є результатом складних ланцюгових розгалужених фізико-хімічних та термодинамічних актів взаємодії горючих елементів палива з киснем повітря. Для збільшення швидкості хімічних реакцій горіння палива його потрібно випарувати, а потім забезпечити досконале змішування з повітрям для досягнення однорідної суміші. Тому на процес згоряння палива впливають склад робочої суміші, завантаженість двигуна, міра стискування, кут випередження запалювання чи кут початку впорскування палива, конструктивні характеристики камери згоряння і т.д. Коефіцієнт надлишку повітря і кількість залишкових газів в циліндрі визначають склад робочої суміші та в певною мірою впливають на процес згоряння та екологічні характеристики продуктів згоряння палива. Найоптимальніші екологічні показники та максимальна економічність ДВЗ із зовнішнім сумішоутворенням досягається при значеннях коефіцієнта надлишку повітря від 1,05 до 1,15. У цьому випадку паливо згоряє повністю, а вуглець палива окислюється до діоксиду вуглецю. За значень коефіцієнта надлишку повітря меншого за одиницю (збіднілі суміші) істотно сповільнюється процес згоряння, вуглець палива згоряє з утворенням оксиду вуглецю – чадного газу, двигун втрачає економічність, може перегріватися через зворотні склади суміші в циліндрі.

При зміні завантаженості двигуна змінюються температурний і швидкісний режими, кількість залишкових газів в циліндрі, склад продуктів згоряння палива а, відповідно, екологічні характеристики.

Рівність потужності на валу двигуна і потужності опору – споживаної по-

гужності визначають експлуатаційний режим роботи автомобільного двигуна, що не залишається сталим, а змінюється в широкому діапазоні. Споживана потужність залежить не тільки від швидкості руху автомобіля, але й від багатьох інших чинників: стану дорожнього покриття, маси вантажу, тиску в шинах, розгону чи гальмування і т.д. Тому експлуатаційний режим автомобільного двигуна є неусталеним, так як навантаження на двигун неперервно змінюється.

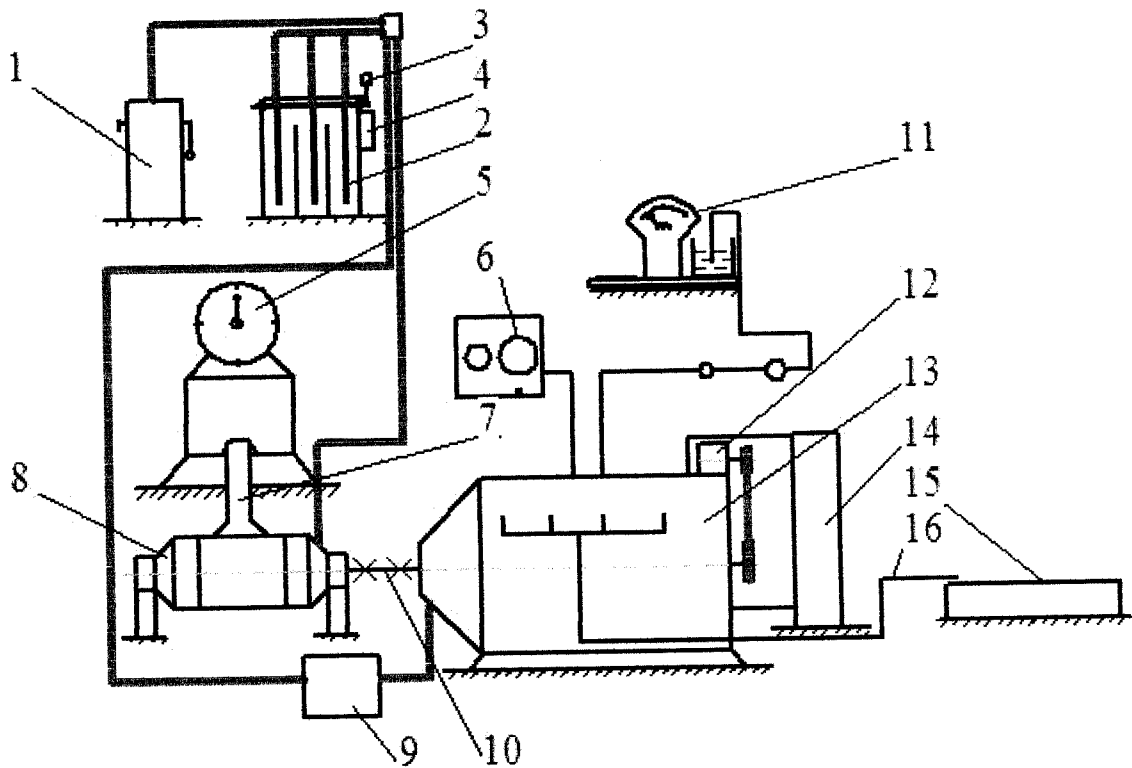
Отже, досліджувати екологічні та експлуатаційні показники роботи ДВЗ на створеному альтернативному паливі потрібно на різних експлуатаційних режимах, що є характерними для умов використання автомобільного транспорту.

З цією метою було розроблено дві експериментальні установки та методики дослідження, що наведені в наступних підрозділах.

3.1 Розроблення експериментальної установки для дослідження екологічних та експлуатаційних показників роботи двигуна з зовнішнім сумішеутворенням на паливних сумішах сивушних масел з бензином

Установка для дослідження екологічних та експлуатаційних показників роботи двигуна з зовнішнім сумішеутворенням містить пристрій змінного навантаження та засоби для вимірювання показників його роботи. В дослідній установці використаний карбюраторний чотирьохтактний восьмициліндровий двигун ЗИЛ-130 потужністю 110 кВт. Частота обертання колінчастого вала двигуна змінювалась у межах 800–2600 хв⁻¹. Розроблена конструкція установки зображена на рис.3.1.

Основними частинами експериментальної установки є карбюраторний двигун 13 та електродвигун 8 як навантажувальний пристрій. Установка також обладнана допоміжним устаткуванням для забезпечення її функціонування (система пуску, рідинним реостатом зі змінним опором, вага для визначення сили, що діє на важіль) та комплектом реєстраційних і вимірювальних приладів (тахометр та вага для визначення масової витрати палива).



1- шафа силова; 2- реостат; 3- регулятор глибини занурення електродів; 4- мішалка електрична; 5- вага ВКМ-32 для визначення навантаження моделі; 6- панель контрольно-вимірних приладів; 7- важіль; 8- двигун навантажувальний; 9- електротрансформатор живлення двигуна ЗИЛ-130; 10- передача карданна; 11- вага для визначення масової витрати палива; 12- вимірювач частоти обертання колінчастого вала; 13- двигун карбюраторний ЗИЛ-130; 14- радіатор системи охолодження двигуна; 15- майданчик для визначення впливу відпрацьованих газів ДВЗ на ґрунт; 16-трубопровід для відводу відхідних газів ДВЗ

Рис. 3.1 – Схема експериментальної установки для дослідження екологічних та експлуатаційних показників роботи двигуна ЗИЛ-130

Паливо до двигуна 13 поступає трубопроводом з ємності, розташованої на вазі 11. Запускається двигун за допомогою електростартера. Частоту обертання колінчастого вала двигуна вимірювали електричним тахометром, що складається з датчика 12 і покажчика на панелі контрольно-вимірювальних приладів 6.

Принцип роботи установки наступний. Крутний момент від колінчастого вала двигуна 13 через карданну передачу 10, передається на вал електродвигуна 8, який працює в режимі генератора та створює навантаження для двигуна. Регулювання навантаження здійснюється зміною сили струму на роторі електродвигуна шляхом відповідного занурення електродів у рідинному реостаті.

Оскільки електродвигун встановлений на підшипниках, то під час його роботи в режимі генератора, в залежності від потужності на валу електродвигуна, він провертається навколо осі вала, а зусилля провертання передається через важіль 7 і фіксується на вазі 5.

На рис. 3.2 наведено фото розробленої дослідної установки на базі двигуна ЗИЛ-130.

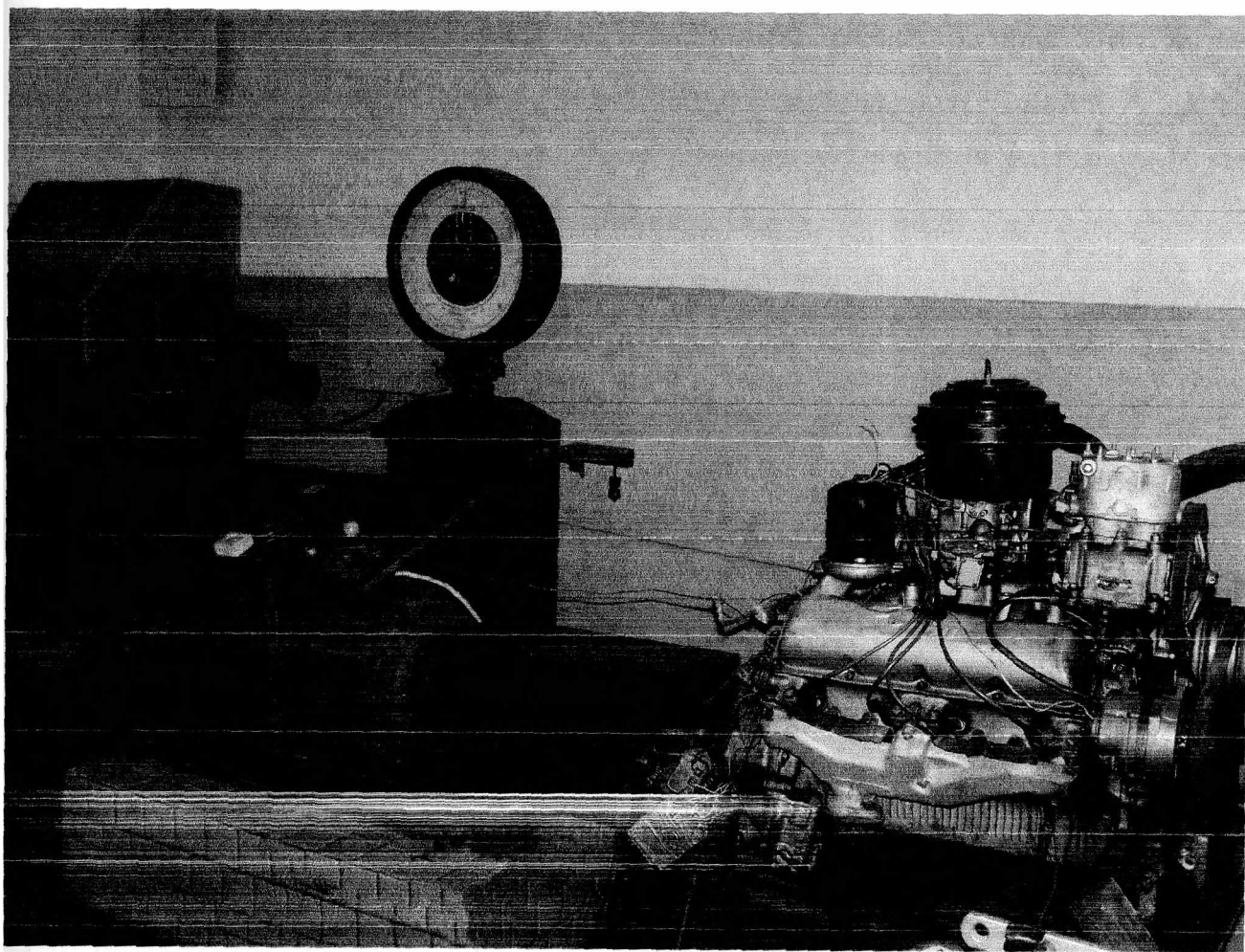


Рис. 3.2 – Розроблена дослідна установка на базі двигуна ЗИЛ-130

Для проведення екологічних досліджень використано також інше допоміжне обладнання, яке не наведене на рис. 3.2: барометр моделі М-67, прилад для визначення вмісту СО моделі 121ФА-01, вмісту C_nH_m моделі 123ФА-01, вмісту NO моделі 344 ХЛ 14 та секундомір.

Для економічної оцінки ефективності використання СМ в ДВЗ необхідно також дослідити годинну G_T та питому g_e витрати палива.

3.2 Методи експериментального дослідження показників роботи двигуна ЗИЛ-130

Для визначення вмісту СО у відхідних газах двигуна використали газоаналізатор моделі 121ФА-01 (коротка технічна характеристика наведена у табл. 3.1).

Двигун ЗИЛ-130 прогрівався до температури охолодної рідини $80\text{ }^\circ\text{C}$, що згідно інструкції з експлуатації є мінімальною температурою стабільної роботи двигуна. Встановивши трубопровід газоаналізатора у відповідний трубопровід відхідних газів двигуна, здійснювали замір вмісту СО.

Під час експерименту здійснювали перевірку обертів колінчастого вала двигуна за допомогою механічного тахометра та, при необхідності, здійснювали її корегування до 800 об/хв., що відповідає частоті холостого ходу двигуна згідно технічної характеристики. Експеримент повторювали не менше трьох разів і виходили середнє арифметичне значення вмісту СО.

Таблиця 3.1 –

Коротка технічна характеристика газоаналізатора моделі 121ФА-01 для визначення вмісту СО у відхідних газах ДВЗ

№ п/п	Назва параметра	Одиниці вимірювання	Значення
1	2	3	4
1	Діапазон вимірювання приладу:		
	- верхня шкала	% об.	0-5
	- нижня шкала	% об.	0-10

Продовж. табл. 3.1

1	2	3	4
2	Похибка вимірювання:		
	- верхня шкала	%	0,2
	- нижня шкала	%	0,4
3	Додаткова похибка від температури на кожні 10°C	%	не більше 0,1

Вимірювання вмісту C_nH_m у відхідних газах двигуна проводили газоаналізатором моделі 123ФА-01 (коротка технічна характеристика наведена у табл. 3.2). Згідно інструкції, перед початком експерименту газоаналізатор прогрівався не менше 20 хв.

Під час експерименту здійснювали перевірку обертів колінчастого вала двигуна за допомогою механічного тахометра та при необхідності здійснювали її корегування до 800 об/хв. Експеримент повторювали не менше трьох разів і вираховували середнє арифметичне значення вмісту C_nH_m .

Таблиця 3.2 –

Коротка технічна характеристика газоаналізатора моделі 123ФА-01 для визначення вмісту C_nH_m у відхідних газах ДВЗ

№ п/п	Назва параметра	Одиниці вимірювання	Значення
1	Діапазон вимірювання приладу:		
	- верхня шкала	млн. ⁻¹	0-2000
	- нижня шкала	млн. ⁻¹	0-5000
2	Похибка вимірювання:		
	- верхня шкала	%	5
	- нижня шкала	%	15

Вимірювання вмісту NO у відхідних газах двигуна проводили газоаналізатором моделі 344 ХЛ 14 (коротка технічна характеристика наведена у табл. 3.3). Перед початком експерименту газоаналізатор прогрівався не менше 60 хв.

Під час експерименту здійснювали перевірку обертів колінчастого вала двигуна за допомогою механічного тахометра та при необхідності здійснювали її ко-

регування до 800об/хв. Експеримент повторювали не менше трьох разів і вираховували середнє арифметичне значення вмісту NO.

Таблиця 3.3 –

Коротка технічна характеристика приладу моделі 344 ХЛ 14 для визначення вмісту NO у відхідних газах ДВЗ

№ п/п	Назва параметра	Одиниці вимірювання	Значення
1	Діапазон вимірювання приладу: - оксиди азоту	млн. ⁻¹	0- 100-500-2000-5000
2	Похибка вимірювання	%	±3
3	Час роботи приладу без корегування показів	год.	24
4	Час прогріву	год.	1

Визначення масової витрати палива. Перед початком дослідження масової витрати палива двигуна ЗИЛ-130 під час режиму холостого ходу встановлювали частоту обертання колінчастого валу 800 об/хв. (для контролю частоти обертання використали вимірювач частоти обертання колінчастого вала 12, рис. 3.1).

Використовуючи секундомір марки СОСПР-2Б-2-000 (коротка технічна характеристика наведена у табл. 3.4) і аналітичну вагу 11 (рис. 3.1), вимірювали масову витрату паливної суміші за час t . Вимірювання на кожному режимі роботи проводили не менше трьох разів. У процесі обробки результатів використовували середньоарифметичне значення витрати паливної суміші.

Таблиця 3.4 –

Коротка технічна характеристика секундоміра СОСПР-2Б-2-000

№ п/п	Назва параметра	Одиниці вимірювання	Значення
1	Клас точності секундоміра	-	2
2	Похибка вимірювання: - за 10 хв.	-	±0,6
	- за 60 хв.	-	±1,8

Дослідження масової витрати палива у режимі навантаження здійснювали за навантажувальною характеристикою, яку одержують при заданій постійній частоті обертання колінчастого вала. Суть методики полягає у визначенні годинної G_T та ефективної g_e витрат палива при сталій частоті обертання колінчастого вала двигуна та при змінному навантаженні [120].

Випробовування проводили на прогрітому двигуні до температури охолодної рідини не менше 80°C . Частота обертання колінчастого вала двигуна ЗИЛ-130 експериментальної установки $n=2000$ об/хв. була підібрана, виходячи з максимального крутного моменту, що розвиває двигун при такій частоті. Створивши початкове навантаження двигуна ЗИЛ-130 5 кг (7,3 кВт), за допомогою регулювання струму на роторі навантажувального електродвигуна 8 (рис. 3.1) підтримували задану частоту обертання n дросельною заслінкою карбюратора.

Під час кожного дослідження одночасно вимірювали наступні показники:

- покази аналітичної ваги, що фіксувала масову витрату палива за час експерименту;
- частоту обертання колінчастого вала двигуна;
- вміст CO , C_nH_m , NO у відхідних газах двигуна.

Під час кожного наступного дослідження, збільшуючи навантаження двигуна на 5 кг (7,3 кВт), проводили вимірювання зазначених вище показників.

3.3 Методи дослідження впливу вмісту СМ у паливній суміші на вміст важких металів у відхідних газах ДВЗ

Вміст важких металів у відхідних газах автомобільних двигунів пояснюється їх присутністю у паливі та моторній оливі. В бензині А-80 згідно ДСТУ 4063-2001 міститься до 0,013 мг/л свинцю, як антидетонатори широко використовують сполуки марганцю, вміст якого цим же стандартом не нормується. Моторні оливи містять сполуки цинку до 2-3% об. Олива потрапляє через поршневі кільця до камери згоряння, де вона вигорає, а цинк викидається відхідними газами з двигуна.

Визначення вмісту цинку у відхідних газах ДВЗ виконували за мето-

юм[121]. Метод базується на утворенні комплексного з'єднання цинку із соляно-кислим диантиперилметилметаном у присутності роданід-іонів. Вміст цинку визначали нефелометрично за білою суспензією теурароданцинкоату диантиперилметилметану.

Прокачування досліджуваних відхідних газів здійснювали протягом 10 год. за допомогою електроаспіратора моделі 822 з швидкістю 20 л/хв., через закріплений у патроні беззольний фільтр. Технічна характеристика електроаспіратора наведена в роботі [122].

Під час визначення вмісту марганцю у відхідних газах двигуна використано методику [121], яка базується на розчиненні оксидів марганцю в суміші сірчаної та щавлевої кислоти та окисненні утвореної солі марганцю (II) до марганцевої кислоти. Вміст марганцю у розчині визначається колориметрично за фіолетово-червоним забарвленням з використанням стандартної шкали.

Концентрацію шкідливих компонентів у відхідних газах $C_{\text{вг}}$, мг/м³ розраховуємо за формулою [121]:

$$C_{\text{вг}} = \frac{a \cdot b \cdot 1000}{c \cdot V_0}, \quad (3.1)$$

де a – загальний об'єм досліджуваного розчину, мл;

b – кількість цинку або марганцю знайденого в досліджуваному об'ємі, мг;

c – об'єм проби взятий для дослідження, мл;

V_0 – об'єм досліджуваних газів, приведений до нормальних умов, л.

Приведення об'єму досліджуваних відхідних газів до нормальних умов здійснювали за формулою [121]:

$$V_0 = \frac{V_t \cdot 273 \cdot P}{(273 + t) \cdot 760}, \quad (3.2)$$

де V_t – об'єм прокачаних відхідних газів, л;

P – барометричний тиск під час проведення експерименту, мм.рт.ст.;

t – температура відхідних газів під час експерименту, °С.

Опосередковану похибку визначення концентрації важких металів у відхідних газах двигуна $\Delta C_{\text{вг}}$, % визначали за виразом [123]:

$$\Delta C_{\text{вг}} = \frac{\partial C_{\text{вг}}}{\partial a} \Delta a + \frac{\partial C_{\text{вг}}}{\partial b} \Delta b + \frac{\partial C_{\text{вг}}}{\partial c} \Delta c + \frac{\partial C_{\text{вг}}}{\partial V_0} \Delta V_0, \quad (3.3)$$

де Δa , Δc – похибки вимірювання загального об'єму проби та об'єму проби взятого для дослідження для визначення вмісту цинку або марганцю, що вимірювалися за допомогою піпеток за ГОСТ 29169-91;

Δb – похибка визначення кількості цинку або марганцю в досліджуваному розчині, що дорівнює абсолютній похибці приготування стандартного розчину;

ΔV_0 – абсолютна похибка вимірювання об'єму прокачаних газів електроаспіратором.

Відносна похибка визначення концентрації шкідливих компонентів у відхідних газах двигуна $\delta C_{\text{вг}}$, % розраховувалася за формулою [123]:

$$\delta C_{\text{вг}} = \frac{\Delta C_{\text{вг}}}{C_{\text{вг}}}. \quad (3.4)$$

Дослідження вмісту сполук свинцю у відхідних газах двигуна не проводилися тому, що їх концентрація є низькою, а наявні методики не забезпечували належної точності їх визначення за таких концентрацій.

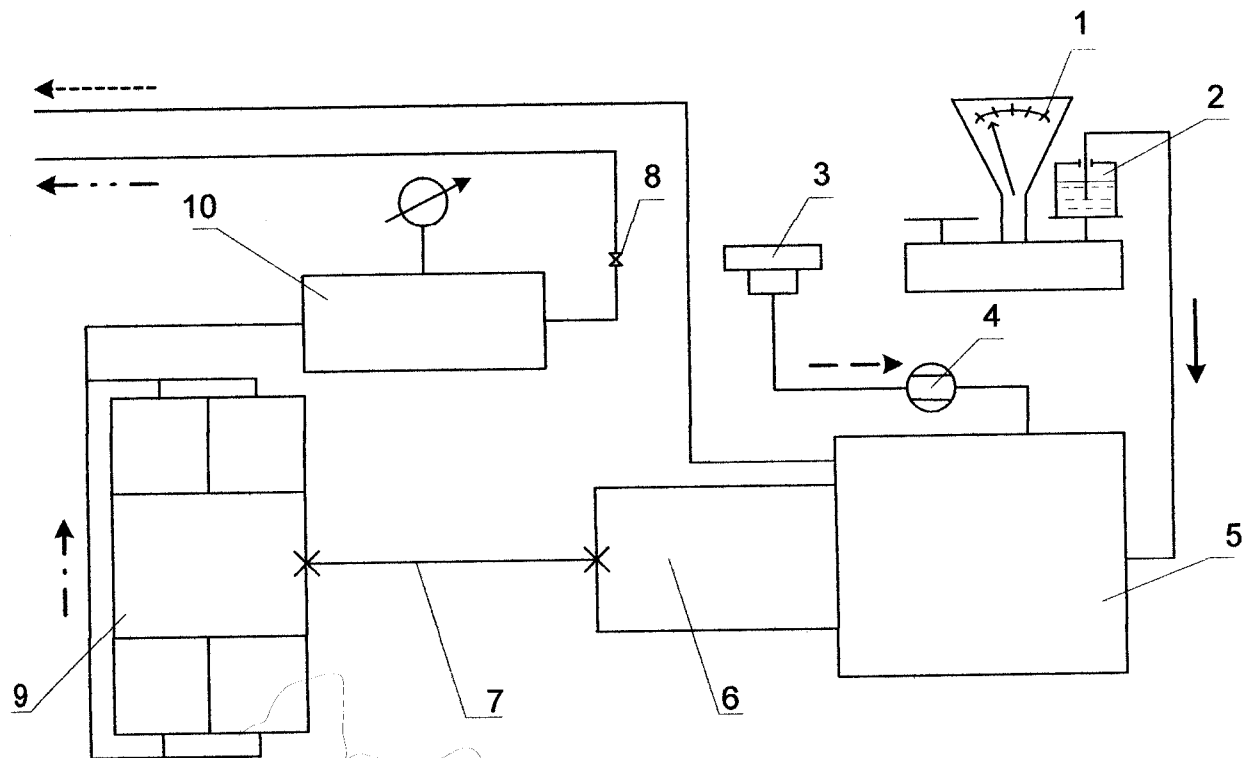
3.4 Розроблення експериментальної установки для дослідження екологічних та експлуатаційних показників роботи дизельного двигуна на паливних сумішах сивушних масел з дизельним паливом

Розроблена експериментальна установка містить дизельний двигун Д21А1 з пристроєм змінного навантаження. Дизельний чотирьохтактний двоциліндровий двигун Д21А1 номінальною потужністю 18 кВт з системою керування режимів роботи. Частота обертання колінчастого вала двигуна змінюється в межах 600–1800 хв⁻¹. Для забезпечення зміни режимів роботи двигуна дослідна установка укомплектована допоміжним навантажувальним пристроєм – компресором моделі К-5М. Установка також обладнана допоміжними пристроями для забезпечення її функціонування (система запуску, зчеплення, коробка передач) та комплектом реєстраційних і вимірювальних приладів (манометри, термометри, частотомір, газовий лічильник та витратомір палива). Схема розробленої установки наведена на рис.3.3.

Паливо до двигуна 5 поступає через трубопровід з паливної ємності 2, що розташований на витратомірі масової витрати палива 1. Повітря в двигун надходить через повітряний фільтр 3 і газовий лічильник 4. Система запуску двигуна в конструкції установки містить електростартер. Частота обертання колінчастого вала двигуна вимірювалася механічним переносним тахометром ТЧ10-Р.

Крутний момент від колінчастого вала дизеля 5 через зчеплення і чотириступінчасту коробку передач 6, карданну передачу 7 передається на вал компресора 9. Стиснуте компресором 9 повітря в трубопроводі стабілізується у ресивері 10, тиск в якому вимірюється манометром. Регулювання тиску здійснюється за допомогою вентиля 8. Температуру повітря вимірювали ртутним термометром з похибкою $\pm 0,5$ °С .

На рис. 3.4 наведено фотографію розробленої експериментальної установки на базі дизельного двигуна Д21А1.



→ - напрямок руху палива в систему живлення; - - -> - напрямок руху повітря в систему живлення; - - -> - рух повітря до ресивера; ← - - - - рух повітря в навколишнє середовище; ← - - - - - рух відхідних газів в навколишнє середовище; 1- вага аналітична; 2- ємність для палива; 3- фільтр повітряний; 4- лічильник газовий; 5- двигун дизельний; 6- коробка передач; 7- карданна передача; 8- вентиль; 9- компресор; 10- ресивер

Рис. 3.3 – Схема експериментальної установки для дослідження екологічних та експлуатаційних показників роботи дизельного двигуна Д21А1 на паливних сумішах СМ з дизельним паливом

Під час виконання екологічних досліджень використовували також інше обладнання, яке не наведене на рис. 3.3: ртутний термометр, барометр, прилад для визначення вмісту C_nH_m моделі 123ФА-01, вмісту NO моделі 344ХЛ14, секундомір марки СОСПР-2Б-2-000 та механічний тахометр моделі ТЧ10-Р.

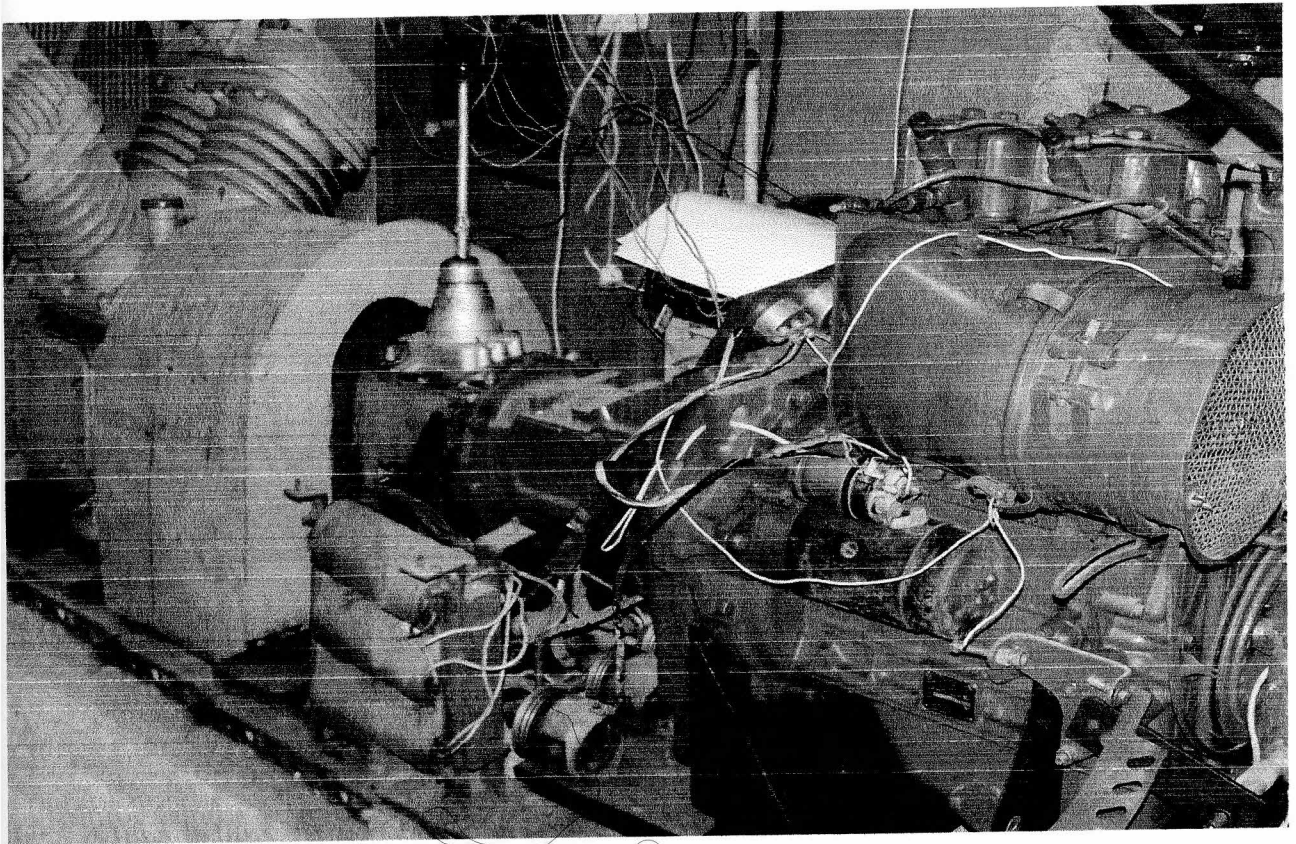


Рис. 3.4– Дизельний двигун Д21А1 експериментальної установки

3.5 Методи експериментального дослідження показників роботи дизельного двигуна Д21А1

Вміст СО у відхідних газах двигуна Д21А1 не вимірювали, оскільки згоряння палива у дизелі відбувається при $\alpha > 1$ і практично весь вуглець окислюється до діоксиду вуглецю, а тому, вміст СО у відхідних газах дизелів є низький.

Перед початком експерименту дизельний двигун Д21А1 дослідної установки згідно інструкції з технічної експлуатації прогрівали до температури оливи у системі мащення не менше ніж $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ та встановлювали мінімальні стійкі оберти колінчастого вала 600об/хв. [120] (для контролю частоти обертання колінчастого вала використали годинниковий тахометр марки ТЧ10-Р, коротка технічна характеристика якого подана в табл. 3.5).

Далі згідно методології, наведеної у п. 3.2 вимірювали вміст C_nH_m та NO у відхідних газах двигуна Д21А1 під час роботи на паливних сумішах СМ з дизель-

ним паливом. Повторювали експеримент не менше трьох разів.

Масова витрата палива. Використовуючи секундомір марки СОСПР-2Б-2-000 (коротка технічна характеристика подана в табл. 3.4) і вагу 1 (рис. 3.3), вимірювали масову витрату палива за час заміру 2 хв.

Таблиця 3.5 –

Коротка технічна характеристика тахометра ТЧ10-Р

№ п/п	Назва параметра	Одиниці вимірювання	Значення
1	Границя вимірювання: - частоти обертання	об/хв.	від 50 до 1000 від 1000 до 10000
2	Похибка вимірювання: - частоти обертання	%	±1
3	Номінальне значення однієї поділки шкали: - для частоти обертання	об/хв.	10

Перед початком дослідження навантажувальної характеристики дизельного двигуна Д21А1 встановлювали важіль включення передач коробки передач на пряму передачу (четверта передача).

Проведення випробування дизельного двигуна здійснювали за навантажувальною характеристикою під час заданого постійного числа обертів 750 об/хв за методикою [120].

До початку випробувань дизельний двигун прогрівали до температури оливи не менше ніж 40°C.

Під час кожного дослідження фіксували такі показники:

- покази ваги для визначення масової витрати паливних сумішей за час експерименту;
- покази манометра надлишкового тиску в ресивері;
- температуру повітря на виході з компресора, температуру повітря на проміжно-

му охолоджувачі між ступенями компресора, а також температуру навколишнього середовища за допомогою ртутного термометра;

- частоту обертання колінчастого вала двигуна за допомогою тахометра ТЧ10-Р;

- вміст C_nH_m , NO у відпрацьованих газах двигуна.

Потужність, яку розвиває двигун, визначали за роботою, що виконана компресором L , для створення абсолютного тиску p_2 [124]:

$$L = \frac{L_T}{\eta_K} = \frac{n}{(n-1) \cdot \eta_K} \cdot p_1 V_1 \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right], \text{ Дж/год} \quad (3.5)$$

де η_K – ККД компресора;

n – показник політропи стиску;

V_1 – подача компресора за параметрів T_1, p_1 , $m^3/\text{год}$;

p_1 – абсолютний тиск повітря на вході в компресор, МПа;

p_2 – абсолютний тиск повітря на виході з компресора, МПа.

Показник політропи стиску в компресорі n визначали із співвідношення [124]:

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{n}{n-1}}. \quad (3.6)$$

де T_1 і T_2 – абсолютна температура повітря відповідно на вході та на виході із компресора, К.

Потужність приводу компресора $N_{дв}$ знаходили за формулою [124]:

$$N_{\text{дв}} = \frac{L_1}{3600 \cdot 1000 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3}, \text{ кВт} \quad (3.7)$$

де $\eta_1 = 0,98$, $\eta_2 = 0,99$, $\eta_3 = 0,71$ – ККД відповідно коробки передач, карданної передачі та поршневого двоступінчастого компресора [125].

3.6 Експериментальні дослідження екологічних та експлуатаційних показників роботи двигуна ЗИЛ-130

На вміст CO, NO і C_nH_m у відхідних газах бензинових ДВЗ впливає кут випередження запалення [126], а тому, з метою виключення впливу цього кута в процесі проведення експерименту він не змінювався.

Результати експерименту наведені в табл. 3.6-3.9.

Таблиця 3.6 –

Результати визначення вмісту CO у відхідних газах двигуна ЗИЛ-130 на режимі холостого ходу

Вміст CM, % об.	Вміст CO, % об.			Середнє значення
	1	2	3	
0	1,51	1,52	1,5	1,51
5	1,45	1,45	1,43	1,44
8	1,42	1,41	1,4	1,41
10	1,37	1,35	1,35	1,36

Таблиця 3.7 –

Результати визначення вмісту C_nH_m у відхідних газах двигуна ЗИЛ-130 на режимі холостого ходу

Вміст CM, % об.	Вміст C_nH_m , млн ⁻¹			Середнє значення
	1	2	3	
0	1400	1400	1450	1416
5	1450	1450	1450	1450
8	1450	1500	1500	1483
10	1500	1500	1550	1550

Таблиця 3.8 –

Результати визначення вмісту NO у відхідних газах двигуна ЗИЛ-130 на режимі холостого ходу

Вміст СМ, % об.	Вміст NO, млн ⁻¹			
	1	2	3	Середнє значення
0	210	200	210	210
5	240	240	230	236
8	260	250	260	257
10	270	280	280	276

Таблиця 3.9 –

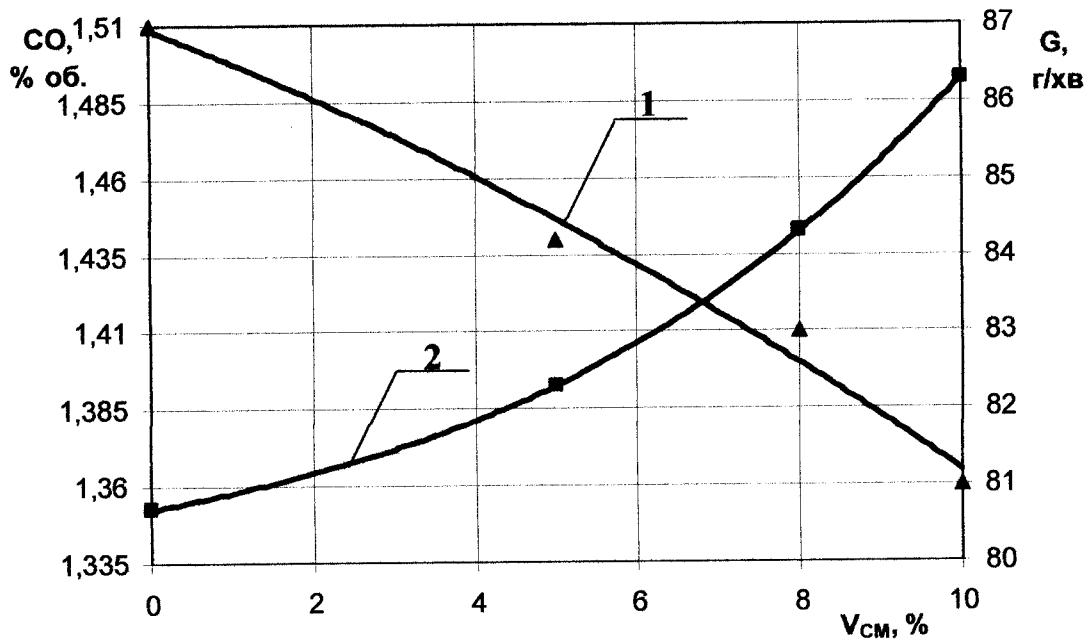
Результати визначення масової витрати палива, двигуна ЗИЛ-130 при його роботі на режимі холостого ходу

Вміст СМ, % об.	Масова витрата палива G, г/хв.			
	1	2	3	Середнє значення
0	80	81	81	80,7
5	82	83	82	82,3
8	85	84	84	84,3
10	86	86	87	86,3

Експериментальна залежність вмісту CO, C_nH_m, NO у відхідних газах двигуна ЗИЛ-130 та витрати палива від об'ємного вмісту СМ в паливних сумішах V_{СМ}, під час роботи на режимі холостого ходу наведена рис. 3.5, 3.6.

Як видно з рисунків 3.5, 3.6, у результаті збільшення вмісту СМ в паливі до 10%, спостерігається зростання витрати палива [127, 128], що пояснюється збільшенням густини паливних сумішей (рис. 2.2) та деяке збільшення концентрації вуглеводнів та оксидів азоту у відпрацьованих газах двигуна ЗИЛ-130. Проте із збільшенням вмісту СМ в паливі спостерігається зменшення концентрації оксидів вуглецю (рис. 3.5).

Випробовування карбюраторного двигуна ЗИЛ-130 під час зняття навантажувальної характеристики здійснювали на фіксованій частоті обертання колінчастого вала за сталого кута випередження запалення та корегуванні рівня палива у карбюраторі під час використання в системі живлення сумішей бензину та СМ.



коефіцієнти кореляції для кривих $\rho_1=0,98$ та $\rho_2=0,99$; 1- вміст CO у відхідних газах двигуна; 2- хвилинна витрата палива G; режим холостого ходу.

Рис. 3.5 – Залежність вмісту CO у відхідних газах двигуна ЗИЛ-130 та витрати палива G від об'ємного вмісту V_{CM} в паливі CM

Експериментальні залежності (рис. 3.5) апроксимуються наступними рівняннями:

$$CO = a_2 - b_2 \cdot V_{CM} - b_3 \cdot V_{CM}^2, \quad (3.8)$$

$$G = a_3 + b_4 \cdot V_{CM} + b_5 \cdot V_{CM}^2 \quad (3.9)$$

де CO – концентрація оксиду вуглецю у відхідних газах двигуна ЗИЛ-130 під час його роботи на паливних сумішах бензину з CM, % об.;

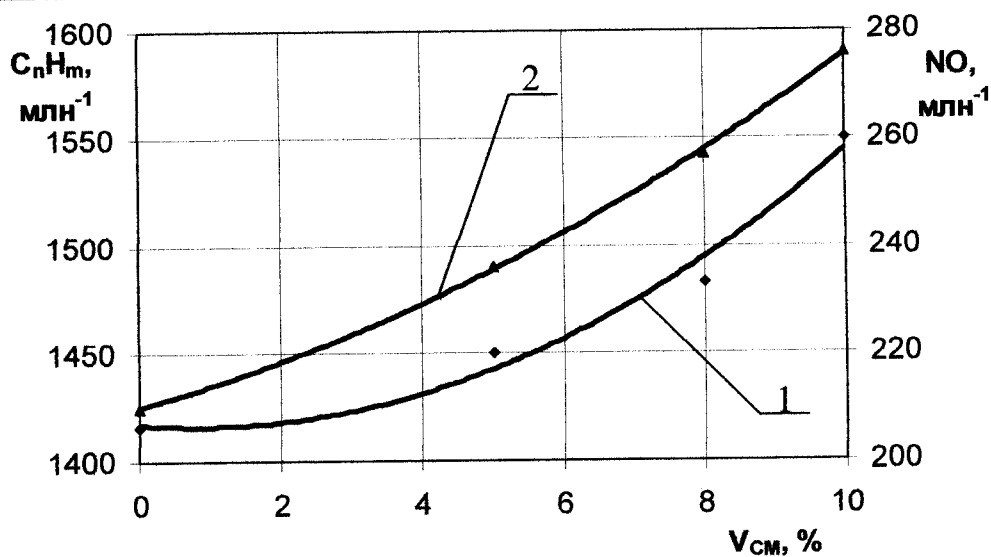
G – витрата паливної суміші бензину з CM, г/хв.

В табл. 3.10 наведено дослідні коефіцієнти для рівнянь (3.8) та (3.9).

Таблиця 3.10 –

Дослідні коефіцієнти для рівнянь (3.8) та (3.9)

Значення коефіцієнтів					
CO, % об.			G, г/хв		
a_2	b_2	b_3	a_3	b_4	b_5
1,51	0,0105	0,0004	80,708	0,0635	0,0492



коефіцієнти кореляції для кривих $\rho_1=0,97$ та $\rho_2=0,99$; 1- вміст NO у відхідних газах двигуна; 2- вміст C_nH_m у відхідних газах двигуна; режим холостого ходу.

Рис. 3.6 - Залежність вмісту C_nH_m та NO у відхідних газах двигуна ЗИЛ-130 від об'ємного вмісту V_{CM} в паливі СМ

$$NO = a_4 - b_6 \cdot V_{CM} + b_7 \cdot V_{CM}^2 \quad (3.10)$$

$$C_nH_m = a_5 + b_8 \cdot V_{CM} + b_9 \cdot V_{CM}^2 \quad (3.11)$$

де C_nH_m – концентрація вуглеводнів у відхідних газах двигуна ЗИЛ-130 під час його роботи на паливних сумішах бензину з СМ, $млн^{-1}$;

NO – концентрація оксидів азоту у відхідних газах двигуна ЗИЛ-130 під час його роботи на паливних сумішах бензину з СМ, $млн^{-1}$.

Дослідні коефіцієнти для рівнянь (3.10) та (3.11) наведено в табл. 3.11.

Таблиця 3.11 –

Дослідні коефіцієнти для рівнянь (3.10) та (3.11)

Значення коефіцієнтів					
NO, млн ⁻¹			C _n H _m , млн. ⁻¹		
a ₄	b ₆	b ₇	a ₅	b ₈	b ₉
1417,4	2,614	1,5322	210,1	3,6053	0,2947

Як видно з рис. 3.5 та 3.6 додавання до товарного бензину СМ у кількості від 2 до 10 % об. призводить до зниження вмісту СО у відхідних газах ДВЗ на 9,3%, зростання витрати палива на 6,5%, вуглеводнів на 10,2% та оксидів азоту на 16,9 %.

Оскільки в навантажувальному електродвигуні постійного струму експериментальної установки (рис. 3.1) технічною характеристикою обмежена максимальна частота обертання ротора – 2000 об/хв., то під час проведення експерименту була знята навантажувальна характеристика на частоті обертання колінчастого вала двигуна ЗИЛ-130 $n_1=2000$ об/хв.

Результати проведення експериментів з визначення навантажувальної характеристики двигуна ЗИЛ-130 наведені в табл. 3.12.

Величину навантаження двигуна ЗИЛ-130 вимірювали за допомогою ваги ВКМ-32, що включена в навантажувальну схему двигуна. Методика проведення експерименту наведена в п. 3.2.

Розрахунок крутного моменту, що розвиває двигун M_K , обчислюється за формулою [120]:

$$M_K = C_1 \cdot \frac{P_T \cdot h}{i_T \cdot \eta_T}, \quad (3.12)$$

де P_T - покази ваги навантаження, кг;

h - довжина плеча з'єднувального важеля електродвигуна та ваги, $L=0,716$ м;

η_T - ККД передачі від вала двигуна ЗИЛ -130 до електродвигуна навантаження,

$\eta_T = 0,99$ [120];

i_T - передавальне число від вала двигуна до вала гальм (для вказаної передачі

$i_T = 1$);

$C_1 = 9,807$ - константа [120].

Після підстановки числових значень формула (3.12) набуває вигляду:

$$M_K = 7,023 \cdot P_T . \quad (3.13)$$

Потужність двигуна N_e визначалася за формулою [120]:

$$N_e = C_2 \cdot 10^{-3} \frac{P_T \cdot L \cdot \omega_T}{\eta_T} , \quad (3.14)$$

де ω_T - кутова швидкість вала електродвигуна навантаження, c^{-2} ;

n_T - частота обертання електродвигуна навантаження, об/хв.;

$C_2 = 0,735 \cdot 10^{-3}$ - константа [120].

Таблиця 3.12 –

Результати визначення витрати палива двигуна ЗИЛ-130 при його роботі на сумішах бензину марки А-80 з СМ

Навантаження, кг	Вміст СМ, % об.	Витрата палива, г/хв.			
		1	2	3	Середнє значення
1	2	3	4	5	6
5	0	82	83	82	82,3
5	5	84	85	85	84,6
5	8	86	87	87	86,6
5	10	88	89	88	88,3
10	0	106	106	105	105,6
10	5	108	107	108	107,6

Продовж. табл. 3.12

10	8	110	111	110	110,3
10	10	113	114	114	113,6
15	0	120	119	120	119,6
15	5	124	123	123	123,3
15	8	127	127	126	126,6
15	10	129	130	130	129,6
20	0	132	131	132	131,6
20	5	135	135	134	134,6
20	8	138	137	137	137,3
20	10	140	141	140	140,3
25	0	156	156	155	155,6
25	5	157	158	157	157,3
25	8	159	160	160	159,6
25	10	161	162	161	161,3

Оскільки $\omega_T = \frac{\pi \cdot n_T}{30}$, то маємо: $N = C_2 \cdot P_T \cdot n_T$, (3.15)

Годинну витрату палива G_T , кг/год. визначали за формулою [120]:

$$G_T = 3,6 \cdot \frac{\Delta G_T}{T_{ек}}, \quad (3.16)$$

де ΔG_T - витрачена маса палива за час $T_{ек}$, г;

$T_{ек}$ – час заміру, с.

Тоді питома витрата палива g_e , г/(кВтгод) дорівнює [120]:

$$g_e = \frac{10^3 G_T}{N_e}. \quad (3.17)$$

Результати дослідження параметрів роботи двигуна на паливних сумішах

відображені в табл. 3.13, на основі якої побудовані залежності годинної витрати палива G_T і питомої витрати палива g_e від потужності N (рис. 3.7).

Таблиця 3.13 –

Експериментальні параметри роботи двигуна ЗИЛ-130 на сумішах бензину марки А-80 з СМ

Параметри	Вміст СМ, % об.			
	0	5	8	10
P_T , кг	5	5	5	5
M_K , Нм	35,1	35,1	35,1	35,1
N_e , кВт	7,35	7,35	7,35	7,35
G_T , кг/год	4,94	5,07	5,20	5,29
g_e , г/(кВтгод)	672,1	689,8	707,5	720,8
P_T , кг	10	10	10	10
M_K , Н.м	70,23	70,23	70,23	70,23
N_e , кВт	14,7	14,7	14,7	14,7
G_T , кг/год	6,33	6,46	6,62	6,82
g_e , г/(кВтгод)	430,6	439,5	450,3	463,7
P_T , кг	15	15	15	15
M_K , Нм	105,3	105,3	105,3	105,3
N_e , кВт	22	22	22	22
G_T , кг/год	7,18	7,39	7,6	7,78
g_e , г/(кВтгод)	326,2	336,2	345,2	353,5
P_T , кг	20	20	20	20
M_K , Нм	140	140	140	140
N_e , кВт	29,4	29,4	29,4	29,4
G_T , кг/год	7,89	8,1	8,24	8,42
g_e , г/(кВтгод)	268	274,6	280,2	286,3
P_T , кг	25	25	25	25
M_K , Нм	175,6	175,6	175,6	175,6
N_e , кВт	37	37	37	37
G_T , кг/год	9,34	9,45	9,58	9,7
g_e , г/(кВтгод)	252,3	255,4	258,8	261,6

Експериментальні залежності (рис. 3.7) апроксимуються наступними рівняннями:

$$g_e = a_6 - b_{10} \cdot Ne + b_{11} \cdot Ne^2 - b_{12} \cdot Ne^3, \quad (3.18)$$

$$G_T = a_7 + b_{13} \cdot Ne, \quad (3.19)$$

де g_e – питома витрата палива, г/(кВт·год);

G_T – годинна витрата палива, кг/год.

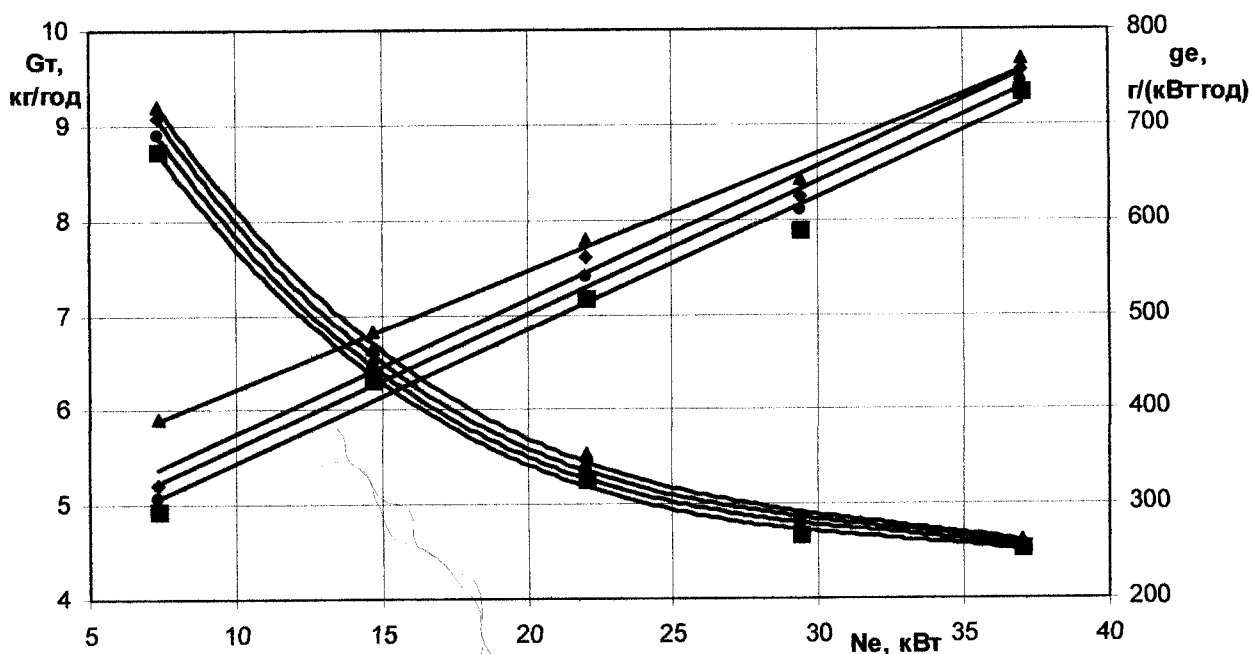
Дослідні коефіцієнти для рівнянь (3.18) та (3.19) наведені в табл. 3.14.

Таблиця 3.14 –

Дослідні коефіцієнти для рівнянь (3.18) та (3.19)

Витрата палива	Коефіцієнти	Значення коефіцієнтів за вмісту СМ, % об.			
		0	5	8	10
g_e	a_6	1071,1	1106,8	1135,1	1144,8
	b_{10}	67,78	71,208	73,093	72,166
	b_{11}	1,9578	2,1019	2,1627	2,1012
	b_{12}	0,0196	0,0216	0,0224	0,0215
G_T	a_7	4,0423	4,1891	4,3494	4,9766
	b_{13}	0,14	0,1406	0,1403	0,1244

Графічні залежності на рис. 3.7 демонструють, що при збільшенні об'ємного вмісту в паливі СМ до 10% об. зростає годинна та питома витрати палива на 4,2 та 7,1% відповідно, що пов'язано із збільшенням густини утворених паливних сумішей та зменшенні нижчої теплоти згоряння Q_H . Але із збільшенням вмісту СМ досягається зниження вартості палива за рахунок використання в паливних сумішах низько октанових бензинів. Одержане таким чином альтернативне паливо може використовуватися у високо форсованих ДВЗ з великою мірою стиску, що розраховані на споживання високооктанових бензинів.



вміст СМ (% об.) у бензині А-80: ■- 0, $\rho=0,97$; ●- 5, $\rho=0,98$; ◆- 8, $\rho=0,98$; ▲- 10, $\rho=0,99$

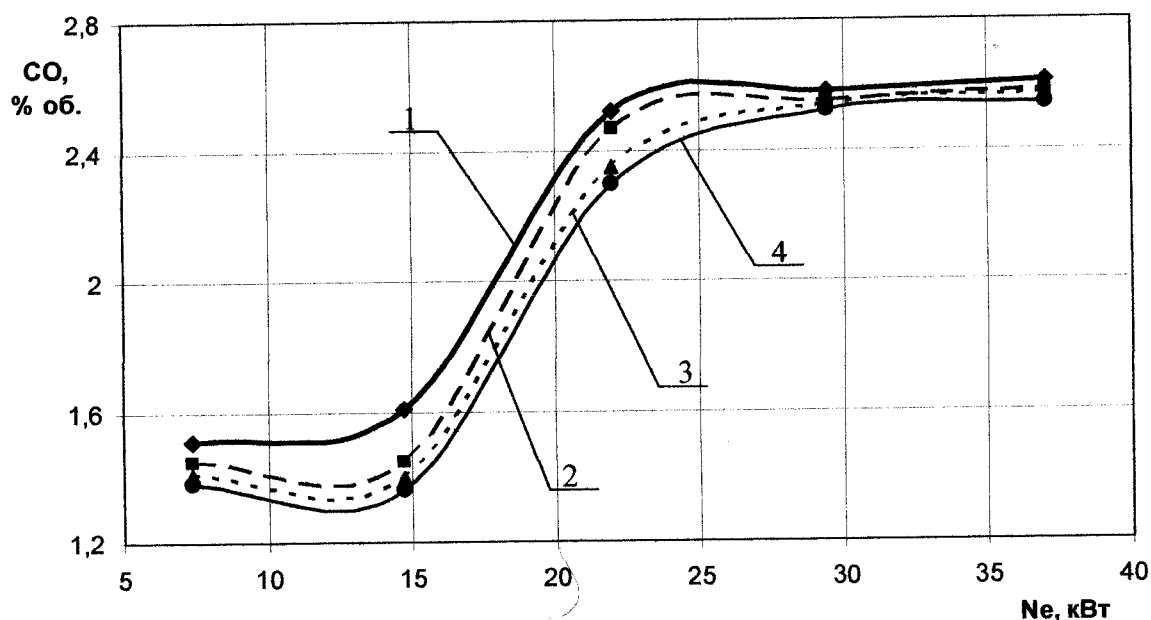
Рис. 3.7 - Залежності годинної G_T та питомої g_e витрат палива двигуна ЗИЛ-130 від потужності N_e під час роботи на сумішах бензину А-80 з СМ

Дослідження екологічних показників роботи двигуна ЗИЛ-130 під час роботи на чистому бензині А-80 та сумішах цього бензину з СМ проведені згідно п.3.2. Результати експерименту відображені на рис. 3.8-3.10.

Згідно значень навантаження від 7,35 до 20 кВт у порівнянні з роботою двигуна на чистому бензині при зростанні вмісту СМ у паливних сумішах відбувається зменшення вмісту СО у відхідних газах двигуна ЗИЛ-130 на 15,6%. Зниження вмісту СО у відхідних газах пояснюється збільшенням кількості кисню в циліндрах двигуна за рахунок його вмісту в СМ.

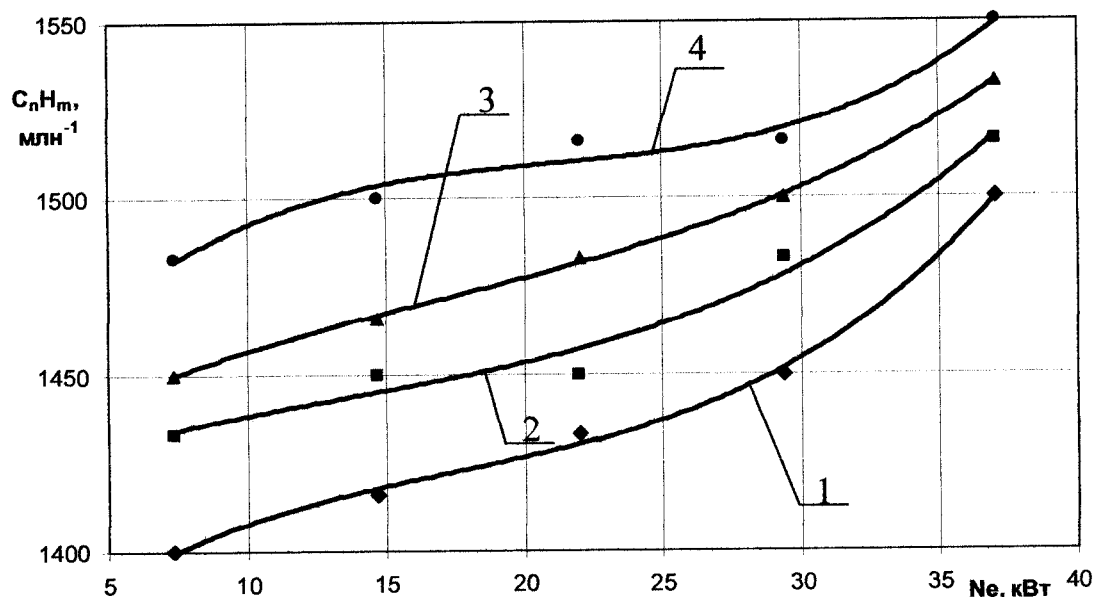
Отже, використання в товарному бензині добавок СМ, як один із методів знешкодження відходів спиртової промисловості [127], за вмістом СО у відхідних газах двигуна покращує екологічні показники роботи двигуна ЗИЛ-130. З метою економії палива та зниження вмісту СО у відхідних газах двигуна доцільно дода-

вати до бензину А-80 до 12% об. СМ, що не вимагає зміни конструкції ДВЗ.



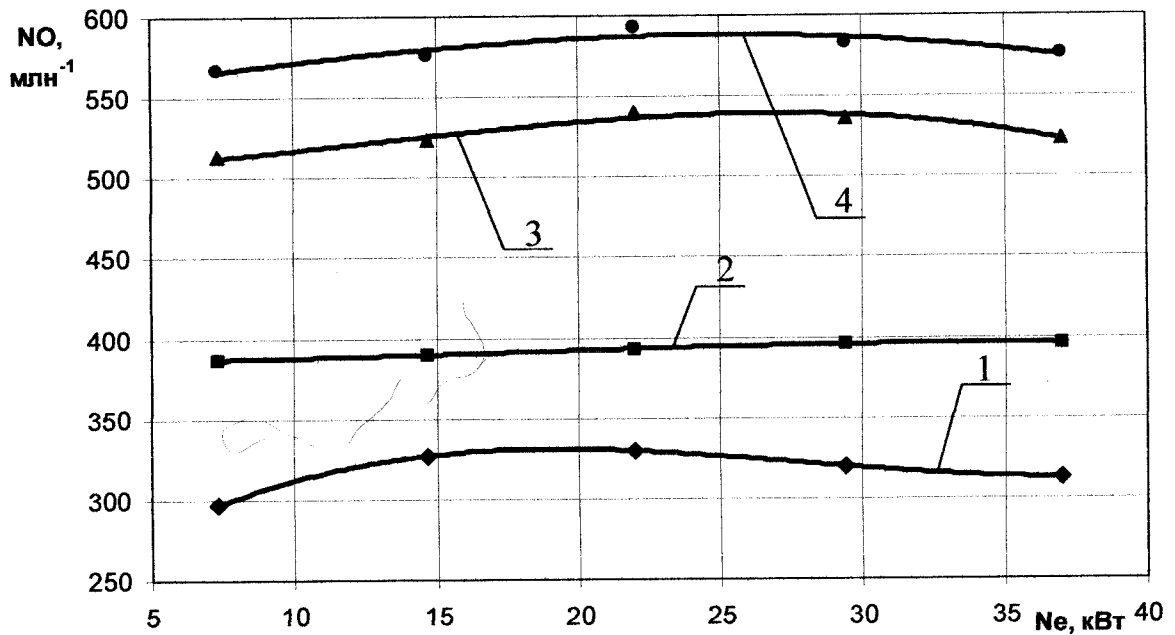
вміст СМ, % об.: 1 - 0; 2 - 5; 3 - 8; 4 - 10

Рис. 3.8 - Експериментальні залежності вмісту CO у відхідних газах двигуна ЗИЛ-130 від потужності Ne



вміст СМ % об.: 1- 0, $\rho = 0,99$; 2-5, $\rho = 0,98$; 3- 8, $\rho = 0,99$; 4 - 10, $\rho = 0,97$

Рис. 3.9 - Експериментальна залежність вмісту CnHm у відхідних газах двигуна ЗИЛ-130 від потужності Ne



вміст СМ % об.: 1 – 0, $\rho = 0,99$; 2 – 5, $\rho = 0,99$; 3 – 8, $\rho = 0,97$; 4 – 10, $\rho = 0,96$

Рис. 3.10 – Експериментальні залежності зміни вмісту NO у відхідних газах двигуна ЗИЛ-130 в залежності від потужності Ne

Експериментальні залежності рис. 3.9 і 3.10 апроксимуються наступними рівняннями:

$$C_nH_m = a_8 + b_{14} \cdot Ne - b_{15} \cdot Ne^2 + b_{16} \cdot Ne^3, \quad (3.20)$$

$$NO = a_9 + b_{17} \cdot Ne - b_{18} \cdot Ne^2 + b_{19} \cdot Ne^3. \quad (3.21)$$

Дослідні коефіцієнти для рівнянь (3.20) та (3.21) наводяться в табл. 3.15.

Збільшення вмісту СМ у бензині А-80 призводить до зростання вмісту C_nH_m у відхідних газах: додавання до бензину А-80 до 10% об. СМ збільшує вміст C_nH_m на 2,4 – 5,9 % у порівнянні з товарним бензином, що можна пояснити додаванням до палива разом з СМ більшої кількості атомів водню.

Таблиця 3.15 –

Дослідні коефіцієнти для рівнянь (3.20) та (3.21)

Газ	Коефіцієнти	Значення коефіцієнтів за вмісту СМ, % об.			
		0	5	8	10
C _n H _m	a ₈	1360,2	1417,1	1423,3	1428,8
	b ₁₄	7,449	3,0822	4,5497	10,173
	b ₁₅	0,3326	0,1262	0,1498	0,4497
	b ₁₆	0,0063	0,0031	0,0029	0,0071
NO	a ₉	224,41	13,441	0,5317	0,0063
	b ₁₇	386,36	-0,1183	-0,0333	-0,0006
	b ₁₈	504,99	0,2907	-0,1206	-0,0031
	b ₁₉	548,12	2,6301	0,0196	-0,0009

Як видно з експериментальних залежностей (рис. 3.10), збільшення вмісту СМ у бензині А-80 призводить до зростання вмісту NO у відхідних газах на 28 – 86% у порівнянні з товарним паливом, це пов'язано з тим, що до палива додається кисень, який міститься у СМ і при згорянні одержаного альтернативного палива більша кількість азоту окислюється до NO. Але вміст NO у відхідних газах є незначним порівняно з вмістом CO. З врахуванням характеристик сучасних систем очищення відхідних газів, які використовуються на бензинових двигунах (забезпечують нейтралізацію шкідливих компонентів на 30-95% [100-105]), використання альтернативних палив з вмістом СМ буде безпечним для довкілля.

3.7 Експериментальні дослідження екологічних та експлуатаційних показників роботи дизельного двигуна Д21А1

Дослідження токсичності роботи дизеля Д21А1 на режимі холостого ходу проводилися згідно п. 3.4 при частоті обертання колінчастого вала $n=600$ об/хв. Результати експерименту наведені у табл. 3.16-3.18 та відображені на рис. 3.11.

Таблиця 3.16–

Результати визначення вмісту C_nH_m у відхідних газах двигуна Д21А1 під час роботи на режимі холостого ходу

Вміст CM , % об.	Вміст C_nH_m , млн. ⁻¹			
	1	2	3	Середнє значення
0	500	500	500	500
2	500	550	500	516
4	550	550	500	533
6	550	550	550	550

Таблиця 3.17–

Результати визначення вмісту у відхідних газах двигуна Д21А1 під час роботи на режимі холостого ходу

Вміст CM , % об.	Вміст NO , млн. ⁻¹			
	1	2	3	Середнє значення
0	214	215	214	214
2	216	216	216	216
4	218	218	218	218
6	219	219	220	219

Таблиця 3.18–

Результати визначення масової витрати палива G двигуна Д21А1 під час роботи на режимі холостого ходу

Вміст CM , % об.	Вміст G , г/хв.			
	1	2	3	Середнє значення
0	9,37	9,4	9,41	9,39
2	9,5	9,51	9,5	9,5
4	9,78	9,79	9,77	9,78
6	9,9	10	10,1	10

Як видно з рис. 3.11 у результаті збільшення вмісту CM в паливі від 0 до 6%, спостерігається зростання масової витрати палива до 6,1 %, збільшення концентрації вуглеводнів до 10% та оксидів азоту на 1,9% у відхідних газах двигуна Д21А1. Це пояснюється тим, що при додаванні CM до дизельного палива зростає четанове число утворених сумішей, котре обумовлює збільшення періоду затрим-

ки самозаймання та густини. Це, в свою чергу, призводить до неповного згорання палива, зростання його масової витрати та певного зростання токсичності відпрацьованих газів в результаті невідповідності міри стиску двигуна Д21А1 цетановому числу одержаних паливних сумішей.

Графічні залежності рис. 3.11 апроксимуються наступними рівняннями:

$$G = 9,3935 + 0,0967 \cdot V_{CM} - 0,0006 \cdot V_{CM}^2, \quad (3.22)$$

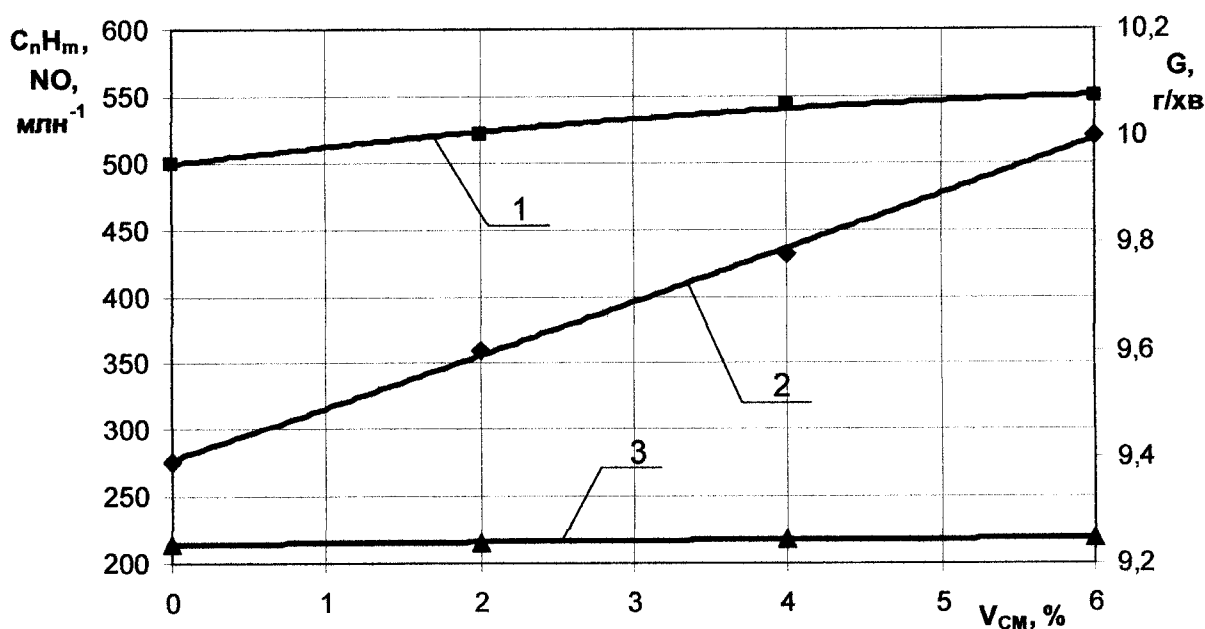
$$C_nH_m = 499,2 + 13,85 \cdot V_{CM} - 0,875 \cdot V_{CM}^2, \quad (3.23)$$

$$NO = 213,95 + 1,225 \cdot V_{CM} - 0,0625 \cdot V_{CM}^2, \quad (3.24)$$

де G – витрата суміші дизельного палива з СМ, г/хв.;

C_nH_m – концентрація вуглеводнів у відхідних газах двигуна Д21А1 під час його роботи на сумішах дизельного палива з СМ, млн⁻¹;

NO – концентрація оксидів азоту у відхідних газах двигуна Д21А1 під час його роботи на сумішах дизельного палива з СМ, млн⁻¹.



коефіцієнти кореляції для кривих: $\rho_1=0,99$, $\rho_2=0,98$, $\rho_3=0,99$; 1 – масова витрата палива G ; 2 – вміст C_nH_m ; 3 – вміст NO ; режим холостого ходу

Рис. 3.11 - Залежність вмісту C_nH_m , NO у відхідних газах та хвилинної масової витрати палива G двигуна Д21А1 від об'ємного вмісту СМ у дизельному паливі V_{CM}

У результаті роботи двигуна Д21А1 на сумішах дизельного палива з СМ спостерігалось зростання у відхідних газах оксидів азоту на 2,2 % та вуглеводнів на 9%. Слід зауважити, що конструкції сучасних дизельних ДВЗ мають високу міру стиску, адаптовану під паливо з високим цетановим числом та передбачають в своєму складі системи знешкодження шкідливих компонентів відхідних газів, ефективність дії яких становить, в середньому за всіма шкідливими компонентами близько 80% [112-117].

Зняття навантажувальної характеристики двигуна Д21А здійснено за постійної частоти обертання колінчастого вала ($n=750$ об/хв.), на попередньо прогрітому двигуні [120]. Методологія проведення експерименту наведена в п. 3.4.

З метою мінімального впливу коробки передач на результати експерименту всі випробування дизеля Д21А1 проведені на прямій четвертій передачі.

Під час проведення експерименту умови навколишнього середовища були такими: - температура навколишнього середовища $t_{nc}=22^{\circ}\text{C}$; - атмосферний тиск, $p=735$ мм.рт.ст.

Роботу компресора під час створення абсолютного тиску повітря p_2 визначали за показником політропи стиску n за формулою (3.6).

Середня температура повітря на виході з компресора наведена в табл. 3.19.

Інші необхідні дані для визначення потужності приводу компресора взяті з технічного паспорта компресора.

У табл. 3.20 наведені результати визначення роботи та потужності, що споживає компресор за різних значень абсолютного тиску повітря p_2 .

Рис. 3.12 ілюструє одержану залежність потужності приводу компресора – від абсолютного тиску повітря на виході з компресора.

Результати експериментальних досліджень вмісту C_nH_m у відхідних газах дизельного двигуна Д21А1 під час його експлуатації під навантаженням відображені на рис. 3.13. Слід зазначити, що при малих потужностях двигуна спостерігається незначне зростання вмісту C_nH_m у відхідних газах під час збільшення вмісту СМ у використаному в досліді дизельному паливі. Проте в області номінальної потужності двигуна ($N_e \approx 18$ кВт) зростання C_nH_m у порівнянні з роботою двигуна

на чистому дизельному паливі стає менш відчутним і сягає 6%, що пояснюється більш стабільною роботою двигуна на цьому режимі.

Таблиця 3.19–

Середня температура повітря на виході з компресора в залежності від створеного компресором абсолютного тиску повітря

Абсолютний тиск повітря на виході з компресорі, МПа	Температура повітря на виході з компресора T_2 , °C			
	1	2	3	Середнє значення
0,49	63	64	64	63,7
0,981	67	67	68	67,3
1,47	69	70	70	69,7
1,96	72	72	73	72,3
2,45	76	77	77	75,7
2,94	78	78	78	78

Таблиця 3.20 –

Результати визначення роботи та потужності приводу компресора

Абсолютний тиск повітря на виході з компресора, МПа	0,49	0,98	1,47	1,96	2,45	2,94
Робота компресора, МДж	25,3	36,4	42,9	47,7	51,5	54,6
Потужність приводу ДВЗ Д21А1, кВт	9	13	15,3	17	18,4	19,5

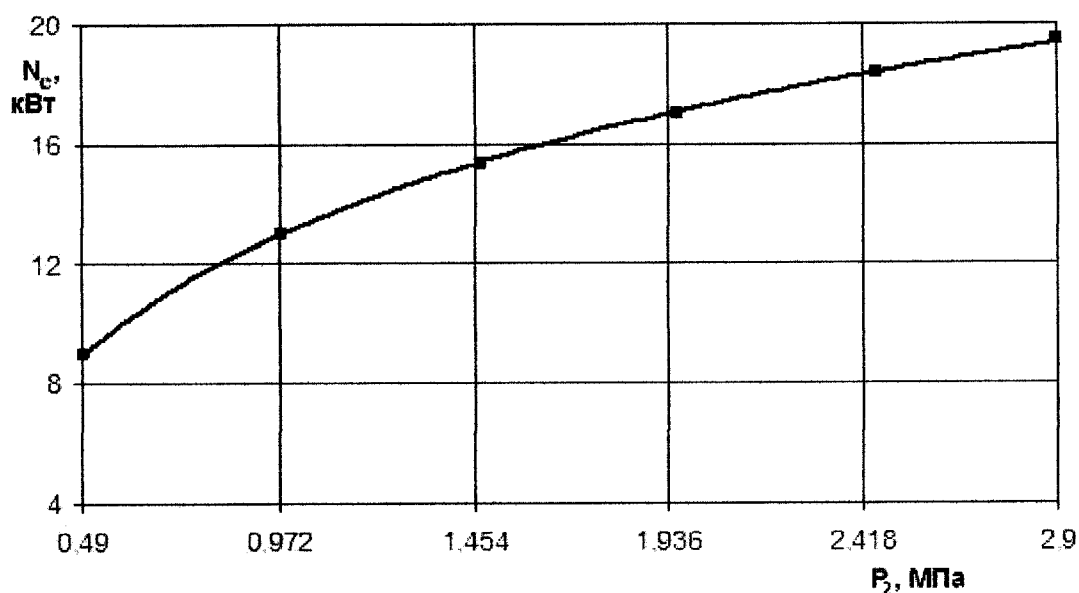
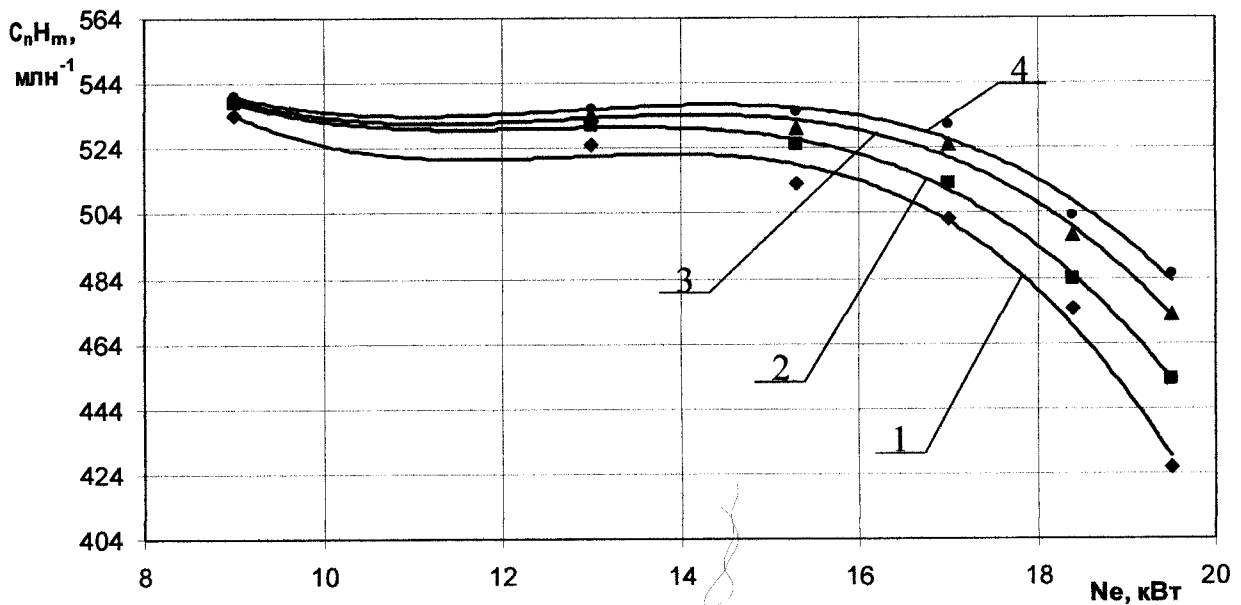


Рис. 3.12 – Залежність потужності приводу компресора N_c двигуна Д21А1 від абсолютного тиску повітря p_2 на виході з компресора

Результати дослідження вмісту NO у відхідних газах дизельного двигуна Д21А1 під час його експлуатації під навантаженням відображені на рис. 3.14.



вміст СМ у літньому дизельному паливі, % об.: 1- 0, ρ =0,99; 2- 2, ρ =0,99; 3- 4, ρ =0,99; 4- 6, ρ =0,98

Рис. 3.13 – Залежність вмісту C_nH_m у відхідних газах двигуна Д21А1 від його потужності N_e за різних значень вмісту СМ у дизельному паливі

Одержані залежності (рис. 3.13) апроксимуються наступним поліномом:

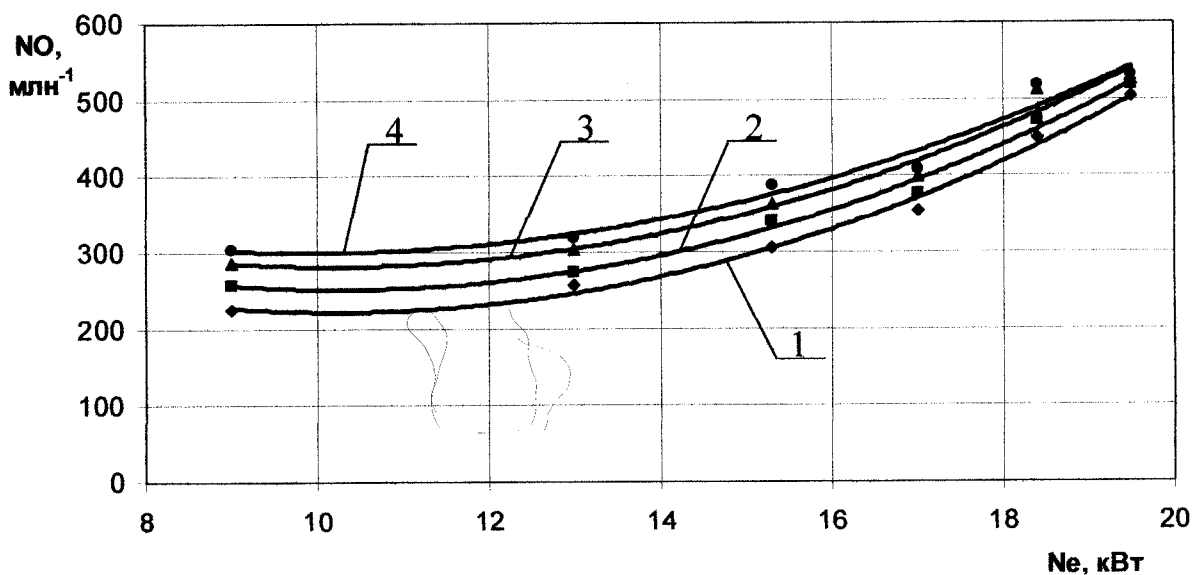
$$C_nH_m = a_{10} - b_{20} \cdot Ne^3 + b_{21} \cdot Ne^2 - b_{22} \cdot Ne . \quad (3.25)$$

Дослідні коефіцієнти для рівняння (3.25) наведено в табл. 3.21.

Таблиця 3.21 –

Дослідні коефіцієнти для рівняння (3.25)

Газ	Коефіцієнти	Значення коефіцієнтів за вмісту СМ, % об.			
		0	5	8	10
C_nH_m	a_{10}	1184,4	1051,7	942,42	903,6
	b_{20}	0,3264	0,2665	0,2104	0,1923
	b_{21}	12,476	10,097	7,9859	7,2753
	b_{22}	157,96	126,4	99,685	90,311



вміст СМ у дизельному паливі, % об.: 1- 0, $\rho=0,99$; 2- 2, $\rho=0,99$; 3- 4, $\rho=0,97$; 4- 6, $\rho=0,96$

Рис. 3.14 - Залежність вмісту NO у відхідних газах дизельного двигуна Д21А1 від його потужності N_e за різних значень вмісту СМ у дизельному паливі

Одержані залежності (рис. 3.14) апроксимуються наступним поліномом:

$$NO = a_{11} + b_{23} \cdot Ne^2 - b_{24} \cdot Ne . \quad (3.26)$$

Дослідні коефіцієнти для рівняння (3.26) наведено в табл. 3.22.

Таблиця 3.22 –

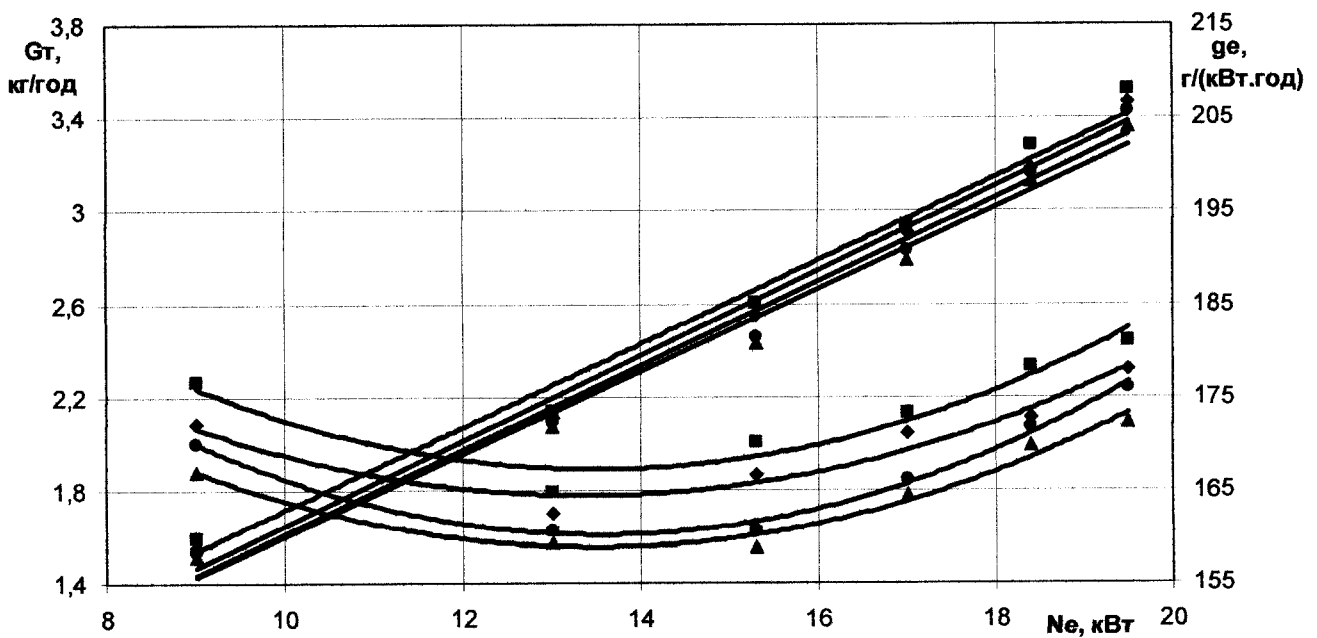
Дослідні коефіцієнти для рівняння (3.26)

Газ	Коефіцієнти	Значення коефіцієнтів за вмісту СМ, % об.			
		0	5	8	10
NO	a_{11}	569,32	587,73	596,58	566,36
	b_{23}	3,29	3,17	3,01	2,68
	b_{24}	67,54	65,32	61,55	53,5

Результати експериментів (рис. 3.14) свідчать, що зі збільшенням вмісту СМ у дизельному паливі до 6%, при номінальній потужності двигуна Д21А1, вміст NO зростає майже на 10%, що пояснюється збільшенням повноти згорання сумішньої дизельного палива з СМ у порівнянні з товарним дизельним паливом та зростання кількості кисню за рахунок СМ, при цьому більша кількість азоту окислюється до NO.

Як вже зазначалося, сучасні двигуни обладнані системою знешкодження відхідних газів від C_nH_m та NO, що дозволяє знизити їх концентрації на 80% [112-117] і мінімізувати негативний вплив зазначених компонентів на довкілля.

На рис. 3.15 наведені досягнуті результати експериментального визначення G_T , g_e двигуна Д21А1 в залежності від розвинутої потужності двигуна.



вміст СМ у літньому дизельному паливі, % об.: \blacktriangle - 0, $\rho = 0,98$; \bullet - 2, $\rho = 0,98$; \blacklozenge - 4, $\rho = 0,95$; \blacksquare - 6, $\rho = 0,96$

Рис. 3.15 – Експериментальні залежності годинної G_T та питомої витрати палива g_e двигуна Д21А1 від його навантаження N_e за різних значень вмісту СМ у дизельному паливі

Одержані залежності (рис. 3.15) апроксимуються наступними поліномами:

$$G_T = -a_{12} + b_{25} \cdot \text{Ne}, \quad (3.27)$$

$$g_e = a_{13} + b_{26} \cdot \text{Ne}^2 - b_{27} \cdot \text{Ne}. \quad (3.28)$$

Дослідні коефіцієнти для рівнянь (3.27) і (3.28) наведено в табл. 3.23.

Таблиця 3.23 –

Дослідні коефіцієнти для рівнянь (3.27) і (3.28)

Витрата палива	Коефіцієнти	Значення коефіцієнтів за вмісту СМ, % об.			
		0	5	8	10
G_T	a_{13}	0,1661	0,1861	0,1771	0,1742
	b_{26}	0,1766	0,1802	0,1826	0,1856
g_e	a_{14}	231,74	246,2	231,54	244,59
	b_{27}	0,3997	0,4666	0,3734	0,4227
	b_{28}	10,792	12,668	10,013	11,435

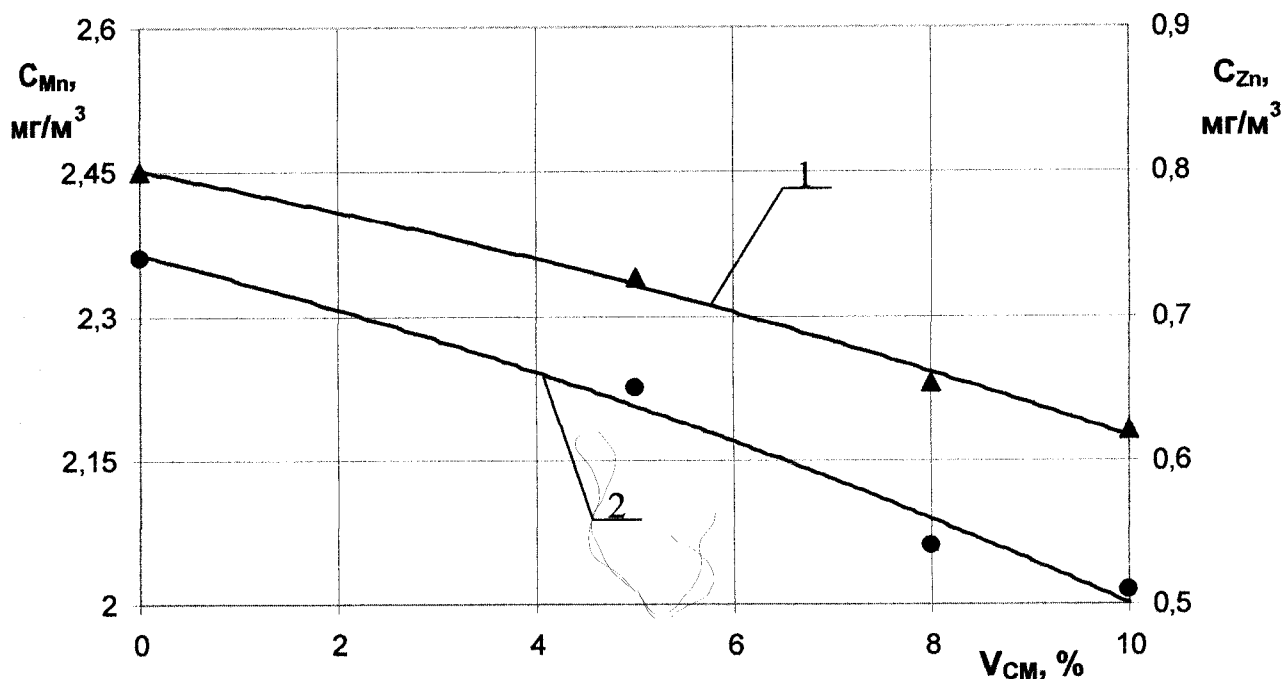
Аналіз графічних залежностей на рис 3.15 свідчить, що на режимі навантаження спостерігається зростання годинної та питомої масової витрат палива на 2,5 та 5,4 % відповідно. Це пояснюється зниженням нижчої теплоти згоряння паливних сумішей дизельного палива з СМ у порівнянні із товарним дизельним паливом.

3.8 Експериментальні дослідження впливу вмісту СМ в товарних паливах на концентрацію важких металів у відхідних газах ДВЗ

Концентрацію цинку та марганцю у відхідних газах двигуна ЗИЛ-130 у процесі його роботи з навантаженням 37 кВт вимірювали за методологією, що викладені у п. 3.3. Відносна похибка визначення вмісту для марганцю склала від 2,8 до 3,1%, а для цинку від 9,2 до 13,3% [127].

Результати вимірювання концентрації важких металів у відхідних газах дви-

гуна ЗИЛ-130 під час його роботи на бензині А-80 та сумішах бензину А-80 з СМ подані на рис. 3.16.



1- C_{Mn} , $\rho=0,98$; 2- C_{Zn} , $\rho=0,97$

Рис. 3.16 – Залежність концентрації C_{Zn} , C_{Mn} у відхідних газах двигуна ЗИЛ-130 від об'ємного вмісту у паливі СМ V_{CM}

Одержані залежності (рис. 3.16) апроксимуються наступними поліномами:

$$C_{Mn} = a_{14} - b_{28} \cdot V_{CM}, \quad (3.29)$$

$$C_{Zn} = a_{15} - b_{29} \cdot V_{CM}^2 - b_{30} \cdot V_{CM}. \quad (3.30)$$

Дослідні коефіцієнти для рівнянь (3.29) і (3.30) наведено в табл. 3.24.

Аналіз результатів дослідження концентрації важких металів у відхідних газах засвідчує, що додавання СМ до товарного бензину знижує концентрацію цинку і марганцю у відхідних газах. Зниження концентрації марганцю у відхідних газах пояснюється зменшенням кількості марганцю в утвореній паливній суміші.

У результаті додавання СМ до товарного бензину зменшується температура згорання утвореної суміші в камері згорання циліндра двигуна, а значить менше

вигорає оливи і тому знижується вміст цинку у відхідних газах двигуна [127, 129].

Таблиця 3.24 –

Дослідні коефіцієнти для рівнянь (3.29) і (3.30)

Значення коефіцієнтів				
$C_{Mn}, \text{мг/м}^3$		$C_{Zn}, \text{мг/м}^3$		
a_{15}	b_{28}	a_{16}	b_{29}	b_{30}
2,4578	0,0279	0,7428	0,001	0,0147

Висновки

1. Розроблені експериментальне устаткування і методи експериментальних досліджень дозволили виконати коректні та масштабні дослідження екологічних та експлуатаційних характеристик ДВЗ на різних режимах роботи, що характерні для умов використання автомобільного транспорту.

2. Експериментальні дослідження устаткування для споживання новостворених альтернативних палив з вмістом СМ – двигуни ЗИЛ-130, Д21А1 засвідчили можливість їхньої повноцінної експлуатації без будь-яких конструктивних змін, що сприятиме широкому використанню цих альтернативних палив не тільки на автомобілях, але й на інших транспортних, сільськогосподарських, будівельних машинах тощо.

3. Отримане і досліджене альтернативне моторне паливо придатне для використання у форсованих ДВЗ із зовнішнім сумішоутворенням, котрі вимагають застосування бензинів тільки з $ОЧ \geq 95$.

4. Використання СМ у поєднанні з бензином поліпшує екологічні показники в частині вмісту СО у відхідних газах ДВЗ із зовнішнім сумішоутворенням.

5. Спостерігається незначне збільшення сполук C_nH_m , NO у відхідних газах ДВЗ, що не створюватиме практичних проблем використання розроблених альтернативних палив завдяки наявності ефективних нейтралізаторів зазначених сполук.

6. Вміст важких металів у відхідних газах зменшується зі збільшенням вмісту СМ в альтернативних паливах у порівнянні з використанням чистих товарних палив, що сприяє зменшенню забруднення довкілля автомобільним транспортом та спиртовою промисловістю.

7. Визначені експериментальним шляхом експлуатаційні характеристики ДВЗ сприятимуть практичному використанню створених і досліджених у роботі альтернативних палив з вмістом СМ.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДІВ ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ В ҐРУНТІ ШКІДЛИВИХ СПОЛУК ВІДХІДНИХ ГАЗІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ

Для об'єктивної оцінки доцільності використання СМ як складника альтернативних палив необхідно математично описати та проаналізувати процес поширення у повітрі та проникнення у ґрунт і рослини шкідливих компонентів (важких металів), що викидаються автомобільними двигунами з відхідними газами.

Щоб здійснити порівняльну оцінку забруднення ґрунтів важкими металами при вживанні товарних палив та паливних сумішей товарних палив з СМ необхідно розробити методикку прогнозування розповсюдження важких металів у ґрунті.

4.1 Розроблення методології прогнозування розповсюдження в ґрунті шкідливих сполук відхідних газів автомобільних двигунів

Задача розповсюдження у повітрі шкідливих компонентів, що викидаються з відхідними газами двигунами автомобільного транспорту у наш час, як зазначалося у розділі 1, в основному розв'язана. Розповсюдження шкідливих компонентів у повітрі для стаціонарних джерел можна дослідити за програмними комплексами ЕОЛ – 2000 v 3.1 та ЕОЛ (ГАЗ) – 2000 v 3.1 [18]. Для пересувних джерел, вказану задачу можна розв'язати за іншими роботами, що наведені у розділі 1.

Для порівняння розрахунків за методиками [18], Бояршинова М.Г. [19] та Рузского А.В. [20] були прийняті такі вихідні умови: прийнято дослідну довжину шляху $L=1000$ м, висоту джерела забруднення над полотном дороги $b=0,5$ м, інтенсивність руху $\lambda=0,5\text{с}^{-1}$, швидкість автомобілів $v=12,5$ м/с, швидкість повітряного потоку $u=5$ м/с та коефіцієнт турбулентної дифузії $D_\mu=1,0$ м²/с.

Розбіжність у результатах розрахунків концентрації шкідливих компонентів за наведеними методиками не перевищувала (18 – 20)% на ширині смуг вздовж

полотна дороги до 50 м. При зростанні інтенсивності руху автомобілів розбіжність результатів розрахунків за зазначеними методиками зменшується.

Отже, викладені методики дозволяють визначити концентрації шкідливих компонентів, які викидаються з відхідними газами у повітрі вздовж автомобільних шляхів. У подальшому шкідливі компоненти – важкі метали осідають на поверхні ґрунту вздовж зазначених автомобільних шляхів.

Розглянемо задачу моделювання проникнення у ґрунт шкідливих компонентів, що викидаються з відхідними газами автомобільних двигунів. Для цього як фізичну модель оберемо елементарну площадку на поверхні ґрунту на узбіччі автомобільної дороги з постійною поверхневою концентрацією шкідливого компоненту.

У довільній площині, яка перпендикулярна напрямку дифузії шкідливих компонентів у ґрунт (рис. 4.1) де умови процесу дифузії у напрямку осі x є однаковими. Виділимо в граничному шарі ґрунту елемент dx , обмежений площинами, що паралельні площині поверхні і розташовані на відстані x і $x+dx$.

Для дослідження використаємо ґрунт – суглинок, напівтвердий, жовто-сірий, маловологий з коефіцієнтом фільтрації κ_f та коефіцієнтом дифузії D , який є достатньо поширений на західній Україні.

Необхідно знайти функціональну залежність зміни концентрації шкідливих компонентів за товщиною ґрунту вважаючи процес стаціонарним.

Складемо матеріальний баланс для виділеного елемента. Згідно з першим законом Фіка [130] кількість шкідливих компонентів, що проходить через елементарну площину dS у напрямку дифузії за час $d\tau$, складає:

$$dM = -D \frac{dc}{dx} dS d\tau, \quad (4.1)$$

де dM – кількість шкідливих компонентів, що дифундують у напрямку x ;
 c – концентрація шкідливих компонентів на певній глибині.

Так як концентрація шкідливих компонентів у напрямку x зменшується, тому коефіцієнт дифузії беремо із знаком мінус.

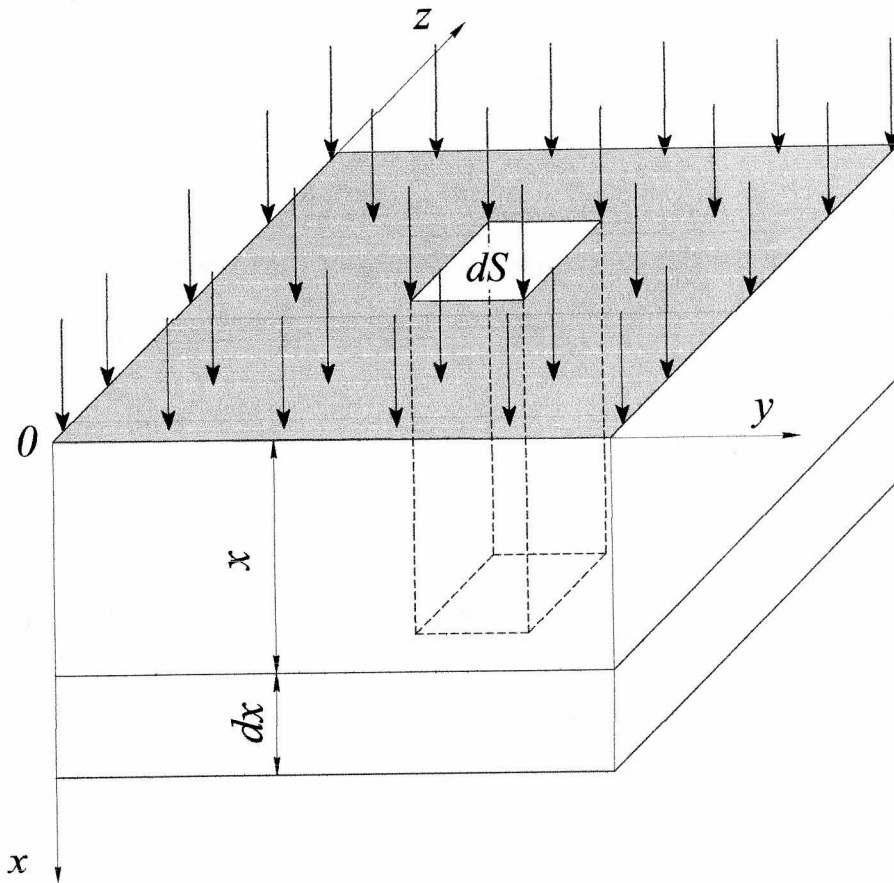


Рис. 4.1– Фізична модель проникнення небезпечних речовин у ґрунт

Кількість шкідливих компонентів, яка проходить через шар ґрунту товщиною $(x+dx)$ складає:

$$-D \left[\frac{dc}{dx} + d \left(\frac{dc}{dx} \right) \right] dS d\tau . \quad (4.2)$$

Кількість шкідливих компонентів, яка пройде через шар товщиною dx :

$$D \frac{d^2c}{dx^2} dS d\tau . \quad (4.3)$$

За час $d\tau$, враховуючи фільтрацію, кількість шкідливих компонентів, що поплинула грунтом, складає:

$$\frac{\kappa_{\phi} dc}{dx} dSd\tau . \quad (4.4)$$

Тоді, з урахуванням стаціонарності процесу рівняння матеріального балансу матиме вигляд:

$$-D \frac{dc}{dx} dSd\tau + D \left[\frac{dc}{dx} + d \left(\frac{dc}{dx} \right) \right] dSd\tau - \frac{\kappa_{\phi} dc}{dx} dSd\tau = 0 . \quad (4.5)$$

Поділимо складові рівняння матеріального балансу на величину $dSd\tau$:

$$D \frac{d^2 c}{dx^2} - \frac{\kappa_{\phi} dc}{dx} = 0 , \quad (4.6)$$

або

$$\frac{d^2 c}{dx^2} - \frac{\kappa_{\phi}}{D} \frac{dc}{dx} = 0 . \quad (4.7)$$

Позначимо $\kappa_{\phi}/D = \omega$. Тоді рівняння (4.7) набуде вигляду:

$$\frac{d^2 c}{dx^2} - \omega \frac{dc}{dx} = 0 . \quad (4.8)$$

Вираз (4.8) є лінійним диференціальним рівнянням другого порядку [130].

Запишемо характеристики рівняння (4.8) [130]:

$$\lambda^2 - \lambda\omega = 0 ,$$

$$\begin{aligned}\lambda(\lambda - \omega) &= 0, \\ \lambda_1 &= 0, \quad \lambda_2 = \omega.\end{aligned}$$

Розв'язок рівняння (4.8) шукатимемо у вигляді:

$$c(x) = k_1 + k_2 e^{\omega x}, \quad (4.9)$$

де k_1 і k_2 – сталі, що підлягають визначенню.

Знайдемо сталі k_1 і k_2 у припущенні, що відомі концентрації шкідливих компонентів на поверхні та деякій глибині l , тобто:

$$c(0) = c_1, \quad c(l) = c_2. \quad (4.10)$$

Підставимо умови (4.10) у рівняння (4.9) та одержимо систему рівнянь (4.11), розв'язавши яку визначимо сталі k_1 та k_2 :

$$\begin{cases} c_1 = k_1 + k_2 \\ c_2 = k_1 + k_2 e^{\omega l} \end{cases} \quad (4.11)$$

$$k_1 = \frac{c_2 - c_1 e^{\omega l}}{1 - e^{\omega l}}; \quad k_2 = \frac{c_1 - c_2}{1 - e^{\omega l}}. \quad (4.12)$$

Тоді, врахувавши рівняння (4.12), розв'язок (4.9) запишеться таким чином:

$$\begin{aligned}c(x) &= \frac{c_2 - c_1 e^{\omega l}}{1 - e^{\omega l}} + \frac{c_1 - c_2}{1 - e^{\omega l}} e^{\omega x} = \frac{c_2 - c_1 e^{\omega l} + c_1 e^{\omega x} - c_2 e^{\omega x}}{1 - e^{\omega l}} = \\ &= \frac{c_1 (e^{\omega x} - e^{\omega l}) + c_2 (1 - e^{\omega x})}{1 - e^{\omega l}}.\end{aligned} \quad (4.13)$$

Якщо припустити, що відомі концентрації шкідливих компонентів на деякій глибині l_1 та l_2 , умова (4.10) набуде вигляду:

$$c(l_1) = c_1, \quad c(l_2) = c_2. \quad (4.14)$$

Підставимо умови (4.14) у рівняння (4.9) та одержимо систему рівнянь (4.15), розв'язавши яку визначимо сталі k_1 та k_2 :

$$\begin{cases} c_1 = k_1 + k_2 e^{l_1 \omega} \\ c_2 = k_1 + k_2 e^{l_2 \omega} \end{cases} \quad (4.15)$$

$$k_1 = \frac{c_2 - c_1 e^{\omega(l_2 - l_1)}}{1 - e^{\omega(l_2 - l_1)}}, \quad k_2 = \frac{c_1 - c_2}{e^{l_1 \omega} (1 - e^{\omega(l_2 - l_1)})}. \quad (4.16)$$

Врахувавши рівняння (4.16), розв'язок для (4.9) набуде вигляду:

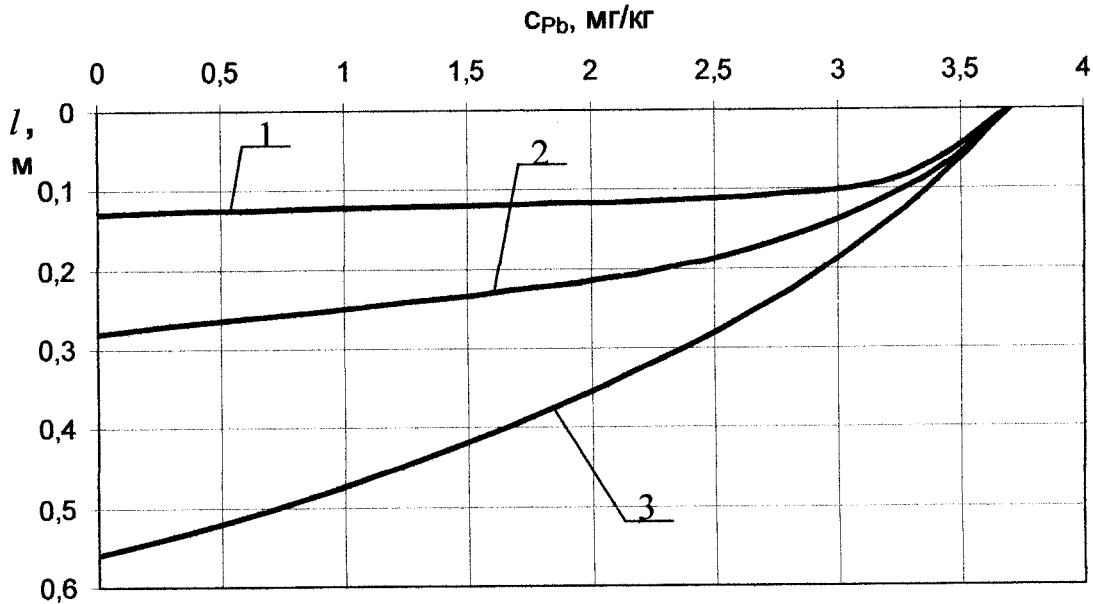
$$c(x) = \frac{c_2 - c_1 e^{\omega(l_2 - l_1)}}{1 - e^{\omega(l_2 - l_1)}} + \frac{c_1 - c_2}{e^{l_1 \omega} (1 - e^{\omega(l_2 - l_1)})} \cdot e^{\omega x}. \quad (4.17)$$

Одержане рівняння (4.17) дозволяє визначити розповсюдження шкідливих компонентів за глибиною ґрунту за відомих значень концентрацій цих компонентів. Виконаємо аналіз впливу ω на глибину проникнення свинцю l (рис. 4.2) за отриманою нами формулою (4.17).

Оскільки зменшення ω відбувається за рахунок збільшення коефіцієнта дифузії, то це сприяє збільшенню глибини проникнення свинцю у ґрунт (рис. 4.2).

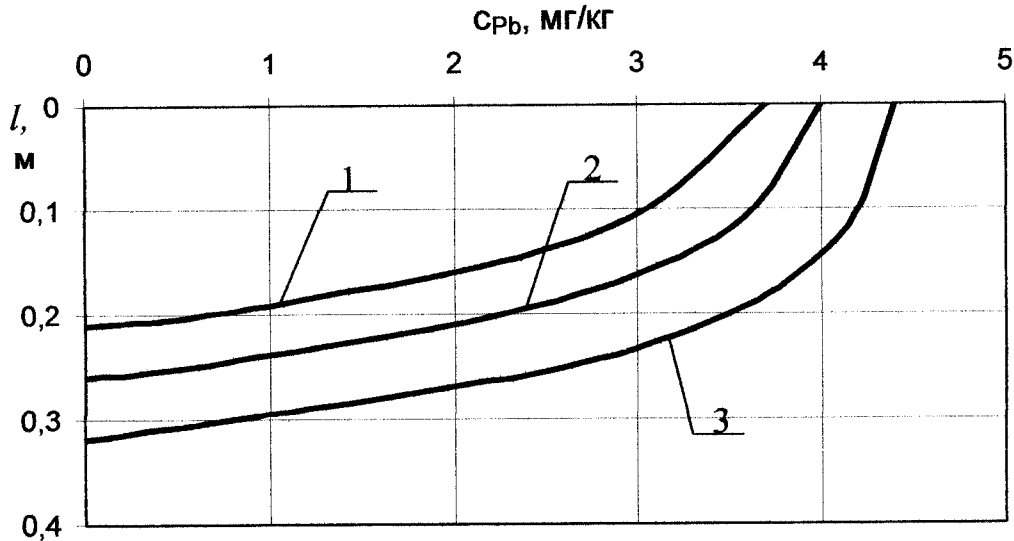
На рис. 4.3 побудовані теоретичні залежності глибини проникнення свинцю у ґрунт l від зміни його концентрації c_1 та c_2 і незмінному ω .

Збільшення концентрації свинцю на глибині l_1 та l_2 при $\omega = \text{const}$ (рис. 4.3), призводить до зростання глибини проникнення свинцю у ґрунт, так як зростає рушійна сила процесу дифузії.



$l_1=0$ м; $l_2=0,1$ м; ω дорівнює: 1- 71,1; 2- 13,1; 3- 2,6

Рис. 4.2 – Вплив ω на глибину проникнення свинцю у ґрунт l при сталих його концентраціях c_1 та c_2



$l_1=0$ м; $l_2=0,1$ м; $\omega = 13,1$ для всіх кривих; концентрація свинцю c_1 і c_2 мг/м³: 1- 3,7 і 3,05; 2- 4 і 3,7; 3- 5 і 4,9

Рис. 4.3 – Вплив поверхневої концентрації свинцю на глибину його проникнення у ґрунт l при $\omega = \text{const}$

Порівняння результатів аналізу одержаного рівняння (4.17) з даними Трункової І.О. [22] свідчить, що графічний характер кривих зміни концентрації свинцю за глибиною ґрунту на рис. 4.2, 4.3 практично однаковий з кривим у роботі [22]. Це свідчить на користь коректності отриманих нами результатів.

На відміну від робіт Лютої О.В. [21], Трункової І.О. [22] нами отримана розрахункова формула, яка дозволяє аналітично відслідкувати зміну концентрації шкідливого компонента по глибині ґрунту за умов стаціонарності розглядуваного процесу.

Наведені на рис. 4.2, 4.3 графіки свідчать, що припущення Скопецкої О.В. [23] про незмінність концентрації свинцю по висоті кореневої системи рослинного покриття – 20 см є хибним.

4.2 Дослідження концентрації важких металів у ґрунтах та рослинах

У процесі дослідження вмісту важких металів у ґрунті та рослинах під дією відхідних газів двигуна ЗИЛ-130 використано майданчик з рослинним верхнім шаром (рис. 4.4) площею 1 м^2 . Для цього майданчика відібраний ґрунт – суглинок з коефіцієнтом фільтрації $\kappa_{\phi}=5,75 \cdot 10^{-7}$ м/с та коефіцієнтом дифузії $D=4,4 \cdot 10^{-8}$ м²/с, на відстані 30 м від проїжджої частини вул. Набережна в м. Івано-Франківську, на якій інтенсивність руху транспорту становить в середньому 6880 авт./добу. Після завезення ґрунту на майданчик (рис. 4.4) біля лабораторії з експериментальними установками, з розрахунку на два дослідні майданчики, він протягом 30 днів влекався під впливом факторів навколишнього середовища. Далі з експериментального майданчика за методикою [131, 133], що передбачає точковий відбір проб ґрунту, були відібрані проби ґрунту та рослин для визначення вмісту важких металів.

Експериментальний майданчик насичувався відхідними газами двигуна ЗИЛ-130, що працював протягом 40 год. (впродовж чотирьох діб) з сталим навантаженням двигуна 37 кВт. Швидкість руху відхідних газів над поверхнею майданчика становила біля $v_{\text{вз}}=0,3$ м/с і забезпечувалася двома вентиляторами ВО 13-

284. Швидкість руху відхідних газів вимірювалася крильчатим анемометром У5[122]. Рівномірність розподілу відхідних газів по поверхні експериментального майданчика забезпечувалася за допомогою розсіювача (рис. 4.4) у вигляді сталевий труби довжиною 1 м з сімома отворами діаметром 0,015 м.

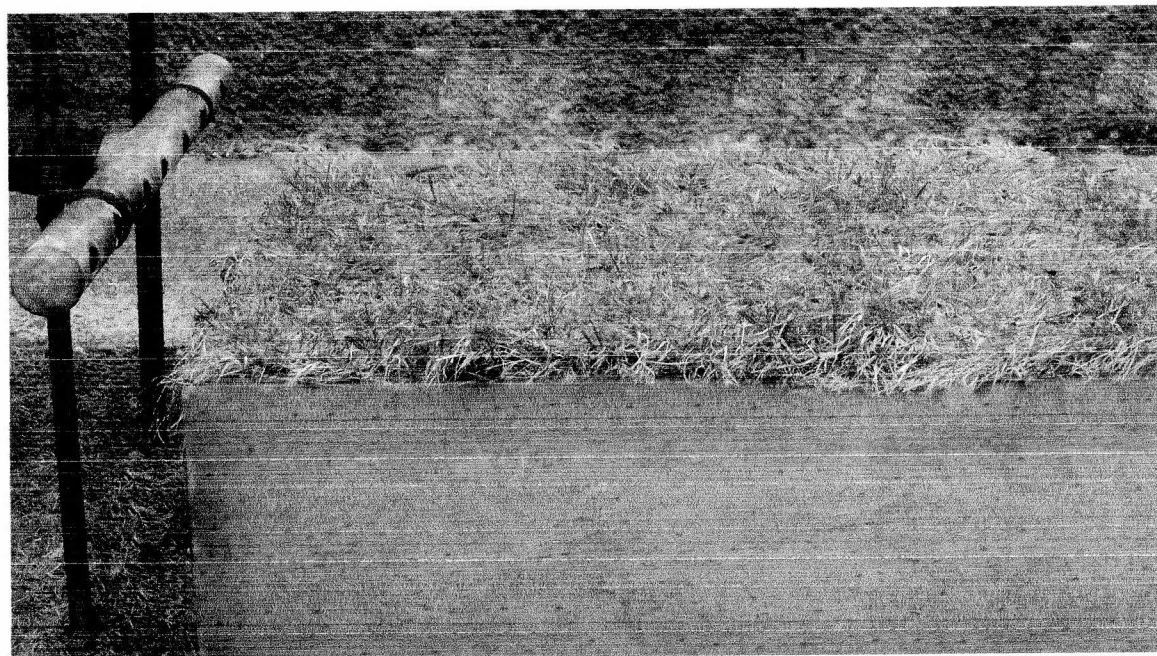


Рис. 4.4 – Майданчик для дослідження впливу добавок СМ до бензину на вміст важких металів у ґрунті та рослинах, що викидаються з відхідними газами двигуна ЗИЛ-130

Визначення вмісту важких металів у ґрунті та рослинах проводилися за методикою [122] у лабораторії Івано-Франківського обласного державного проектно-технологічного центру охорони родючості ґрунтів і якості продукції. Ця лабораторія атестована Укрспоживстандартом на технічну комплектність, свідоцтво про атестацію № А08-116 від 09 червня 2008р. Методика демонструє екстракцію досліджуваного металу із ґрунту азотною кислотою, фільтрування одержаної витяжки через сухий складчастий фільтр та визначення оптичної густини кислотного розчину металу у фільтраті на атомно-абсорбційному спектрофотометрі моделі С-115 в полум'ї ацетилен – повітря. Одночасно проводяться холостий аналіз на чистоту використовуваних реактивів, тобто повторюються всі етапи роботи, тільки без відбору проб. За допомогою попередньо побудованого градуувального

графіка залежності оптичної густини стандартних кислотних розчинів важкого металу від його концентрацій у розчині знаходять концентрації металу у досліджуваному кислотному розчині витяжки ґрунту A_{z1} , мг/дм³ та концентрації металу у кислотному розчині A_{z0} , мг/дм³.

Масовий вміст важких металів у ґрунті C_z , мг/кг визначали за формулою [131]:

$$C_z = \frac{V_z \cdot (A_{z1} - A_{z0})}{m_z}, \quad (4.18)$$

де V_z - об'єм досліджуваного кислотного розчину витяжки ґрунту, см³;

m_z - маса сухої проби ґрунту, г.

Визначення вмісту важких металів у рослинах проводили у їх кислотних розчинах зольних витяжок за описаною вище методикою.

Масову концентрацію важких металів у рослинах C_p , мг/кг визначали за формулою [131]:

$$C_p = \frac{V_p \cdot (A_{p1} - A_{p0})}{m_p} \cdot K_p, \quad (4.19)$$

де V_p - об'єм досліджуваного кислотного розчину витяжки золи рослин, см³;

m_p - маса сухої проби рослин, г;

K_p - коефіцієнт, що враховує зменшення маси рослинної проби.

Опосередковану похибку визначення масової концентрації важких металів у ґрунті ΔC_z , % визначали за виразом [123]:

$$\Delta C_z = \frac{\partial C_z}{\partial V_z} \Delta V_z + \frac{\partial C_z}{\partial A_{z1}} \Delta A_{z1} + \frac{\partial C_z}{\partial A_{z0}} \Delta A_{z0} + \frac{\partial C_z}{\partial m_z} \Delta m_z, \quad (4.20)$$

де ΔV_z - абсолютна похибка визначення об'єму кислотного розчину витяжки ґрунту, %;

ΔA_{21} , ΔA_{20} - абсолютна похибка вимірювання концентрації важких металів у досліджуваному кислотному розчині витяжки ґрунту та похибка вимірювання концентрації важких металів у кислотному розчині, %;

Δm_z - абсолютна похибка визначення маси сухої проби ґрунту, %.

Відносна похибка визначення масової концентрації шкідливих компонентів у ґрунті δC_z , % розраховувалася за формулою [130]:

$$\delta C_z = \frac{\Delta C_z}{C_z} \cdot \quad (4.21)$$

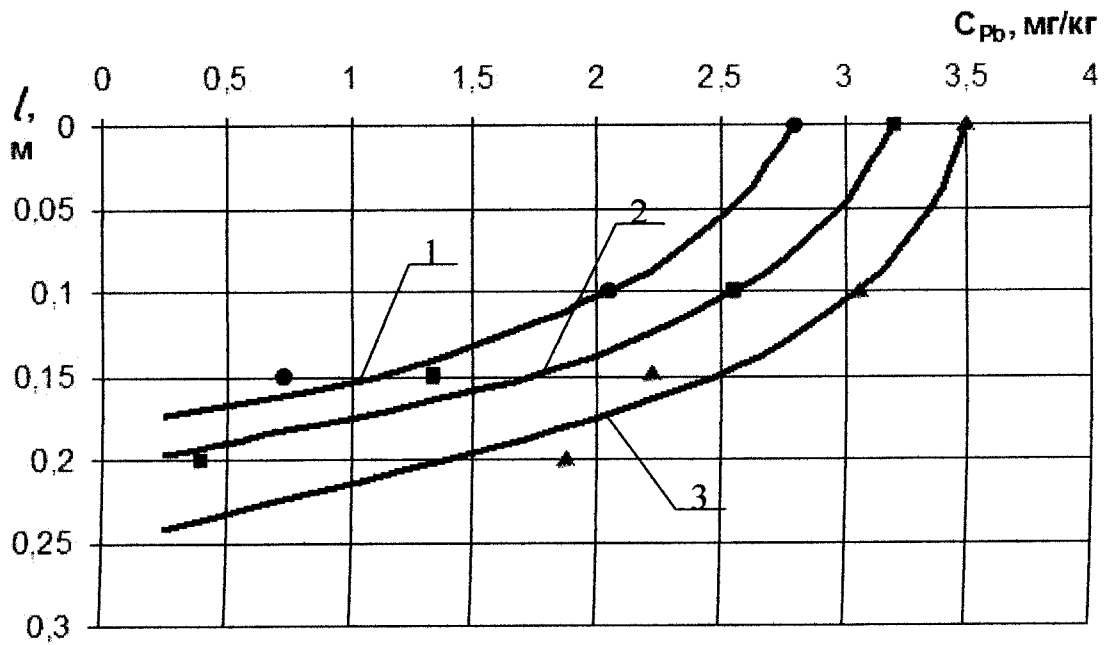
Абсолютна ΔC_p і відносна δC_p похибки вимірювання масової концентрації важких металів у рослинах визначалися відповідно за формулами (4.20) та (4.21).

Дослідження впливу відхідних газів двигуна ЗИЛ-130 на концентрацію важких металів у ґрунті та рослинах було здійснено за наступною послідовністю:

- 1) визначення важких металів у фоновому ґрунті та рослинах;
- 2) насичення поверхні ґрунту та рослин відхідними газами двигуна при його роботі на товарному бензині, визначення вмісту важких металів у ґрунті та рослинах;
- 3) заміна ґрунту на дослідному майданчику та визначення важких металів у фоновому ґрунті та рослинах;
- 4) насичення поверхні ґрунту та рослин відхідними газами двигуна при його роботі на сумішах товарного бензину та СМ у кількості 10% об., визначення вмісту важких металів у ґрунті та рослинах.

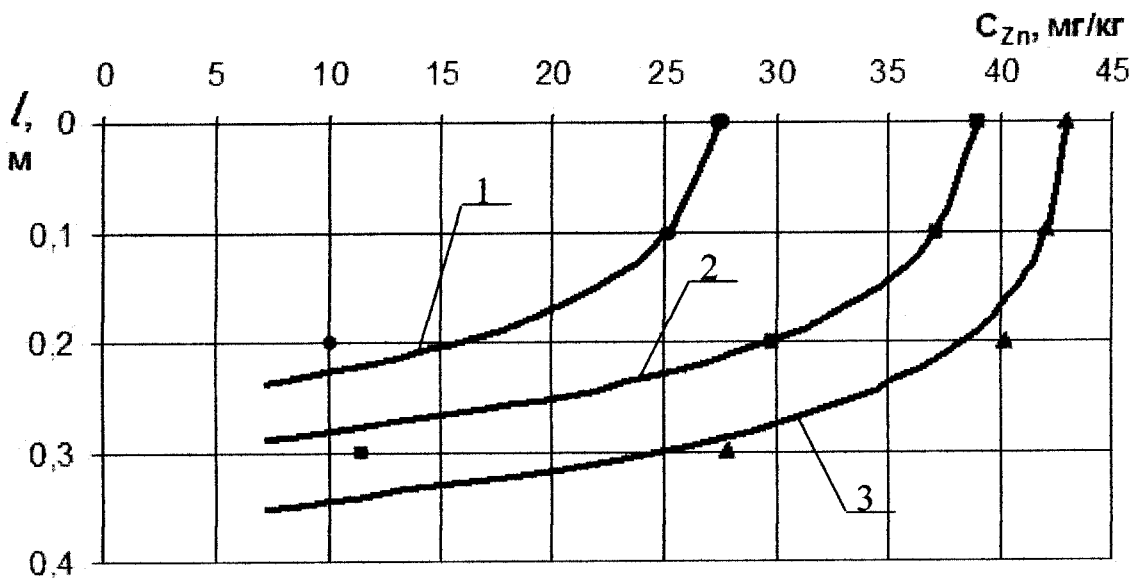
Результати дослідження відібраних взірців ґрунту на поверхні та на різних глибинах на вміст свинцю, цинку та марганцю наведені на рис. 4.5 – 4.7 [132].

Відносна похибка вимірювання концентрації свинцю у ґрунті знаходиться у межах 12,5 - 15 %, цинку 5,5- 7,5 % і марганцю 8,5 - 11 %.



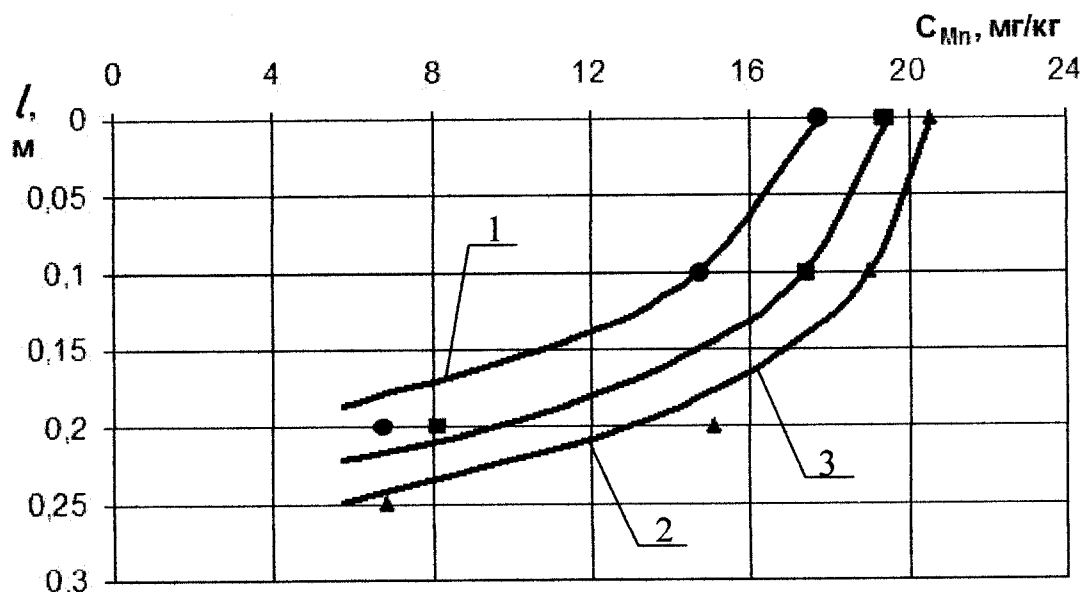
вміст свинцю у ґрунті: 1- фоновий; 2- 10% СМ; 3- товарний бензин А-80;
 — розрахункова залежність побудована за формулою (4.17) при $\omega=13,1$

Рис. 4.5 – Глибина l проникнення свинцю у ґрунт за різних значень об'ємного вмісту у паливі СМ V_{CM} %



вміст цинку у ґрунті: 1- фоновий; 2- 10% СМ; 3- товарний бензин А-80;
 — розрахункова залежність побудована за формулою (4.17) при $\omega=13,1$

Рис. 4.6 – Глибина l проникнення цинку у ґрунт за різних значень об'ємного вмісту у паливі СМ V_{CM} %



вміст марганцю у ґрунті: 1- фоновий; 2- 10% СМ; 3- товарний бензин А-80;
 — розрахункова залежність побудована за формулою (4.17) при $\omega=13,1$

Рис. 4.7 – Глибина l проникнення марганцю у ґрунт за різних значень об'ємного вмісту у паливі СМ V_{CM} %

Суцільні криві, що вказані на рис. 4.5 – 4.7 побудовані за формулою (4.17) для концентрацій важких металів виміряних на поверхні ґрунту та на глибині 0,1 м. Концентрації важких металів виміряні на довільних глибинах для свинцю - 0,15 та 0,2 м, цинку - 0,2 та 0,3 м та марганцю - 0,2 та 0,25 м засвідчують задовільну достовірність одержаної теоретичної залежності (4.17). Відхилення дослідних концентрацій на зазначених вище глибинах від розрахованих за формулою (4.17) пояснюються похибкою методу вимірювання концентрації даних компонентів у ґрунті та похибкою визначення ω .

У табл. 4.1 наведені результати визначення концентрації важких металів у рослинах.

За аналізом рис. (4.5 – 4.7) у процесі роботи двигуна на сумішах бензину А-80 з СМ концентрація свинцю, цинку і марганцю у взірцях ґрунту нижча в середньому на 6,6, 9,3 і 9,5% відповідно у порівнянні з його роботою на товарному бензині. Як зазначалося, це пояснюється більшою концентрацією досліджених шкід-

ливих компонентів у відхідних газах під час роботи двигуна на бензині у порівнянні з роботою на паливних сумішах бензину з СМ.

Таблиця 4.1–

Результати визначення вмісту важких металів у рослинах

Назва компоненту	С _p , мг/кг			Відносна похибка вимірювання δС _p , %
	Фоновий	Бензин	Суміші бензину і СМ 10% об.	
Свинець	5,3	12,46	8,79	від 12,5 до 14
Цинк	50,44	151,62	104,97	від 5 до 7
Марганець	13,46	14,5	15,22	від 8,5 до 11

Дослідження концентрації важких металів у рослинах показують, що при використанні на двигуні ЗИЛ-130 паливних сумішей у порівнянні з бензином спостерігається зниження сполук цинку на 31,3%, свинцю на 41,7% та зростання марганцю на 4,7%.

Отже, використання альтернативних палив з вмістом СМ у ДВЗ дозволяє знизити шкідливий вплив відхідних газів автомобільного транспорту на довкілля [127, 132].

Оскільки важкі метали викликають серйозні порушення здоров'я та призводять до деградації ґрунтів, то необхідний міжсекторальний підхід до вирішення цієї проблеми з участю виробників, користувачів, суспільних організацій. Необхідність виконання проектів, спрямованих на зниження рівня забруднення важкими металами та їх негативної дії на здоров'я, відображена в стратегічному підході з міжнародного регулювання хімічних речовин (СПМРХВ), який був прийнятий урядами країн в лютому 2006 року.

В Україні ведеться певна робота з виконання конкретних положень СПМРХВ. Як один із шляхів зниження забруднення навколишнього середовища важкими металами з викидами автомобільного транспорту може бути широке використання розроблених і досліджених у роботі альтернативних моторних палив з вмістом СМ.

Висновки

1. Теоретично розв'язана задача проникнення сполук металів, що викидаються з відхідними газами автомобільних двигунів і дифундують у ґрунт, дозволяє оцінити глибину проникнення шкідливих компонентів у ґрунт за відомих поверхневих концентрацій, коефіцієнтів дифузії та фільтрації і використати дану методику для порівняння шкідливого впливу на довкілля відхідних газів альтернативних моторних палив з товарними.

2. Вміст важких металів у ґрунті довкілля зменшується зі збільшенням вмісту СМ в альтернативних паливах у порівнянні з використанням чистих товарних палив, що засвідчує правильність обраного шляху зменшення забруднення довкілля автомобільним транспортом та спиртовою промисловістю.

РОЗДІЛ 5
ОЦІНКА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ
СИВУШНИХ МАСЕЛ ЯК СКЛАДНИКА МОТОРНИХ ПАЛИВ
ТА ПРОМИСЛОВА АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ
ДОСЛІДЖЕННЯ

Головною вимогою до будь-якої технологічної схеми використання альтернативного палива є досягнення поставленої мети за умови мінімальних приведених затрат. Аналіз існуючих методів одержання альтернативних палив показує, що кожен із них потребує немалих додаткових фінансових та енергетичних затрат [9-40]. Для оцінки економічної ефективності використання альтернативного палива, утвореного шляхом додавання до товарних палив СМ, необхідно виконати відповідні розрахунок та здійснити аналіз одержаних результатів.

5.1 Оцінка економічної ефективності використання сивушних масел як складника альтернативного моторного палива

Суміші товарного бензину з СМ. На економічну ефективність добавки СМ до товарних палив впливають фінансові витрати на паливо, в той час коли інші витрати в процесі експлуатації автомобіля (на оливу, амортизаційні відрахування, ремонт, накладні видатки, витрати на автомобільні шини тощо) на товарному паливі так і на суміші товарного палива з СМ будуть практично однаковими.

Доцільність використання добавок СМ до товарного палива визначалася за методикою, яку запропонували Гутаревич Ю.Ф., Говорун А.Г., Корпач А.О., Мороз О.Г. [138], що передбачає умову:

$$Ц_{п} \geq (Ц_{гп} \cdot g_{гп} + Ц_{см} \cdot g_{см}) \cdot k, \quad (5.1)$$

де $Ц_{п}$ – роздрібна ціна однієї тонни товарного палива, еквівалентного за октановим або цетановим числом паливним сумішам товарного палива з СМ, грн. /т;

$\text{Ц}_{\text{ТП}}$ – роздрібна ціна однієї тонни товарного палива, що використовується в паливних сумішах, грн. /т;

$\text{Ц}_{\text{СМ}}$ – роздрібна ціна однієї тонни СМ, грн. /т;

$g_{\text{ТП}}$ – масова частка товарного палива в альтернативному паливі;

$g_{\text{СМ}}$ – масова частка СМ в альтернативному паливі;

k – коефіцієнт, який враховує збільшення витрати альтернативного палива, і визначається з рівняння балансу теплоти, яка міститься в товарному та альтернативному паливах [138].

Нижчу теплоту згоряння сумішей товарного палива та СМ, $h_{\text{АП}}$ знаходимо за формулою [138]:

$$h_{\text{АП}} = h_{\text{НТП}} \cdot g_{\text{ТП}} + h_{\text{НСМ}} \cdot g_{\text{СМ}}, \quad (5.2)$$

де $h_{\text{НТП}}$ – нижча теплота згоряння товарного палива для бензину становить 44 МДж/кг, а для дизельного палива 42,6 МДж/кг [138];

$h_{\text{НСМ}}$ – нижча теплота згоряння СМ згідно табл. 3.1 складає $h_{\text{НСМ}} = 34,2$ МДж/кг.

З урахуванням формули (5.2) отримуємо [138]:

$$k = \frac{h_{\text{НТП}}}{h_{\text{НТП}} \cdot g_{\text{ТП}} + h_{\text{НСМ}} \cdot g_{\text{СМ}}}. \quad (5.3)$$

Значення коефіцієнта k залежно від масової частки СМ у сумішах з товарним бензином наводяться в табл. 5.1, а для сумішей СМ з дизельним паливом у табл. 5.2.

Таблиця 5.1 –

Значення коефіцієнта k в залежності від масової частки СМ в сумішах

з товарним бензином

$g_{\text{СМ}}$	0,01	0,04	0,08	0,12
k	1,002	1,009	1,018	1,027

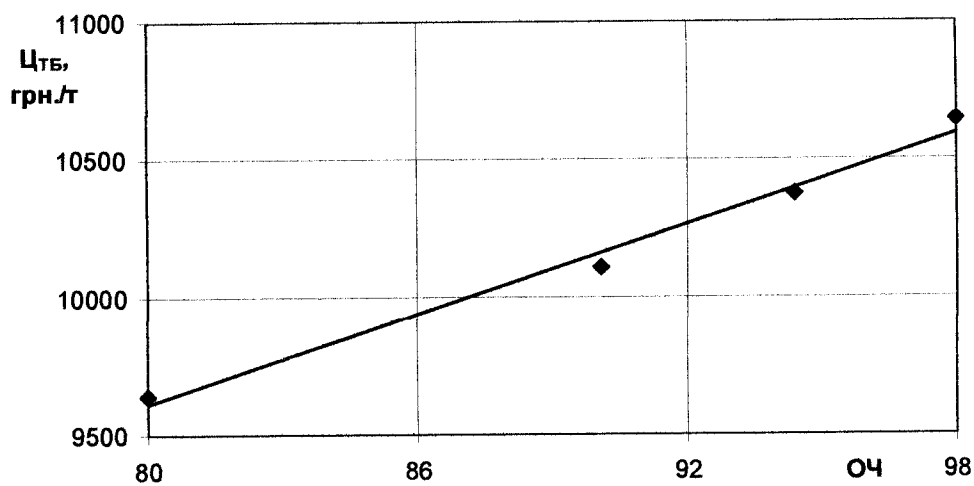
Для розрахунку комерційної ефективності необхідно мати залежність зміни

ціни товарного бензину від октанового числа. Виходячи з роздрібних цін товарних бензинів на час проведення розрахунків, вартість однієї тонни становила: А-76 та А-80 - 9380 грн./т, А-92 - 10530 грн./т, А-95 - 11230 та А-98 - 11530 грн./т, що показано графічно на рис. 5.1.

Таблиця 5.2 –

Значення коефіцієнта k в залежності від масової частки СМ в паливних сумішах з дизельним паливом

g_{CM}	0,02	0,04	0,06	0,08	10	12
k	1,004	1,008	1,012	1,016	1,02	1,024



коефіцієнт кореляції $\rho=0,98$

Рис. 5.1 – Залежність ціни товарного бензину $Ц_{ТБ}$ від $ОЧ$

Залежність вартості товарних бензинів від октанового числа (рис. 5.1) описується лінійним рівнянням:

$$Ц_{ТБ} = 54,409 \cdot ОЧ_{ТБ} + 5261,4 \quad (5.4)$$

де $ОЧ_{ТБ}$ – октанове число товарного бензину.

Значення $ОЧ_{Б}$ необхідного для змішування розраховують за залежністю [138]:

$$ОЧ_{Б} = ОЧ_{ТБ} - \Delta ОЧ, \quad (5.5)$$

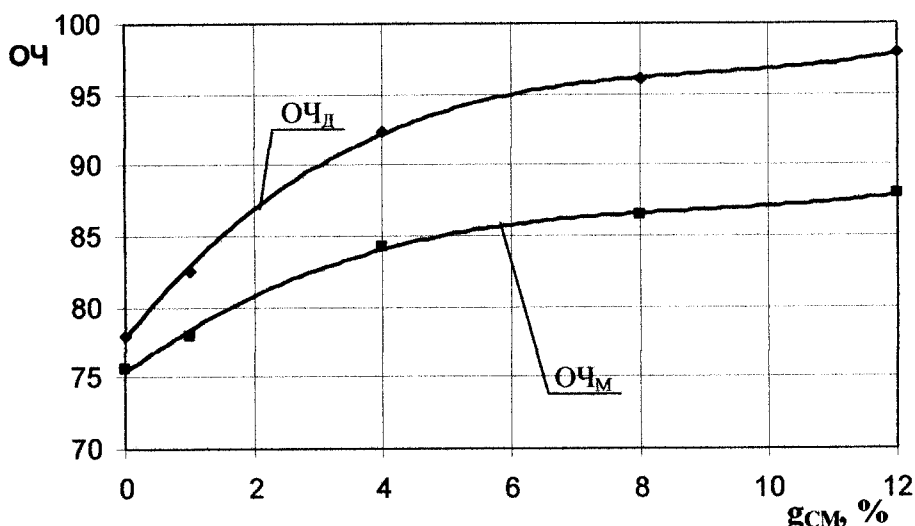
де $\Delta OЧ$ – приріст октанового числа суміші бензину з СМ, що визначається за процентним вмістом СМ в паливних сумішах бензину з СМ, та визначається за залежністю (5.9).

Комерційна ефективність застосування паливних сумішей оцінюється різницею цін ΔE однієї тонни товарного палива та відповідної ціни однієї тони паливної суміші, що за нижчою теплою згоряння еквівалентна відповідному товарному паливі та визначається за залежністю [138]:

$$\Delta E = C_{II} - (C_{III} \cdot g_{III} + C_{CM} \cdot g_{CM}) \cdot k. \quad (5.6)$$

УВ розрахунках прийнята вартість однієї тонни СМ – 2400 грн./т (за даними Державного концерну “Укрспирт” станом на 01.10.2010р.).

У розрахунку комерційної ефективності використання СМ як добавки до бензину необхідною технічною умовою має бути забезпечення однакових октанових чисел утвореного еквівалентного палива у порівнянні з товарним бензином. За результатами дослідження на рис. 5.2 наведена залежність $OЧ$ паливної суміші бензину та СМ від вмісту СМ.



коефіцієнти кореляції для $OЧ_Д$ - $\rho=0,98$; $OЧ_М$ - $\rho=0,99$

Рис. 5.2 – Залежності октанового числа $OЧ$ суміші бензину і СМ від масового вмісту СМ g_{CM}

Дані залежності описуються наступними апроксимаційними поліномами:

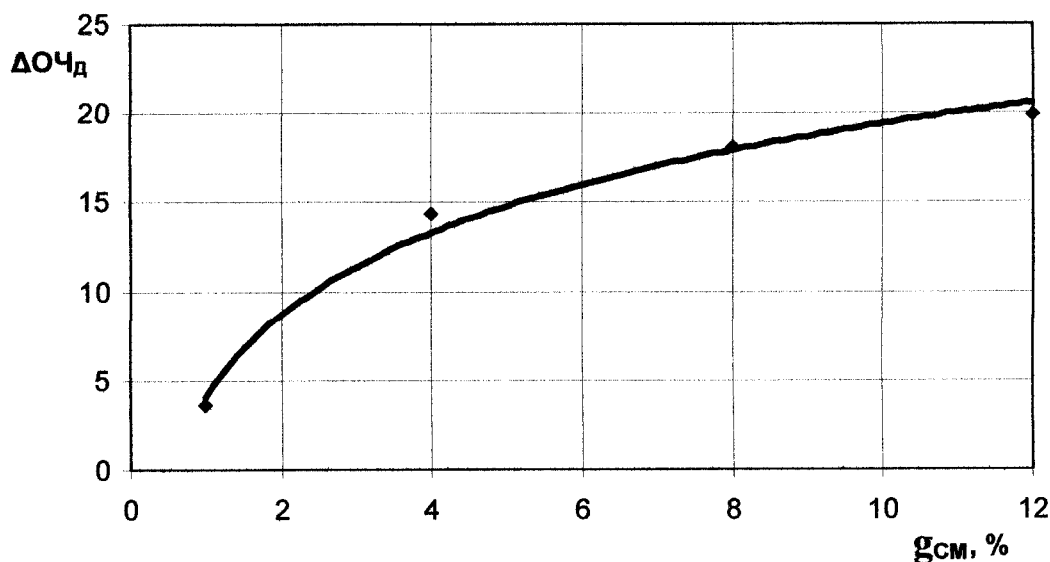
$$ОЧ_{Д}=0,0215 \cdot g_{СМ}^3 - 0,585 \cdot g_{СМ}^2 + 5,5961 \cdot g_{СМ} + 77,838, \quad (5.7)$$

$$ОЧ_{М}=0,0128 \cdot g_{СМ}^3 - 0,3462 \cdot g_{СМ}^2 + 3,3551 \cdot g_{СМ} + 75,366, \quad (5.8)$$

де $ОЧ_{Д}$ – октанове число суміші СМ і бензину за дослідним методом;

$ОЧ_{М}$ – октанове число суміші СМ і бензину за моторним методом.

Залежність приросту $\Delta ОЧ_{Д}$ паливної суміші від масового вмісту СМ розраховано за формулою (5.5) та зображено на рис. 5.3.



коефіцієнт кореляції $\rho=0,99$

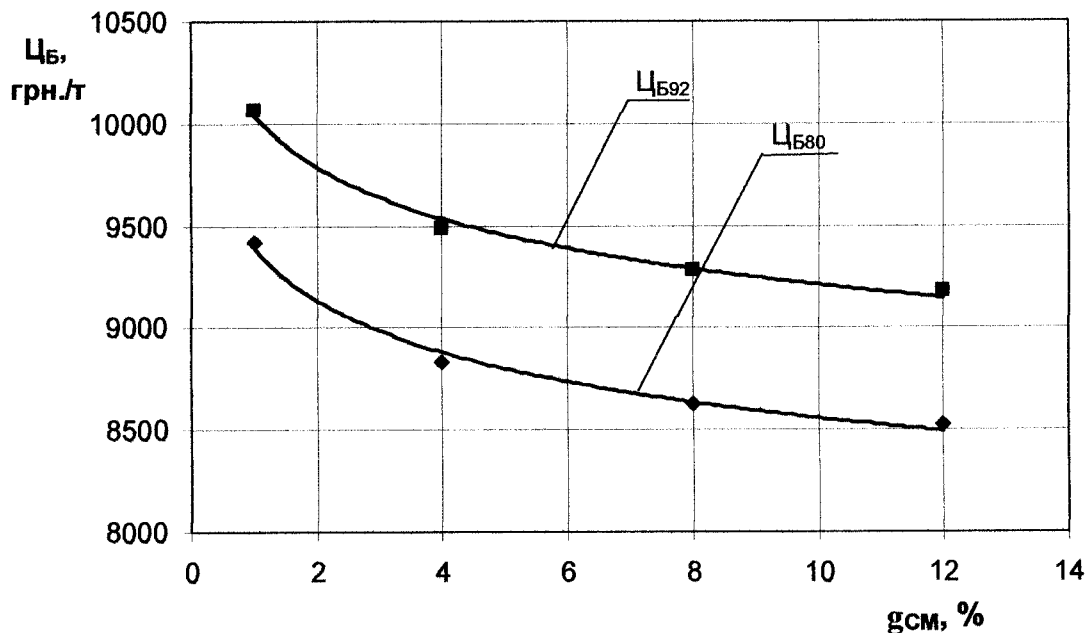
Рис. 5.3 – Графік приросту $\Delta ОЧ_{Д}$ одержаних паливних сумішей від масового вмісту СМ $g_{СМ}$

Аналітично залежність апроксимується наступним поліномом:

$$\Delta ОЧ_{Д}=0,0293 \cdot g_{СМ}^3 - 0,7636 \cdot g_{СМ}^2 + 6,8018 \cdot g_{СМ} - 2,4675. \quad (5.9)$$

Відомо, що ціна товарних бензинів залежить від ОЧ, а саме зі зниженням ОЧ ціна на бензин знижується. Для досягнення економічної ефективності утилізації СМ шляхом додавання їх до бензину А80 за рівнянням (5.9) визначено зміну $\Delta OЧ_d$ від відсоткового масового вмісту в паливних сумішах СМ, а за рівнянням (5.5) – октанове число бензину, який доцільно використовувати в таких паливних сумішах. За рівнянням (5.4) розраховуємо ціну бензину, що використовується в паливних сумішах.

Для оцінки економічної ефективності застосування паливних сумішей розраховано зміну ціни на бензин визначену за його ОЧ від масового вмісту в сумішах СМ (рис. 5.4, 5.5).



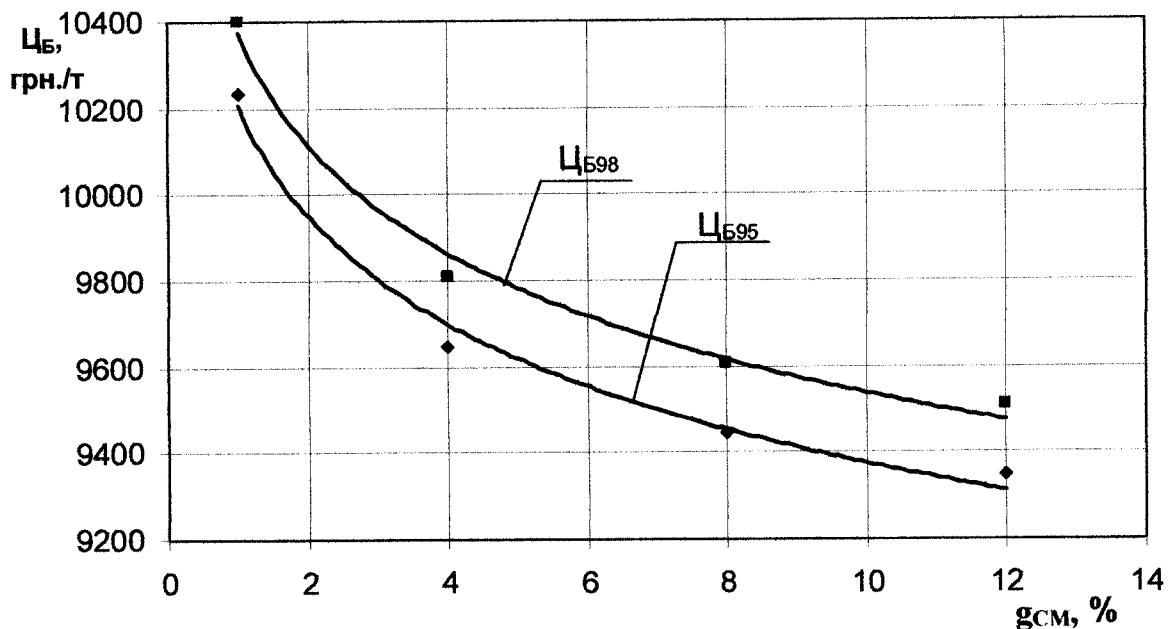
коефіцієнти кореляції для $Ц_{Б92}$ - $\rho=0,99$; $Ц_{Б80}$ - $\rho=0,99$

Рис. 5.4 – Зміна ціни бензину, що використовується для одержання паливних сумішей з ОЧ 80 та 92 від масового вмісту в сумішах СМ $g_{см}$

Дані залежності описуються наступними аналітичними рівняннями:

$$Ц_{Б92}=10045 \cdot g_{см}^{-0,0376}, \quad (5.10)$$

$$Ц_{Б80} = 9392,3 \cdot g_{СМ}^{-0,0403} . \quad (5.11)$$



коефіцієнти кореляції для $Ц_{Б98}$ - $\rho=0,98$; $Ц_{Б95}$ - $\rho=0,98$

Рис. 5.5 – Зміна ціни бензину, що використовується для одержання паливних сумішей з ОЧ 95 та 98 від масового вмісту в сумішах СМ $g_{СМ}$

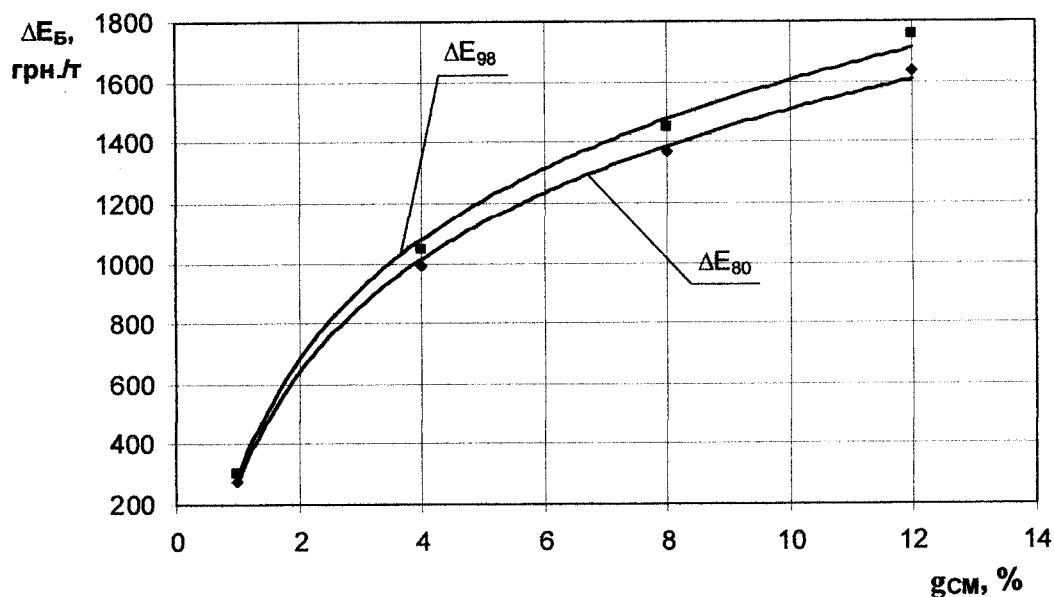
Дані залежності описуються наступними аналітичними рівняннями:

$$Ц_{Б98} = 10372 \cdot g_{СМ}^{-0,0364} , \quad (5.12)$$

$$Ц_{Б95} = 10208 \cdot g_{СМ}^{-0,0369} . \quad (5.13)$$

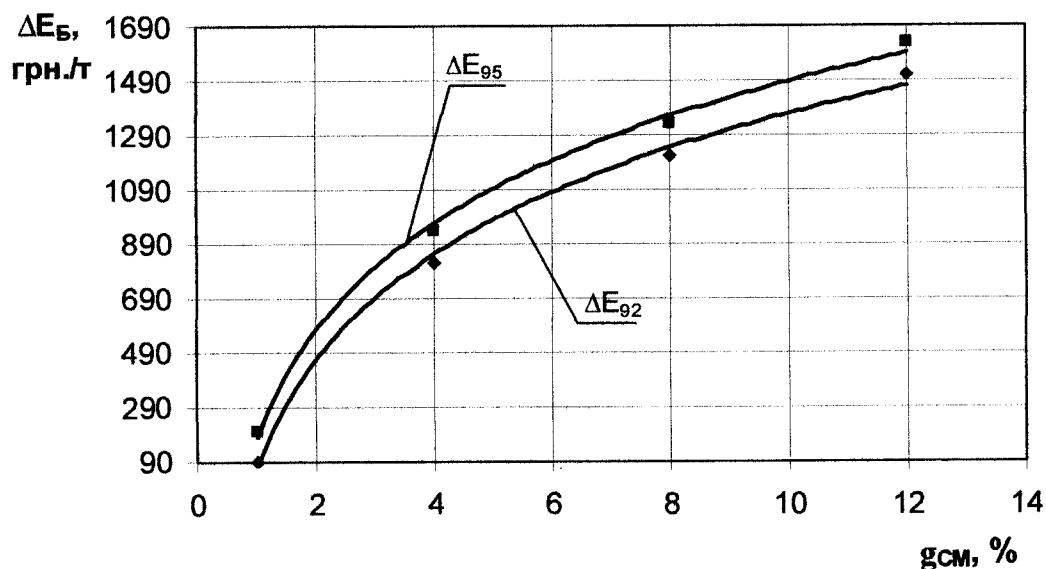
Як видно з рис. 5.4 і 5.5 при зростанні масового вмісту СМ у бензині ціна на одержані паливні суміші знижується, це пов'язано з нижчою ціною СМ у порівнянні з бензином А-80.

На рис. 5.6 і 5.7 побудовано залежність різниці у ціні паливних сумішей від відсоткового масового вмісту СМ у бензині А-80.



коефіцієнт кореляції для обох кривих $\rho=0,99$

Рис. 5.6 – Залежність різниці ціни товарного палива і паливних сумішей від масового вмісту СМ $g_{см}$ для одержання палива з октановими числами 80 та 98



коефіцієнт кореляції для обох кривих $\rho=0,99$

Рис. 5.7 – Залежність різниці ціни товарного палива і паливних сумішей від масового вмісту СМ $g_{см}$ для одержання палива з октановими числами 92 та 95

Одержані залежності економічної ефективності утилізації СМ шляхом змішування їх з бензином А-80 апроксимуються наступними рівняннями:

$$\Delta E_{98} = 573,86 \cdot \ln g_{CM} + 284,8, \quad (5.14)$$

$$\Delta E_{80} = 540,38 \cdot \ln g_{CM} + 265,35, \quad (5.15)$$

$$\Delta E_{95} = 567,56 \cdot \ln g_{CM} + 180,41, \quad (5.16)$$

$$\Delta E_{92} = 561,71 \cdot \ln g_{CM} + 75,12. \quad (5.17)$$

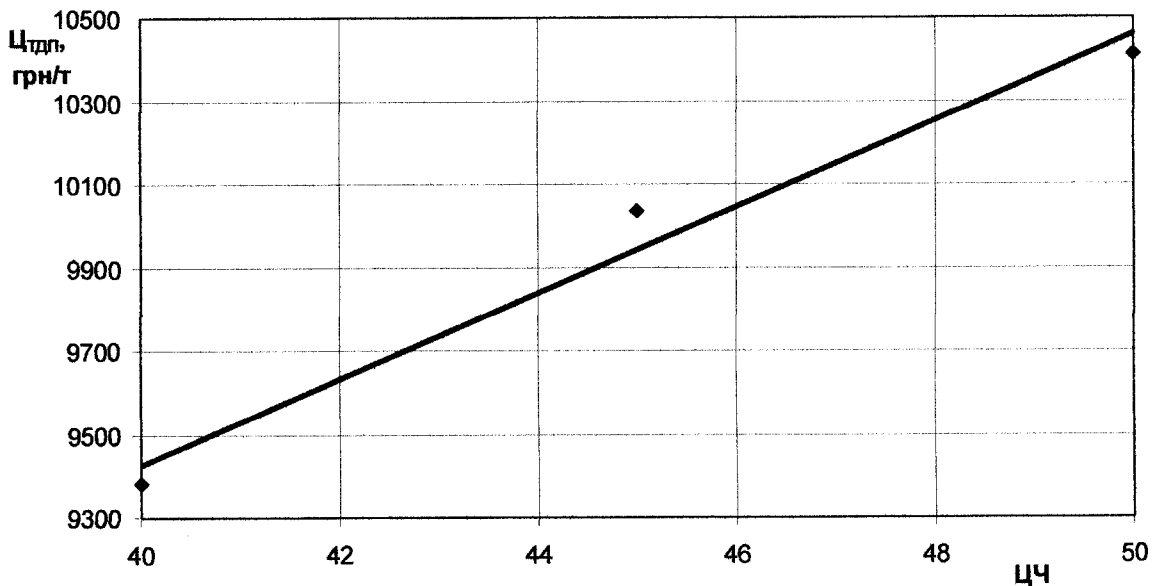
Отже, проведені розрахунки свідчать, що із збільшенням процентного вмісту СМ в паливних сумішах досягається збільшення економічної ефективності утилізації СМ за рахунок їх використання в сумішах із бензином з нижчим октановим числом [134].

Суміші товарного дизельного палива з СМ. До основного показника дизельних палив, що суттєво впливає на його вартість, відноситься ЦЧ. Цей показник характеризує здатність дизельних палив до самозаймання після його вприскування в камеру згоряння двигуна і визначає період затримки самозаймання суміші від моменту вприскування в циліндр до початку горіння. Чим вище ЦЧ, тим легше паливо займається, тим коротший період затримки самозаймання і тим м'якше і плавніше горить паливна суміш [135].

Більшість виробників двигунів рекомендує використовувати дизельні палива з ЦЧ не менше 40. В Європі випускають дизельне паливо з ЦЧ близько 51, в Японії - приблизно 50 [135]. Але збільшення ЦЧ понад 60 несе негативний вплив на потужність двигуна та його техніко експлуатаційні показники роботи [135].

Для розрахунку економічної ефективності використання сумішей дизельного палива і СМ будемо залежність зміни ціни товарного дизельного палива від ЦЧ. Виходячи з роздрібної ціни на дизельне паливо на час проведення розрахунків, вартість однієї тонни палива в залежності від ЦЧ становила для палив з ЦЧ не

менше 40 - 9380 грн./т, при ЦЧ не менше 45 - 10036 грн./т, для ДП з ЦЧ не менше 50 - 10412 грн./т., що показано на рис. 5.8.



коefficient кореляції $\rho=0,98$

Рис. 5.8 – Вплив цетанового числа ЦЧ на ціну товарного дизельного палива Ц_{тдп}

Залежність вартості товарного дизельного палива від цетанового числа (рис.5.6) апроксимується рівнянням:

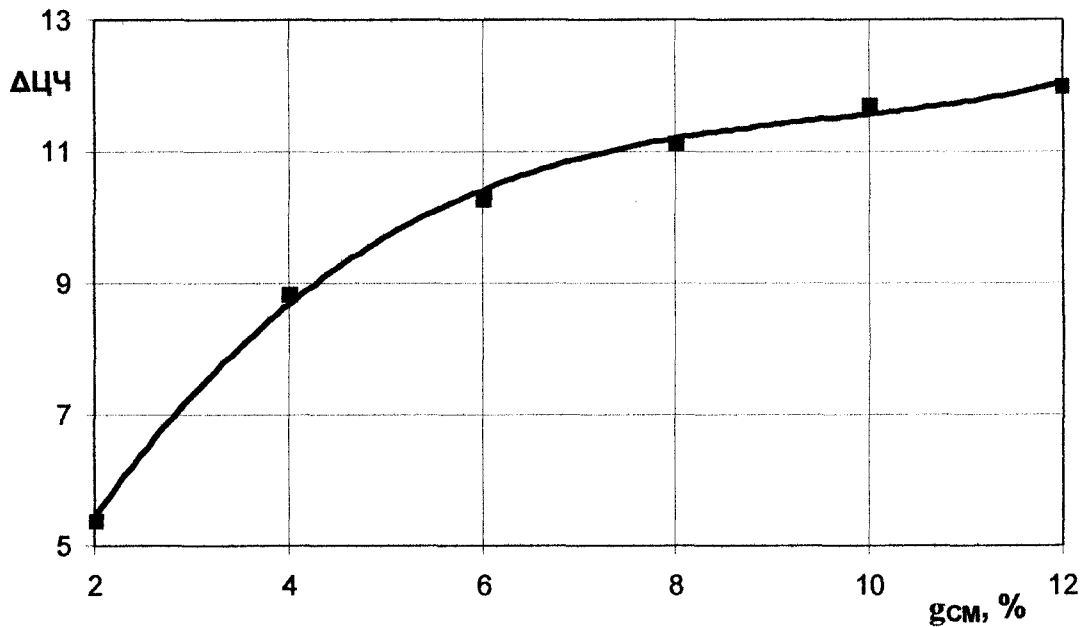
$$Ц_{тдп} = 103,2 \cdot ЦЧ_{дп} + 5298,7, \quad (5.18)$$

де $ЦЧ_{дп}$ – цетанове число дизельного палива.

У розрахунку економічної ефективності використання СМ, як добавки до дизельних палив необхідною умовою є забезпечення однакових ЦЧ паливних сумішей у порівнянні з товарним паливом. За результатами розрахунків, на рис. 5.9 показано графічну залежність зміни ЦЧ палива від масового вмісту СМ.

Така залежність описується наступним апроксимаційним рівнянням:

$$\Delta ЦЧ = 0,0111 \cdot g_{СМ}^3 - 0,319 \cdot g_{СМ}^2 + 3,2168 \cdot g_{СМ} + 0,2033. \quad (5.19)$$



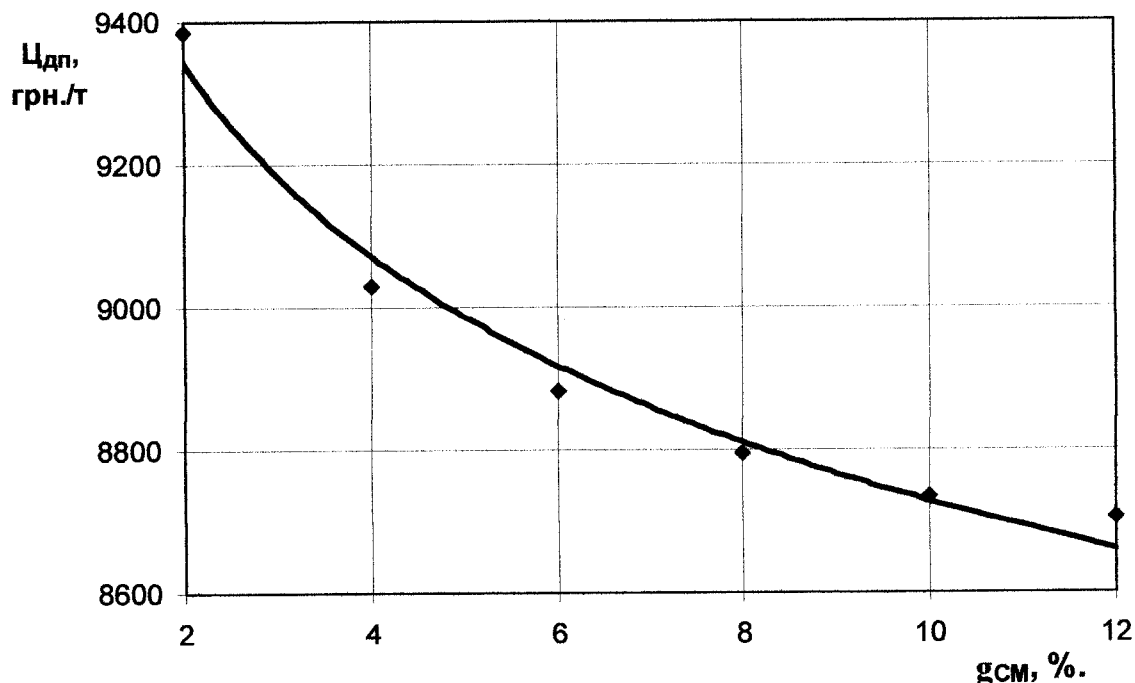
коефіцієнт кореляції $\rho=0,99$

Рис. 5.9 – Залежності приросту цетанового числа Δ ЦЧ паливних сумішей від масового вмісту СМ $g_{см}$

Як видно з рис.5.8, із зменшенням ЦЧ палива роздрібна ціна його зменшується. Для досягнення економічної ефективності використання паливних сумішей дизельного палива і СМ з рівняння (5.19) визначали зміну Δ ЦЧ в залежності від процентного вмісту СМ в паливних сумішах, а далі з рівняння (5.18) – цетанове число дизельного палива, яке доцільно використати для утворення паливних сумішей з СМ.

Отже, з рівняння (5.18) одержуємо ціну палива, що використовується в паливних сумішах.

Для оцінки економічної ефективності використання паливних сумішей дизельного палива і СМ, були розраховані залежності зміни ціни палива ($C_{дп}$), яке використовується для утворення паливних сумішей від процентного вмісту СМ (рис. 5.10).



коефіцієнт кореляції $\rho=0,98$

Рис. 5.10 – Зміна ціни утвореної паливної суміші $\text{Ц}_{\text{ДП}}$ в залежності від масового вмісту g_{CM}

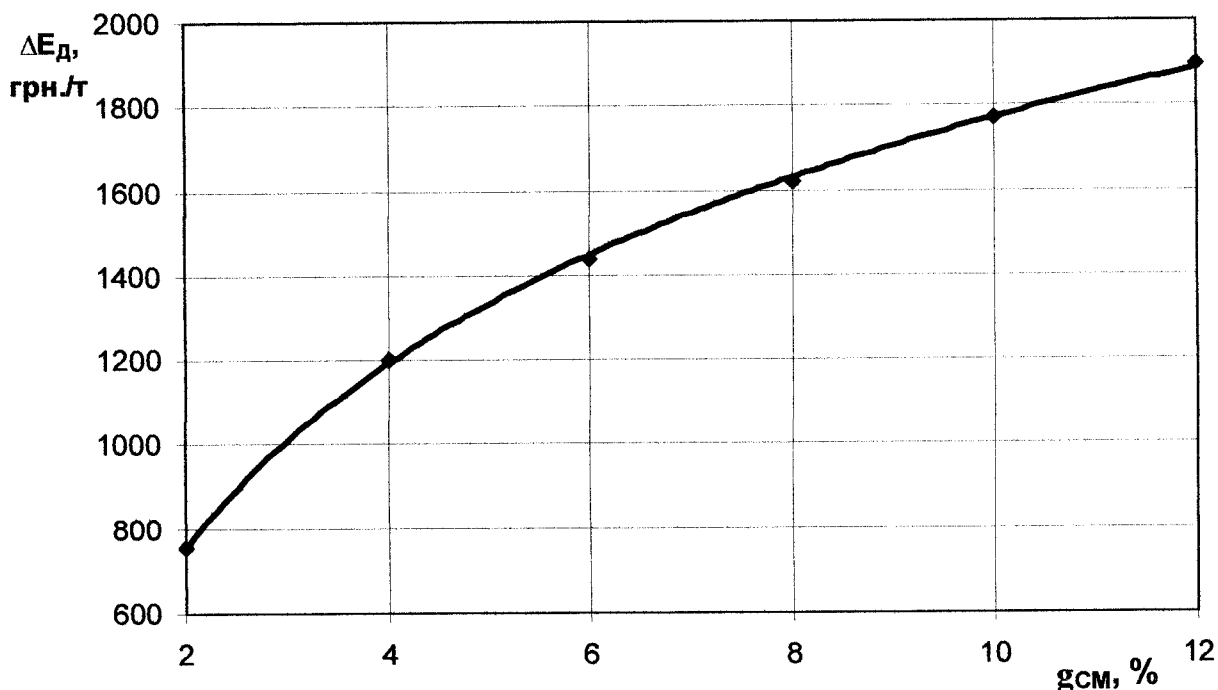
Дана залежність апроксимується наступним аналітичним рівнянням:

$$\text{Ц}_{\text{ДП}} = 9618,9 \cdot \text{g}_{\text{CM}}^{-0,0422} . \quad (5.20)$$

Застосування різних паливних сумішей забезпечується додавкою до палива різної кількості SM , а тому економічна ефективність застосування різних паливних сумішей буде різною. При кожній добавці SM до палива було проведено розрахунок економічної ефективності, за даними розрахунку побудовано залежності зміни $\Delta E_{\text{д}}$ від процентного вмісту в паливних сумішах SM (рис. 5.11).

Одержані залежності економічної ефективності утилізації SM в дизельному паливі $\Delta E_{\text{д}}$ апроксимуються наступним рівнянням:

$$\Delta E_{\text{д}} = 633,43 \ln \text{g}_{\text{CM}} + 314,02 . \quad (5.21)$$



коефіцієнт кореляції $\rho=0,99$

Рис. 5.11 – Залежність різниці ціни дизельного палива і паливних сумішей від масового вмісту СМ g_{см}

Отже, для прийнятих цін на дизельне паливо і СМ та з проведених розрахунків видно, що зі збільшенням процентного вмісту СМ в паливних сумішах товарного ДП і СМ досягається збільшення економічної ефективності за рахунок використання в паливних сумішах ДП з низьким ЦЧ і відповідно з меншою вартістю [134-136].

5.2 Промислова апробація результатів дослідження

Промислова апробація результатів дисертаційної роботи здійснена на підприємстві ТзОВ "АТП 12629" (м. Івано-Франківськ) у період з 04.10.2010р. до 27.10.2010р. за узгодженими з підприємством програмою і методикою.

Для змішування СМ з літнім дизельним паливом було використано розроблений виготовлений змішувач для моторних палив (рис. 2.13) за патентом автора

[118], що працював у розробленій установці для одержання сумішей товарних палив з СМ у виробничих умовах (рис. 2.14).

Одержане альтернативне паливо використовували для заправки двох автобусів IKARUS-255. Під час промислової апробації добовий пробіг автобусів на маршрутах складав:

- маршрут Івано-Франківськ-Трускавець – 294 км;
- маршрут Івано-Франківськ-Тернопіль – 182 км;

За період випробувань на цих маршрутах двома автобусами IKARUS-255 було утилізовано 257 л СМ. Концентрація СМ у паливній суміші складала 10% об.

У результаті роботи автобусів на паливних сумішах слід відзначити:

- зниження на 8-10% рівня сажі та твердих частин у відхідних газах у порівнянні з роботою двигунів на чистому дизельному паливі;
- зменшення на 4-6% рівня СО у відхідних газах у порівнянні з роботою на чистому дизельному паливі.

За період дослідження відхилень та відмов системи живлення та суттєвих втрат у потужності двигуна при його роботі на паливних сумішах не спостерігалося.

При роботі автобусів на паливних сумішах на зазначених маршрутах зафіксовано збільшення витрати утвореної паливної суміші у межах 2-3% у порівнянні з витратою товарного палива до і після проведення випробувань.

Економію досягнуто за рахунок зменшення вартості альтернативної паливної суміші в результаті добавок в кількості 10% об. дешевих СМ.

Отже, протягом усього періоду досліджень, економія, що розраховувалася як різниця витрат на паливо в результаті експлуатації 2^х автобусів IKARUS-255 на товарному дизельному паливі та витрат при їх роботі на паливних сумішах, складала 1218 грн. 39 коп. за загального пробігу автобусів 9521 км.

Одержані результати засвідчені актом промислової апробації результатів роботи (див. Додаток – А).

На основі досягнутих в дисертаційній роботі результатів розроблено за участю автора проект СОУ з методики використання СМ як складника моторного па-

лива (див. Додаток –Б).

Результати роботи також впроваджені у навчальний процес для підготовки фахівців за напрямом “Автомобільний транспорт” Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (див. Додаток – В).

Висновки

1. Економічні розрахунки ефективності використання СМ у якості складника альтернативного палива для ДВЗ засвідчили зниження вартості паливних сумішей у порівнянні з товарними паливами за рахунок дешевих СМ, а також можливість використанням СМ у сумішах з бензинами із низьким ОЧ та дизельними паливами з низьким ЦЧ.

2. Промислова апробація результатів дисертаційної роботи на підприємстві ТзОВ ”АТП 12629” (м. Івано-Франківськ) в період з 04.10.2010р. до 27.10.2010р. засвідчила, що під час змішування дизельного палива з СМ за допомогою розробленого нового пристрою одержані однорідні паливні суміші, використання яких на двох автобусах ІКАРУС-255 протягом періоду дослідження забезпечили економію витрат на паливо – 1218 грн. 39 коп. за загального пробігу автобусів 9521 км.

3. Розроблено проект СОУ “Альтернативне паливо. Сивушні масла. Методика використання” та впроваджені у навчальний процес для підготовки фахівців за напрямом “Автомобільний транспорт” Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ І ПІДСУМКОВІ ВИСНОВКИ

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень вирішена важлива науково-практична задача з розроблення екологічно безпечних процесів та устаткування для використання СМ як складника альтернативного моторного палива і одержано такі основні результати:

1. За аналізом джерел літератури встановлено, що проблема знешкодження чи використання СМ – шкідливих для довкілля відходів спиртової промисловості, належно не розв'язана і вимагає застосування принципово нових технологій і устаткування. Одним з перспективних напрямків зменшення динаміки забруднення довкілля токсичними відхідними газами автомобільних двигунів є використання альтернативних палив, потреба в яких диктується не тільки жорсткими екологічними вимогами до складу відхідних газів, але і дефіцитом традиційних моторних палив в Україні.

2. Вперше досліджені основні фізико-технічні характеристики утворених гомогенних альтернативних паливних сумішей товарних палив з СМ: густина, в'язкість, тиск насичених парів, рН, октанове та цетанове число, температурні межі перегонки і експериментальні залежності для розрахунку зазначених характеристик, які дозволяють використовувати максимальну кількість СМ і не вимагають внесення змін до конструкції системи живлення ДВЗ у процесі їх практичного використання. Визначені оптимальні склади сумішей бензину А-80 з СМ, дизельного палива з СМ. Процес одержання цих паливних сумішей за допомогою розробленого нового типу змішувача є екологічно безпечним, безвідходним та не енергоємним.

3. Розроблені змішувач компонентів моторного палива, експериментальне устаткування і методи експериментальних досліджень дозволили виконати коректні та масштабні дослідження екологічних та експлуатаційних характеристик двигунів ЗИЛ-130 та Д21А1 на різних режимах роботи, які характерні для умов роботи автомобільного транспорту, а результати цих досліджень засвідчили можливість повноцінної експлуатації ДВЗ без внесення змін до конструкції систем жив-

лення з дотриманням нормативних вимог до вмісту токсичних компонентів у відхідних газах, що сприятиме широкому використанню цих альтернативних палив не тільки на автомобілях, але й на інших транспортних, сільськогосподарських, будівельних машинах тощо.

4. Вперше досліджено вплив СМ як складника альтернативних палив на вміст компонентів відхідних газів ДВЗ та довкілля і експериментально доведено зменшення вмісту оксиду вуглецю, сажі і сполук важких металів у відхідних газах ДВЗ та у ґрунтах довкілля порівняно з експлуатацією ДВЗ на товарних паливах, що сприяє наближенню до норм європейського стандарту.

5. У результаті проведених теоретичних досліджень удосконалена методологія прогнозування проникнення шкідливих для довкілля сполук Zn, Mn, і Pb з відхідних газів ДВЗ у ґрунти, що підтверджена експериментальним шляхом як на товарних паливах, так і на сумішах цих палив з СМ.

6. Результати промислової апробації дисертаційної роботи на підприємстві ТзОВ "АТП 12629" засвідчили, що процес утворення суміші дизельного палива з СМ за допомогою розробленого змішувача забезпечує одержання гомогенної паливної суміші, а економія витрат на паливо на двох автобусах IKARUS-255 склала 1218 грн. 39 коп. за сумарний пробіг 9521 км. На основі досягнутих в роботі результатів розроблено проект СОУ "Альтернативне паливо. Сивушні масла. Методика використання". Результати роботи також впроваджені у навчальний процес для підготовки фахівців за напрямом "Автомобільний транспорт" Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Екологічний паспорт Івано-Франківської області. Держуправління охорони на-
волишнього природного середовища в Івано-Франківській області. – Івано-
Франківськ. – 2010. – 163 с.

Константинов Е. Н. Разработка технологического режима для переработки си-
вусно-эфиро-альдегидной фракции на брагоректификационной установке косвен-
ного действия с получением высококачественного спирта / Е. Н. Константинов, Х. Р.
Сиюхов, Т. Г. Короткова, О. В. Мариненко, С. К. Чич, П. Е. Романишин, Л. М. Бон-
дарь // Известия вузов. Пищевая технология, 2006.-№ 2-3.-С.64-66.

Чич С. К. Установка непрерывного действия для получения спирта этилового рек-
тифицированного из подсивушных фракций с повышенным содержанием этанола / С.
Чич // Матер. регион. научно-практич. конф. аспирантов, соискателей и докто-
ртов. – Майкоп, 2007.- С.126-128.

Чич С. К. Разработка новых технологических приёмов утилизации сивушных и
подсивушных фракций на брагоректификационных установках: автореф. дис. канд.
х. наук. 20.04.07/ Чич Саида Казбековна; Майкопский государственный техноло-
гический университет. – Краснодар, 2007. – 24с.

Сиюхов Х. Р. К вопросу о проблеме комплексного исследования технологических
способов и приёмов при получении и переработке сивушного масла / Х. Р. Сиюхов,
В. В. Артамонова, Т. Г. Короткова, Е. Н. Константинов // Материалы Всероссийской
научно-практич. конф., посвященной 10-ти летию кафедры “Технология и организа-
ция питания”.: –Челябинск, ЮУрГУ, 2007. –С. 118-120.

Величко О. В. Технология утилизации сивушных масел при получении спирта для
топлива / О. В. Величко, В. В. Артамонова, Х. Р. Сиюхов // Материалы I Всерос-
сийской научно-практической конференции молодых учёных “Научное обеспечение
промышленного комплекса”. –Краснодар.: КубГАУ, 2007. –С. 154-156.

Артамонова В. В. Анализ способов и установок для выделения спирта и сивушно-
масла из сивушной фракции / В. В. Артамонова, Х. Р. Сиюхов, Е. Н. Константи-
нов // Материалы десятой международной научно-практической конференции “Со-

- ременные проблемы техники и технологии пищевых производств".—Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2007.—С. 43-46.
1. Артманова В. В. Обоснование технологии глубокой очистки пищевого спирта при переработке смеси злаковых культур, включающей зерно сорго: Автореф. дис. канд. тех. наук. 28.11.08/ Артманова Валентина Викторовна; Майкопский государственный технологический университет. — Краснодар, 2008. — 24с.
2. Розробка та впровадження енерго- та ресурсозберігаючої технології спирту етилового технічного з вуглеводомісної сировини: Автореф. дис. канд. техн. наук: 18.07 / І. Д. Жолнер / Нац. ун-т харч. технологій. — К., 2003. — 20 с.
3. Костнер П. Технические критерии уничтожения запасов стойких органических загрязнителей / П. Костнер, Д. Ласком, М. Симпсон; Пер. с англ. Е. Ю. Маркова // Иркутская регион. общественная организация "Байкальская экологическая волна". - Иркутск, 2000. - 35 с.
4. Гулый И. С. Производство технического этанола на Украине и проблемы энерго-ресурсосбережение / И. С. Гулый, И. Д. Жолнер, П. Л. Шиян, П. С. Цыганков, В. Домарецкий и др. // Промышленная теплотехника. — 2000. — №3. — с. 57-59.
5. Карпов С. А. Автомобильные бензины с улучшенными экологическими свойствами / С. А. Карпов // Экология и промышленность России. — 2006. — №4. — с. 30-32.
6. Волковыский Е. Г. Экономия топлива в котельных установках/ Е. Г. Волковыский, А. Г. Шустер. — М.: «Энергия», 1973. — 304 с.
7. Яровенко В. Л. Справочник по производству спирта. Сырье, технология и техноконтроль / В. Л. Яровенко и др.— М.: «Легкая и пищевая промышленность», 1981. — 336 с.
8. Пальгунов П. П. Утилизация промышленных отходов / П. П. Пальгунов, В. Сумароков. — М.: Стройиздат, 1990. — 352с.
9. Адаменко О.М. Екологія міста Івано-Франківська / О.М. Адаменко, Є.І. Крижавський, Є.М. Нейко та ін. — Івано-Франківськ: «Сіверсія МВ», 2004. — 200с.
10. Міщенко Л.В. Геоекологічне районування: Монографія / Л.В. Міщенко. — Івано-Франківськ, — 2011. — 408 с.

8. Методика расчета концентрации в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. Госкомгидромет СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 94 с.
9. Бояршинов М. Г. Оценка влияния придорожного лесного массива на распространение автотранспортных выбросов // Математическое моделирование. – 2001. – № 8. – С. 53-64.
10. Рузский А.В. Методика расчетов выбросов в атмосферу загрязняющих веществ автотранспортом на городских магистралях / Рузский А.В., Донченко В.В., Петрунин В.А. и др. – М.: НИИ Атмосфера, 1996. – 54 с.
11. Люта О.В. Міграція мінеральних добрив в глиб ґрунту під час випадання атмосферних опадів / О.В. Люта, Я.М. Гумницький // Вісник Національного університету Львівська політехніка". – 2010. – № 667 – С.106-109.
12. Трунова І.О. Техногенний вплив елементів кадмію та свинцю, що містяться у відвалах фосфогіпсу, на навколишнє середовище: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 21.06.10 “ Екологічна безпека ” / Трунова Інна Олександрівна; Нац. техн. ун-т України “ Київський політехнічний інститут ”. – К.: 2008. – 21 с.
13. Скопецька О.В. Еколого-фізіологічна оцінка свинцевого навантаження в системі “ґрунт-рослина” та прогнозування ступеня забруднення агроценозів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук: спец. 03.00.16 “ Екологія ” / Скопецька Олена Василівна; Київс. нац. ун-т ім. Тараса Шевченка. – К.: 2001. – 19 с.
14. Гутаревич Ю.Ф. Этиловый спирт как моторное топливо / Ю.Ф. Гутаревич, А.Г. Говорун та інші //Автошляховик України. – 1999. – №1. – С. 7-10.
15. Гутаревич Ю.Ф. Використання бензоспиртових сумішей в двигунах з іскровим запалюванням / Ю.Ф. Гутаревич, А.Г. Говорун та інші //Автошляховик України. – 2002. – №2. – С. 8-10.
16. Лётков В.Н. Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания / В.Н. Лётков. – М.: МАДИ(ТУ). – 2000. – 311 с.
17. Столяренко Г.С. Екологічні аспекти вирішення проблеми зниження токсичності відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згорання / Г.С. Столяренко // Екологічний вісник. – 2005. – № 3. – С. 7-10.

8. Цирлин Ю. А. Этиловый спирт - добавка к моторному топливу / Ю. А. Цирлин // Обзор ОНТИ ТЭИ микробиопром. – М. – 1984. – 31 с.
9. Терентьев Г.А. Производство альтернативных моторных топлив и их применение на автомобильном транспорте / Г.А. Терентьев, В.М. Тюков, Ф.В. Смаль. – М.: НИИТЭнефтехим. – 1989. – 89 с.
10. Смаль Ф.В. Перспективные топлива для автомобилей / Ф.В. Смаль, Е.Е. Арсенов. – М.: Транспорт. – 1979. – 151 с.
11. Гутаревич Ю. Ф. Охрана окружающей среды от загрязнения выбросами двигателей. - К.: Урожай, 1989. – 224 с.
12. Способ предотвращения расслоения бензоспиртовых смесей. Двигатели внутреннего сгорания. //Реферативный журнал. – М.: ВИНТИ, РАН. – 1998. – №2. – С. 15-21.
13. Гутаревич Ю.Ф. Вплив кута випередження запалювання на показники двигуна за роботи на сумішевих паливах з різним вмістом спиртових сполук / Ю.Ф. Гутаревич, О. Корпач та ін // Автошляховик України. – 2006. – №1. – С. 19-21.
14. Устименко В.С. Перспективи і проблеми розширення використання біопалива автомобільним транспортом України / В.С. Устименко, С.О. Ковальов, О.А Бейко // Автошляховик України. – 2003. – №2. – С. 7-21. ;
15. Гутаревич Ю.Ф. Этиловый спирт як моторне паливо / Ю.Ф. Гутаревич, А.Т. Говорун, А.О. Корпач // Автошляховик України. – 1999. – № 1. – С. 7-10.
16. Лётко В.Н. Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания / В.Н. Лётко, В.Н. Луканин, А.С. Хачиян. – М.: МАДИ (ТУ). – 2000. – 311 с.
17. Гутаревич Ю.Ф. Этиловый спирт та його сполуки – можливий замітник бензину на автомобільному транспорті України / Ю.Ф. Гутаревич , А.Т. Говорун, А.О. Корпач, О.Г. Мороз // Автошляховик України. – 2002. – №5. – С. 15-19.
18. Гутаревич Ю.Ф. Використання бензоспиртових сумішей в двигунах внутрішнього запалювання / Ю.Ф. Гутаревич, А.Т. Говорун, А.О. Корпач, О.Г. Мороз // Автошляховик України. – 2002. – №2. – С. 8-10.
19. Гутаревич Ю.Ф. Порівняльна оцінка токсичності двигуна з іскровим запалюванням при роботі на бензині й этиловому спирті / Ю.Ф. Гутаревич, А.Т. Говорун, А.О. Корпач // Автошляховик України. – 2003. – № 2. – С. 18-21.

1. Колосюк Д.С. Експлуатаційні матеріали. Підручник / Д.С. Колосюк, Д.В. Зерка-
в. – К.: Основа. – 2003. – 200 с.
2. Корпач А.О. Використання спиртових сполук як палива для двигунів внутріш-
нього згорання дорожніх транспортних засобів / А.О. Корпач, А.Т. Говорун, О.М.
Харченко // Автошляховик України. – 2005. – №8. – С. 31-33.
3. Фучаджи К.С. Автомобиль ЗАЗ-1102 “Таврия”. Устройство, эксплуатация и ре-
монт / К.С. Фучаджи, Н.Н. Стрюк. – М.: Транспорт. – 1991. – 296 с.
4. Редзюк А.М. Вплив високооктанової кисневмісної добавки до бензину на палив-
ну економічність та екологічні показники автомобілів / А.М. Редзюк, В.С. Устимен-
ко, Ю.Ф. Гутаревич // Автошляховик України. – 2003. – №6. – С. 34-35.
5. Корпач А.О. Ефективність використання високооктанової кисневмісної добавки
до моторних палив / А.О.Корпач, А.Т. Говорун, В.Л. Дяченко // Автошляховик
України. – 2004. – №3. – С. 141-144.
6. Вырубов Д.Н. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбени-
рованных двигателей. Учебник для вузов. 4^е издание, переработано и дополнено /
Д.Н. Вырубов, В.И. Иващенко и др. – М.: Машиностроение. – 1989. – 372 с.
7. Колосюк Д.С. Автотракторные топлива и смазочные материалы / Д.С. Колосюк,
В. Кузнецов. – К.: Высшая школа. – 1987. – 191 с.
8. Марченко А.П. Альтернативное биодизельное топливо с рапсового масла / А.П.
Марченко, В.Г. Семенов // Химия и технология топлив и масел. – 2001. – №3. – С.
25-29.
9. Редзюк А.М. Нормування вмісту високооктанових кисневмісних компонентів в
автомобільних бензинах / А.М. Редзюк, С.В. Устименко, А.О. Бейко // Автошляхо-
вик України. – 2003. – №4. – С. 6-8.
10. Редзюк А.М. Проблема та перспективи використання рослинної олії як мотор-
ного палива / А.М. Редзюк, В.О. Рубцов, Ю.Ф. Гутаревич // Автошляховик України.
1999. – №1. – С. 4-6.
11. Широкомасштабные эксперименты по введению рапсового масла в дизельное
топливо // Автомобильная промышленность США. – 1997. – №3. – С. 5-8.
12. Испытания автобусов фирмы “Renault”: Экспресс-информ. Экологические про-
блемы на транспорте. – М.: ВИНТИ. – 1993. – № 10. – С. 4-8.

2. Розробити обладнання для роботи дизельних двигунів на рослинних оліях: Звіт про науково-дослідну роботу. Інститут механізації та електрифікації сільського господарства; № ГР 019340322719. – Глеваха. – 1996. – 63 с.
3. Гутаревич Ю.Ф. К вопросу использования рапсового масла в качестве моторного топлива / Ю.Ф. Гутаревич, А.Т. Говорун, А.А. Корпач // Труды ТГАТА. Мелитополь. – 1998. – Т. 3, №2. – С. 60-64.
4. Гелетуха Г.Г. Обзор современных технологий получения жидкого топлива из биомассы быстрым пиролизом. Часть 1 / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железная // Экотехнологии ресурсосбережение. – 2000. – №3. – С. 3-11.
5. Гелетуха Г.Г. Современных технологий получения жидкого топлива из биомассы быстрым пиролизом. Часть 2 / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железная // Экотехнологии ресурсосбережение. – 2000. – №4. – С. 91-100.
6. Bridgwater A. V. The Status of Fast Pyrolysis of Biomass in Europe. Proc. of the 10th European Bioenergy Conference / A.V. Bridgwater. – Wurzburg, Germany, 8-11 June 1998. – CARMEN. – P. 268-271.
7. Bridgwater A.V. Fast pyrolysis for biomass / A.V. Bridgwater, G.V. Peacocke // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2000. – №4. – P. 1-73.
8. Ronghou L. Experimental research of corn stalk pyrolysis for liquid production in a fluidized bed reactor / L. Ronghou, N. Weisheng, Z. Chunmei. – Ibid. – P. 851-854.
9. Garcia-Perez M. The complex structure of bio-oils / M. Garcia-Perez, A. Chaala, H. Akdel. – Ibid. – P. 725 -728.
10. Sipila K. Pyrolysis Oils for Power Plants and Boilers. Proc. of the 9th European Bioenergy Conference / K. Sipila, A. Oasmaa, V. Arpiainen, M. Westerholm. – Copenhagen, Denmark, 24 -27 June 1996. – Pergamon. – 1996. – P. 302-307.
11. Nunoura T. The black gold from green waste project at the University of Hawaii. Proc. of the Second World Biomass Conference / T. Nunoura, M. Antal. – Rome, Italy, 10-14 May 2004. – ETA-Florence and WIP-Munich. – 2004. – P. 721-724.
12. Fantozi F. Micro scale slow-pyrolysis rotary kiln for syngas and char production from biomass and waste / F. Fantozi, U. Desideri. – Ibid. – p. 1102-1105.
13. Garcia C. Pyrolysis of meat and bone meal. Fixed bed reactor studies / C. Garcia, M. Peyton, J. Sanchez. – Ibid. – P. 837-840.

4. Conti L. Proposal of a waste treatment plant in Managua city / L. Conti, S. Mascia, O. Valle, M. Stadthagen. – Ibid. – P. 2450-2452.
5. Bridgwater A.V. Blomas Pyrolysis Technologies / A.V. Bridgwater // Proc. of the 5th Europ. Bioenergy Conf., Lisbon, Portugal. 9-13 Oct., 1989. – Elsevier. –1989. – Vol. 2. – P. 489-496.
6. Churin E. Catalytic Upgrading of Pyrolysis Oils / E. Churin, P. Grange, B. Delmon. – Ibid. – P. 616-620.
7. Williams P. Aromatic Hydrocarbons in the Catalytic Upgrading of Biomass Pyrolysis Oils in the Presence of Steam / P. Williams, N. Nugranad // Proc. of the 10th Europ. Bioenergy Conf., Wurzburg, Germany, 8-11 June. 1998. – CARMEN. – 1998. – P. 1589 - 1592.
8. Steven G. Flash Pyrolysis Oil as Light Fuel Oil Replacement / G. Steven // Bioenergia. 1996. – №2. – P. 34-35.
9. Ковальов С.О. Екологічні аспекти переобладнання дизелів у газодизелі / С.О. Ковальов, К.С. Назаренко // Автошляховик України. – 2003. – №5. – С. 15-18.
10. Гайнулин Ф.Г. Природный газ как моторное топливо на транспорте. – М.: Недра. – 1986. – 255 с.
11. Геикив К. Й. Газовые двигатели / К. Й. Геикив. – М.: Машгиз. – 1962. – 116 с.
12. Использование биогаза в газодизелях // Экспресс-информ. Поршневые и газотурбинные двигатели. – 1990. – №16. – С. 12-20.
13. Автомобильный справочник: Перевод с англ. / Первое русское издание. - М.: За рулем. – 2000. – 896 с.
14. Васильев О.Д. Керамічні паливні комірки: досягнення і перспективи в Україні / О.Д. Васильев, А.Р. Щокін // Електроінформ. – 2003. – № 1. – С. 24 -27.
15. Долганов К. Е. Переоборудование дизелей ЯМЗ в газодизелів / К.Е. Долганов, С.А. Ковалев, В.В. Кухтик //АвтошляховикУкраїни. – 1993. – № 2. – С. 13- 16.
16. Долганов К.Є. Автомобілі з бензогазовими двигунами і газодизелями: особливості конструкції і технічного обслуговування / К.Є. Долганов, А.Г Говорун, О.І. П'ятничко і ін. – К.: Техніка. – 1991. – 128 с.

7. Редзюк А. М. Європейські норми екологічних показників ДТЗ введені в Україні / А.М. Редзюк, Ю.Ф. Гутаревич // Стандартизація, сертифікація, якість. – 2002. – №1(16). – С. 16-23.
8. Корнилов Г.С. Современные требования к автомобильным двигателям и пути их до-
вижения в отечественном автомобилестроении / Г.С. Корнилов // Журнал ААИ. –
2001. – №2(10). – с. 31 -34.
9. Егоренков Б.А. Газодизель работает мягче / Б.А. Егоренков // Автомобильная про-
мышленность. – 1992. – № 4. – С. 17 - 18.
10. Редзюк А.М. Комплексний аналіз ефективності використання природного газу на
автомобільному транспорті / А.М. Редзюк, В.М. Поліщук, Ю.Ф. Гутаревич та інші
Автошляховик України. – 2000. – №2. – С. 5-8.
11. Редзюк А.М. Комплексний аналіз ефективності використання природного газу на
автомобільному транспорті / А.М. Редзюк, В.М. Поліщук, Ю.Ф. Гутаревич та інші
Автошляховик України. – 2000. – №3. – С. 4-7.
12. Гутаревич Ю.Ф. Оцінка показників паливної економічності і продуктивності ва-
жкого автомобіля при роботі на бензині і природному газі / Ю.Ф. Гутаревич, В.І.
Дорожний, В.П. Матейчик та інші. //Автошляховик України. – 1997. – №2. – С.
12-15.
13. Гусаров А.П. Газ как перспективное автомобильное топливо / А.П. Гусаров, М.Е.
Сойсблом, М.Г. Соколов // Экология двигателей и автомобиля: Сборник научных
трудов. – М.: Изд. НАМИ. – 1998. – 172 с.
14. Філіпова Г.А. Про можливості зменшення забруднення довкілля автомобільним
транспортом / Г.А. Філіпова //Автошляховик України. – 1998. – №3. – С. 13-15.
15. Гоголев Л.Д. Эволюция автомобиля / Гоголев Л.Д. – К.: Техніка. – 1983. – 143 с.
16. Гуляев С.А. Сжатый газ как моторное топливо / С.А. Гуляев // Автомобильная
промышленность. – 1995. – №2. – С. 28-30.
17. Сереженкин А.М. О стимулировании развития парка газобаллонных автомоби-
лей / А.М. Сереженкин // Автомобильная промышленность. – 1995. – №3. – С. 5-6.
18. To the Environment-Friendly automobile Society.- Tokyo: The Pollution-related
Health Damage Compensation and Prevention Association. – 1997. – P. 18.

10. Галышев Ю.В. анализ перспективы создания водородных двигателей / Ю.В. Галышев // Альтернативная энергетика и экология. – 2005. – №2(22). – С. 19-23.
11. Магидович Л.Е. Условия сгорания водородо-воздушной смеси в двигателях внутреннего сгорания / Л.Е. Магидович, В.В. Румянцев // Двигателестроение. – 1983. – №5. – С. 59-60.
12. Enomoto R. Ignitability of hydrogen-air mixture by hot surfaces and hot gases in hydrogen-fueled engine / R. Enomoto, S. Furuhamma, T. Nishiguchi // JSAE Rev. 981. Vol. 5. – 1983. – С. 23-29.
13. Магидович Л. Особенности тепловыделение и рабочего процесса дизеля, работающего с добавками водорода / Л.Е. Магидович, В.В. Румянцев и др. // Двигателестроение. – 1983. – №9. – С. 7-9.
14. Петриченко Р.М. Элементы системы автоматизированного проектирование ДВС. Алгоритмы прикладных программ / Р.М. Петриченко. – Л.: Машиностроение. – 1990. – 164 с.
15. Галышев Ю.В. Влияние пароводородной добавки в рабочую смесь карбюраторного двигателя на процессы сгорания и тепловыделения / Ю.В. Галышев, Г.А. Выжжанин и др. // Науч. тр. ЛПИ. Л. – : ЛПИ. – 1983. – №394. – С. 29-33.
16. Канило П.М. Анализ эффективности и перспектив применения водорода в автомобильном транспорте / П.М. Канило, М.В. Шадрина // Проблемы машиностроения. – 2006. – №2. – С. 79-85.
17. Канило П.М. Автомобиль и окружающая среда / П.М. Канило и др. – Харьков: Рапор. – 2000. – 304 с.
18. Мищенко А.И. Применение водорода для автомобильных двигателей / А.И. Мищенко. – К.: Наук. Думка. – 1984. – 134 с.
19. Канило П.М. Энергетические и экономические характеристики ГТД при использовании углеводородных топлив и водорода / П.М. Канило. – К.: Наук. Думка. – 1987. – 224 с.
20. Канило П.М. Анализ экологохимических показателей легковых автомобилей с различными ДВС / П.М. Канило и др. // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2004. – Вып. 25. – С. 25-29.

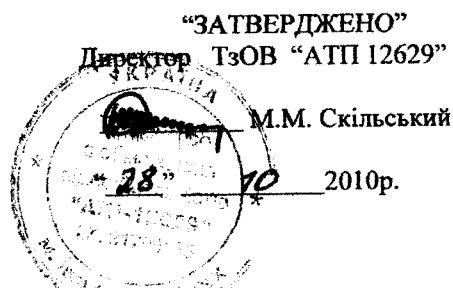
10. Мержиєвська В.М. “Аналіз особливостей робочих процесів каталітичних нейтралізаторів та основних принципів їх моделювання”/ В.М. Мержиєвська // Автомобільний транспорт. Сборник научных трудов. – Харьков, ХНАДУ. – вып. 16. – 2005. – С.316-318.
11. Кульчицкий А.Р. Токсичность автомобильных и тракторных двигателей (exhaust emission of automotiv and tractor engines) / А.Р. Кульчицкий // Учебное пособие (изд. 2, исправленное и дополненное). – М.: ООО "Академический проект". – 2004. – 400 с.
12. Pontikakis G. Mathematical modelling of catalytic exhaust systems for EURO-3 and EURO-4 emissions standards / G. Pontikakis, A. Stamatelos. – Proc. Instn. Mech. Engrs. – Part D. – 2001. – P. 1005-1015.
13. Сердюк О. Экология и автомобилестроение / О. Сердюк // Автостандарт. – 2004. – №4. – С. 37-41.
14. Казаков Н. Экологическая безопасность транспорта / Н. Казаков, И. Масленникова // Автобизнесмаркет. – 2004. – №14. – С. 67-70.
15. Pontikakis G. Mathematical modelling of catalytic exhaust systems for EURO-3 and EURO-4 emissions standards / G. Pontikakis, A. Stamatelos // Proc. Instn. Mech. Engrs. – Part D. – 2001. – P. 1005-1015.
16. 2 ГОСТ 17071-91 “Масло сивушное. Технические условия”. Издательство официальное. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 3с.
17. ДСТУ 4063-2001.“Автомобільний бензин. Технічні умови”. Видання офіційне. – М.: Держстандарт України, 2002. – 9с.
18. Нефтепродукты. Методы испытаний. Часть 1. – М.: Издательство стандартов. – 1987. – С. 379.
19. Нефтепродукты. Методы испытаний. Часть 2. -М.: Издательство стандартов. – 1987.-394 с.
20. Универсальный иономер ЭВ-74. Паспорт. М.: 1984. – 43 с.
21. Колосюк Д.С. Використання та економія матеріалів і ресурсів на автомобільному транспорті / Д.С. Колосюк. – Підручник. – К.: Вища школа, 1992. – 206 с.

2. Мельник В.М. Про альтернативні палива поршневих двигунів нафтогазової галузі / В.М. Мельник, Ф.В. Козак, Л.І. Гаєва // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2005. – №1. – С. 137-140.
3. ДСТУ 3868–99.“Дизельне паливо. Технічні умови”. Видання офіційне.– К.: Держстандарт України, 1999. – 11с.
4. Смирнов Н.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений / Н.В. Смирнов, И.В. Дунин-Барковский. – [3-е изд., стереотип.]. – М.: Наука, 1969. – 512 с.
5. Перспективні види палива для двигунів / [Ф.В. Козак, Б.В. Долішній, Л.І. Гаєва ін.] // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2006. – №3. – С. 5-9.
6. Мельник В.М. Утилізація сивушних масел у двигунах внутрішнього згоряння / В.М. Мельник, Ф.В. Козак, Л.І. Гаєва // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2009. – №3. – С. 93-97.
7. Мельник В.М. Альтернативні палива дизельних двигунів нафтогазової галузі / В.М. Мельник // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2005. – №4. – С. 92-94.
8. Пат. №86449 МПК В01F 3/08 Змішувач для моторних палив / Мельник В.М., Козак Ф.В., Климишин Я.Д.; заявник і патентодавець Івано-Франківський нац. техн. ун-т. нафти і газу № а200704406, заявл. 20.04.2007; опубл. 27.04.2009. Бюл. №8.
9. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. – М.: Машиностроение. – 1975. – 539 с.
10. Трубников Г.И. Практикум по автотракторным двигателям / Г.И.Трубников. – М.: Колос. – 1975. – 192 с.
11. Перегуд Е.А. Химический анализ воздуха промышленных предприятий / Е.А. Перегуд, Е.В. Гернет. – Л.: Химия, 1970. – 440с.
12. Руководство по контролю загрязнения атмосферы РД 52.04.186 - 89. М.: Гидрометеоиздат, 1989. – 1084с.
13. Полішко С. П. Точність засобів вимірювань / С.П. Полішко, О.Д. Трубенюк - К.: Вища школа, 1992. – 173 с.

14. Фотин Б.С. Поршневые компрессоры / Б.С. Фотин, И.Б. Пирумов, И.К. Прилуцкий, П.И. Пластинин. Под общ. Ред. Б.С. Фотина. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение. – 1987. – 372 с.
15. Курмаз Л.В. Конструирование узлов и деталей машин: Справочное учебно-методическое пособие / Л.В. Курмаз, О.Л. Курмаз. – М.: Высш. шк., 2007. – 455 с.
16. Джонсон Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы обработки данных / Н. Джонсон, Ф. Лион: пер. с англ. под ред. к.т.н. Э.К. Лецкого. – М.: Мир, 1980. – 516 с.
17. Мельник В.М. Про підвищення екологічної безпеки автомобільного транспорту / В.М. Мельник, Ф.В. Козак // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2011. – №1. – С. 143-147.
18. Козак Ф.В. Показники роботи дизеля на сумішах дизельного палива і сивушних масел / Ф.В. Козак, В.М. Мельник, Л.І. Гаєва, М.П. Школьний // Ресурсозберігаючі технології у нафтогазовій енергетиці: міжнар. наук.-техн. конф., 16-20 квітня 2007 р., анотац. допов. – Івано-Франківськ: Факел, 2007. – С. 170.
19. Мельник В.М. Екологічні аспекти утилізації сивушних масел в якості добавки до моторних палив / В.М. Мельник // Нафтогазова енергетика: проблеми та перспективи: міжнар. наук.-техн. конф., 20-23 жовтня 2009 р., анотац. допов. – Івано-Франківськ: Факел, 2009. – С. 157.
20. Федорюк М.В. Обыкновенные дифференциальные уравнения. 2-е изд., перераб. доп. / М.В.Федорюк. – М.: Наука, 1985. – 448 с.
21. Методические указания по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. М.: Гидрометиздат, 1981. – С. 45 - 73.
22. Козак Ф.В. Екологічні аспекти утилізації сивушних масел як добавок до моторних палив / Ф.В. Козак, Л.І. Гаєва, Т.В. Дикун, В.М. Мельник // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2010. – №1. – С. 155-159.
23. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. – 61 с.

4. Мельник В.М. Економічна ефективність використання альтернативних палив / В.М. Мельник // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2006. – №1. – С. 56-58.
5. Мельник В.М. Техніко-економічна ефективність екологічнобезпечного знешкодження сивушних масел на дизельних двигунах / В.М. Мельник // Нафтогазова енергетика. – 2008. – №4. – С. 79-82.
6. Мельник В.М. Техніко-економічна ефективність екологічно безпечного знекодження сивушних масел на дизельних двигунах / В.М.Мельник // Техніка і проєктивні технології у нафтогазовій інженерії: міжнар. наук.-техн. конф. молодих вчених, 16-20 вересня 2008 р., анотац. допов. – Івано-Франківськ: Факел, 2008. – С. 67.
7. Большев Л.Н. Таблицы математической статистики / Л.Н. Большев, Н.В. Смирнов. – М.: Наука, 1965. – 476 с.
8. Гутаревич Ю.Ф. Оцінка ефективності додавання спиртових сполук до бензину / Ю.Ф. Гутаревич, А.Г. Говорун, А.О. Корпач, О.Г. Мороз // Автошляхових України. – 2004. – № 3. – С. 17-19.

Додаток А**Акт промислової апробації
результатів дослідження з екологічно безпечного
знешкодження СМ**



АКТ ПРОМИСЛОВОЇ АПРОБАЦІ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ З ЕКОЛОГІЧНОБЕЗПЕЧНОГО ЗНЕШКОДЖЕННЯ СМ

Даний акт засвідчує, що в період з 04.10.2010р. по 27.10.2010р. на підприємстві ТзОВ “АТП 12629” здійснювалася утилізація сивушних масел шляхом їх додавання до дизельного палива з подальшим використанням одержаних сумішей як палива для 2^х автобусів IKARUS-255.

Паливні суміші утворювалися на основі дослідів п. Мельника В.М. з дизельного палива із добавками сивушних масел в кількості 10% об.

Під час дослідження добовий пробіг автобусів на маршрутах складав:

- маршрут Івано-Франківськ-Трускавець – 294 км;
- маршрут Івано-Франківськ-Тернопіль – 182 км;

В результаті проведення дослідження експлуатації автобусів IKARUS-255 на паливних сумішах отримано наступне:

1. За період випробувань на вищевказаних маршрутах двома автобусами IKARUS-255 було утилізовано 257 л сивушних масел.

2. В результаті роботи автобусів на паливних сумішах слід відмітити:

- зниження рівня сажі та твердих частинок у відпрацьованих газах у порівнянні з роботою на чистому дизельному паливі на 8-10%;
- зменшення рівня димності 4-6%.

3. За період дослідження відхилень та відмов системи живлення та суттєвих втрат у потужності двигуна при його роботі на паливних сумішах не спостерігалось.

4. При роботі автобусів на паливних сумішах зафіксовано збільшення витрати палива у межах 3-4% у порівнянні з витратою палива до впровадження на зазначених маршрутах експлуатації автобусів.

5. Економічний ефект досягнуто за рахунок зменшення вартості товарного дизельного палива в результаті добавок дешевих сивушних масел в кількості 10% об., що склав на момент дослідження 578,15 грн./т дизельного палива.

А отже, на протязі 20 робочих днів дослідження, економія в результаті експлуатації 2^х автобусів IKARUS-255 при їх роботі на паливних сумішах склала 1218 грн. 39 коп.

Асист. каф. НГТТіТ



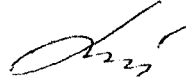
Мельник В.М.

Зав. каф. НГТТіТ, проф.



Козак Ф.В.

Нач. відділу маркетингу і контролю



Мочалюк Г.Г.

Головний інженер



Зарічняк В.М.

Додаток Б

Проект

СТАНДАРТ ОРГАНІЗАЦІЇ УКРАЇНИ

**АЛЬТЕРНАТИВНЕ ПАЛИВО. СИВУШНІ МАСЛА. МЕТОДИКА
ВИКОРИСТАННЯ**

СОУ _____

Івано-Франківськ
ІФНТУНГ
2011

ЗМІСТ

Б. 1 Сфера застосування	151
Б. 2 Нормативні посилання	152
Б. 3 Терміни та визначення понять	152
Б. 4 Познаки та скорочення	153
Б. 5 Загальні положення	153
Б. 6 Методика проведення змішування СМ з товарними паливами	154
Б. 7 Вимоги до охорони праці та організації виконання робіт при змішуванні товарних палив з СМ	156
Додатки:	
Додаток Б. 1 Форма протоколу контролю основних фізико-технічних параметрів утворених паливних сумішей СМ з товарними паливами.....	157

ПЕРЕДМОВА

1. РОЗРОБЛЕНО: Івано-Франківським національним технічним університетом нафти і газу.

РОЗРОБНИКИ: Козак Ф.В., к.т.н.; Мельник В.М.; Гаєва Л.І., к.х.н.

2. ВНЕСЕНО Івано-Франківським обласним державним об'єднанням спиртової та лікєро-горілчаної промисловості “Княгинин”.

3. ПОГОДЖЕНО Технічний комітет стандартизації ТК 38 “Стандартизація продуктів нафтопереробки та нафтохімії” (НВО “Масма”).

4. ПРИЙНЯТО та НАДАНО ЧИННОСТІ Наказом

5. ВВЕДЕНО ВПЕРШЕ

СТАНДАРТ ОРГАНІЗАЦІЇ УКРАЇНИ

**АЛЬТЕРНАТИВНЕ ПАЛИВО. СИВУШНІ МАСЛА. МЕТОДИКА
ВИКОРИСТАННЯ****Методика****АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТОПЛИВО. СИВУШНЫЕ МАСЛА. МЕТОДИКА
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ****Методика**

Чинний від _____**1 СФЕРА ЗАСТОСУВАННЯ**

Цей стандарт установлює методику використання сивушних масел в суміші з товарними паливами з подальшим використанням утворених сумішей для живлення двигунів внутрішнього згорання.

2 НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

ДСТУ 1.1-2001 Національна стандартизація. Стандартизація та суміжні види діяльності. Терміни та визначення.

ДСТУ 3868–99. “Дизельне паливо. Технічні умови”.

ДСТУ 4840–2007. “Паливо дизельне підвищеної якості. Технічні умови”.

ДСТУ 4063-2001. “Автомобільний бензин. Технічні умови”.

ДСТУ 4839-2007. “Бензини автомобільні підвищеної якості. Технічні умови”.

ГОСТ 17071-91 “Масло сивушное. Технические условия”.

НАПБ В.01.054-98/510 Правила пожежної безпеки для підприємств і організацій автомобільного транспорту України.

НАПБ В.01.058-2008/112 Правила пожежної безпеки для об'єктів зберігання, транспортування та реалізації нафтопродуктів.

НАПБ А.01.001-2004 Правила пожежної безпеки України.

ГОСТ 17.0.0.01-76 Система стандартів в області охорони природи и улучшения использования природных ресурсов. Основные положения.

3 ТЕРМІНИ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

Нижче подано терміни, вжиті у цьому стандарті та визначення позначених ними понять.

3.1 відходи

Шлаки та відходи промисловості, сільського господарства, комунально-побутових та інших підприємств, які можуть бути джерелом або сировиною для видобутку чи виробництва альтернативних видів палива.

3.2 утилізація промислових відходів

Залучення відходів виробництва в нові технологічні цикли або використання їх в інших корисних цілях (як вторинну сировину, паливо, добриво тощо).

3.3 довкілля, навколишнє середовище

Сукупність елементів неживої та живої природи, що оточує організм.

3.4 забруднення довкілля

Надходження у середовище будь яких забруднювачів у кількостях, що спричиняють зміну властивостей компонентів природи та (або) шкідливо впливають на біосферу в тому числі і людину.

3.5 товарне паливо

Види палива, що отримуються в результаті переробки продуктів нафти, газу та вугілля, які відповідають встановленим державним стандартам та реалізуються через мережу автозаправних станцій.

3.6 альтернативне паливо

Тверде, рідке та газове паливо, яке є альтернативою відповідним товарним видам палива і яке виробляється (видобувається) з нетрадиційних видів енергетичної сировини та може використовуватися у суміші з товарним паливом.

3.7 двигун внутрішнього згорання

Тепловий двигун, у циліндрі якого відбуваються спалювання палива й перетворення частини теплоти згорання палива на механічну роботу.

3.9 якість

Сукупність характеристик продукції (процесу, послуг), що зумовлюють її здатність задовольняти встановлені та передбачені потреби.

4 ПОЗНАКИ ТА СКОРОЧЕННЯ

ДВЗ – двигун внутрішнього згорання;

СМ – сивушні масла;

ДП – дизельне паливо;

ОЧ_д – октанове число визначене за моторним методом;

ЦЧ – цетанове число;

ЗВТ – засіб вимірювальної техніки;

НАПБ – нормативний акт з пожежної безпеки.

5 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

СМ, що є шкідливими для довкілля відходами спиртової промисловості за своїми фізико-технічними властивостями близькі до товарних палив для ДВЗ, а тому придатні для створення моторних паливних сумішей. Такі суміші СМ з традиційними паливами – бензинами, дизельними паливами призначаються для живлення ДВЗ різноманітних машин: автомобілів, будівельних, сільськогосподарських, залізничного і водного транспорту, агрегатів спеціального призначення тощо.

5.1 Вимоги до фахівців, які проводять змішування товарні палива з СМ.

5.1.1 Допуск фахівців для виготовлення сумішей СМ з традиційними паливами та контролю їх якості здійснюють відповідно до чинного законодавства.

5.1.2 Фахівці, які проводять змішування товарних палив з СМ, повинні мати вищу або середню спеціальну освіту.

5.1.3 Стаж роботи за спеціальністю повинен бути не менше 1 року.

5.1.4 Фахівець, який проводить змішування повинен знати змішувальний пристрій та дану методику змішування.

5.1.5 Фахівець, який здійснює змішування товарних палив з СМ повинен володіти практичними навиками роботи з електричними пристроями.

6 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЗМІШУВАННЯ СМ З ТОВАРНІМИ ПАЛИВАМИ

6.1 Для змішування СМ з товарними паливами використовується структурна схема, що наведена на рис. 1.

6.2 Температура навколишнього середовища при змішуванні повинна бути в межах 10-40 °С.

6.3 Моторне паливо подають до посудини для палива 1, а необхідну кількість СМ для одержання паливної суміші заданої концентрації заливають в посудину для СМ 6. В розрахунку за об'ємом для бензину А-80 ОЧ_д збільшується на:

- 2% СМ – 7,8 од.;
- 4% СМ – 11,8 од.;
- 6% СМ – 14,4 од.;
- 8% СМ – 16,3 од.;
- 10% СМ – 18 од.;
- 12% СМ – 20,9 од.

для літнього ДП ЦЧ збільшується на:

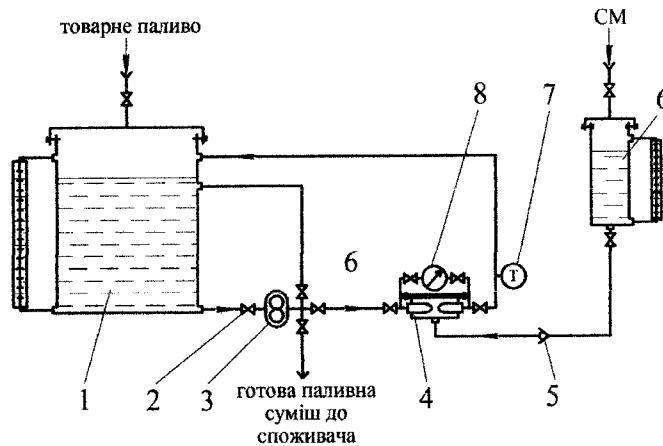
- 2% СМ – 5,1 од.;

- 4% СМ – 8,6 од.;
- 6% СМ – 10,0 од.;
- 8% СМ – 11,0 од.;
- 10% СМ – 11,6 од.;
- 12% СМ – 12,1 од.

6.4 Вмикається циркуляційний насос 3 і вентилями 2 встановлюється необхідний перепад тиску Δp (кПа) на змішувачі, підібраний в залежності від подачі паливної суміші $Q_{\text{ПС}}$ та $Q_{\text{СМ}}$ ($\text{м}^3/\text{с}$), що розраховуються за рівняннями (1) (2):

$$Q_{\text{ПС}} = 0,68 \cdot 10^{-4} \cdot \Delta p^{0,4}, \quad (1)$$

$$Q_{\text{СМ}} = 0,111 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta p + 3,265 \cdot 10^{-6}. \quad (2)$$



- 1 – посудина для товарного палива; 2 – вентилі; 3 – насос шестеренний;
 4 – змішувач моторних палив; 5 – клапан зворотний; 6 – мірник для СМ;
 7 – термометр термоелектричний; 8 – манометр диференціальний

Рис. 1 – Схема установки для одержання сумішей товарних палив з СМ у виробничих умовах

6.5 Процес змішування припинити після вичерпання СМ у мірнику 6.

6.6 Перевірити наступні основні фізико-технічні характеристики утворених паливних сумішей СМ з товарними паливами згідно протоколу (Додаток Б. 1): густину, кінематичну в'язкість, ОЧ_d (для сумішей СМ з бензином А-80), ЦЧ (для сумішей СМ з літнім ДП), показник рН.

6.7 Подати утворену паливну суміш до споживача або для подальшого зберігання у відповідній ємності.

7 ВИМОГИ ДО ОХОРОНИ ПРАЦІ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ ВИКОНАННЯ РОБІТ ПРИ ЗМІШУВАННЯ ТОВАРНИХ ПАЛИВ З СМ

7.1 Під час виконання змішування товарних палив з СМ необхідно суворо дотримуватися норм, правил, положень та інструкцій з техніки безпеки, пожежної безпеки, охорони праці та довкілля, які чинні у автомобільній промисловості.

7.2 Під час проведення змішування товарних палив з СМ слід враховувати вимоги НАПБ В.01.058-2008/112, НАПБ В.01.054-98/510 та НАПБ А.01.001-2004, умов безпеки викладених в експлуатаційних документах на обладнання, що використовується в структурній схемі та інших чинних в Україні нормативних та організаційно-методичних документах, в т.ч. на методика використання СМ викладену в даному стандарті.

7.3 Фахівці, які проводять змішування, повинні пройти інструктаж з техніки безпеки та пожежної безпеки на підприємстві де виконуються роботи.

7.4 Робоче місце, призначене для змішування палив повинне забезпечувати нормальні умови праці виконавцям робіт і відповідати вимогам охорони праці.

7.5 Фахівці, які проводять змішування палив повинні бути забезпечені спецодягом та засобами індивідуального захисту.

7.6 Роботи виконувати тільки з використанням справних інструментів, пристроїв, апаратури атестованих і сертифікованих ЗВТ.

7.7 Використовуване електрообладнання має бути надійно заземленим.

7.8 Персонал забезпечується первинними засобами пожежегасіння і зобов'язаний вміти користуватися цими засобами.

7.9 У разі виникнення пожежі фахівці, що залучені до виконання робіт зобов'язані діяти відповідно до вимог розділу 8 НАПБ А.01.001.

7.10 При проведенні робіт по змішуванню палив слід керуватися вимогами системи стандартів в галузі охорони довкілля ГОСТ 17.0.01.

ДОДАТОК Б. 1**(обов'язковий)****ФОРМА ПРОТОКОЛУ ОФОРМЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ КОНТРОЛЮ
ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ УТВОРЕНИХ ПАЛИВНИХ СУМІШЕЙ СМ З
ТОВАРНІМИ ПАЛИВАМИ****ЗАТВЕРДЖЕНО**Головний метролог
підприємства_____/ПБ/
Підпис

« ____ » _____ 20__ р.

ПРОТОКОЛ**контролю основних фізико-технічних характеристик утворених паливних
сумішей СМ з товарними паливами**

1. Марка палива та документ, за яким воно вироблене (ДСТУ, ГОСТ) _____

2. Перелік технічних засобів, які використані для контролю (назва, рік випуску,
зав. №, свідоцтво про повірку) _____

3. Назва та номер документа, за яким проводиться контроль кожного показника _____

4. П.І.Б. та посади фахівців, які провели контроль _____

5. Умови контролю (приміщення, температура, атмосферний тиск) _____

Результати контролю

Контрольований параметр	Нормативне значення для товарного палива	Значення показників для утвореної паливної суміші	Примітка
1. Густина			
2. Кінематична в'язкість			
3. ОЧ _д (для сумішей СМ з бензином А-80)			
4. ЦЧ (для сумішей СМ з літнім ДШ)			
5. Показник рН			

ВИСНОВКИ:

«___» _____ 20__ р.

Підпис фахівців,
які провели контроль:

_____/ /

_____/ /

_____/ /

Додаток В

«ЗАТВЕРДЖУЮ»



Проректор з науково-педагогічної роботи
Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газу

М.О. Галушак

ДОВІДКА

про використання у навчальному процесі наукових результатів дисертаційної роботи **Мельника В.М.** «Розроблення екологічно безпечних технологічних процесів та устаткування для використання сивушних масел як складника моторних палив», представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Івано-Франківським національним технічним університетом нафти і газу у навчальному процесі за напрямом підготовки «Автомобільний транспорт» використовуються наступні наукові результати дисертації «Розроблення екологічно безпечних технологічних процесів та устаткування для використання сивушних масел як складника моторних палив» асистента кафедри нафтогазового технологічного транспорту Мельника В.М.:

1. При вивченні дисципліни «Використання експлуатаційних матеріалів і економія паливно-енергетичних ресурсів» – теми: «Бензини і дизельні палива», «Альтернативні палива» – методи покращення основних фізико-технічних показників моторних палив.

2. При вивченні дисципліни «Автомобілі» – розділ «Основи конструкції автотранспортних засобів», тема «Робочі процеси у двигунах внутрішнього згорання» – альтернативні палива автомобільних двигунів.

3. При вивченні дисципліни «Автомобільні двигуни» – теми: «Процес мішоутворення у автомобільних двигунах», «Згорання палива у циліндрі автомобільних двигунів. Визначення параметрів процесу згорання», «Процес впуску. Визначення параметрів процесу випуску. Зниження рівня шуму і кідливих викидів автомобільних двигунів» – підвищення екологічної безпеки автомобільних двигунів.

4. При вивченні дисципліни «Технічна експлуатація автотранспортних засобів» – тема «Технічне обслуговування системи живлення бензинового і дизельного двигуна автомобілів і нафтогазового технологічного транспорту» – перспективні види палива для автомобільних двигунів.

При вивченні перелічених дисциплін використовуються як додаткова література наступні роботи В.М. Мельника:

1. Мельник В.М. Про альтернативні палива поршневих двигунів нафтогазової лузі / В.М. Мельник, Ф.В. Козак, Л.І. Гаєва // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2005. №1. – С. 137-140.
2. Мельник В.М. Альтернативні палива дизельних двигунів нафтогазової лузі / В.М. Мельник // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2005. – 4. – С. 92-94.
3. Перспективні види палива для двигунів / [Ф.В. Козак, Б.В. Долішній, Л. Гаєва та ін.] // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2006. – №3. – 5-9.
4. Козак Ф.В. Екологічні аспекти утилізації сивушних масел як добавок до моторних палив / Ф.В. Козак, Л.І. Гаєва, Т.В. Дикун, В.М. Мельник // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2010. – №1. – С. 155-159.
5. Мельник В.М. Про підвищення екологічної безпеки автомобільного транспорту / В.М. Мельник, Ф.В. Козак // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2011. – №1. С. 143-147.
6. Козак Ф.В. Показники роботи дизеля на сумішах дизельного палива і сивушних масел / Ф.В. Козак, В.М. Мельник, Л.І. Гаєва, М.П. Шкільний // Курсозберігаючі технології у нафтогазовій енергетиці: міжнар. наук.-техн. конф., 19-20 квітня 2007 р., анотац. допов. – Івано-Франківськ: Факел, 2007. – С. 170.

**Начальник навчального відділу,
доцент**



Б.В. Сверида

**Декан механічного факультету,
к.т.н., доцент**



Л.І. Романишин