

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**01.08 – ДП.2223 «С» 2023.12.07.65 ПЗ**

**Пасека Володимир Миколайович**

**2024**

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**01.08 – ДП.2223 «С» 2023.12.07.65 ПЗ**

**Пасека Володимир Миколайович**

**2024**

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко – технологічний факультет

УДК 629.113

ПОГОДЖЕНО  
Декан факультету (Директор ННІ)  
механіко – технологічний факультет  
(назва факультету (ННІ))

\_\_\_\_\_  
(підпис) Братішко В.В.  
(ПІБ)  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач кафедри  
тракторів, автомобілів та біоенергоресурсів  
(назва кафедри)

\_\_\_\_\_  
(підпис) Калінін Є.І.  
(ПІБ)  
“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Підвищення збережності елементів паливної системи дизельних  
двигунів при довгому зберіганні»

Спеціальність 208 «Агроінженерія»  
(код і назва)

Освітня програма Агроінженерія  
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

\_\_\_\_\_  
(науковий ступінь та вчене звання) Д.Т.Н., професор \_\_\_\_\_ (підпис) Братішко В.В. \_\_\_\_\_ (ПІБ)

Керівник дипломного проєкту бакалавра

\_\_\_\_\_  
(науковий ступінь та вчене звання) К.Т.Н., доцент \_\_\_\_\_ (підпис) Романченко В.М. \_\_\_\_\_ (ПІБ)

Виконав

\_\_\_\_\_  
(підпис) Пасека Володимир Миколайович \_\_\_\_\_ (ПІБ)

КИЇВ – 2024

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

тракторів, автомобілів та  
біоенергоресурсів

д.т.н., проф. \_\_\_\_\_ **Калінін Є.І.**  
(наук. ступ., вч. звання) (підпис) (ПІБ)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

**З А В Д А Н Н Я**

**на виконання магістерської кваліфікаційної роботи студенту  
Пасеці Володимиру Миколайовичу**

Спеціальність \_\_\_\_\_ (прізвище, ім'я, по батькові)  
208 «Агроінженерія» \_\_\_\_\_  
(код і назва)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи на тему «Підвищення збережності елементів паливної системи дизельних двигунів при довгому зберіганні»  
затверджена наказом ректора НУБіП України від «07» грудня 2023р. №2223 «С»

Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру: \_\_\_\_\_ 01.10.2024  
(рік, місяць, число)

**Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи:** загальні дані по системам дизельних двигунів внутрішнього згоряння та по принципам і методам зберігання їх елементів

**Перелік питань які потрібно розробити**  
Вступ. Стан питання, мета та задачі дослідження. Теоретичне основи зберігання та консервування дизельного двигуна. Програма і методика проведення експериментальних досліджень. Висновки.

**Перелік графічного матеріалу:** Загальні принципи використання дизельних двигунів та методичні аспекти їх діагностування. Теоретичне дослідження процесу консервування дизельних двигунів. Експериментальні дослідження. Результати експериментальних досліджень. Висновки.

Дата видачі завдання «09» січня 2024 р.

Керівник дипломного проекту бакалавра \_\_\_\_\_ Романченко В.М.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Пасека В.М.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

Основна частина дипломного проекту викладена на 75 сторінках пояснювальної записки і 16 слайдах презентації, має 1 таблицю та ілюстрована 30 рисунками.

Пояснювальна записка складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаної літератури.

Тема дипломного проекту: «Підвищення збережності елементів паливної системи дизельних двигунів при довгому зберіганні».

Об'єкт дослідження – корозійні процеси, що відбуваються на металевих поверхнях елементів паливної системи, які спричинені агресивним експлуатаційним середовищем та кліматичними факторами.

Предмет дослідження – закономірності впливу робочо-консерваційного палива на зміну властивостей корозійної стійкості елементів паливної системи, якісні показники дизельного палива, а також безвідмовність та стабільність параметрів двигуна.

Мета роботи – підвищення збережності елементів паливної системи дизельних двигунів при тривалому зберіганні використанням робочо-консерваційних палив.

У кваліфікаційній роботі показано, що у паливній системі протікає під впливом кліматичних факторів електрохімічна корозія, а під впливом експлуатаційного середовища – хімічна корозія. При тривалому зберіганні відбувається обводнення ДП у баку, об'єм води у відстої становить від 300 до 700 мл. Циклічна втома металу сталь 08кп, після ураження корозією знижує свою первісну міцність на 30...40%. Швидкість корозії сталі 08кп у дизельному паливі становить  $165 \text{ г/м}^2 \text{ рік}$ , а глибина окремих осередків сягає 0,2 мм.

Ключові слова: дизельне паливо, збережність, корозія, консерваційне паливо.

## ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	6
1.1 Фактори, що викликають корозійні процеси паливної системи .....	6
1.2 Аналітичний огляд засобів захисту від атмосферної корозії, що застосовуються для забезпечення збереження автотракторної техніки.....	13
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗБЕРІГАННЯ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ АВТОТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ ЗАСТОСУВАННЯМ РОБОЧО-КОНСЕРВАЦІЙНОГО СКЛАДУ .....	21
2.1. Механізми корозійних руйнувань поверхонь деталей паливної системи .....	21
2.2. Аналіз корозійного зношування елементів паливної системи в процесі тривалого зберігання.....	25
РОЗДІЛ 3 МАТЕРІАЛИ, ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ..	30
3.1. Контактний маслорозчинний інгібітор корозії .....	30
3.2. Вибір та розробка захисних матеріалів для вирішення завдань дослідження .....	32
3.3 Конструкційні матеріали, що застосовуються у паливній системі.....	35
3.4. Програма, методики та обладнання для проведення випробувань.....	35
РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ .....	52
4.1. Результати порівняльної оцінки захисних властивостей інгібіторів корозії в лабораторних умовах .....	52
4.2 Оптимізація кількості інгібіторів корозії в РКП.....	55
4.3 Визначення якісних показників робочо-консерваційного палива .....	61
ВИСНОВКИ.....	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	73
ДОДАТКИ.....	76

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 1.1 Фактори, що викликають корозійні процеси паливної системи

Чинна система експлуатації сільськогосподарської техніки передбачає наступні види утримання машин на зберіганні згідно з ДСТУ 7751-2009:

- міжзмінне, якщо перерва у використанні машин складає до 10 днів;
- короткочасне – від 10 днів до двох місяців;
- тривале – більше двох місяців.

Зберігання автотракторної техніки (АТТ) є одним з етапів експлуатації, при якому машини, що не використовуються за призначенням, розміщуються в спеціально відведених для них місцях у заданому стані, де забезпечується їх збереження протягом встановлених термінів [1].

Зберігання машин включає:

- постановку машин на зберігання (комплекс організаційно-технічних заходів щодо забезпечення їх збереження та готовності до застосування за призначенням);
- утримання машин на зберіганні (комплекс організаційно-технічних заходів щодо підтримки їх у заданому стані, що забезпечує збереження протягом встановлених термінів зберігання);
- зняття машин зі зберігання (комплекс виконуваних робіт, визначених експлуатаційною документацією машин, щодо приведення їх у готовність до застосування (використання за призначенням)).

Структурну схему організації зберігання автотракторної техніки наведено на рис. 1.1 [7].

Зберігання машин, виходячи з організаційно-штатних структур сільськогосподарських підприємств та їх призначення, організується так, щоб забезпечити своєчасне та якісне приведення машин та встановленого на них обладнання у готовність до застосування (використання за призначенням) у встановлений термін.



Рисунок 1.1 – Структурна схема організації тривалого зберігання автотракторної техніки

Обсяг виконуваних робіт на машинах, що містяться на зберіганні, залежить від ступеня впливу на них довкілля та умов їх зберігання. Умови зберігання машин характеризуються місцями зберігання [10].

Відповідно до ДСТУ 7751-2009 машини на зберіганні повинні утримуватися у спеціально обладнаних місцях: опалюваних (ОС) або неопалюваних сховищах (НС) та, як виняток, – під навісами або на відкритих майданчиках (ВП).

При зберіганні машин захист від впливу навколишнього середовища забезпечується шляхом їх консервації та герметизації [2].

Консервація машин та їх складових частин – це захист поверхонь деталей та матеріалів від корозії, старіння та біологічних ушкоджень шляхом застосування засобів тимчасового захисту (робочо-консерваційні та консерваційні, паливно-мастильні матеріали (ПММ) та інші матеріали) та відновлення засобів постійного захисту (хімічних, лакофарбових покриттів (ЛФП), що наносяться на поверхні деталей при їх виготовленні).

Герметизація машин – це ізоляція машин (агрегатів, вузлів, деталей) від впливу довкілля.

На швидкість атмосферної корозії впливає низка чинників. Їх поділяють на внутрішні та зовнішні [6, 7].

Внутрішні фактори корозії пов'язані з природою та структурою металу, конструктивними особливостями деталей (вузлів, агрегатів) тощо.

Зовнішні фактори визначають умови протікання корозії під впливом навколишнього повітряного середовища. Такий процес називається атмосферною корозією [2, 10].

За механізмом протікання корозійного процесу атмосферна корозія поділяється на електрохімічну (мокру та вологу) та на хімічну (суху) [9].

Мокра атмосферна корозія виникає за наявності на поверхні металу видимої плівки води. Цей тип корозії спостерігається при відносній вологості повітря близько 100%, коли відбувається краплинна конденсація води на поверхні металу (дощ, обливання транспорту водою тощо) [8].

Волога атмосферна корозія відбувається за наявності на поверхні металу найтоншої, невидимої плівки вологи, яка утворюється в результаті капілярної, адсорбційної або хімічної конденсації за відносної вологості повітря нижче 100% [7, 15].

Суха атмосферна корозія проходить за повної відсутності плівки вологи на поверхні металу [4, 11].

Поділ цей умовний, оскільки у практичних умовах можливі взаємні переходи одного типу корозії до іншої [8].

Умови протікання корозійного процесу визначаються кліматичними факторами, що знаходяться у прямій залежності від кліматичних зон.

Швидкість атмосферної корозії пов'язана з кліматичними та температурно-вологісними параметрами регіонів, зі ступенем забруднення атмосфери пилоподібними частинками органічного та неорганічного походження, корозійно-активними газами [8, 9].

Кліматичні фактори, що впливають на автотракторну техніку, представлені на рис. 1.2. [2].

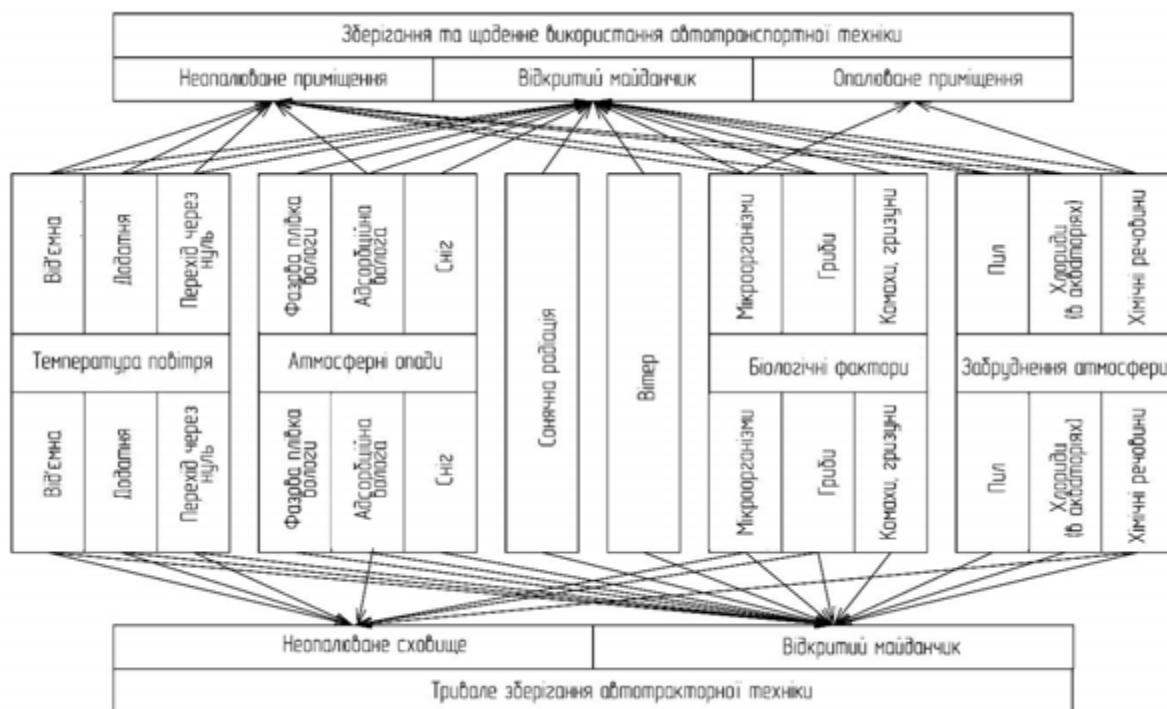


Рисунок 1.2 – Кліматичні фактори, що впливають на автотракторну техніку

На стан техніки впливають методи зберігання.

В залежності від способу зберігання, техніка може знаходитись у таких мікроумовах [7]:

1. Відкритий майданчик, навіс. Для цих умов характерні постійний обмін повітря, відсутність зон із тривалим застоєм повітря, високі добові перепади температур із конденсацією вологи, сонячна радіація, вплив на техніку опадів у вигляді дощу, снігу, туману.

2. Неопалюване сховище, укриття. Для цих умов характерні періодичний обмін повітря (періодичне провітрювання) та наявність зон із застоєм повітря, високі добові перепади температур з конденсацією вологи, тривале контактування з тим самим повітрям.

3. Неопалюване сховище, укриття, в яких повітря постійно циркулює за допомогою застосування припливно-витяжної вентиляції або установок для динамічного осушення повітря. У цьому випадку досягається зниження відносної вологості та амплітуди добових коливань температури повітря.

4. Опалюване сховище. Умови в таких приміщеннях: температура повітря 5...20°C, відносна допустима вологість – 85%, допустимий добовий перепад температур не більше 12°C, відсутність конденсації вологи.

Вибором способу зберігання автотракторної техніки можна впливати на ступінь впливу кліматичних факторів, оцінкою якої є швидкість корозії.

Швидкість корозії характеризує корозійні втрати і є функцією часу зволоження поверхні металу адсорбційними або фазовими (за рахунок прямого попадання атмосферних опадів) плівками, а також функцією концентрації агресивного компонента в атмосфері та плівці вологи на поверхні. Зволоження поверхні залежить від вологості повітря, температури, сонячної радіації, повітрообміну, добових та сезонних коливань метеорологічних параметрів [1, 5].

Ступінь впливу кліматичних факторів на вузли та деталі автотракторної техніки з урахуванням існуючих методів зберігання наведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Інтенсивність впливу факторів довкілля залежно від умов та методів зберігання, бали

Фактори, що впливають на деталі при зберіганні	Опалюване сховище	Неопалюване сховище	Навіс	Відкритий майданчик
1. Атмосферний тиск	3	3	3	3
2. Середовище (атмосфера) з корозійно-активними агентами	17	20	20	20
3. Атмосферні опади, туман	0	0	6	10
4. Вологість повітря	15	20	30	30
5. Сонячне випромінення	1	1	3	5
6. Температура середовища та її зміна	10	20	25	25
7. Потік повітря	0	0	1	2
8. Пил, пісок	1	1	1	2
9. Бактерії	1	1	3	3
<b>Всього</b>	<b>48</b>	<b>66</b>	<b>92</b>	<b>100</b>

Зміна безвідмовності автотракторної техніки, що міститься на зберіганні протягом різних термінів, обґрунтована в роботах [1, 11]. Обстеження машин показали, що після 3...5 років зберігання до 34% машин мають відмови, а через 7...8 років зберігання безвідмовність автомобілів та гусеничних машин знижується у 2...4 рази. При знятті зі зберігання після 12...15 років до 85% машин мали відмови [4, 11].

Дуже суттєвим фактором є корозійна агресивність дизельного палива, що містить у своєму складі елементарну сірку, сірководень, меркаптани тощо. При вмісті в паливі меркаптанів у кількості 0,01% та елементарної сірки понад 0,02% при підвищеній температурі в паливній системі двигунів спостерігається корозія сталі та особливо інтенсивно міді та її сплавів з утворенням осадів [12].

Сірчисті сполуки, що входять у дизельне паливо, у присутності води та повітря при температурі 50...90°C окислюються до сульфокислот, та основний корозійний процес полягає у взаємодії продуктів окиснення сіркоорганічних сполук з металами. Те, що сірчисті сполуки окислюються

до сульфокислот, підтверджується прямим визначенням іонів  $\text{SO}_4$  та  $\text{BaCl}_2$  у воді, що супроводжує паливо [4, 14].

Корозія металу сірковмісними сполуками дизельного палива є безпосередньою хімічною взаємодією сполук сірки з металом [1, 13].

При контакті двох металів (сталі та міді, алюмінію та латуні) у середовищі дизельних палив, що містять від 0,18 до 1,6 сірки, на металах через 3...4 дні з'являються явні сліди корозії у вигляді окремих темних плям та місцевої зміни забарвлення [1, 4, 9].

Проведені порівняльні випробування дизельного палива із вмістом сірки 1,6% зі стандартним паливом із вмістом сірки 0,8% на дизельних двигунах. В результаті було встановлено, що при роботі двигуна на паливі з вмістом сірки 1,6% зношування гільз циліндрів зростає майже в 3 рази, досягаючи величини 360 мікрон за 1000 год, замість середнього зносу 130 мікрон за цей же час при роботі на стандартному паливі [9].

Підвищене зношування деталей циліндро-поршневої групи при застосуванні сірчистих палив носить корозійний характер, викликаний конденсацією кислих продуктів згоряння сірчистого палива.

Корозійна агресивність обводненого сірчистого дизельного палива дуже значна. Аналіз літературних даних показав, що при роботі двигуна на дизельному сірчистому паливі з домішкою 1% води, плунжерні пари паливного насоса працювали лише 25...40 годин, після чого через корозійні руйнування їх заклинило. При підвищенні сірки в дизельному паливі з 0,2% до 1,0...1,2%, зношування циліндро-поршневої групи дизельних двигунів збільшується в 2...6 рази [1, 2, 9].

Корозія внутрішніх поверхонь двигунів, особливо на парах плунжерних паливних насосів, призводить до падіння тиску подачі палива і, отже, до зменшення потужності автотракторної техніки та значної перевитрати палива.

Палива, моторні та трансмісійні оливи, що застосовуються в даний час, оберігають внутрішні поверхні від дії корозії протягом всього лише

1...3 місяців в умовах помірного клімату. А за наявності в них вологи, не гарантується і цей термін.

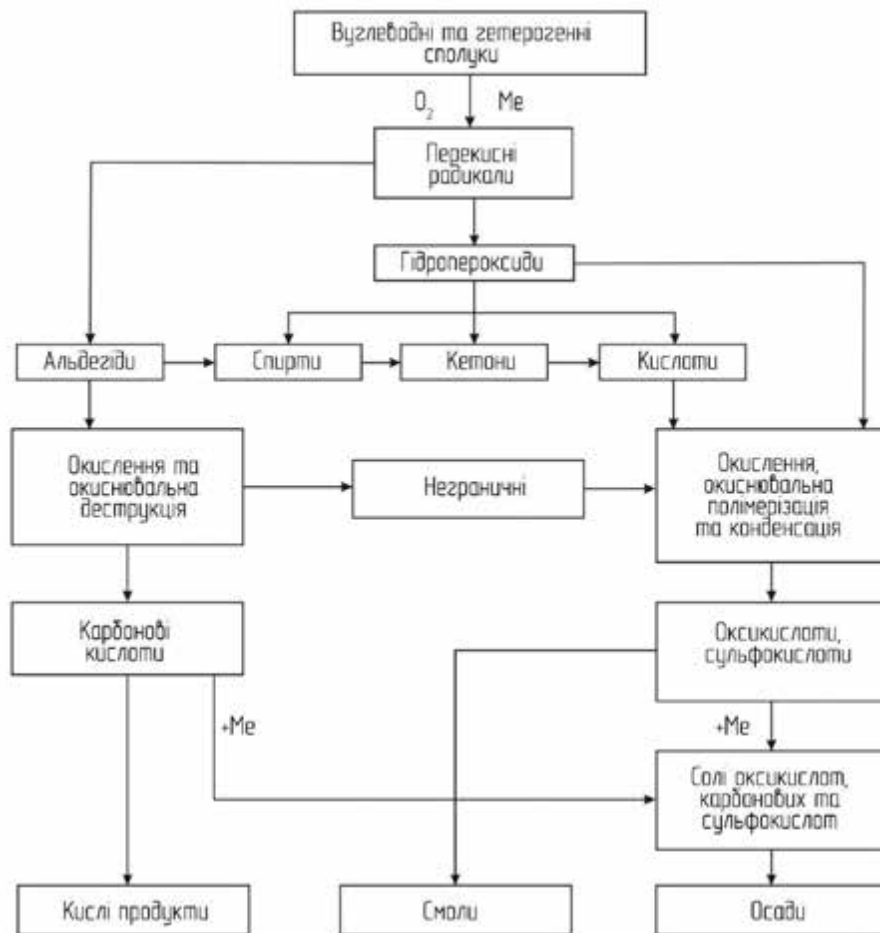


Рисунок 1.3 – Схема хімічних перетворень та склад продуктів окислення палив

1.2 Аналітичний огляд засобів захисту від атмосферної корозії, що застосовуються для забезпечення збереження автотракторної техніки

Авторами [2, 3, 5] запропонована класифікація контактних інгібіторів корозії (ІК) з розподілом їх на водорозчинні (ВІК), водомаслорозчинні (ВМІК) та маслорозчинні (МІК). Інгібітори всіх типів є поверхнево-активними речовинами (ПАР), які за oleофільно-гідрофільним або гідрофільно-ліпофільним балансом і критичною концентрацією міцелоутворення в полярному (водному) або малополярному (вуглеводневому) середовищі поділяють на п'ять груп [2, 5]. За механізмом у вуглеводневих середовищах, згідно з [6], ВМІК та МІК діляться: на ІК

хемосорбційного типу – донори або акцептори електронів; на ІК адсорбційного (екрануючого) типу та на швидкодіючі, водовитісняючі ІК.

Із загальної кількості вироблених і застосовуваних ІК до 80% складають МІК – протикорозійні присадки, що використовуються, головним чином, для інгібування нафтопродуктів – бензинів, дизельних і реактивних палив, олив, пластичних мастил (ПМ), плівкоутворюючих інгібованих речовин (ПІНР) [1].

МІК складаються з двох частин – вуглеводневого радикала, досить високомолекулярного та розгалуженого, що забезпечує розчинність всієї молекули в оливі, та функціональної групи (або декількох груп), що забезпечує захисні властивості даної сполуки. В якості таких функціональних груп можуть виступати нітро- та аміногрупи або сульфонатні та кисневмісні (ефірні, карбоксильні, карбонільні, гідроксильні) групи. Залежно від вхідних активних груп, МІК класифікуються на азотовмісні, кисневмісні, хлоровмісні, сірковмісні, фосфоровмісні та ін.

В якості МІК широкого поширення набули сульфонати лужно-земельних металів, нітровані оливи, аміни та їх солі з сульфоокислотами, ефіри алкенілянтарних кислот, алкенілсукцинаміді, окислені нафтопродукти, солі синтетичних жирних кислот, основи Манніха, четвертинні амонієві основи, продукти оксиетилювання та оксипропілювання та інші сполуки [1, 6].

Характерними особливостями МІК є гідрофобізація поверхні металу за будь-яких концентрацій і збільшення крайового кута змочування краплі води на плівці продукту.

Механізм захисної дії МІК і мастильних матеріалів включає кілька аспектів:

– витіснення води з поверхні металу при його контакті з продуктом;

– утворення на металі хемосорбційних та адсорбційних плівок ІК та інших ПАР (при взаємодії із середовищем), а також формування захисного плівкового шару під впливом сил адгезії та когезії;

– ізоляція металу захисним шаром, що утворився;

– вплив МІК на анодний або катодний процеси.

Міцелоутворення та водопоглинання (солюбілізація) – важливі властивості, що часто визначають інгібуючу дію МІК. У корозійних середовищах, типу вуглеводень-електроліт ефективними ІК є колоїдні ПАР з дифільною структурою (наприклад, азотовмісні органічні сполуки катіонного типу, в молекулах яких присутні одночасно полярна (гідрофільна) і неполярна (гідрофобна) групи), здатні до міцелоутворення в системі двох рідин, що не змішуються [9].

Витіснення води з поверхні металу пов'язане з вибіркоким змочуванням, адгезією та когезією продукту, його поверхневим натягом на границі з повітрям і водою, крайовими кутами змочування та іншими показниками, що характеризують фізико-хімічний стан системи, що розглядається.

У роботі [8] показано, що адсорбція ПАР на металі відбувається тільки в тому випадку, якщо енергія їхнього зв'язку з нафтопродуктом (середовищем) менше, ніж з металом. Іншими словами, енергія зв'язку адсорбційного шару з металом повинна бути більшою, ніж зв'язок цього шару з оливою і самої оливи з металом. У більшості випадків ця умова виконується: вуглеводневе середовище має значно меншу полярність та спорідненість до металу, ніж ПАР, що додаються до нафтопродуктів (присадки) [15].

Підвищення енергії зв'язку ПАР із середовищем може призводити до їх десорбції з поверхні металу. Так, якщо на адсорбційний шар ПАР на металі подіяти розчинником (новим середовищем), енергія зв'язку якого з цим ПАР вище, ніж енергія зв'язку ПАР з металом, то відбувається десорбція – видалення ПАР з поверхні металу [9]. На цьому принципі

засновано видалення адсорбційних шарів ПАР з поверхні металу полярними розчинниками (бензолом, спиртами, ефірами) або активнішими сорбентами (активованим вугіллям, силікагелем) [1, 9].

При адсорбції ПАР на металі міцели, як правило, руйнуються. Так, енергія взаємодії металу з карбоксильними групами жирної кислоти приблизно вдвічі більша за енергію взаємодії активних груп жирних кислот у димерах. Однак у деяких випадках ПАР можуть адсорбуватися на твердих поверхнях без руйнування міцел (міцелярна адсорбція).

Можливість такої адсорбції пояснюється наявністю у самих міцел заряду певного знаку [1]. Процеси адсорбції та міцелоутворення ПАР пов'язані між собою: існує ряд емпіричних формул, що пов'язують роботу (енергію) міцелоутворення з роботою (енергією) адсорбції. Доведено також, що металеві поверхні ініціюють міцелоутворення в розчинах ПАР. Зміна стану поверхні металу в результаті адсорбції ПАР дуже важлива для вирішення корозійних проблем у хімотології [4, 8].

Енергія взаємодії адсорбованих ПАР із металом визначається роботою адгезії, тобто тією роботою, яку необхідно витратити на відрив адсорбційного шару нафтопродукту від металу. Енергія міжмолекулярної атракційної взаємодії молекул ПАР між собою в адсорбційному шарі визначається роботою когезії, тобто роботою розриву стовпа нафтопродукту, маслорозчинного ПАР з утворенням двох нових поверхонь розділу [9].

Адгезія, когезія та розтікання нафтопродуктів по металевій поверхні мають велике практичне значення. Крім того, ці величини безпосередньо пов'язані з в'язкісно-температурними та реологічними характеристиками мастильних матеріалів, а також з усіма їх функціональними, зокрема із захисними властивостями [1].

Так, адгезійно-когезійні взаємодії, поряд з адсорбційно-хемосорбційними, мають вирішальне значення для оцінки захисних властивостей інгібованих тонкоплівкових покриттів. Для інгібованих

тонкоплівкових покриттів, а також захисних мінеральних і синтетичних оливо, призначених для захисту від корозії прихованих перерізів машин, важкодоступних деталей і вузлів, різних металовиробів, що мають мікрозасори, для просочення і консервації металокерамічних виробів необхідні оливи з гарним розтіканням по металу.

Правомірність поділу МІК на анодні (донори електронів), катодні (акцептори електронів) та екрануючі (адсорбційної дії) підтверджується результатами численних досліджень [4, 9].

Так, в роботі [8] сульфонати відносять до класу донорів електронів (анодних ПАР), жирні аміни та їх похідні – до класу акцепторів електронів (катодних ПАР). За існуючими уявленнями, на активних для даного інгібітора ділянках металу (анодних і катодних) відбувається хемосорбція, а решта поверхні покривається адсорбційною плівкою тим міцнішою, чим тісніше змикання вуглеводневих ланцюгів екрануючих інгібіторів і чим розгалуженіші вуглеводневі ланцюги.

*Маслорозчинні інгібітори доноридної (анодної) дії.* МІК донорної дії (анодні інгібітори) містять у своєму складі групи з сильним негативним сумарним електронним ефектом. Електрони цих груп переходять до металу та стають частиною його електронного газу [6]. На поверхні металу, згідно з [10], утворюється позитивний шар диполів, контактна різниця потенціалів (КРП) підвищується, робота виходу електрона зменшується. При цьому змінюється фізико-хімічна та енергетична характеристика поверхні металу.

Електронографічні дослідження та обробка електронограм методом фазового аналізу дозволили встановити, що інгібітори донорної дії різко змінюють фазовий склад поверхневого шару металу. І тут починають переважати продукти взаємодії металу з киснем активних груп ( $\text{NO}_2$  чи  $\text{SO}_3\text{Me}$ ) [4, 7]. При протіканні процесів електрохімічної корозії такі сполуки адсорбуватимуться і утворюватимуть хемосорбційні сполуки на анодних ділянках металу, що кородує [2, 7].

МПК акцепторної дії (катодні інгібітори) містять у своєму складі групи з позитивним сумарним електронним ефектом:  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}$ ,  $\text{Me}$ ,  $-\text{OH}$  і т.д. Вони утворюють хемосорбційні сполуки, атоми азоту яких часто вступають у координаційний зв'язок з атомами кисню окисних плівок [2, 6].

Багатокатодні МПК добре захищають чорні метали, але посилюють хімічну та електрохімічну корозію кольорових металів. Це пов'язано з тим, що аміни, амідні, іміди здатні утворювати з іонами міді, свинцю, нікелю, кобальту, магнію маслорозчинні комплексні сполуки [4].

ПАР донорної та акцепторної дії можуть утворювати хемосорбційні фази в результаті як хімічної, так і електрохімічної реакції з металом [2, 4].

*Комбіновані інгібітори.* В КМПК екрануючі ІК забезпечують швидке початкове зневоднення – видалення води з поверхні металу за рахунок Н-зв'язків, солюбілізації та ін., та утримання її в об'ємі продукту [3]. На поверхні металу, що звільнилася від води, відбувається сорбція донорних і акцепторних інгібіторів, що створюють міцні хемосорбційні плівки як на негативних металах або їх ділянках (катадах), так і на позитивних (анодах), з подальшим захистом цих плівок більш «товстими» шарами інгібіторів адсорбційного типу («структура сендвіча») [2, 3, 4]. Слід зазначити, що у двигунах і механізмах, анодними ділянками відносно сталі, зазвичай, стають кольорові метали – свинець, магній, алюміній, сплави. Тому, у разі макрооб'єктів, на цих металах відбувається переважно сорбція інгібіторів донорної дії, які захищають кольорові метали від корозії, а не підсилюють її як акцепторні [2, 9, 11].

Плівки на поверхні металу знаходяться в динамічній рівновазі: вони можуть руйнуватися з часом водою; хімічні та електрохімічні процеси можуть розвиватися та поглиблюватися або, навпаки, припинятися; плівка може руйнуватися механічно при терті тощо. Ці плівки гальмують електрохімічні корозії, викликаючи анодну або катодну поляризацію металу [3]. Однак ці електрохімічні явища розглядаються в цьому випадку лише як вторинні процеси, що викликаються адсорбцією та хемосорбцією. Під час

створення всіх сучасних комбінованих присадок враховується «принцип швидкодії» [2, 11].

Величезна номенклатура закордонних рідких захисних мастил на ринку представлена консерваційними речовинами ANTICORIT (DF, DF1, DFO1, DFL, DFG, DFB, 15N68, 5012 S, BW366) концерну FUCHS (Німеччина); FERROCOAT N 6888-V концерну QUAKER CHEMOCAL (Голландія); PREVOX 6764 (Німеччина) та ін.

Фірмою Clariant International Limited (Німеччина) розроблено інгібітор корозії, що містить солі азотистих основ N-ацилметіоніну. Інгібітор має високу біорозкладність і низьку токсичність [12].

Німецька компанія BASF Aktiengesellschaft опублікувала в бюлетені ВОІВ антикорозійний склад, що включає 1) компонент А містить глікозид 2) компонент В – аспаргат, що є продуктом полімеризації аспаргінової кислоти, наприклад, з жирною, багатоосновною карбоновою кислотою або її ангідридом [8].

Фахівцями фірми Cortec Corporation (США) запатентовано біорозкладний інгібітор корозії, що містить 90...99% бензоату амонію і 1...10% однієї або декількох присадок, вибраних із групи: оксид кремнію, тріазоли, ПАР [1].

Американська фірма Polymer Alloys LLC запропонувала при захисті металевих виробів, що знаходяться на тривалому зберіганні в атмосферних умовах, наносити на них п-(p-толуолсульфоніламідо)-дифеніламін.

У Франції створено антиоксидуючу ультратонку плівку для догляду за зовнішньою поверхнею зброї, що містить 10% толуолу, 6% поліметилметакрилату, 3% поверхнево-активного діаміну з ненасиченими функціональними групами та 81% етилацетату [1, 2].

Японською фірмою Johoku Kogaku Kogyo Kk запатентовано інгібітор корозії міді та її сплавів, що містить бензотріазол, толілтріазол та амінометилтріазол [11].

Спеціалістам Фірми Fudo Kohan Kogva Kk (Японія) створений інгібітор, що є сумішшю 8% летючого інгібітора корозії – циклогексилциклогексаміну або циклогексилбензоламіну, 16% розчину н-пропанолу і 76% консерваційної оливи [6].

Аналіз науково-технічної, патентної та проспектно-каталожної інформації показав, що в галузі захисту автотракторної техніки від атмосферної корозії найбільш ефективними є: інгібовані, рідкі захисні оливи та речовини на основі маслорозчинних інгібованих складів.

Дефіцит вітчизняних консерваційних речовин спричинений кількома причинами. Однією з них є відсутність науково обґрунтованої концепції їх створення, що призвело до появи складних багатокомпонентних композицій, що містять від 5 до 18 монофункціональних інгредієнтів, які характеризуються низькою технологічністю при виробництві та застосуванні [3, 4].

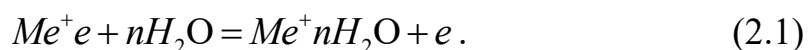
Багато консерваційних складів в даний час не випускаються через відсутність складових компонентів, наприклад, припинено виробництво СЖК фракції С17-С20 і вище, що є сировиною для виробництва великої групи маслорозчинних ПАР, в тому числі і ІК.

В останні роки найбільш перспективною є концепція створення малокомпетентних консерваційних олив на олійній основі на базі однокомпонентних маслорозчинних інгібіторів корозії металів, що належать до 4 класу небезпеки.

## РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗБЕРІГАННЯ ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ АВТОТРАКТОРНОЇ ТЕХНІКИ ЗАСТОСУВАННЯМ РОБОЧО-КОНСЕРВАЦІЙНОГО СКЛАДУ

### 2.1. Механізми корозійних руйнувань поверхонь деталей паливної системи

За наявності на металевій поверхні тонкої плівки води відбувається електрохімічна корозія. Механізм дії електрохімічної корозії розроблено в роботі [12]. За наявності електроліту на металі протікає два процеси: анодний процес – перехід іонів металу в розчин та їх гідратація:



Катодний процес – асиміляція електронів деполяризатором Д, який присутній у розчинах, тобто атомом або іоном, що відновлюється на катоді з поглинанням електрону:

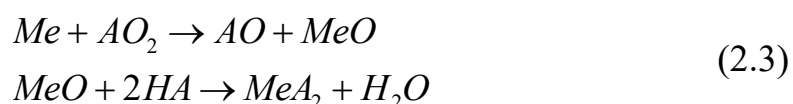


Найчастіше корозія протікає по електрохімічному механізму, тобто з диференціацією катодних та анодних процесів на окремих відносно постійних ділянках металу. Разом з тим, за певних умов анодні і катодні процеси можуть протікати на одній й тій самій ділянці, чергуючись у часі, тобто за гомогенно-електрохімічним механізмом.

Хімічна корозія металу протікає серед нафтопродуктів, що містять сірчисті сполуки (меркаптани, сульфідні та ін.).

З усіх сірчистих сполук, що містяться в паливі, найбільшу корозійну агресивність має сірководень, елементарна сірка та меркаптани. Ефект корозії сірчастого палива посилюється за наявності розчиненої у паливі вологи.

Механізм хімічної корозії може бути виражений у вигляді наступної схеми:

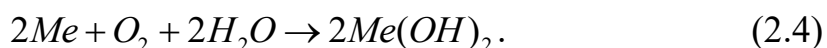


де  $Me$  – метал;  $AO_2$  – органічний перекис;  $HA$  – органічна кислота;  $AT$  – кетон або інший продукт відновлення перекису.

Якщо корозія зовнішніх поверхонь, переважно, є електрохімічною, то корозія внутрішніх поверхонь протікає по змішаному електрохімічному і хімічному механізму.

Корозія протікає за такою схемою:

Електрохімічна корозія



Хімічна корозія



Поєднання електрохімічного та хімічного процесу корозії призводить до найбільшого корозійного зношування внутрішніх поверхонь.

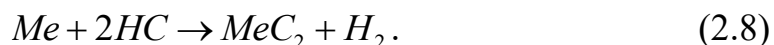
Корозійне зношування металу в дизельному паливі протікає за наступною реакцією:



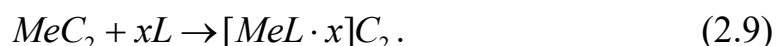
На цю реакцію діє середовище (С). В даному випадку – агресивні компоненти палива:



До цього слід додати, що середовище може реагувати з продуктами корозії з утворенням на поверхні металу захисного шару, що гальмує процес корозії:



Утворення комплексів може призвести до розчинення продуктів корозії і цим прискорити процес корозії.



Швидкість електрохімічного процесу розчинення металу в дизельному паливі складається з кількох послідовних стадій:

– проникнення вологи в середовище (дизельне паливо);

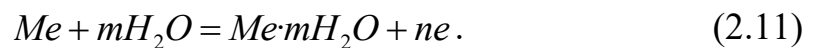
- дифузія вологи до металу;
- адсорбція вологи з агресивними складовими на поверхні;
- анодна реакція утворення гідратованого іону металу.

Загальна швидкість процесу окислення складатиметься зі швидкостей зазначених процесів.

Визначальною стадією процесу є електрохімічний процес розчинення металу. Метал є донором електронів, і на його поверхні протікає анодна реакція:



Анодний процес електрохімічної корозії полягає в іонізації металу:



Реакція, яку називають катодною деполяризацією, протікає за участю компонентів електропровідного середовища. В якості компонентів останнього найчастіше служать водні розчини кислот, лугів або солей.

Акцепторами електронів можуть бути або іони  $H^+$ , або молекули  $H_2O$  (воднева деполяризація) [9]:

- у кислих розчинах  $H_3O + e = H^+ + H_2O$ ;
- у лужних розчинах  $2H_2O + 2e = H_2 + 2OH^-$ ;

або молекули  $O_2$  (киснева деполяризація):

- у нейтральних та лужних розчинах  $O_2 + 2H_2O + 4e = 4OH^-$ ;
- у кислих розчинах  $O_2 + 4H^+ + 4e = 2H_2O$ .

При кисневій деполяризації катодний процес відновлення  $O_2$  включає такі стадії: розчинення кисню повітря в електроліті; перенесення розчиненого кисню об'ємом електроліту до поверхні металу; іонізація кисню; масоперенесення іонів  $OH^-$  від металу вглиб електроліту [9].

Відмінною особливістю електрохімічної корозії є мала товщина шару електроліту на поверхні металу, що кородує.

Електролітом при цьому є як сама волога, так і зволожений шар продуктів корозії металу.

Раніше експериментально встановлено, що катодна реакція може протікати з високою швидкістю, коли поверхня металу має близько 5...10 молекулярних шарів вологи.

Постійна конденсація вологи на внутрішній поверхні паливного бака забезпечує значну вологість. Агресивні компоненти палива сильно підвищують корозійну активність електроліту. Для оцінки швидкості процесу корозії необхідно мати уявлення про характер, механізм і швидкість реакції електрода, що визначає процес руйнування металевої конструкції. Швидкість електрохімічної реакції на електроді найкраще оцінити за зміною потенціалу електроду, коли через нього протікає струм. Основний метод при цьому – побудова поляризаційних кривих, тобто кривих залежності електродного потенціалу від щільності струму.

У процесі корозії, в результаті електрохімічних реакцій, електрони переміщуються від анодних до катодних ділянок та іонів в розчині. Кількість електричної енергії, що протікає за певний час від анода до катодної області, еквівалентна швидкості корозії.

Відповідно до закону Фарадея, кількість металу, що перейшов у розчин в результаті анодного процесу, виражається формулою:

$$g = \frac{QA}{Fn} = \frac{ItA}{Fn}, \quad (2.12)$$

де  $Q$  – кількість електричної енергії;  $I$  – сила струму;  $F$  – константа Фарадея;  $n$  – валентність металу;  $A$  – атомна вага металу.

Швидкість корозії, виражена в  $\text{г/м}^2 \cdot \text{год}$ , дорівнює:

$$K = \frac{g}{St} = \frac{3600IA}{FnS}, \quad (2.13)$$

де  $S$  – поверхня анодних ділянок,  $\text{м}^2$ ;  $t$  – 3600 с – час корозії.

Для визначення швидкості корозії необхідно визначити силу корозійного струму. Сила корозійного струму в момент замикання ланцюга визначається формулою виду:

$$I = \frac{E_k^o - E_a^o}{R}, \quad (2.14)$$

де  $E_k^o$  – початкове значення потенціалу катода до замикання ланцюга;  $E_a^o$  – початкове значення потенціалу анода до замикання ланцюга;  $R$  – омичний опір системи при малому омичному опорі елемента

$R$  з плином часу змінюється незначно, спостерігається зменшення сили корозійного струму і зміщення початкових потенціалів катода  $E_k^o$  та аноду  $E_a^o$  при усталеному значенні корозійного струму.

Корозійний струм, що встановився, визначає за формулою:

$$I = \frac{E_k - E_a}{R} = \frac{E_k^o - E_a^o}{k + P}, \quad (2.15)$$

де  $P$  – поляризаційний опір.

Поляризаційний опір знижує швидкість корозійних процесів.

Для вивчення швидкості та характеру електродних процесів, електрод штучно навантажують струмом певної величини та вимірюють при цьому потенціал досліджуваного електрода. Залежність потенціалу електрода від щільності струму, що проходить через нього, зображують графічно у вигляді поляризаційних кривих [9, 12, 14].

2.2. Аналіз корозійного зношування елементів паливної системи в процесі тривалого зберігання

З аналізу літературних даних [1, 3, 5] видно, що дизельне паливо розбавляється внаслідок хімічних та електрохімічних процесів і корозії частин паливної системи, які переважно виготовлені з вуглецевої сталі.

Дослідження проводили на автомобілях різних марок, що знаходяться на тривалому зберіганні, в різних кліматичних зонах та умовах зберігання [6, 11, 12].

Результати досліджень і випробувань паливних баків дозволяють зробити наступні висновки:

- менше корозії в паливних баках за рахунок тривалого зберігання автомобіля на відкритих майданчиках;

- у автомобілях із заправленими паливними баками, після спуску відстою у всіх випадках спостерігалася присутність води, продуктів корозії та інших забруднень. Основну масу забруднень становили продукти корозії металу, переважно  $Fe$ , і продукти мінерального походження, такі як  $Si$ ,  $Al$ ,  $Ca$ ,  $Mg$ . В окремих випадках об'єм води у відстої склав від 300 до 700 мл;

- в автомобілях з порожніми паливними баками спостерігається суцільна корозія, в окремих випадках групові скупчення. Частина баків мали рівномірну корозію;

- найбільші корозійні пошкодження виникли у верхній горизонтальній частині бака. Це пов'язано з тим, що з верхньої частини резервуара постійно надходить кисень з повітря, що сприяє інтенсивному окисленню металу.

Для більш глибокого вивчення корозії 10 паливних баків були розрізані. В баку із суцільною корозією найбільше скупчення корозійних елементів спостерігалася біля зварного шва. Це можна пояснити тим, що метал околошовної зони нагрівається вище критичної температури і відбуваються структурні зміни його під час остигання. Внаслідок цього виникає концентрація напружень, яка сприяє більш інтенсивному розвитку корозійних процесів.

З бака, що має пластову корозію глибиною до 0,2 мм, вирізали на гільйотині пластинки, розміром 300×20 мм з наступним їх перегином.

Паралельно здійснили перегини Ст. 08кп товщиною 1,2 мм, що застосовується для виготовлення паливних баків. Виявилось, що метал уражений корозією, витримав лише 23 перегини, тоді як нова пластина витримала 30 перегинів [9].

Цей експеримент був зроблений ще 5 разів на таких самих пластинках. Щоразу кількість перегинів на прокородованій пластині виявлялась менше на 12...13%, ніж на пластинках із сталі, що не уражена корозією.

З цього можна дійти невтішного висновку, що циклічна втома чистого металу вище, ніж досліджуваного металу, ураженого корозією. Ряд дослідників [2, 4, 12] показує, що вуглецева сталь, що уражена корозією, знижує свою первісну міцність до 30...40%.

Прокородована поверхня після розрізання баків оцінюється в межах 7...10 корозійного балу.

Як видно з аналізу 10 розрізаних баків, глибина корозійних уражень при тривалому зберіганні досягає 0,2 мм.

За попередніми результатами швидкість корозії випробуваної сталі дизельному паливі становить 0,05 мм/год.

Така швидкість корозії не становить небезпеки для паливного бака при його товщині 1,2 мм з точки зору його повного руйнування.

Якщо прийняти, що корозія поширюється рівномірно, то така її швидкість не може вивести повністю з ладу паливний бак, розрахований на 8...10 років експлуатації.

Насправді внаслідок нерівномірності характеру корозії швидкість процесу в окремих точках коливається і може досягти величини в 10 разів вище, ніж на іншій поверхні, що є лімітуючим для визначення терміну служби паливного бака в цілому.

Згідно з теорією електрохімічної корозії [4], процес руйнування металів в електролітах є результатом діяльності локальних мікроелементів, що утворюються на поверхні металу внаслідок його структурної неоднорідності [6, 10, 13].

Аналіз літературних даних [5], присвячених вивченню поведінки вуглецевої сталі в сірчистому дизельному паливі показує, що недостатньо проводилося дослідження у двофазному середовищі «дизельне паливо-вода».

У літературі, на жаль, відсутній показник швидкості корозії вуглецевої сталі 08кп та Ст 3 в обводненому дизельному паливі.

Дослідженнями, проведеними, особливо в останні роки, показано, що у забрудненнях паливних баках, фільтрах грубого та тонкого очищення дизельних двигунів майже половина бруду – це продукти корозії.

Паливні баки дизельних двигунів не мають захисних покриттів, а забруднення дизельного палива безпосередньо в баках відбувається значною мірою за рахунок продуктів корозії [9].

Внаслідок попереднього обстеження в паливних баках виявлено значну кількість води. Частина води потрапляє після конденсації вологи з внутрішніх поверхонь баків. Обводнення відбувається також під час заправки. Крім того, паливо обводняється в цистернах, під час зберігання та транспортування. У зв'язку з тим, що в господарствах немає достатньої кількості резервуарів для 10-добового відстою, дизельне паливо доводиться зливати з резервуарів без відстою. При черговому зливі палива з резервуара відбувається перемішування його разом із відстоєм, що збільшує кількість води у паливі [4].

У паливних баках, особливо великої ємності, відбувається дихання бака при витрачанні палива. При цьому чим менше палива в баку, тим більше потрапляє в нього зовнішнього повітря. Повітря заносить у бак пил та вологу.

Обводнене паливо проникає у фільтр грубої та тонкої очистки. Роботами [6, 8] у відстійниках фільтрів виявлено до 100...150 мм води. При цьому, вода не тільки забезпечує корозійний вплив на метал, а й ускладнює роботу фільтрів. Волога на поверхні збирає забруднення та сприяє швидкій забивці фільтрів.

Крім того, вода у паливі не тільки безпосередньо впливає на метал, а й прискорює окислення сірчистих сполук до корозійно-агресивних сульфокислот, а це, в свою чергу, посилює хімічну реакцію.

Отже, хімічної корозії завжди передують тривала електрохімічна корозія. Комбінація цих видів корозії можлива при появі умови максимального зносу внутрішньої поверхні паливних баків.

Продукти корозії паливного бака під час руху машини в результаті вібрації відриваються, частково подрібнюються і завжди перебувають у зваженому стані порожнини бака. Крім того, що продукти корозії засмічують трубопроводи, викликаючи внутрішні прості, вони проникають в паливну апаратуру і надають помітне зношування частин, що труться [1, 3]. Найбільші частинки осідають у фільтрах, виводячи їх передчасно з ладу. Дрібні частинки, міняючи фільтри, проходять далі, потрапляючи в паливну апаратуру, заклинюються в зазорах, викликаючи задири робочих поверхонь і призводять до швидкого зносу.

Як вказувалося вище, частка продуктів корозії в паливних баках та інших забруднень приблизно однакова, але вже у фільтрах грубого та тонкого очищення частка сполук заліза збільшується. Це зумовлено тим, що у фільтрах грубого та тонкого очищення затримуються великі частинки продуктів корозії, а основна дрібнодисперсна маса проникає далі в прецизійні пари паливної апаратури.

Внаслідок передчасних зношень падає тиск при подачі палива в циліндри, скорочуючи тривалість упорскування, зменшується подача палива на робочий цикл, погіршується розпилення палива. Форсунки підтікають, на них утворюється наліт коксу. Внаслідок несправної паливної апаратури знижується потужність двигуна [5].

Таким чином, встановлено, що внутрішні поверхні паливних баків зазнають значних корозійних руйнувань з таких причин:

- відсутність захисних покриттів;
- вплив агресивних факторів що містяться в паливах;
- потрапляння вологи в паливну систему;
- обводнення палива при зберіганні;
- відсутність ефективних захисних матеріалів..

## РОЗДІЛ 3 МАТЕРІАЛИ, ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 3.1. Контактний маслорозчинний інгібітор корозії

Аналіз зберігання автотракторної техніки дозволяє зробити висновок про необхідність використання робоче-консерваційного палива для забезпечення зберігання паливної системи.

Для всіх антикорозійних матеріалів існує вимога захисту металів від корозії в умовах кліматичних (погодних) факторів, а також внутрішніх факторів, викликаних корозійною агресивністю палива. Корозійна агресивність палива в умовах зберігання тісно пов'язана з його антиоксидантною стійкістю, оскільки причиною корозії є кислоти і активні сполуки сірки, що виникають в результаті окислення палива.

Проведені дослідження показали, що захист паливної системи автотракторної техніки, що використовує сірчане дизельне паливо, можна досягти шляхом додавання в паливо розчинного інгібітора корозії.

Додавання в паливо інгібіторів не впливає на його фізичні, хімічні та експлуатаційні властивості.

Робоче-консерваційне паливо не треба зливати з автотракторної техніки при знятті зі зберігання та заливати штатне, тобто техніка готова до використання за призначенням.

Маслорозчинні інгібітори представлені рядом сполук, найбільшого поширення набула нітрована олія, що залужена їдким натром.

Присадки, одержувані нітруванням нафтопродуктів, застосовуються в композиціях, моторних оливах, паливах та мастилах.

На основі дешевої та доступної нітрованої оливи була отримана присадка – інгібітор корозії АКОР-1. В якості основи такої присадки використовується олія АС-9,5 або ДС-8, що оброблена 30...40% азотною кислотою. Вміст активної речовини у такій оливі становить 8...12%.

Залужування кислотої нітрованої оливи гідроксидом кальцію в різних композиціях, сприяє підвищенню зольності та лужності присадки внаслідок утворення колоїдних комплексів [9].

Дослідженнями було встановлено, що присадки типу АКОР є ефективними маслорозчинними інгібіторами корозії. Вони захищають чорні метали не тільки у присутності води, а й у присутності кислих сполук, що утворюються у процесі роботи оливи.

Результати дослідження в якості присадки нітрованих олив показали, що вони значною мірою знижують корозійну агресивність сірчистого дизельного палива. Вони з успіхом можуть використовуватися як антикорозійні присадки для систем з деталями з чорних металів.

Дещо гірше ці присадки захищають від корозії латунь.

Досліди в прискорених лабораторних умовах показали, що найкращою з досліджених нітрованих присадок є нітрвана олива, що нейтралізована водним розчином аміаку. У концентрації 0,01% ця присадка забезпечила 100% захист сталі, але слабо захищає латунь [4].

Нітровані оливи, що нейтралізовані їдким натром та аміаком, повністю захищають сталь від корозії сірчистим дизельним паливом.

Дещо гірші результати показали нітровані оливи, що нейтралізовані  $Ca(OH)_2$  і  $PbO$ . При запровадженні цих присадок було забезпечено захист сталі ШХ-15 на 70...90%. Таке зниження корозії можна вважати задовільним, оскільки введенням цих присадок було досягнуто рівня корозії малосірчистим дизельним паливом – 0,34 г/м<sup>2</sup> [11].

На підставі проведених 10-річних натурних випробувань експлуатуючими автотракторну техніку підприємствами було встановлено, що введення інгібітору АКОР-1 у дизельне паливо збільшує масову частку сірки залежно від його концентрації та може становити від 35 до 178%.

Це сприяє збільшенню кількості важкозвивних відкладень на поверхнях, що нагріваються, деталей системи живлення паливом, що призводить до зменшення зазорів плунжерних пар і форсунок. Тому застосування ІК АКОР-1 недоцільно використовувати у складі робоче-консерваційного палива, оскільки збільшення кількості сірки негативно впливає на антикорозійні властивості.

### 3.2 Вибір та розробка захисних матеріалів для вирішення завдань дослідження

Великий інтерес в якості інгібіторів корозії представляє борат амідів жирних кислот [4]. Наведемо коротку характеристику фізико-хімічних властивостей реактивів, що складають рецептуру.

*Амінокислоти.* ЕА (амінокислоти) як і великотоннажні продукти нафтохімічного синтезу з окису етилену, пропілену, аміаку, алкіламінів широко використовуються для поверхнево-активних речовин (ПАР).

Відомі такі ЕА, що випускаються промисловістю [7]: моноетаноламін (МЕА), діетаноламін (ДЕА) та триетаноламін (ТЕА). Для виробництва маслорозчинних інгібіторів застосовують ДЕА.

*Борна кислота.* Вміст бору в земній корі  $5 \cdot 10^{-3} \%$  за масою. У вільному стані бор у природі не знайдений, він зустрічається у вигляді різних боратів: бури  $Na_2B_4O_7 \times 10H_2O$ , керніту  $Na_2B_4O_7 \times 4H_2O$ , уленситу  $NaCaB_5O_9 \times 8H_2O$  та ін. Світові запаси бору близько 100 млн. т. З природної сировини елементний бор видобувають у кілька стадій.

Окисленням природних боратів  $H_2SO_4$  виробляють борну кислоту, при термічному розкладанні якої утворюється борний ангідрид. При відновленні борного ангідриду магнієм утворюється аморфний бор.

Кристалічний бор може бути отриманий термічним розкладанням галогенідів при  $1300^\circ C$  або їх відновленням  $H_2$  при  $1000 \dots 1600^\circ C$ . Кристалічний бор можна отримати також електролізом боратів.

Чистий кристалічний бор має сірувато-чорний колір, температуру плавлення  $2300^\circ C$ , температуру кипіння  $2550^\circ C$ , за твердістю кристалічний бор займає друге місце після алмазу.

Хімічно досить інертний, причому кристалічний бор менш активний, ніж аморфний. На зовнішній оболонці знаходяться три електрона, тому в тривалентних з'єднаннях він не має повного електронного октету і має велику спорідненість до електронно-донорних реагентів, утворюючи з ними молекулярні сполуки, внаслідок чого бор стає тетракоординаційним і

набуває тетраедричну конфігурацію. Атоми бору здатні утворювати міцні хімічні зв'язки між собою і з багатьма іншими елементами.

Елементний бор застосовується для борування сталі з метою підвищення її зносостійкості та стійкості проти корозії, для отримання борного волокна, яке в поєднанні з полімерною і металевими матрицями використовується при створенні композиційних матеріалів для конструкцій, що працюють при температурі до 600°C.

В даний час зростає інтерес до сполук бору, які використовуються як ІК. Вони можуть бути як неорганічного, так і органічного походження.

*Жирні кислоти.* Рослинні олії отримують з олійних рослин. Вони є тригліцеридами переважно нерозгалужених одноосновних жирних кислот. До складу тригліцеридів можуть входити залишки однакових або різних жирних кислот, що зазвичай містять 18 (рідше 16) атомів вуглецю і відрізняються за кількістю і положенням подвійних зв'язків (ізольовані або сполучені), що сильно впливає на здатність олії до висихання (аутоокислювального затвердіння).

До складу рослинних олій входять головним чином залишки довголанцюгових одноосновних насичених і ненасичених кислот з парним числом атомів. З насичених кислот у оліях найчастіше зустрічаються міристінова ( $C_{14}$ ), пальмітинова ( $C_{16}$ ), стеаринова ( $C_{18}$ ), арахінова ( $C_{20}$ ), бегенова ( $C_{22}$ ).

Інгібітор корозії отримується при реакції ненасичених жирних кислот з моноетаноламіном або діетаноламіном, і, відповідно, є результатом реакції аміду з борною кислотою.

Жирні кислоти, що використовуються в аналізованому синтезі, в основному містять від 16 до 22 атомів вуглецю і можуть бути насиченими або ненасиченими: додекановими (або лауриновими) кислотами, 16-метил-гептадекановими (ізостеариновими) кислотами, 9-октаденовими, (9, 12)-октадекадієновими (ліноленовими) кислотами та (9, 12, 15)-октадекатрієновими (ліноленовими) кислотами, що відносяться до цього

класу сполук: переважні 9-октадеканова кислота і 16-метил-гептадеканова кислота.

Синтез протикорозійних захисних речовин відбувається при реакції жирної кислоти з моноетаноламіном або діетаноламіном в еквімолекулярному об'ємі, в сухому стані, при температурі від 140°C до 170°C, за час від 6 до 10 годин, а отримана вода дистилується.

Нагрівання жирної кислоти та етаноламіну при 170°C призводить до утворення етаноламідів, який потім конденсується з борною кислотою.

При додаванні бензотриазолу до отриманого борату етаноламідів жирної кислоти виходить аміноборатний комплекс, що забезпечує захист чорних та кольорових металів. Цей процес можливий завдяки тому, що атом бору є координаційно ненасиченим і виступає в ролі акцептора електронів (кислота Льюїса), оскільки має одну вільну р-орбіталь. У той час як один з атомів азоту бензотриазолу, маючи неподілену пару електронів, є донором (основа Льюїса). Між атомами бору та азоту виникає координаційний зв'язок, що призводить до утворення відповідного аддукту [9].

Для отримання інгібітору корозії з більш високими захисними властивостями пропонується використовувати суміш борату амідів жирних кислот (АЖК) та АКОР-1.

Синергетичний ефект інгібіторів пояснюється різними хімічними та фізико-хімічними властивостями, що доповнюють один одного. У водно-сольових розчинах катодний інгібітор АЖК адсорбується на поверхні сталі за допомогою вільної пари електронів атомів N-амідної групи та атомів гідроксильних груп. Антикорозійна плівка, що утворюється з поверхнево-активної речовини, ускладнює доступ деполяризатора до поверхні металу, скорочуючи, таким чином, площу катодних ділянок. У свою чергу, анодний інгібітор АКОР-1 завдяки окисному впливу нітро-групи сприяє утворенню нерозчинної оксидної плівки. Відбувається пасивація металу, що зменшує площу анодних ділянок поширення корозії.

Можна припустити, що в початковий момент часу обидва інгібітори, що складають композицію, знаходяться приблизно в рівних умовах і, конкуруючи, адсорбуються на поверхні сталі одночасно. Потім анодний інгібітор, виступаючи у ролі окислювача, переводить атоми заліза в іонну форму. Іони заліза, у свою чергу, утворюють координаційний зв'язок з електродонорними атомами катодного інгібітора, що призводить до його хемосорбції та відповідно до міцнішого утримання молекул даного інгібітора на поверхні металу. Таким чином, синергетичний ефект обумовлений тим, що анодний інгібітор сприяє найкращій адсорбції катодного інгібітора.

Композиція із двох інгібіторів корозії за характером захисної дії відноситься до змішаних інгібіторів.

### 3.3 Конструкційні матеріали, що застосовуються у паливній системі

Вибір матеріалів для проведення досліджень здійснюється з переліку матеріалів, що застосовуються на даний момент у системі підготовки та подачі палива на автомобілях КАМАЗ, на прикладі КАМАЗ 65117 (використовується як шасі для зерновогоза) з двигуном КАМАЗ ЄВРО 4.

### 3.4. Програма, методики та обладнання для проведення випробувань

Вивчення механізму корозійних процесів можна здійснювати шляхом фіксації кількості продуктів корозії та зміни міцності виробів з металу.

На практиці існує два завдання: визначення корозійної стійкості конструкційних матеріалів, в залежності від експлуатаційних факторів, та оцінка ефективності захисних матеріалів.

Дослідження корозійних процесів можна моделювати на зразках металів при варіюванні кліматичних факторів (лабораторні випробування), зразках техніки у процесі експлуатації (натурні випробування).

Випробування в процесі експлуатації дозволяють оцінити надійність машин, котрі отримали корозійні руйнування деталей та елементів конструкції.

*Методики дослідження антикорозійної ефективності РКП у лабораторних умовах.* Зразки робочих електродів зі сталі Ст3 полірували механічно та хімічно (3% розчин  $HNO_3$  в етанолі) з подальшим знежиренням ацетоном та етанолом. Площа робочого електрода становила  $1,2 \text{ см}^2$ .

Допоміжний електрод зі сталі Ст3 мав набагато більшу площу в порівнянні з робочим електродом за допомогою розвиненої поверхні. Поляризаційні вимірювання проводили у триелектродному осередку без поділу катодного та анодного просторів при температурі  $22^\circ\text{C}$ .

Електродом порівняння служив хлорсрібний електрод, що був розміщений в капілярі Габера-Луггіна. Потенціали у роботі наведені відносно потенціалу хлорсрібного електрода. В якості фонового розчину використовувався  $0,5\text{M}$  розчин  $Na_2SO_4$  (рН 6,83). Джерелом сигналу служив потенціостат ІРС-Pro M, що працює у потенціостатичному режимі.

Розгорнення потенціалу здійснювалось зі швидкістю  $0,169 \text{ мВ/с}$ . Встановлення потенціалу вільної корозії відбувалося протягом 10 хвилин. На поверхні робочих зразків-електродів досліджувані склади наносили зануренням при температурі  $22^\circ\text{C}$ , після чого зразки витримували на повітрі протягом 40 хвилин при цій же температурі і поміщали в електрохімічну комірку з фоновим розчином. Робочий електрод витримували до постійного кінетично врівноваженого потенціалу.

Антикорозійні властивості інгібіторів визначали при прискорених випробуваннях згідно з ДСТУ 9.054-75 в камері соляного (морського) туману КСТ-18/001 з робочим об'ємом 530 літрів. Пластинки зі сталі марки Ст 3, розміри та якість поверхонь відповідали ДСТУ 9.054-75.

Чисті інгібітори та їх суміші наносили на сталеві зразки у складі дизельного палива (10% розчини). Контрольне дослідження №1 проводили у фоновому електроліті без оливи та інгібіторів, дослідження №2 – з дизельним паливом без інгібіторів. Час випробувань – 8 діб циклами 7/17. Оцінку захисної здатності визначали гравіметричним методом згідно з

ДСТУ 9.506-87. Видалення продуктів корозії проводили згідно з ДСТУ 9.907-2007, використовуючи спосіб С. 3.6 (водний розчин сірчаної кислоти та тіомочевини).

Швидкість корозії розраховували за формулою

$$K = \frac{\Delta m}{St}, \quad (3.1)$$

де  $\Delta m$  – втрата маси;  $S$  – площа поверхні зразка;  $t$  – час випробувань.

Ступінь захисту розраховували за формулою:

$$Z = \frac{K_i - K_1}{K_1} \cdot 100\%, \quad (3.2)$$

а коефіцієнт гальмування:

$$\gamma = K_1 / K_i, \quad (3.3)$$

де  $i$  – номер експерименту;  $K_i$  – швидкість корозії, що визначена гравіметричним способом;  $K_1$  – швидкість корозії в контрольному експерименті без захисту.

*Методика визначення якісних показників робочо-консерваційного палива.*

*Визначення вмісту сірки методом енергодисперсійної рентгенофлуоресцентної спектроскопії.* Вимірюють результуюче збуджене характеристичне рентгенівське випромінювання (рис. 3.1) і для отримання значення загального вмісту сірки у відсотках по масі або міліграмах на кілограм порівнюють отриманий сигнал лічильника імпульсів з сигналами, отриманими при випробуванні заздалегідь приготовлених калібрувальних зразків.

Даний метод випробувань забезпечує швидке та прецизійне визначення загального вмісту сірки в нафті та нафтопродуктах при мінімальній підготовці зразка. Звичайне час аналізу зразка становить від 1 до 5 хв.



Рисунок 3.1 – Енергодисперсійний рентгенофлуоресцентний спектрометр

Калібрувальні стандарти готуються ретельним змішуванням сертифікованих стандартних зразків з однією і тією ж матрицею з сертифікованими значеннями вмісту сірки та їх невизначеностями.

Точно зважують відповідну кількість розріджувача матриці і переносять у відповідний вузькогорлий контейнер. Потім точно зважують відповідну кількість ди-н-бутилсульфіду високого ступеня чистоти, переносять у той же контейнер і ретельно перемішують при кімнатній температурі.

Готують калібрувальні стандарти з концентраціями сірки, що потрапляють в один або більше з трьох стандартних діапазонів, в залежності від очікуваного рівня сірки у випробуваних зразках шляхом розведення первинних стандартів відповідним розріджувачем матриці. Стандарти також можна отримати змішуванням стандартних зразків або розведенням полісульфідної оливи.

*Методика визначення зольності.* Сутність методу полягає у спалюванні маси випробуваного нафтопродукту та прожарюванні твердого залишку до постійної маси – рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Метод визначення зольності

За результат випробування приймають середньоарифметичні результати двох паралельних визначень. Записують результат з точністю 0,001% для зразків із зольністю до 0,2% та з точністю 0,01% – для зразків із зольністю понад 0,2%.

*Визначення корозійного впливу на мідну пластинку.* Відшліфовану мідну пластинку занурюють у випробуваний зразок, що нагрівається при певній температурі та протягом часу, що встановлені для даного класу матеріалу.

Після нагрівання мідну пластинку виймають, промивають і визначають її колір та ступінь тьмяності порівнянням з еталоном для визначення корозії. Для визначення корозійного впливу на мідну пластину використовують прилад, представлений на рис. 3.3.

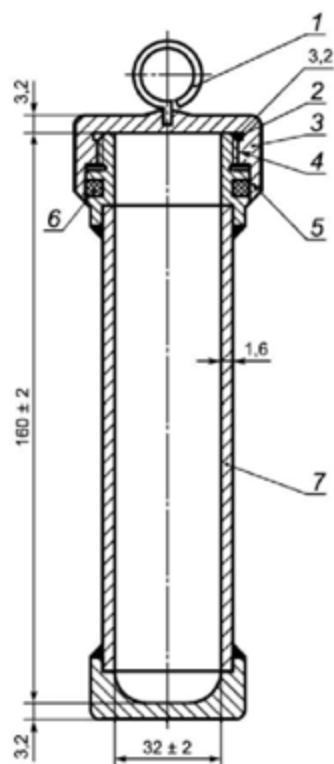


Рисунок 3.3 – Прилад для визначення корозійного впливу на мідну пластину

Для проведення випробування на мідній пластинці застосовують посуд високого тиску з нержавіючої сталі розмірами, вказаними на рис. 3.4. Посудина повинна витримувати тиск 700 кПа.

Можна використовувати різні конструкції кришки посудини та гумові прокладки, проте внутрішні розміри посудини повинні відповідати рис. 3.4. Внутрішні розміри посудини високого тиску повинні забезпечувати розміщення пробірок номінальними розмірами 25×150 мм. Пробірки із боросилікатного скла.

Внутрішні розміри перевіряють за допомогою мідної пластинки. При додаванні до пробірки з мідною пластинкою 30 см рідини над верхньою поверхнею пластинки повинен бути шар рідини заввишки не менше 5 мм.



1 – підйомна петля; 2 – широкий паз для скидання тиску; 3 – кришка; 4 – різьба; 5 – поглиблення всередині головки для захисту кільця ущільнювача круглого перерізу при закриванні посудини високого тиску; 6 – ущільнювальне гумове кільце круглого перерізу, яке не містить вільну сірку; 7 – циліндричний посуд з нержавіючої сталі (зварна конструкція; максимальний надлишковий тиск – 700 кПа).

Рисунок 3.4 – Посудина високого тиску для випробування мідної пластинки

Використовують будь-який легкий вуглеводневий розчинник із вмістом сірки не більше 5 мг/кг, якщо він не викликає потемніння всіх металів при випробуванні протягом 3 годин при температурі 50°C. При розбіжностях, арбітражним є розчинник 2,2,4-триметилпентан (ізооктан) чистотою не менше 99,75%. Для підготовки поверхні пластинки застосовують тонку металеву стружку або абразивний папір з напилюванням порошкоподібного карбїду кремнію класу 00 або менше, або тканина різної тонкості, включаючи клас 65 мкм, а також гранули або порошок карбїду кремнію з розміром частинок 105 мкм, бавовняну технічну або медичну вату.

*Визначення цетанового числа.* Цетанове число – кількісний показник займистості дизельного палива, отриманий порівнянням даного палива з еталонними паливами при випробуваннях із застосуванням стандартизованого двигуна.

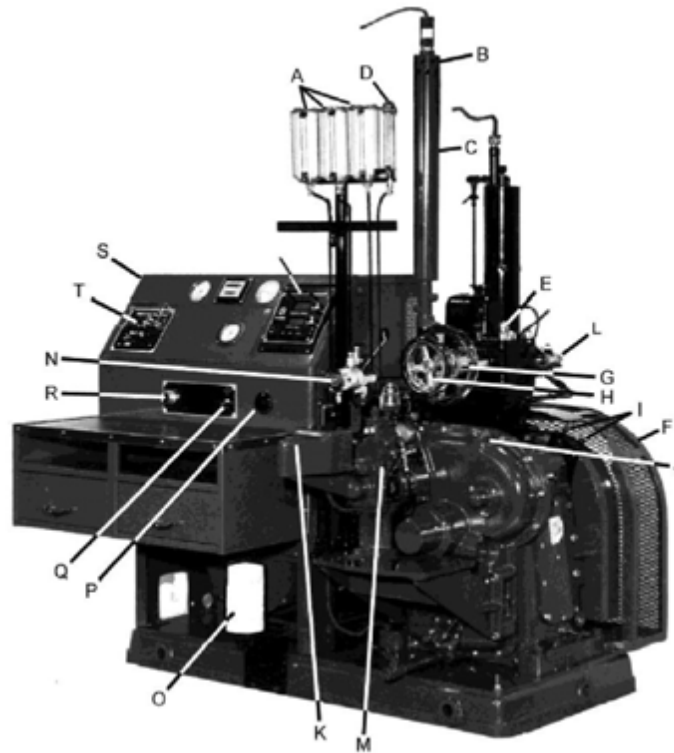
Цетанове число є показником, що характеризує залежність займистості палива від стиснення в дизельних двигунах.

Даний метод випробування призначений для використання виробниками двигунів, фахівцями в галузі нафтопереробки та постачальниками, а також в оптовій торгівлі як одна з основних характеристик палив для дизельних двигунів.

Цетанове число визначають на випробувальному двигуні форкамерного типу, що працює при постійній частоті обертання та постійному навантаженні.

Взаємозв'язок результатів, отриманих на випробувальному двигуні та повнорозмірних двигунах, що працюють зі змінною частотою обертання та змінним навантаженням, до кінця ще не визначено.

У цьому методі визначення використовували одноциліндровий чотиритактний двигун внутрішнього згоряння. Двигун з'єднаний через пасову передачу з електродвигуном, що використовується для пуску двигуна, а також як засіб для поглинання потужності для підтримки постійної частоти обертання при роботі двигуна – рис. 3.5.



А – паливні баки; В – кожух нагрівача повітря; С – глушник повітрозбірника; D – бюретка вимірювання витрати палива; Е – датчик займання; F – захисна огорожа; G – ручний маховик плунжера змінного ступеня стиснення; H – стопорне колесо плунжера змінного ступеня стиснення; I – датчики маховика; J – кришка маслоналивної горловини; K – соленоїд аварійного відключення паливного насоса високого тиску; L – форсунка; M – паливний насос високого тиску; N – селекторний клапан перемикавання паливних баків; O – масляний фільтр; P – контроль нагрівача моторної оливи; Q – перемикач нагрівача повітря; R – перемикач запуску-зупинки двигуна; S – панель приладів; T – регулятор температури повітря, що всмоктується; U – вимірювач цетанового числа з подвійною шкалою

Рисунок 3.5 – Установа CFR F-5 для визначення цетанового числа

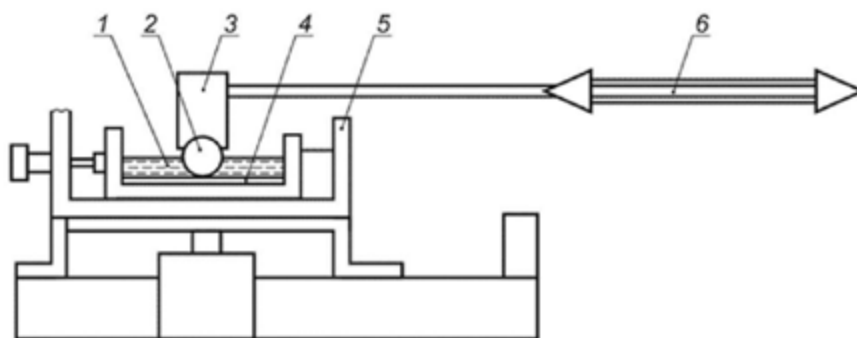
*Визначення змащувальної здатності.* Будь-яке дизельне паливо, що проходить через систему упорскування, грає роль змащувального матеріалу. Надмірне зношування, яке веде до швидкого виходу з ладу деталей системи упорскування палива, можна пояснити недостатньою змащувальною здатністю палива.

Зразок випробуваного палива поміщають у ємність, у якій підтримується задана температура. Металеву кульку міцно закріплюють у вертикально розташованому тримачі і притискають із додатковим навантаженням до горизонтально укріпленої металевої пластини.

Кулька здійснює зворотно-поступальні рухи з певною частотою та довжиною ходу. При цьому поверхня кульки, що вступає в контакт з пластиною, повністю занурена у паливо. Металеві властивості кульки, пластини, температура, навантаження, що прикладається до кульки, частота та довжина ходу кульки точно задані.

Для коригування розміру плями зношування, отриманого на випробуваній кульці, до стандартного набору умов випробування в процесі випробування враховують умови навколишнього середовища. Отриманий в результаті випробувань діаметр плями зношування є мірою змашувальної здатності рідини.

Апарат для випробування, що приведений на рис. 3.6, повинен забезпечувати можливість приводити у зворотно-поступальний рух із заданою частотою, довжиною ходу та навантаженням укріплену металеву кульку в контакт з стаціонарною сталеву пластину; при цьому поверхні, що вступають в контакт, повинні бути повністю занурені в випробуване паливо відповідно до умов випробування.



1 – резервуар для палива; 2 – металеву кульку; 3 – вертикальне навантаження у вигляді певної маси; 4 – металеву пластину; 5 – нагрівальний елемент; 6 – напрямок зворотно-поступального руху

Рисунок 3.6 – Схема апарату HFRR



Рисунок 3.7 – Прилад HFRR для визначення змащувальної здатності дизельного палива

Резервуар для палива повинен виконувати дві функції: жорстко утримувати металеву пластину та утримувати паливо. Температура резервуара і рідини, що знаходиться в ньому, повинна підтримуватися у відповідному діапазоні за допомогою регульованого електронагрівача, безпосередньо пов'язаного з резервуаром.

Блок регулювання апарата для контролю змінних робочих параметрів повинен забезпечувати збереження та відновлення результатів вимірювання.

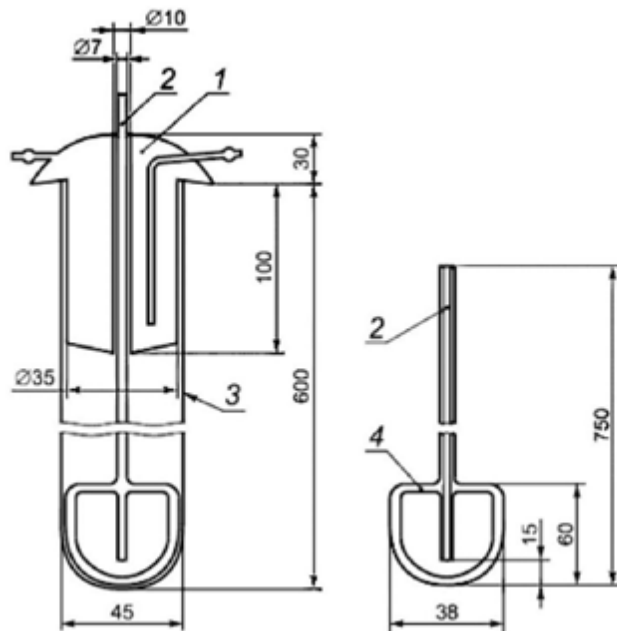
*Визначення окислювальної стабільності дистильного палива.* Випробуваний зразок відфільтрованого дистильного палива окислюють при температурі 95°C протягом 16 год, барботуючи через нього кисень. Після окислення випробуваний зразок охолоджують до кімнатної температури і фільтрують для визначення кількості відфільтрованих нерозчинних речовин. Потім з апарату за допомогою потрійного розчинника видаляють смолисті нерозчинні речовини. Для визначення кількості смолистих нерозчинних речовин потрійний розчинник видаляють випаровуванням. Суму смолистих та відфільтрованих нерозчинних речовин

записують як загальну кількість нерозчинних речовин. Прилад для визначення окислювальної стабільності дистилатних палив представлений на рис. 3.8.



Рисунок 3.8 – Прилад для визначення окислювальної стабільності дизельних палив

Апарат для окислення з боросилікатного скла, що наведений на рис. 3.8, складається з пробірки, конденсатора та трубки для подачі кисню.



1 – скляний конденсатор; 2 – трубка з боросилікатного скла для подачі кисню; 3 – пробірка із боросилікатного скла; 4 – стрижень з боросилікатного скла діаметром 6 мм

Рисунок 3.9 – Апарат для окислення

Баня повинна бути оснащена відповідним перемішуючим пристроєм, що забезпечує однакову температуру по всьому об'єму, і повинна бути достатньо великою, щоб у ній містилася потрібна кількість апаратів, занурених на глибину приблизно 350 мм. Крім того, конструкція бані повинна бути такою, щоб під час процедури окислення на випробуваний зразок не потрапляло світло. У бані на кожен апарат має припадати щонайменше 6 дм<sup>3</sup> рідини.

*Метод визначення температури спалаху в закритому тиглі.* Сутність методу полягає у визначенні найнижчої температури паливної речовини, при якій в умовах випробування над її поверхнею утворюється суміш пари і газів з повітрям, здатна спалахувати в повітрі від джерела запалювання, але швидкість їх утворення ще недостатня для подальшого горіння. Для цього випробуваний продукт нагрівається у закритому тиглі з постійною швидкістю при безперервному перемішуванні і випробовується на спалах через певні інтервали температур.

Випробуваний зразок продукту перед випробуванням перемішують протягом 5 хв струшуванням у склянці, що заповнена не більше ніж на 1/2 її ємності.

Зразки продуктів, що мають температуру спалаху нижче 50°C, охолоджують до температури, яка не менше ніж на 17°C нижче передбачуваної температури спалаху.

Зразки дуже в'язких і твердих продуктів перед випробуванням нагрівають до достатньої плинності, але не вище температури, яка на 17°C нижче передбачуваної температури спалаху.

Зразки нафтопродуктів, що містять воду в кількості більше 0,05%, зневоднюють обробкою їх свіжопрокаленими та охолодженими хлористим натрієм, хлористим кальцієм або сірчаноокислим натрієм, або фільтруванням через фільтрувальний папір, після цього на випробування беруть верхній шар.

При необхідності (у разі вмісту у зразку води) допускається нетривале нагрівання зразка, але не вище температури, яка на 17°C нижче за передбачувану температуру спалаху.

Прилад встановлюють на рівному стійкому столі в такому місці, де немає помітного руху повітря і світло настільки затемнене, що спалах добре видно. Для захисту від руху повітря прилад із трьох сторін оточують екраном. Дозволяється при застосуванні кількох приладів відповідно збільшити ширину екрана.

Тигель і кришку приладу промивають розчинником, висушують, видаляючи всі сліди розчинника, і охолоджують до температури не менше ніж на 17°C нижче передбачуваної температури спалаху.

При випробуванні продуктів із температурою спалаху до 50°C нагрівальну ванну охолоджують до температури навколишнього середовища. Тигель повинен мати температуру зразка.

Випробуваний продукт наливають у тигель до мітки, не допускаючи змочування стінок тигля вище вказаної мітки.

Тигель закривають кришкою, встановлюють в нагрівальну ванну, вставляють термометр і запалюють лампу запалювання, регулюючи полум'я так, щоб форма його була близькою до кулі діаметром 3...4 мм.

При випробуванні токсичного продукту або продукту, який виділяє токсичні речовини при розкладанні та горінні, випробування проводять при дотриманні правил техніки безпеки, прийнятих для робіт з токсичними речовинами. У цьому випадку прилад встановлюють у витяжній шафі або застосовують відповідний протигаз та дегазаційні засоби.



Рисунок 3.10 – Прилад для визначення температури спалаху в закритому тиглі

*Визначення безвідмовності двигуна під час роботи на робоче-консерваційному паливі.* З огляду на вимоги ДСТУ 14846-2020 програмою робіт було встановлено тривалість випробувань 400 годин. Для дослідження впливу РКТ на безвідмовність використовувався двигун ЯМЗ-7403.

Технічна характеристика дизеля: тип двигуна – чотиритактний з запаленням від стиснення; число циліндрів – 8; розташування циліндрів – V-подібне; кут розвалу –  $90^\circ$ ; діаметр циліндрів, мм – 120; хід поршня, мм – 120; робочий об'єм, л – 10,85; ступінь стиснення – 17,0; номінальна потужність, к.с. – 210; частота обертання колінчастого валу при номінальній потужності,  $\text{хв}^{-1}$  – 2600; максимальний крутний момент,  $\text{кгс}\cdot\text{м}$  – 65; частота обертання колінчастого валу при максимальному крутному моменті,  $\text{хв}^{-1}$  – 1400+1650; частота обертання на холостому ході,  $\text{хв}^{-1}$ , не більше: максимальна – 2930, мінімальна – 600; питома витрата палива за швидкісною характеристикою,  $\text{г/к.с.}\cdot\text{год}$ : мінімальна – 165, при номінальній потужності – 175; відносна витрата оливи обкатаного двигуна до витрат палива, % – не більше 0,8.

*Програма випробувань.*

1. Обкатка двигуна відповідно до інструкції 740-3902119 на дизельному паливі протягом 50 годин.

2. Випробування дизеля на безвідмовність на РКП.

3. Визначення контрольних характеристик двигуна до випробувань та у процесі їх проведення.

3.1. При роботі на дизельному паливі визначалися:

– зовнішня швидкісна характеристика;  
– навантажувальні характеристики при частоті обертання колінчастого валу в 1000, 1200, 1600, 1800, 2200 та 2600 хв<sup>-1</sup>;

– характеристика холостого ходу;

– характеристика умовних внутрішніх втрат та механічного ККД;

– рівномірність роботи циліндрів.

3.2. При роботі на РКП визначалися:

– зовнішня швидкісна характеристика;

– навантажувальні характеристики при обертах колінчастого валу в 1600 та 2600 хв<sup>-1</sup>;

– показники холостого ходу;

– витрата оливи на чад.

3.3 Додатково до характеристик визначалися димність відпрацьованих газів і концентрація в них шкідливих речовин.

3.4. Після закінчення випробувань було визначено тиск кінця стиснення у циліндрах двигуна.

*Методика випробувань.*

1. Випробування дизеля проводилися на електрогальмівному стенді ХЕМЗ-200, обладнаному приладами та пристроями для контролю показників роботи двигуна відповідно до ДСТУ 14846-2020 «Двигуни автомобільні. Методи стендових випробувань»

2. Випробування проводились при куті випередження впорскування палива в 18° до ВМТ.

3. Випробування дизеля на режимах безвідмовності проводилося за 3-х годинним циклом, передбаченим ДСТУ 14846-2020.

4. Визначення механічних втрат проводилося методом прокрутки двигуна балансною машиною.
5. Вимірювання витрати палива здійснювалося витратоміром Д-1.
6. Визначення частоти обертання колінчастого валу проводилося цифровим електронним тахометром ТЦ-1.
7. Визначення димності – димоміром HR-154 (Англія).
8. Концентрація шкідливих речовин у відпрацьованих газах визначалася газоаналізатором EIF С-88 фірми «Yanagimoto» (Японія).

## РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

4.1. Результати порівняльної оцінки захисних властивостей інгібіторів корозії в лабораторних умовах

Дослідження проводилися за ДСТУ 9.054-75 методи 1, 3, 6, сутність яких полягала в наступному.

*Метод 1.* Зразки зі сталі Ст. 3 з нанесеним консерваційним матеріалом витримували в умовах підвищеної відносної вологості повітря при температурі з періодичною конденсацією вологи на зразках (кожен цикл випробувань складався з 2-х частин). У першій частині циклу зразки піддавалися впливу повітряного середовища з температурою  $40\pm 2^{\circ}\text{C}$  та відотною вологістю 95...100% протягом 7 годин. У другій частині циклу створювалися умови конденсації вологи на зразках шляхом охолодження зразків та камери одночасно, що досягалося шляхом вимикання нагрівання камери.

Час випробувань складав 240 годин. У процесі випробувань проводився щодобовий огляд поверхні зразка металу і відзначався час появи вогнищ корозії та її інтенсивність.

Після закінчення випробувань із зразка металу знімали оливу фільтрувальним папером та ватою, змоченою бензином, а потім промивали бензином та проводили огляд.

Захисну здатність консерваційного матеріалу оцінювали за середнім арифметичним результатом значень, визначених паралельно на випробуваних зразках металу.

*Метод 3.* Зразки із сталі Ст. 3 та пара сталь Ст. 2- латунь з нанесеним консерваційним матеріалом витримували в атмосфері сольового туману. Товщина шару консерваційного матеріалу на поверхні зразка становила  $0,030\pm 0,005$  мм. У камері встановлювалася температура  $35\pm 2^{\circ}\text{C}$  і створювалася атмосфера сольового туману шляхом розпилення 5% хлористого розчину натрію. Витрата повітря становив 12...15  $\text{дм}^3/\text{хв}$ .

Час випробувань складав 48 годин. У процесі випробувань проводився щодобовий огляд поверхні зразка металу та відзначався час появи вогнищ корозії та її інтенсивність.

Після закінчення випробувань із зразка металу знімали оливу фільтрувальним папером та ватою, змоченою бензином, а потім промивали бензином та проводили огляд. Корозійним руйнуванням вважалися корозійні осередки, що лежать на поверхні металу в якості окремих точок, плям, ниток, і навіть зміна кольору міді до зеленого, темно-коричневого, фіолетового, чорного.

Захисну здатність консерваційного матеріалу оцінювали за середнім арифметичним результатом значень, що визначаються на паралельно випробуваних зразках металу.

*Метод 6.* Зразки зі сталі Ст. 3 методом занурення протягом 1 хв витримували в консерваційному матеріалі, потім витримували на повітрі протягом 1 години. Латунні пластинки консерваційним матеріалом не покривалися. Потім зразки зі Ст. 3 у контакті з латунню витримувалися в умовах підвищеної відносної вологості повітря та температури при безперервній конденсації вологи на зразках у першій частині циклу. Зразки зазнавали впливу повітряного середовища в камері з температурою  $50 \pm 1^\circ\text{C}$  та температури води в термостаті  $30 \pm 1^\circ\text{C}$ , Випробування проводилися циклами.

Кожен цикл складався з 2-х частин: 7 годин випробувань у заданому режимі та 17 годин при відключених в камері регуляторів вологості та ультратермостату. Час випробувань складав 240 годин. У процесі випробувань проводився щодобовий огляд поверхні зразка металу і відзначався час появи вогнищ корозії та її інтенсивність.

Після закінчення випробувань із зразка металу знімали оливу фільтрувальним папером та ватою, змоченою бензином, а потім промивали бензином та проводили огляд.

Захисну здатність консерваційного матеріалу оцінювали за середнім арифметичним результатом значень, визначених на паралельно випробуваних зразках металу.

Для визначення корозійної дії РКП на зразок з латуні ЛЦ40С було використано метод згідно ДСТУ 2917-76. Сутність методу полягає у витримуванні металевої пластинки у випробуваному продукті при підвищеній температурі та фіксуванні зміни зовнішнього вигляду пластинки, що характеризує корозійну дію продукту на метал. При оцінці корозійного впливу на мідь та її сплави керувалися описом кольору пластинок і порівнянням її з еталоном корозії.

Ступінь корозійного впливу визначається за 4 бальною системою.

При встановленій нормі продукт вважається таким, що витримав випробування, якщо на великих поверхнях пластинки немає зелених, темно-сірих, коричневих або чорних плям, нальотів або плівок. При випробуваннях були використані консерваційні матеріали інгібітори корозії АКОР-1 та АЖК. Було виготовлено робоче-консерваційне паливо на основі дизельного палива та інгібіторів корозії у співвідношенні 9:1.

На рис. 4.1 представлені результати досліджень методом 3 захисних властивостей розчинів інгібіторів корозії в дизельному паливі в залежності від концентрації.



Рисунок 4.1 – Залежність захисних властивостей дизельного палива в залежності від концентрації інгібітору корозії

## 4.2 Оптимізація кількості інгібіторів корозії в РКП

Зразки робочих електродів зі сталі Ст. 3 полірували механічно та хімічно (3% розчин  $HNO_3$  в етанолі) з подальшим знежиренням ацетоном та етанолом. Площа робочого електрода становила  $1,2 \text{ см}^2$ .

Допоміжний електрод зі сталі Ст. 3 мав набагато більшу площу порівняно з робочим електродом за допомогою розвиненої поверхні.

Поляризаційні вимірювання проводили у триелектродному осередку без поділу катодного та анодного просторів при температурі  $22^\circ\text{C}$ .

Джерелом сигналу служив потенціостат-гальваностат MSB70395 (рис. 4.2), що працює у потенціостатичному режимі. Розгорнення потенціалу здійснювалось зі швидкістю  $0,169 \text{ мВ/с}$ .

З даних, представлених на рис. 4.1, можна дійти висновку, що максимальний захисний ефект обох інгібіторів спостерігається при концентрації 10%. Для інгібітору корозії АЖК подальше збільшення концентрації призводить до погіршення захисних властивостей, а для інгібітору АКОР-1 захисні властивості змінюються незначно.

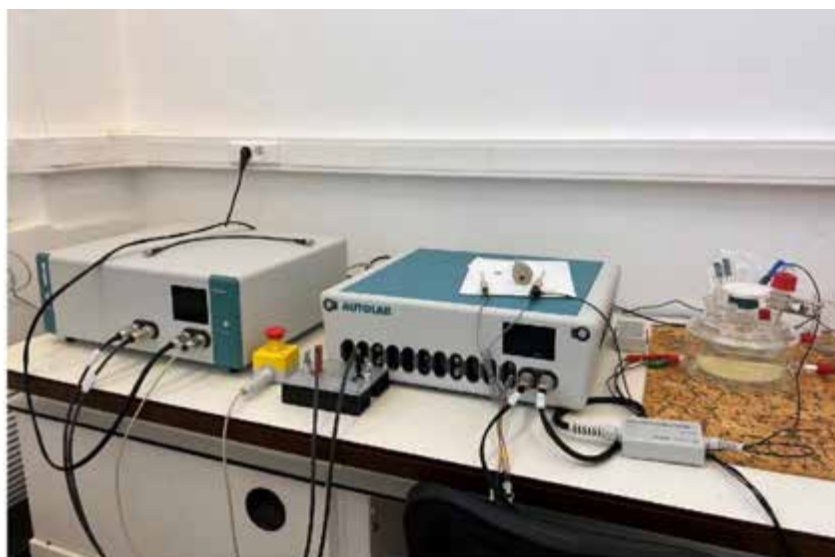
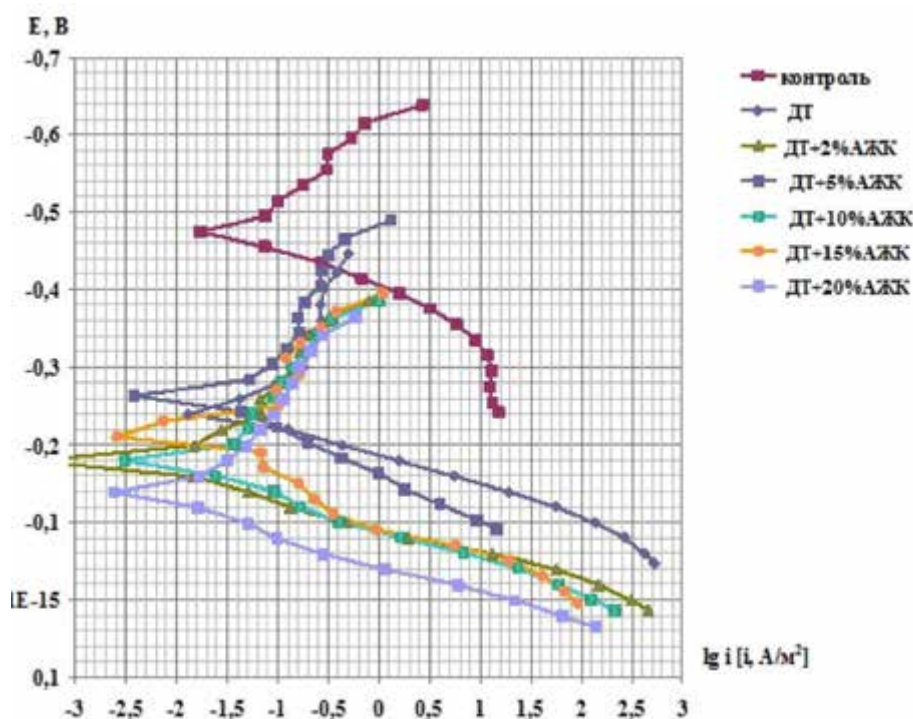


Рисунок 4.2 – Потенціостат-гальваностат MSB70395

Встановлення потенціалу вільної корозії відбувалося протягом 10 хв. На поверхні робочих зразків-електродів досліджувані речовини наносили зануренням при температурі  $22^\circ\text{C}$ , після чого зразки витримували на повітрі протягом 40 хв при цій же температурі і розміщували в електрохімічний

осередок з фоновим розчином. Робочий електрод витримували до постійного кінетично рівноважного потенціалу. Результати електрохімічних вимірювань представлені на рис. 4.3.

Можна зробити висновок, що дизельне паливо загальмовує катодний процес, посилює катодний та покращує стаціонарний потенціал. Робочо-консерваційне паливо в даному випадку діє аналогічно та найбільший захисний ефект спостерігається при його концентрації 2...10%.



1 – фоновий електроліт; 2 – ДП; 3 – 2%; 4 – 5%; 5 – 10%; 6 – 15%; 7 – 20%

Рисунок 4.3 – Поляризаційні криві при концентрації АЖК у ДП

Для визначення оптимальної концентрації інгібітору корозії у складі робочо-консерваційного палива були проведені натурні випробування з використанням металевих зразків, а також зразків сільськогосподарської техніки, що зберігається під навісом та на відкритому майданчику – рис. 4.4...4.5.



Рисунок 4.4 – Металеві зразки в паливному баку



Рисунок 4.5 – Техніка, що зберігається на відкритому майданчику

Прискорені корозійні випробування у камері вологості та електрохімічні дослідження дозволяють кваліфіковано провести порівняльну оцінку ефективності захисних матеріалів. Для визначення ефективного захисту паливної системи при тривалому зберіганні підходить тільки натурний експеримент, що дозволяє врахувати всі фактори,

характерні для конкретних умов зберігання та дозволить отримати достовірну оцінку збережності.

Натурні випробування було проведено на сільськогосподарському підприємстві «Пійм», Лохвицького району Полтавської області у період з 18 вересня 2023 р. до 11 травня 2024 р. Випробування проводилися в умовах відкритої атмосфери та під навісом із використанням паливного бака – рис. 4.6 та 4.7.



Рисунок 4.6 – Випробувані зразки під впливом кліматичних факторів на відкритому майданчику



Рисунок 4.7 – Розміщення 7 зразків у паливному баку



Рисунок 4.8 – Зовнішній вигляд зразків, оброблених РКП з 5% інгібітору корозії АКОР-1

В якості зразків були використані пластини розмірів 50×50 мм та товщиною 2,0 мм із сталі 08 кп ДСТУ 16523-97. Зразки були оброблені РКП з використанням інгібіторів корозії АЖК та АКОР-1. Концентрація інгібіторів у ДП становила 2%, 5%, 10%.

Результати випробувань наведено на рис. 4.9 – 4.12.

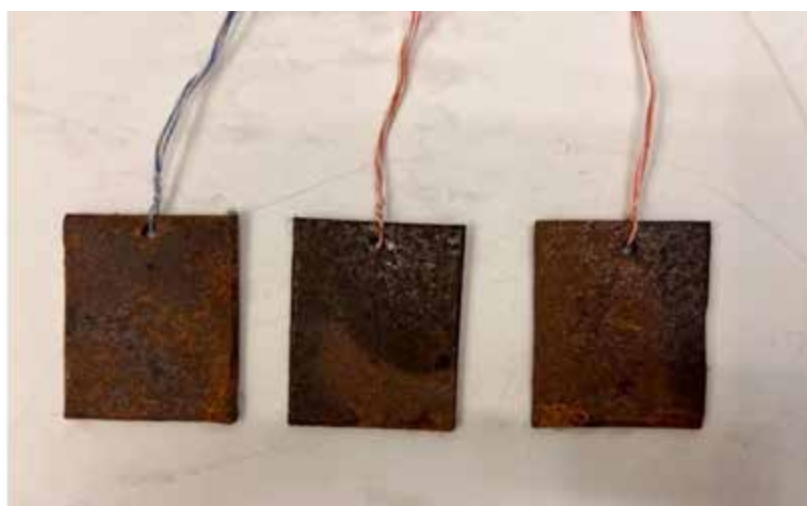


Рисунок 4.9 – Зовнішній вигляд контрольних зразків, розміщених під навісом у паливному баку



Рисунок 4.10 – Зовнішній вигляд зразків, оброблених з 2% інгібітором корозії АЖК



Рисунок 4.11 – Зовнішній вигляд зразків, оброблених РКП з 2, 5, 10 % інгібітору корозії АЖК, що зберігаються на відкритому майданчику



Рисунок 4.12 – Зовнішній вигляд зразків, оброблених РКП із вмістом 2, 5, 10% інгібітора корозії АКОР-1

Аналіз результатів експериментальних досліджень показав, що металеві зразки, що знаходяться під прямим впливом кліматичних факторів, мають 100% ураження поверхонь. Зразки, що знаходяться в паливному баку, не мають корозійних руйнувань навіть при 2% концентрації інгібіторів АЖК у ДП та 5% концентрації інгібітора АКОР-1.

#### 4.3 Визначення якісних показників робочо-консерваційного палива

Усі хімотологічні процеси тією чи іншою мірою пов'язані з енергоутворенням та роблять внесок у ефективність двигуна. Запалення та горіння палива безпосередньо визначають перетворення хімічної енергії на теплову. Утворення відкладень і токсичних продуктів у відпрацьованих газах можна розглядати як неминучий результат процесу згорання. Весь період експлуатації двигуна супроводжується корозійними процесами, що визначаються термодинамічною нестійкістю металу та корозійною агресивністю палив. Змащування деталей паливної апаратури забезпечує працездатність її механізмів, знижує втрати на тертя та знос.

Вимога якості дизельного палива регламентується за Європейським стандартом EN 590-1999. До основних вимог до показників якості можна віднести:

- а) ефективність згоряння – цетанове число;
- б) займистість – температура спалаху;
- в) схильність палив до утворення відкладень – термоокислювальна стабільність, вміст сірки, зольність;
- г) корозійна активність палив – корозія мідної пластинки;
- д) змащувальна здатність та протизносні властивості – скоригований діаметр зносу.

Методи випробувань щодо визначення перелічених вище показників якості наведено в розділі 3.

*Визначення вмісту сірки.* На першому етапі проводилося калібрування приладу за відповідними діапазонами.

Процедура калібрування включала встановлення приладу на реєстрацію результуючої інтенсивності рентгенівського випромінювання сірки, після чого вимірювали стандарти з відомою концентрацією сірки.

Оскільки використовувався стандарт із вмістом сірки менше 100 мг/кг, повторювали вимірювання, використовуючи свіжоприготовлену кювету для зразка та свіжу партію зразка. Відразу ж повторювали процедуру, використовуючи свіжоприготовлені кювети та свіжі партії зразків. Після аналізу всіх стандартів на основі сумарного числа рахунків сірки для кожного стандарту будувалася оптимальна крива калібрування.

Відбір проб здійснювався відповідно до вимог стандартів щодо відбору проб нафтопродуктів ASTM D4057 та ASTM D4177.

Перед проведенням аналізу зразка аналізувався стандартний зразок для перевірки, що метод випробування перебуває під контролем. Якщо повторюваність для вибраного стандартного зразка змінюється більш ніж значення повторюваності методу випробування для даної концентрації,

вважають, що процедура знаходиться поза контролем і прилад слід повторно калібрувати перед проведенням наступного аналізу.

Оскільки значення концентрації сірки менше 100 мг/кг, вимір повторювали і визначали середньоарифметичне значення показань вмісту сірки. Результати визначення вмісту сірки у зразках представлені на рис. 4.13.

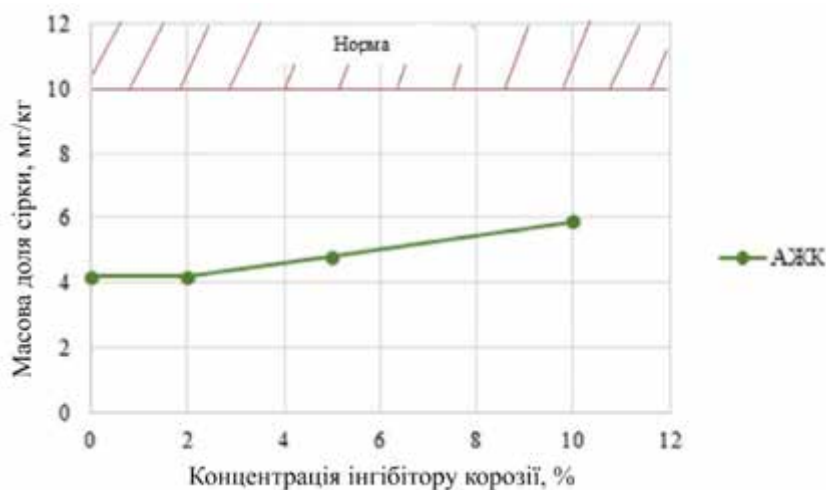


Рисунок 4.13 – Масова частка сірки в залежності від концентрації інгібітору корозії в ДП (інгібітор АКОР-1 призводить до значного збільшення вмісту сірки)

*Визначення корозійної дії на мідну пластинку.* Для підготовки поверхні пластинки застосовували абразивний папір з напилюванням порошкоподібного карбїду кремнію класу 00, а також гранули карбїду кремнію з розміром частинок 105 мкм.

Пластинки використовувалися шириною 12,5 мм, товщиною 2,0 мм та довжиною 75 мм, виготовлені з листа холоднотягнутої міді з гладкою поверхнею чистотою 99,9%. Для визначення корозійного впливу на мідну пластинку використовували еталони, що являють собою кольорові копії типових випробувальних пластинок зі збільшенням ступеня потьмяніння та корозії.

Всі типи проб палива, що викликають слабе потьмяніння пластинок, відбирали в чисті пляшки з темного скла, пластикові пляшки або інші відповідні ємності, що не впливають на корозійні властивості палива,

відповідно до ASTM D 4057 та/або ASTM D 4177. Для відбору проб не використовують жерстяні контейнери, оскільки встановлено, що вони можуть сприяти підвищенню корозійної активності зразка.

Наповнювали контейнер наскільки можна повно, забезпечуючи для теплового розширення проби достатньо вільного простору над пробною в ємності під час транспортування, і відразу закривають його після відбору проби.

Летучими зразками рекомендується наповнювати 70...80% ємності контейнера.

При наповненні, пробу захищають від прямого сонячного світла або розсіяного денного світла. Випробування проби проводили по можливості швидко після отримання і відразу після відкриття ємності.

Якщо проба містить зважену воду (помутніння), перед випробуванням її сушили, пропускали достатній об'єм через середньошвидкісний якісний фільтр в суху чисту пробірку. Цю процедуру слід проводити у темній кімнаті або у захищеному від світла місці.

Випробування проводилися в такий спосіб. Зразки ДП та РКП 30 см<sup>3</sup> поміщали в хімічно чисту та суху випробувальну пробірку розміром 25×150 мм. Не пізніше як через 1 хвилину після завершення підготовки опускали мідну пластину в пробірку. Потім пробірку поміщали в рідинну баню при температурі 50±1°C. Після витримання у бані протягом 180±5 хв приступили до дослідження пластинки.

*Визначення цетанового числа.* Приготували свіжу порцію вибраної еталонної суміші об'ємом 400...500 см<sup>3</sup>. Далі робота проводилася в наступній послідовності:

- заливали еталонне паливо до одного з вільних паливних баків;
- вибирали іншу суміш вторинних еталонних палив за допомогою показання ручного маховика;
- готували свіжу порцію вибраної еталонної суміші об'ємом від 400 до 500 см<sup>3</sup>;

– заливали друге еталонне паливо у третій паливний бак.

Результати випробування представлені на рис. 4.14.

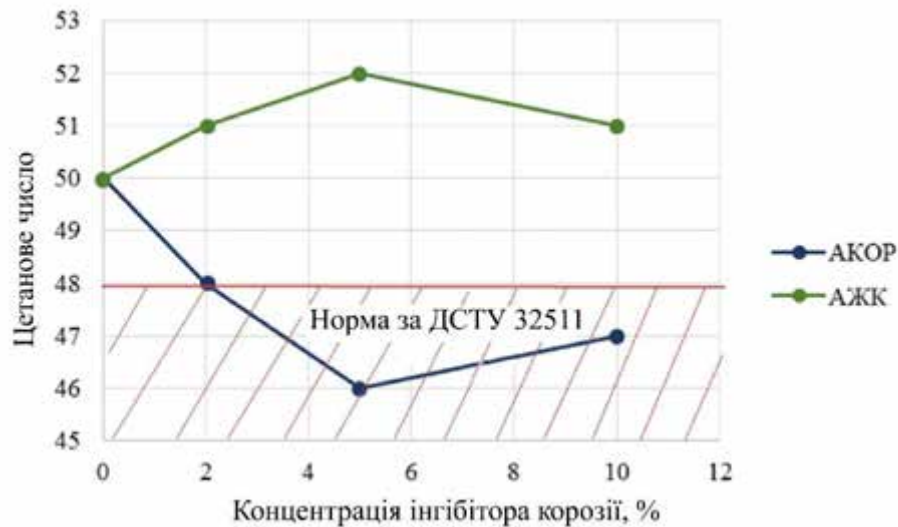


Рисунок 4.14 – Вплив ІК у складі РКП на цетанове число

*Визначення змащувальної здатності.* Випробування проводилися в наступній послідовності:

– за допомогою пінцету металеву пластинку розміщували в ємності для випробуваного зразка палива. Пластинку закріплювали в ємності, а ємність – в апараті. Перевіряли правильність установки в ємності з випробуваним паливом пристроєм для вимірювання температури;

– за допомогою пінцета сталеву кульку закріплювали у тримачі, а тримач приєднували до кінця важеля вібратора. Перед остаточним закріпленням тримача перевіряли горизонтальність його положення;

– вимірювали температуру та відносну вологість навколишнього повітря на відстані від 0,1 до 0,25 м від ємності із зразком для випробування. Якщо отримані значення не відповідають вимогам, перед початком випробування вживають заходів щодо зміни відносної вологості. Реєстрували температуру та відносну вологість повітря;

– за допомогою одноразової піпетки поміщали в ємність 2 см<sup>2</sup> випробуваного палива;

– опускали важіль та підвішували до нього вантаж масою 200 г. Контролювали, щоб вантаж та його кріплення перебували у вільному стані;

– встановлювали регулятор температури, довжину ходу та частоту коливань відповідно до значень;

– тривалість випробування – 75 хв. Після закінчення випробування відключали вібратор і нагрівач та видаляли прикріплений вантаж. Піднімали важіль і звільняли тримач кульки;

– вимірювали температуру та відносну вологість на відстані від 0,1 до 0,5 м від ємності із зразком палива. Реєстрували температуру та відносну вологість;

– не звільнюючи кульку з утримувача, промивали утримувач кілька разів у толуолі, потім кілька разів в ацетоні, після чого поміщали утримувач у склянку зі свіжим толуолом. Склянку поміщали на 30 секунд в ультразвукову очищувальну ванну;

– тримач кульки переміщали в склянку зі свіжим ацетоном і на 30 секунд поміщали в ультразвукову очищувальну ванну. Після висихання тримача та кульки на повітрі пляму зносу обводили спеціальним маркером;

– ємність з рідиною видаляли з апарату та звільняли від рідини відповідним чином. Не виймаючи пластинки з ємності, кілька разів промивали її толуолом, потім кілька разів ацетоном і поміщали ємність у склянку зі свіжим толуолом. Склянку ставлять на 30 секунд в ультразвукову очищувальну ванну;

– переносили ємність (разом з випробувальною пластинкою) у склянку зі свіжим ацетоном і потім на 30 секунд в ультразвукову очищувальну ванну. Після сушіння пластини на повітрі виймали її з ємності та зберігали у відповідній тарі (пластиковому пакеті), використовуючи як маркування номер експерименту;

– металеву кульку, що знаходиться в тримачі, поміщають під мікроскоп і вимірюють діаметр плями зношування;

– після вимірювання плями зношування металеву кульку звільняли з тримача і поміщають в посудину разом з металевою пластиною.

Результати випробувань представлені на рис. 4.15.

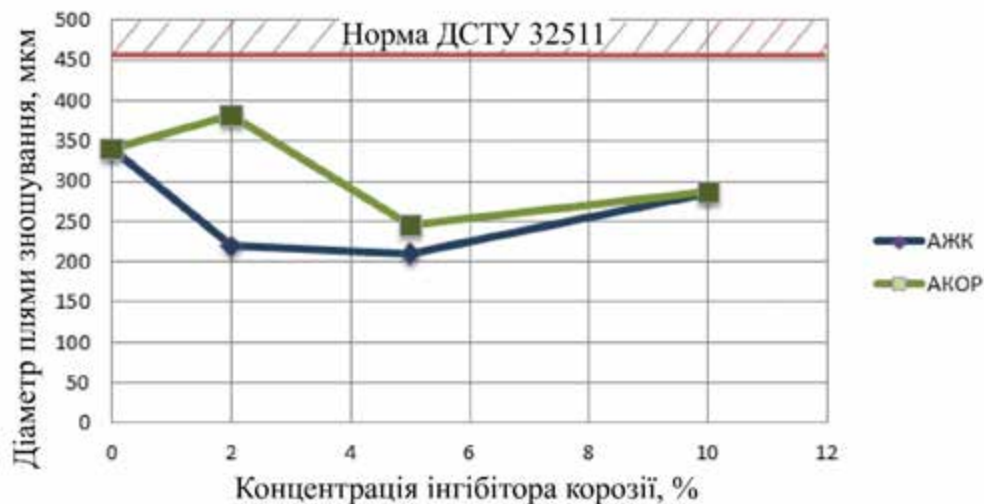


Рисунок 4.15 – Вплив кількості ІК у ДП на змащувальну здатність РКП

*Визначення окислювальної стабільності.* Встановлювали очищену трубку для подачі кисню в очищену пробірку і наливали  $(350 \pm 5)$  см<sup>3</sup> зразка профільтрованого палива. Якнайшвидше, але не пізніше, ніж через 60 хв після вимірювання кількості палива, занурювали апарат з випробуваним паливом в нагрівальну баню так, щоб рівень палива в апараті був нижче рівня рідкого середовища в нагрівальній бані. У проміжний період пробірку зберігали в темряві.

Встановлювали конденсатор над трубкою для подачі кисню та пробіркою; конденсатор з'єднували з водою для охолодження. З'єднували через витратомір трубку для подачі кисню з джерелом подачі та встановлювали подачу кисню зі швидкістю  $(3,0 \pm 0,3)$  дм<sup>3</sup>/год.

Результати досліджень приведені на рис. 4.16.

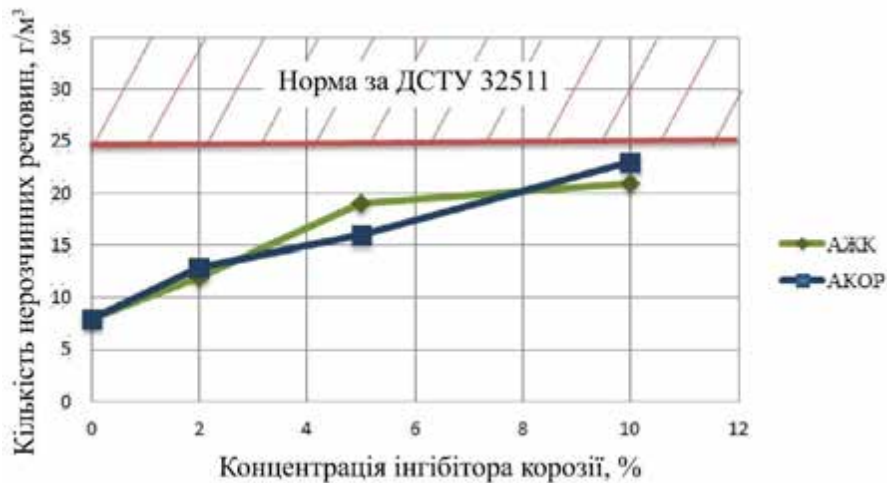


Рисунок 4.16 – Вплив ІК у складі РКП на кількість нерозчинних речовин

*Визначення температури спалаху.* Випробування проводилися в наступній послідовності:

- нагрівальну ванну включали та нагрівали випробуваний продукт у тиглі;
- перемішування вели, забезпечуючи частоту обертання мішалки від 1,5 до 2,0 хв<sup>-1</sup>, а нагрівання продукту – зі швидкістю від 5 до 6°С в 1 хв.;
- вимірювали барометричний тиск;
- випробування на спалах проводили при досягненні температури на 17°С нижче передбачуваної температури спалаху. Випробування на спалах проводили при підвищенні температури на кожен 1°С для продуктів з температурою спалаху до 104°С та на кожні 2°С для продуктів з температурою спалаху вище 104°С;
- у момент випробування на спалах перемішування припиняли, приводили в дію розташований на кришці механізм, який відкриває заслінку та опускає полум'я. При цьому полум'я опускали в паровий простір за 0,5 с, залишаючи в нижньому положенні 1 с і піднімали у верхнє положення.

За температуру спалаху кожного визначення приймали показання термометра у момент чіткої появи першого (синього) полум'я над поверхнею продукту всередині приладу.

При появі неясного спалаху він повинен бути підтверджений наступним спалахом при підвищенні температури на 1 або 2°C. Якщо спалаху при цьому не відбудеться, випробування повторюють знову.

При застосуванні газової запалювальної лампи остання у процесі випробування повинна бути у запаленому стані для виключення можливості проникнення газу в тигель.

Якщо в процесі якого-небудь випробування на спалах запалювальна лампа гасла в момент відкриття отворів кришки, результат цього визначення не враховували.

Результати досліджень наведені на рис. 4.17.

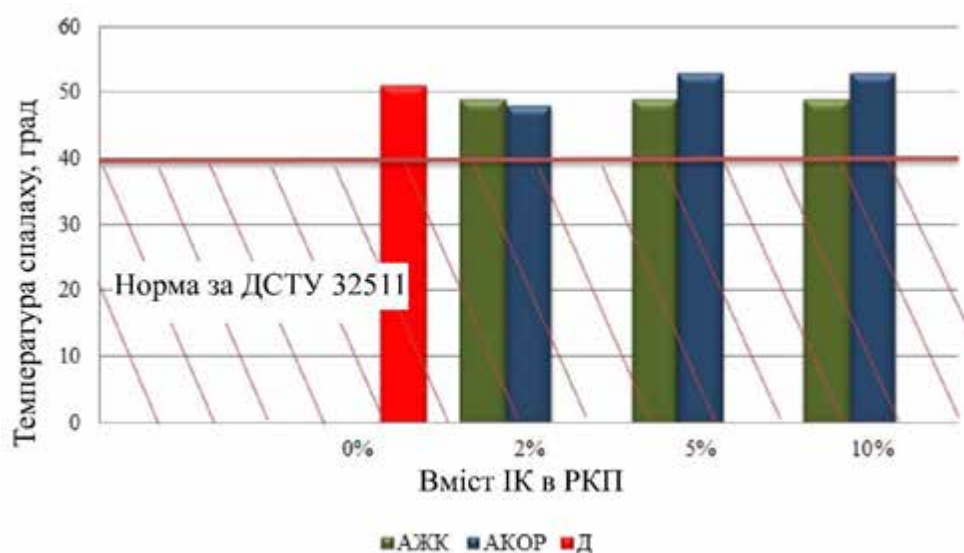


Рисунок 4.17 – Вплив кількості інгібітору корозії у складі РКП на температуру спалаху

*Визначення безвідмовності та стабільності параметрів двигуна під час роботи на РКП.* Проводилось обстеження технічного стану двигуна (мікрометраж та візуальний огляд) після випробувань.

Результати мікрометражу показали, що знос деталей спостерігався тільки при роботі на ДП: середній знос гільзи циліндрів у верхньому поясі становив 9 мкм, максимальний – 15 мкм.

Нагаровідкладення на поршневій групі при роботі на оливі М-10Г2к склали 5,93 бала без урахування головки поршня.

Інших зауважень, пов'язаних із тривалою роботою двигуна на РКП, під час обстеження деталей не виявлено. Двигун придатний для подальшої експлуатації.

*Димність та токсичність відпрацьованих газів.* Під час проведення досліджень встановлено, що зміна навантаження не призводить до суттєвого збільшення концентрації вуглеводнів, а концентрація окису вуглецю в відпрацьованих газах при великих навантаженнях різко збільшується і за повної подачі палива досягає 0,1...0,15%.

При роботі на ДП концентрації продуктів неповного згоряння палива значно вище. Мінімальні концентрації вуглеводнів та окису вуглецю становлять 1200...1500 ч.н.м. та 0,035...0,05% відповідно.

Зі зменшенням навантаження та збільшенням періоду затримки займання концентрації продуктів неповного згоряння палива в відпрацьованих газах збільшуються.

Однак у міру збільшення напруження максимальні концентрації вуглеводнів в відпрацьованих газах значно знижуються.

При роботі на дизельному паливі питомі викиди окису вуглецю та оксидів азоту не перевищують граничних норм ДСТУ на токсичність дизелів. Питомий викид вуглеводнів на початку випробувань перевищував норму на 8%, але зі збільшенням напруження знижувався і до кінця випробувань дорівнював граничній нормі. Викиди окису вуглецю та оксидів азоту зі збільшенням напруження також знижуються.

При роботі на РКП спостерігається незначне зниження викидів окису вуглецю і вуглеводнів.

## ВИСНОВКИ

1. Аналіз механізмів корозійних процесів показав, що у паливній системі протікає під впливом кліматичних факторів електрохімічна корозія, а під впливом експлуатаційного середовища – хімічна корозія. При тривалому зберіганні відбувається обводнення ДП у баку, об'єм води у відстої становить від 300 до 700 мл. Огляд внутрішньої поверхні паливного баку показав наявність корозійних елементів в якості суцільної корозії. Циклічна втома металу сталь 08кп, після ураження корозією знижує свою первісну міцність на 30...40%. Швидкість корозії сталі 08кп у дизельному паливі становить 165 г/м<sup>2</sup> рік, а глибина окремих осередків сягає 0,2 мм.

2. Вибрані інгібітори корозії в якості присадок до ДП: нітрована олія (АКОР-1) та амід жирної кислоти (АЖК) показали досить високі антикорозійні властивості. Проведена оптимізація складу РКП показала, що для ефективного захисту необхідно ІК АКОР-1 – 5%, а ІК АЖК – 2%. Розроблений новий склад ІК у вигляді суміші двох інгібіторів дозволив отримати високоефективний інгібітор анодно-катодної дії, що перевищує захисну ефективність АКОР-1 у 1,4 рази, АЖК у 1,1 разів.

3. Результати випробувань впливу інгібіторів корозії у складі РКП на якісні показники показали:

а) інгібітор АЖК не збільшує масову частку сірки, навіть при 10% концентрації масова частка сірки склала 5,8 г/кг, що значно нижче за норму згідно ДСТУ 32511 (не більше 10мг/кг). Інгібітор АКОР-1 значно збільшує вміст сірки при концентрації ДП в межах 2%...10% від 10 до 172 разів від допустимої норми;

б) за зольністю випробування витримав інгібітор АЖК при концентрації у складі РКП 2%;

в) введення інгібітора АЖК до складу РКП в діапазоні 2...10% не знижує цитанове число нижче за норму, інгібітор корозії АКОР-1 витримав випробування тільки для значення з концентрацією 2%;

г) введення інгібіторів корозії підвищує мастильну здатність ДП: ІК АЖК зменшує діаметр плями зносу в 1,5...1,2 рази, а ІК АКОР-1 – в середньому в 1,2 рази;

д) показники на окислювальну стабільність РКП за ДСТУ 32511 не перевищили норми;

е) вплив кількості інгібітора корозії у складі РКП на температуру спалаху показало задовільний результат для усіх зразків.

4. Випробування, що проведені в рамках ДСТУ 14846-2020 об'ємом 450 годин, показали відсутність слідів газової ерозії днищ поршнів і поверхні циліндрів, а також незначний знос гільз циліндрів на верхньому поясі в інтервалі 9...15 мкм тільки у разі використання ДП. Енергетичні та економічні показники відповідають технічним умовам заводу-виробника, їх значення різняться залежно від виду палива на 3...5%. Двигун у процесі випробувань запускався з 1...3 спроб та працює стійко. При роботі двигуна на РКП спостерігалось зниження викидів окису вуглецю та вуглецю на 7,4 та 13,3% відповідно. Таким чином, випробування показали, що дизельний двигун витримав випробування на безвідмовність відповідно до критеріїв, визначених в ДСТУ 14846-2020.

5. Аналіз результатів отриманих з використанням фізичної моделі показав високу ефективність захисних матеріалів, а також дозволив провести якісну оцінку розподілу та характеру ураження пластин в залежності від середовища вода-дизельне паливо. Наявність води в дизельному паливі призводить до збільшення зносу деталей транспортного засобу в 1,3 рази. Введення інгібітора корозії АЖК зменшує діаметр зносу в 16 рази, а АКОР-1 – збільшує в 125 рази.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Dahatonde, B.; Kadam, M.; Gupta, S. Review: Degradation of automotive clear coat caused by bird droppings. *Paintindia* 2020, 70, 78–90.
2. Zaneti, R.N.; Etchepare, R.; Rubio, J. Car Wash Wastewater Treatment and Water Reuse—A Case Study. *Water Sci. Technol.* 2013, 67, 82–88.
3. Seubert, C.; Nietering, K.; Nichols, M.; Wykoff, R.; Bollin, S. An Overview of the Scratch Resistance of Automotive Coatings: Exterior Clearcoats and Polycarbonate Hardcoats. *Coatings* 2012, 2, 221–234.
4. Sawyer-Beaulieu, S.; Tam, E.; Hussein, A. Measuring Corrosion on Vehicles, in Real-Time, Using Digital Imaging and Analysis Techniques. *Materials* 2022, 15, 3053.
5. Kotnarowska, D.; Wojtyniak, M. Influence of Ageing on Mechanical Properties of Epoxy Coatings. *Sol. St. Phen.* 2009, 147–149, 825–830.
6. Gruber, D.P.; Buder-Stroisz nigg, M.; Wallner, G.; Strauss, B.; Jandel, L.; Lang, R.W. A novel methodology for the evaluation of distinctness of image of glossy surfaces. *Prog. Org. Coat.* 2008, 63, 377–381.
7. Perrin, F.X.; Irigoyen, M.; Aragon, E.; Vernet, J.L. Evaluation of accelerated weathering tests for three paint systems: A comparative study of their aging behaviour. *Polym. Degrad. Stab.* 2001, 72, 115–124.
8. The Rhopoint IQ. Available online: <https://www.rhopointamericas.com/download/rhopoint-iq-goniophotometer-datasheet-english/> (accessed on 17 September 2024).
9. Redford, J.; Mullany, B. Classification of Visual Smoothness Standards Using Multi-Scale Areal Texture Parameters and Low- Magnification Coherence Scanning Interferometry. *Materials* 2024, 17, 1653.
10. Frankhuizen, N. Measuring Gloss? *Paint Coat. Ind.* 2015, 31, 70–73.
11. Yari, H.; Moradian, S.; Tahmasebi, N. The weathering performance of acrylic melamine automotive clearcoats containing hydrophobic nanosilica. *J. Coat. Technol. Res.* 2014, 11, 351–360.

12. Edited by Streitberger, H.-J.; Dössel, K.-F. *Automotive Paints and Coatings*, 2nd ed.; WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA: Weinheim, Germany, 2008.

13. Tomczak, W.; Gryta, M. The Application of Polyethersulfone Ultrafiltration Membranes for Separation of Car Wash Wastewaters: Experiments and Modelling. *Membranes* 2023, 13, 321.

14. Do, K.-U.; Kim, J.-H.; Chu, X.-Q. Sludge Characteristics and Performance of a Membrane Bioreactor for Treating Oily Wastewater from a Car Wash Service Station. *Desalin. Water Treat.* 2018, 120, 166–172.

15. Boluarte, I.A.R.; Andersen, M.; Pramanik, B.K.; Chang, C.-Y.; Bagshaw, S.; Farago, L.; Jegatheesan, V.; Shu, L. Reuse of car wash wastewater by chemical coagulation and membrane bioreactor treatment processes. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 2016, 113, 44–48.

16. Woz'niak, P.; Dubicki, M.; Gryta, M. Microbiological Hazard Analysis of Car Wash Wastewater. *Pol. J. Environ. Stud.* 2023, 32, 3871–3882.

17. Tomczak, W.; Woz'niak, P.; Gryta, M.; Grzechulska-Damszel, J.; Daniluk, M. Cleaning of Ultrafiltration Membranes: Long-Term Treatment of Car Wash Wastewater as a Case Study. *Membranes* 2024, 14, 159.

18. Woz'niak, P.; Gryta, M. Application of Polymeric Tubular Ultrafiltration Membranes for Separation of Car Wash Wastewater. *Membranes* 2024, 14, 210.

19. Kotnarowska, D. The Influence of Battery Acid on the Destruction of Acrylic Coatings of Car Bodies. *Coatings* 2021, 11, 967.

20. Li, T.; Xue-Jun, T.; Fu-Yi, C.; Qi, Z.; Jun, Y. Reuse of carwash wastewater with hollow fiber membrane aided by enhanced coagulation and activated carbon treatments. *Water Sci. Technol.* 2007, 56, 111–118.

21. Pinto, A.C.S.; de Barros Grossi, L.; de Melo, R.A.C.; de Assis, T.M.; Ribeiro, V.M.; Amaral, M.C.S.; de Souza Figueiredo, K.C. Carwash Wastewater Treatment by Micro and Ultrafiltration Membranes: Effects of Geometry, Pore

Size, Pressure Difference and Feed Flow Rate in Transport Properties. *J. Water Process Eng.* 2017, 17, 143–148.

22. Veit, M.T.; Novais, Í.G.V.; Juchen, P.T.; Palácio, S.M.; Da Cunha Gonçalves, G.; Zanette, J.C. Automotive Wash Effluent Treatment Using Combined Process of Coagulation/Flocculation/Sedimentation–Adsorption. *Water Air Soil Pollut.* 2020, 231, 494.

## ДОДАТКИ