



ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА ТРАНСПОРТУ



КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

«Підвищення довговічності вантажних автомобілів
покращенням фізико-хімічних характеристик моторної оливи у
ПАТ "АТП 2004" м.Кропивницький»

Виконав:

магістрант групи АТ-21М _____ Артем ЛИТВИНЧУК
(шифр групи) (підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник:

Д.Т.Н., проф. _____ Віктор АУЛІН
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

Консультант з охорони праці та цивільного захисту:

К.Т.Н., доц. _____ Олег БЕВЗ
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри:

К.Т.Н., доц. _____ Сергій МАГОПЕЦЬ
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2022 р.

Рецензент:

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

«__» _____ 2022 р.

Кропивницький – 2022 р.

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

Рівень вищої освіти: другий (магістерський) рівень вищої освіти

Галузь знань: 27 «Транспорт»

Спеціальність: 274 «Автомобільний транспорт»

Освітньо-професійна програма: «Автомобільний транспорт»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри «Експлуатація та
ремонт машин»

_____ Сергій МАГОПЕЦЬ
«__» _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

Литвинчуку Артему Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Підвищення довговічності вантажних автомобілів покращенням фізико-хімічних характеристик моторної оливи у ПАТ "АТП 2004" м.Кропивницький»

керівник роботи Аулін Віктор Васильович, д-р. техн. наук, професор

(прізвище, ім'я, по батькові)

(науковий ступінь)

(вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «17» 08 2022 року
№29-13

2. Строк подання здобувачем роботи «30» листопада 2022 року.

3. Вихідні дані до роботи 1. Матеріали науково-дослідної практики.

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

4.1 Розділ 1 Дати основну функцію та показники стану моторних олив вантажних автомобілів. Розглянути вплив режиму роботи спряжень деталей силових агрегатів вантажних автомобілів на зміну показників якості моторної оливи. Проаналізувати показники бракувань моторної оливи силових агрегатів автомобілів. Здійснити аналіз присадок та добавок, що покращують властивості і показники робочих моторних олив вантажних автомобілів. Проаналізувати шляхи підвищення довговічності рухомих спряжень деталей силових агрегатів, що працюють в оливному середовищі.

4.2 Розділ 2 Запропонувати фізичну модель дії композиційної добавки на основі геомодифікатора на оливу та робочі поверхні рухомих спряжень деталей. Розглянути зміну режимів тертя у рухомих спряженнях деталей силових

агрегатів з композиційним мастильним матеріалом. Проаналізувати підвищення довговічності силових агрегатів вантажних автомобілів покращенням показників і властивостей моторної оливи додаванням композиційної добавки на основі геомодифікатора.

4.3 Розділ 3 Здійснити вибір моторної оливи і композиційних добавок для дослідження. Отримати композиційну добавку на основі геомодифікатора КГМТ-1. Запропонувати методика дослідження властивостей моторних олив на машині тертя ЧМТ-1. Провести оптимізацію вмісту компонентів композиційної добавки на основі геомодифікатора КГМТ-1 в робочій оливі силового агрегату вантажних автомобілів.

4.4 Розділ 4 Запропонувати раціональні та оптимальний склад композиційної добавки на основі геомодифікатора КГМТ-1. Виконати порівняльний аналіз результатів лабораторних випробувань модифікованих олив декількома добавками на чотирикульковій машині тертя ЧМТ-1. Проаналізувати результати стендових випробувань впливу модифікування оливи композиційними присадками на показники зовнішньої швидкісної характеристики силового агрегату автомобілів.

5. Перелік ілюстративного матеріалу . на 12 слайдах

ГРАФІК ВИКОНАННЯ ЕТАПІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	РОЗДІЛ 1	15.10.2022	
2	РОЗДІЛ 2	29.10.2022	
3	РОЗДІЛ 3	11.10.2022	
4	РОЗДІЛ 4	25.10.2022	
5	Ілюстративний матеріал	30.11.2022	

Магістрант _____
(підпис)

Артем ЛИТВИНЧУК
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Віктор АУЛІН
(ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота складається з пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу. Пояснювальна записка містить 75 сторінок тексту, формату А4, 21 рисунка, 9 таблиць. Ілюстративний матеріал містить 12 слайдів.

Мета дослідження: підвищення довговічності вантажних автомобілів покращенням властивостей та фізико-хімічних характеристик моторної оливи додаванням композиційної добавки на основі геомодифікатору КГМТ-1.

Об'єкт дослідження – процес покращення показників і властивостей моторної оливи при додаванні композиційної добавки на основі геомодифікатора.

Предметом дослідження – закономірності впливу композиційної добавки на довговічність силового агрегату автомобіля.

Робоча гіпотеза: між показниками надійності та ефективності процесу доставки сільськогосподарської продукції та значеннями часу доставки та часу затримки існують залежності, які дозволять розробити оперативну систему підвищення ефективності процесу перевезення.

Наукова новизна магістерської роботи полягає в наступному:

- запропоновано механізм впливу композиційної добавки на показники і властивості моторної оливи і робочі поверхні рухомих спряжень деталей;

- теоретично обґрунтовано, а. експериментально доведено покращення показників і властивостей моторних олив і робочих поверхонь спряжень деталей і відповідно можливість підвищення довговічності силового агрегату, а отже і довговічності вантажного автомобіля.

Практична цінність результатів досліджень містить наступне:

- запропоновано методики синтезу ефективної композиційної добавки до моторної оливи, дослідження показників і властивостей модифікованої

оливи;

– отримані регресійні математичні моделі властивостей моторної оливи дають можливість здійснювати їх прогнозування з напрацюванням силового агрегату.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: силовий агрегат; композиційна добавка; геомодифікатор; моторна олива; робочі поверхні; вантажний автомобіль; регресійна математична модель.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ СТАНУ І ВЛАСТИВОСТЕЙ МОТОРНОЇ ОЛИВИ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ ТА ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО НИХ.....	
1.1 Основна функція та показники стану моторних олив вантажних автомобілів.....	
1.2 Вплив режиму роботи спряжень деталей силових агрегатів вантажних автомобілів на зміну показників якості моторної оливи.....	
1.3 Показники бракувань моторної оливи силових агрегатів автомобілів..	
1.4 Аналіз присадок та добавок, що покращують властивості і показники робочих моторних олив вантажних автомобілів.....	
1.5 Шляхи підвищення довговічності рухомих спряжень деталей силових агрегатів, що працюють в оливному середовищі	
Висновки до першого розділу, мета і завдання досліджень.....	
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РУХОМИХ СПРЯЖЕНЬ ДЕТАЛЕЙ СИЛОВИХ АГРЕГАТІВ АВТОМОБІЛЯ МОДИФІКУВАННЯМ МОТОРНОЇ ОЛИВИ КОМПОЗИЦІЙНОЮ ПРИСАДКОЮ.....	
2.1 Фізична модель дії композиційної добавки на основі геомодифікатора на оливу та робочі поверхні рухомих спряжень деталей	
2.2 Зміна режимів тертя у рухомих спряженнях деталей силових агрегатів з композиційним мастильним матеріалом.....	
2.3 Підвищення довговічності силових агрегатів вантажних автомобілів покращенням показників і властивостей моторної оливи додаванням композиційної добавки на основі геомодифікатора	
Висновки по другому розділу.....	

РОЗДІЛ 3 МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ	
МОТОРНОЇ ОЛИВИ, МОДИФІКОВАНОЇ КОМПОЗИЦІЙНИМИ	
ДОБАВКАМИ.....	
3.1 Вибір моторної оливи і композиційних добавок для дослідження.....	
3.2 Отримання композиційної добавки на основі геомодифікатора	
КГМТ-1.....	
3.3 Методика дослідження властивостей моторних олив на машині тертя	
ЧМТ-1.....	
3.4 Оптимізація вмісту компонентів композиційної добавки на основі	
геомодифікатора КГМТ-1 в робочій оливі силового агрегату вантажних	
автомобілів.....	
Висновки до третього розділу.....	
РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ	
ДОВГОВІЧНОСТІ СИЛОВИХ АГРЕГАТІВ АВТОМОБІЛІВ	
ДОДАВАННЯМ В РОБОЧУ ОЛИВУ КОМПОЗИЦІЙНОЇ ДОБАВКИ.....	
4.1 Раціональні та оптимальний склад композиційної добавки на основі	
геомодифікатора КГМТ-1.....	
4.2 Порівняльний аналіз результатів лабораторних випробувань	
модифікованих олив декількома добавками на чотирикульковій машин	
тертя ЧМТ-1.....	
4.3 Результати стендових випробувань впливу модифікування оливи	
композиційними присадками на показники зовнішньої швидкісної	
характеристики силового агрегату автомобілів.....	
Висновки до четвертого розділу.....	
ВИСНОВКИ.....	
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	

ВСТУП

Надійність, екологічність двигунів автомобілів, у зв'язку з підвищенням з кожним роком навантажень, почали визначати в основному не показниками міцності, а трибологічними показниками вузлів і деталей рухомих спряжень. Чим більше зростатимуть навантаження, тим більшу роль будуть здійснювати трибологічні показники. У зв'язку з цим трибологічні явища повинні враховуватися під час проектування та експлуатації автомобільних двигунів. Втрати коштів від тертя та зносу досягають 4...5 % національного доходу, а подолання опору тертя викликає втрату у всьому світі 20...25 % енергії. Розробка нових ефективних мастильних матеріалів є одним із шляхів підвищення довговічності вузлів тертя та зниження енергоємності сучасної техніки. Принципово нові мастильні матеріали створюються протягом десятиліть.

Поліпшення триботехнічних показників вже наявних мастильних матеріалів шляхом введення в них добавок є найбільш перспективним способом вирішення даної проблеми. В даний час розроблено велику кількість присадок і добавок до олів, що надають на властивості останнім різноманітний вплив. Більшість присадок та добавок багатofункціональні. Відсоткове співвідношення застосування присадок та добавок зростає. Все це вимагає нових підходів, нових розробок присадок та добавок для змащувальних матеріалів двигунів автомобілів.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ СТАНУ І ВЛАСТИВОСТЕЙ МОТОРНОЇ ОЛИВИ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ ТА ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО НИХ

1.1 Основна функція та показники стану моторних олив вантажних автомобілів

Моторні оливи при роботі вантажних автомобілів в жорстких умовах експлуатації піддаються комплексній дії високої температури, знакозмінного навантаження, кисню та запиленості повітря, продуктів згоряння палива і зношування деталей основних спряжень деталей та вмісту сторонніх домішок, частинок зносу (рис.1.1). При цьому погіршується якість олив, змінюється фізико-хімічні характеристики та властивості, зменшується термін їх експлуатації.

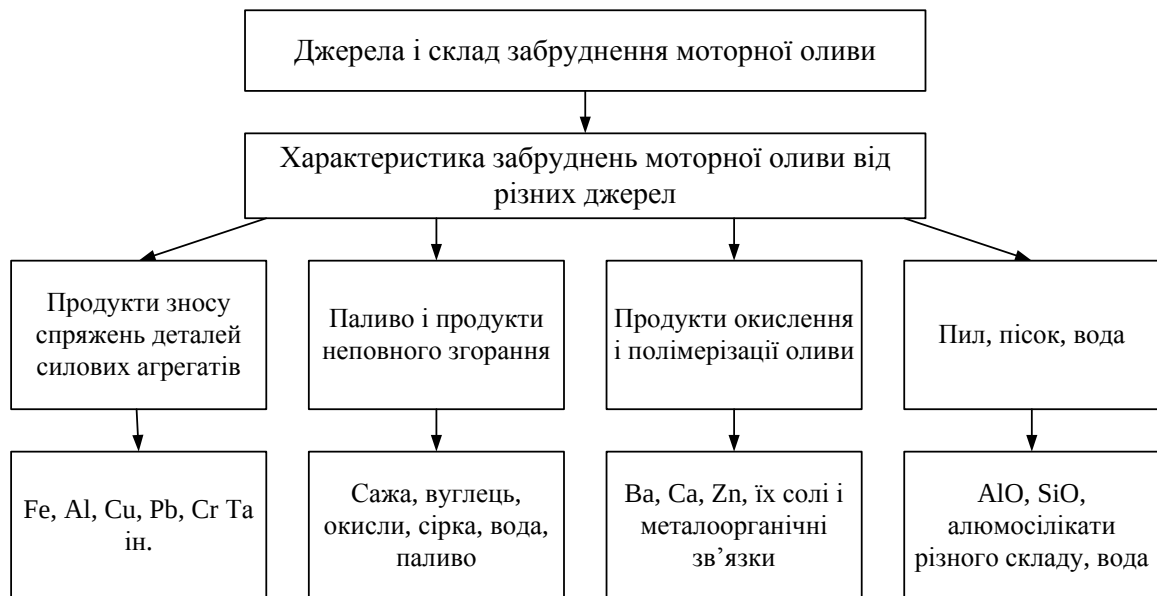


Рисунок 1.1 – Джерела і склад забруднення моторної оливи в жорстких умовах експлуатації вантажних автомобілів

Основна функція, яку виконують моторні оливи – це зниження тертя і зносу спряжень деталей силових агрегатів за рахунок створення на їх поверхні оливної плівки. Одночасно з цим оливи силових агрегатів

вантажних автомобілів повинні забезпечувати у спряженнях деталей:

- ущільнення зазорів, в першу чергу, деталей ЦПГ;
- ефективне відведення тепла і видалення із зон тертя продуктів зносу та інших сторонніх речовин;
- надійний захист робочих поверхонь деталей від корозійного впливу продуктів окиснення оливи і згоряння палива;
- запобігання утворенню всіх видів відкладень (нагару, лаків, зольних відкладень, шламів) на деталях при різних режимах їх роботи;
- висока стабільність при окисненні, механічному впливі і обводнюванні, тобто збереження первинних властивостей, як за умов різноманітного застосування, так і тривалого зберігання;
- менша витрата на чад при роботі двигуна;
- великий термін служби до заміни моторної оливи.

Виконання зазначених функцій моторними оливами можливо тільки у випадку, якщо їх експлуатаційні властивості і показники будуть задовольняти ряду експлуатаційних вимог:

- володіти оптимальними в'язкісними властивостями та визначати надійну і економічну роботу агрегатів на всіх експлуатаційних режимах;
- мати добру змащувальну здатність для запобігання інтенсивного зношування спряжень деталей двигуна;
- володіти достатньою хімічною стійкістю, що забезпечує мінімальну зміну властивостей мастильного матеріалу в процесі його застосування;
- бути стійкими до процесів випаровування, спінювання і утворення емульсій;
- надійно захищати робочі поверхні деталей від атмосферної корозії.

Моторні оливи мають набір фізико-хімічних властивостей, які характеризують їх експлуатаційне призначення. Наприклад, в'язкісно-температурні властивості мають в експлуатації багатостороннє значення. В'язкість олив значною мірою визначають режими змащення, відведення тепла від робочих поверхонь і ущільнення зазорів, енергетичних втрат в

двигуні, їх експлуатаційні якості, швидкість запуску двигуна, прокачування оливи в системі змащення, охолодження деталей. Мийно-диспергуючі властивості оливи визначають її здатність забезпечувати необхідну якість деталей силових агрегатів, утримувати продукти окислення і забруднення у зваженому стані, щоб вони не відкладались на робочих поверхнях. Чим вище ці властивості, тим більше нерозчинних речовин (продуктів старіння) може утримуватися в робочій моторній оливі без випадання в осад.

Відомо, що антиокислювальні властивості олив в значній мірі визначають їх стійкість до старіння. Запобігти процесу окислення моторних олив через жорсткі умови повністю не представляється можливим. Відповідно є необхідність очищення олив від небажаних з'єднань, при використанні синтетичних базових компонентів, а також при введенні антиокислювальних присадок, щоб можливо загальмувати процеси окиснення. Зазначимо, що при наявності процесів окиснення олив зростає їх в'язкість та корозійна здатність, до утворення відкладень, забруднення фільтрів.

Протизносні властивості моторної оливи сприяють перешкоджанню зносу спряжень деталей, утворення на робочих поверхнях антифрикційної плівки, яка виключає фактичний контакт деталей. Протизносні властивості олив залежать від їх в'язкості і в'язкісно-температурної характеристики, здатності змащення, чистоти оливи.

Антикорозійні властивості олив силових агрегатів вантажних автомобілів залежать від складу компонентів, концентрації антикорозійних, антиокисних присадок, а також металів деактиваторів. Визначено, що у процесі старіння корозійність олив зростає. Оливи з малосірчистих нафт та високим вмістом парафінових вуглеводнів більш схильні до збільшення корозійності. При цьому утворюються агресивні органічні кислоти, спостерігається взаємодія з кольоровими металами і їх сплавами.

Виходячи із зазначеного моторні оливи повинні виготовлятися відповідно до вимог діючих стандартів за технологічним регламентом,

затвердженим у встановленому порядку, а за фізико-хімічними показниками відповідати вимогам і нормам. Для встановлення обґрунтованих термінів служби олив необхідно також мати відомості про характер їх забруднень в процесі експлуатації (табл.1.1).

Таблиця 1.1 – Джерела та склад забруднення моторної оливи

Джерела забруднень	Склад забруднень
Продукти зносу	Fe, Al, Cu, Pb, Cr та ін.
Паливо і продукти його неповного згоряння	Сажа, вуглець, окис сіри, вода, паливо
Продукти окислення і полімеризація оливи	Кислоти, оксикислоти, смоли, полімери
Продукти спрацювання присадок в оливі	Ba, Ca, Zn їх солі і металоорганічні зв'язки
Наявність пилу, піску, води	AlO, SiO і вода

В картері працюючого силового агрегату спостерігається суміш вихідної оливи з різними продуктами старіння. Показано, що від них повністю очистити оливу не вдається і кількість вуглецевих частинок в оливі підвищується. Експлуатаційна динаміка властивостей моторних олив залежить від цілого ряду факторів, основними з яких є: вихідні властивості оливи; конструктивні особливості силового агрегату, його технічний стан і режим роботи; властивостей оливи, використовуваної для доливання, технологія технічного обслуговування і умови роботи вантажних автомобілів.

При функціонуванні силових агрегатів автомобілів неодмінно відбувається зміна показників якості моторної оливи, причому завжди в гіршу сторону. Працездатність оливи зазвичай оцінюють по одному або декількох показниках граничного стану, при досягненні яких відбувається помітне збільшення швидкості зношування, утворення осадів, зниження надійності і т. п. (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Гранично допустимі значення показників працюючої оливи М-10Г₂К

Фізико-хімічні показники	Гранично-допустимі значення показників оливи М-10Г ₂ К
Кінематична в'язкість мм ² /с	10,5...11,5
Кислотне число, мг КОН/г, не менш	2,0
Загальне лужне число, мг КОН/г, не менше	6,0
Температура спалаху, не менш, °С	220
Температура кипіння, не менш, °С	180
Диспергуюча здатність, у.е.	0,3
Вміст води, не більше, %	1,0
Зольність, %	1,15
Коксівність, %	4
Густина, кг/м ³	0,905
Аерація, %	12,5

Проведений огляд результатів значної кількості досліджень свідчить про те, що більшість дослідників в якості граничних показників робочої оливи використовують в'язкість, диспергуючо-стабілізуючу спроможність (ДСС), лужне число, оптичну щільність, концентрацію і швидкість потрапляння в неї продуктів зносу. Гранично допустимі значення показників працюючої оливи, за якими можна дати попередню оцінку, згідно з офіційною інструкції - РД 37.001.019-84 "Методика діагностування технічного стану автомобільних дизельних двигунів за показниками працюючої оливи".

За кордоном є також ряд робіт, присвячених питанням зміни показників якості олив і термінам їх змін. У цих роботах в якості бракувальних показників рекомендується застосовувати: лужність, забрудненість і диспергуючу здатність оливи, оцінювану крапельною

пробою, коксівність, оптичну щільність і т. п. Періодичний контроль перерахованих показників дозволяє проводити заміну оливи по фактичному їх стану і, таким чином, суттєво скорочувати потребу в свіжих оливах, виявляти несправності силових агрегатів автомобілів і попереджати підвищений знос спряжень їх деталей.

Якість моторних оливи впливає на: ефективність роботи систем зниження токсичності, загальний ресурс деталей і силового агрегату в цілому, витрати палива і оливи. При експлуатації вантажних автомобілів спостерігається загальна світова тенденція до збільшення терміну заміни (табл.1.3).

Таблиця 1.3 – Термін заміни моторних оливи на дизелях вантажних автомобілів

Виробники	Термін заміни, тис.км.
КамАЗ	до 30
DAF	50...100
DaimlerChrysler	20...100
IVECO	30...100
MAN	45...80
RENAULT	до 120
SCANIA	20...120
VOLVO	15...75

Дослідженню динаміки показників якості оливи присвячено значна кількість робіт, результати яких зводяться до наступного: зміна більшості показників якості оливи відбувається в перші години роботи двигуна, після чого значення цих показників стабілізуються, при чому стабілізація показників простежується навіть при значному збільшенні терміну служби оливи. Такі показники, як в'язкість оливи, механічні домішки, кислотне число, вміст паливних фракцій були стабільними навіть при терміні служби оливи більше 60 тис, км. Аналогічні показники отримані і при дослідженні

зміни властивостей олив в автотракторних двигунах. Стабілізація цих показників ускладнює використання їх для встановлення обґрунтованих строків служби оливи в експлуатації вантажних автомобілів. У більшості випадків основною причиною їх зміни є порушення технічного стану двигуна. Істотний вплив на зміну цих показників здійснює також режим роботи силових агрегатів вантажних автомобілів.

1.2 Вплив режиму роботи спряжень деталей силових агрегатів вантажних автомобілів на зміну показників якості моторної оливи

Режим роботи силових агрегатів залежить від умов експлуатації автомобілів. При роботі в умовах відкритого кар'єру та сільськогосподарського виробництва двигуни тривалий час працюють на номінальній потужності, а в деяких випадках з перевантаженням. Така робота силових агрегатів автомобілів сприяє високотемпературному окисненню, забрудненню оливи та накопиченню в ній корозійно-агресивних продуктів зносу, що може призвести до таких небажаних пошкоджень, як пригорання поршневих кілець. Крім того, при розкладанні під дією високих температур, деструкції та гідролізі деякі присадки, що знаходяться в моторних оливах, також утворюють корозійно-агресивні продукти, які можуть інтенсифікувати хімічну корозію підшипникових сплавів.

В свою чергу, ступінь старіння моторних олив не пропорційно температурі. Якщо при 293 К процеси їх окислення після 2 год. роботи установки практично непомітні, то в інтервалі 393...473 К значно зростає кислотне число, в'язкість, зниження лужного числа (рис. 1.2, 1.3).

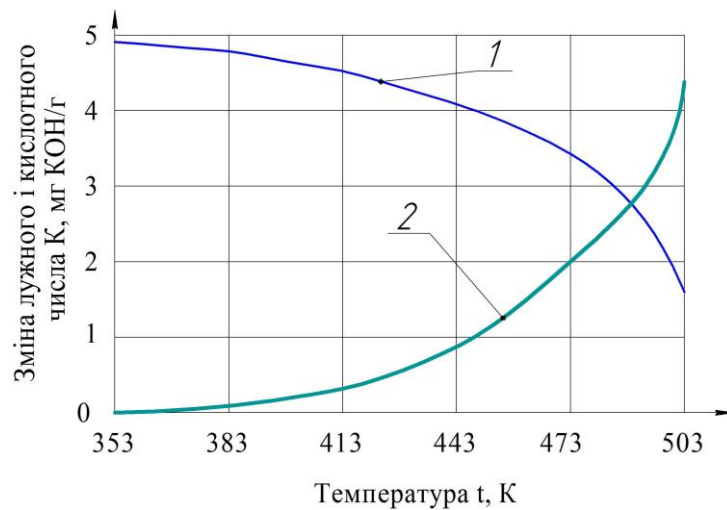


Рисунок 1.2 – Зміна лужного і кислотного чисел оливи М-10Г₂к залежно від температури: 1 – лужне число; 2 – кислотне число

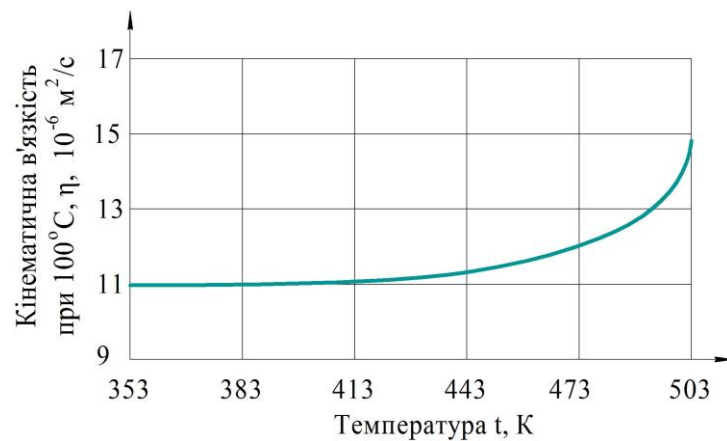


Рисунок 1.3 – Зміна кінематичної в'язкості оливи М-10Г₂к залежно від температури

Тому для двигунів сучасних автомобілів (головним чином в зимовий час року) при пробігах на короткі відстані, частих пусках і зупинках, тривалій роботі на холостому ході, характерним є робота на зниженому тепловому режимі. Умови роботи олив при цьому можуть бути не менш жорсткими, ніж при тепловому режимі: погіршується процес згоряння палива, збільшується потрапляння в картер обвуглених частинок, важких фракцій палива. В таких умовах також інтенсифікуються процеси старіння та забруднення оливи, появляється осад. При роботі на зниженому тепловому режимі утворення шламів прискорюється у 20...30 разів у порівнянні з підвищеним тепловим.

Попередження утворення шламу можливо тільки при високих диспергуючих властивостях оливи. При температурі нижче критичної різко підвищується темп зносу деталей в процесі інтенсифікації рідинної корозії. Це позначається на період пуску двигуна (взимку та в осінньо-весняний час року значніше), а також при експлуатації з частими і тривалими зупинками. Слід зазначити, що інтенсивність зміни експлуатаційних показників моторної оливи при знижених температурах навколишнього повітря (зимовий період) дещо зменшується у порівнянні з інтенсивністю зміни в умовах підвищених температур. Це пояснюється тим, що при низьких температурах практично відсутнє забруднення оливи частками дорожнього пилу.

1.3 Показники бракувань моторної оливи силових агрегатів автомобілів

Під показником бракування розуміють значення експлуатаційних показників робочої моторної оливи, досягши який вони більше не забезпечують надійну роботу силового агрегату і необхідно проводити заміну робочої оливи в ньому. Для системи змащення дизелів кар'єрних автосамоскидів використовують моторну оливу М-10Г₂к, яка застосовується для техніки великої вантажопідйомності більше 40 т.

При вирішенні питання щодо бракування оливи, віддають перевагу різним критеріям придатності оливи для роботи в силових агрегатах автомобілів. Немає єдиної думки відносно самих показників бракувань і їх критичних значень. В якості показників для бракування оливи пропонуються підвищена в'язкість, зміна вмісту присадки, кількість продуктів забруднення оливи, їх склад і співвідношення, вміст смол в робочій оливі та ін. У зарубіжній практиці також немає єдиної точки зору про те, які параметри слід контролювати і які значення є гранично допустимими. В таблиці 1.4 наведені значення рівня показників, за якими проводиться бракування, що застосовуються різними фірмами, а в таблиці 1.5 відповідність кореляція між

контролюючими показниками і зміною стану оливи.

Таблиця 1.4 – Значення бракувальних показників оливи М-10Г₂к

Показники	М-10Г ₂ к
Зміна в'язкості, %	±15
Вміст води, не більше, %	1
Вміст НРБ, не більше, %	2
Загальне кислотне число мгКОН/г, не більше	2
Температура спалаху, не менше, °С	2
Загальне лужне число, міліграм КОН/г, не менше	–
Вміст палива в оливі, не більше, %	–

Таблиця 1.5 – Коефіцієнти кореляції (R) між деякими з контрольованих показників і зміною стану оливи.

Показник	Позначення	R
Кислотне число, мгКОН/г	К	0,732
Лужне число, мгКОН/г	Л	0,717
В'язкість кінематична, мм ² /с	ν	0,549
Диспергуюча здатність	Д	0,627
Зольність, % м	З	0,486
Коксівність, % м	Ко	0,442
Густина, кг/м ³	ρ	0,452
Температура загорання, К	T _{заг}	0,133

Немає єдиної думки і відносно бракованих параметрів оливи при їх експлуатації, хоча і приймаються, як правило, одні і ті ж показники властивостей оливи: зміна в'язкості; температура спалаху; масова частка води; масова частка палива; масова частка нерозчинних домішок; загальне лужне число; загальне кислотне число. У меншій мірі приділяється увага визначенню вмісту окремих металів в оливі, хоча воно є одним з основних показників оцінки оливи як конструкційного матеріалу силового агрегату автомобіля і дозволяє мати інформацію про його зношуваність. Отже, питання старіння моторних оливи є нагальним для різних умов їх експлуатації,

в силових агрегатів підвищеної потужності автомобіля, незважаючи на те що удосконалюються і самі силові агрегати і призначені для них оливи.

1.4 Аналіз присадок та добавок, що покращують властивості і показники робочих моторних олив вантажних автомобілів

Моторна олива в силовому агрегаті автомобіля призначена для утворення стійкої мастильної плівки на робочих поверхнях спряжень деталей, для утворення умов мінімального тертя і запобігання їх зношування. Щоб покращити експлуатаційні властивості і її показники використовують різні присадки. Вони поділяються на наступні типи: в'язкісні, що покращують в'язкісно-температурні властивості оливи; депресорні, що знижують температуру застигання оливи; антиокиснювальні і нейтралізуючі, що запобігають утворенню кислих і смолоподібних продуктів окиснення оливи, а також проявляють нейтралізуючу дію сірчистих з'єднань; мийно-диспергуючі, що перешкоджають утворенню відкладень різного типу на деталях двигунів і підтримують забруднюючі домішки в оливі в зваженому дрібнодисперсному стані; захисні, що запобігають корозії залізовмісних деталей; антипінні, що зменшують схильність оливи до піноутворення; антикорозійні, що захищають від корозійного зносу підшипники виконані з кольорових металів і сплавів; протизносні, що знижують величину зносу в спряженнях деталей при наявності високого контактного тиску; протизадирні, що призначені для забезпечення формування робочих поверхонь деталей без заїдання або для пом'якшення цих процесів та ін.

За допомогою присадок в процесах припрацювання та експлуатації намагаються досягти таких функціональних властивостей, як протизношувальність, протизадирковість, антифрикційність, антикорозійність та інші. Ці властивості можуть спричинити оливи з присадками завдяки утворенню спеціальних плівок на робочих поверхнях деталей та приповерхневих шарів оливи з формуванням "золь-гель"

перетворень.

Протизношувальні та протизадиркові присадки (табл. 1.6) створюють на поверхнях тертя адсорбційні, хемосорбційні плівки, а також композиційні плівки хімічних сполук присадок з металом.

Таблиця 1.6 – Протизношувальні та протизадиркові композиційні присадки

Вид присадки	Матеріал	Недоліки
Протизадиркова	Одночасно вміщують <i>S, Cl</i>	Ефективність змащення обмежена температурою у зоні тертя (до 423К)
Протизношувальна	Полярні групи (<i>COOH, OH</i>) модифікування хімічними елементами <i>P, S, Cl</i>	Ефективність змащення обмежена температурою у зоні тертя (до 423К) і питомим тиском (7...8МПа)

Протизадиркові і протизношувальні присадки містять композиційні сполуки і утворюють захисні плівки фосфатів, сульфідів та хлоридів. Тому при формуванні композиційних присадок синтезують органічні речовини, які вміщують одночасно *P, S, Cl*. Разом з тим є мала їх довговічність та обмеженість за температурним фактором і питомим тиском у зоні тертя спряжень деталей.

Існуючі металовмісні присадки можуть містити: один метал; декілька металів; композиції металів та елементоорганічних сполук. За своєю дією на поверхні тертя розрізняють наступні присадки: поверхнево-активні (ПАП); хімічно-активні (ХАП); інактивні (ІП); металоплакуючі і пластично-деформуючі (МП). До складу ПАП входять жирні кислоти (олеїнова, стеаринова і пальмітинова), ефіри органічних кислот і спиртів, технічний лецитин тощо. Вони призначені для зміцнення і подальшого пластифікування поверхонь тертя. Недоліком ПАП є експлуатаційна їх обмеженість за

температурним фактором.

До складу ХАП входять атоми хімічних елементів P, S, Cl. Найбільш поширеною є присадка ЛЗ-301. Вона являє собою прозору рідину, яка вміщує 50% сірки. Рекомендований вміст такої присадки в оливі – 1,5...2,0%. На практиці поширення набула композиційна присадка дипроксид з 48% вмістом сірки, яку додають до оливи у концентрації 2,5%.

У якості ІП використовують дисульфід молібдену, графіт, дрібнодисперсний каолін та ін. Щодо ефективності присадки є висока антифрикційна та протизношувальна дія, а недоліком – випадання їх в осад. В якості МП присадки використовують наступні: КТЦМС-1, "Гретерин 3", ОГМ та ін. Вони являють собою суміші жирних кислот та солей металів (в основному олова та міді).

На увагу заслуговують три основних класи антифрикційних присадок (АФП): модифікатори тертя; реметалізанти; кондиціонери металу. Перший клас є найбільш поширеним і представлений препаратами: Аспект-модифікатор (Росія), PTFE (США), 8X747 (США), Фриктол (Україна), Молитранс (Росія), Motorol (США), Хадо (Україна) STP з XEP_2 (США), VP-357 (Німеччина) та ін. Позитивний вплив цих присадок пов'язують з антифрикційними і протизношувальними властивостями моторної оливи. При попаданні найдрібніших частинок цих продуктів в спряження деталей обумовлює утворення захисного шару, що перешкоджає безпосередньому контакту поверхонь тертя. Зовсім інший механізм дії закладено в присадках на основі оліворозчинних сполук молібдену (Фриктол, Молитранс, Молиприз та ін.).

У важких умовах експлуатації спряжень деталей при додаванні присадок в моторну оливу можуть спостерігатися ефект самоорганізації. Він регулює процеси зносу і регенерації поверхонь тертя вибіркоким переносом без технічного обслуговування. Відомі присадки ще однієї групи: шаруваті модифікатори тертя. Вони містять елементи з низьким опором зсуву між шарами. Це може бути ди- і трисульфід молібдену, диселенід молібдену,

дисульфід вольфраму та ін.

До класу реметалізаторів відносять препарати: РиМЕТ (Росія), Metalyz-6 (Швейцарія), Lubrifilm (Швейцарія) та ін. АФП містять у своєму складі, ультрадисперсні порошки (УДП) кольорових і благородних металів. Найчастіше це мідь, свинець, олово, срібло, цинк, алюміній, нікель, а також їх сплави. Механізм дії присадок цього класу полягає в наступному: частинки УДП мідного сплаву (РиМЕТ) за рахунок різниці хімічних потенціалів і високої поверхневої енергії легко осідають на дефектних ділянках поверхонь трибоконтакту і на сталевих частинках зносу, створюючи активні мідні островці. Частинки присадки формують на поверхні трибоконтакту нові зносостійкі дрібнодисперсні структури. Вони які сприяють встановленню оптимального зазору в спряженнях деталей двигуна при визначеному режимі функціонування, мінімізації сил і моментів тертя, зменшенню зносу.

Присадкам властиві суттєві переваги, але притаманні і недоліки: їх дія продовжується, поки вони присутні в оливі в достатній концентрації; присадки не тільки не є антифрикційними, але здатні збільшити опір тертю; високі концентрації складових присадки, впливають на реологію мастильного матеріалу; через складність процесів фізико-хімічних перетворень, вони не володіють універсальністю до матеріалів і режимів роботи спряжень деталей силових агрегатів автомобілів.

На увагу заслуговують препарати ER (США), MILITEC-1 і FENOM. Кондиціонери металів, як складні органічні термоактивуючі препарати в зоні тертя формують захисну плівку (близько 25 нм) з хімічно чистого заліза (ER) і фаз вуглецю в алмазоподібному стані (FENOM). У формуванні плівки беруть участь і мікрочастинки зносу металу. Така шарувата структура на поверхнях тертя дозволяє контактуючим деталям взаємодіяти одна з одною зазнаючи тільки пружних деформацій. При цьому значно знижується інтенсивність зношування, а наявність фаз вуглецю сприяє збільшенню межі критичних навантажень. Спостерігається пластифікування поверхонь тертя і формування на них тонкого шару сервовитної плівки, що характерно для

ефекту вибіркового переносу. Присадки даного класу дозволяють в 3...5 разів збільшити ресурс деталей та їх спряжень на етапі експлуатації і отримати економію енергоресурсів на 10...40%.

Геомодифікатори тертя (ГМТ) по характеру впливу на поверхню деталей спряжень силових агрегатів автомобілів. ГМТ подібні до природних мінералів ультраосновних порід. Виробником продуктів даного класу є корпорація "ХАДО" (Україна). При наявності в оливі ГМТ за рахунок енергії тертя в зоні контакту відбувається відділення дефектного шару металу, текстурування поверхні тертя з одночасним зміцненням матеріалу підкладки на значну глибину. В ході припрацювання поступово відбувається відновлення поверхонь тертя, їх мікрогеометрії та створення на них врівноваженої шорсткості, обумовлених реальними умовами експлуатації.

За хімічним і фазовим складами ГМТ частіше всього являють суміш класичного магнезіально-залізистого силікату (серпентину $\text{Mg}_6[(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8]$, олівінів, кінцевими фазами якого є форстерит (Mg_2SiO_4) і фаяліт (Fe_2SiO_4), а також, в невеликих кількостях, кремнезему SiO_2 і доломіту $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$. Широкий спектр трибологічних показників та відновлювальних композицій, що містить добавки геологічного походження і базуються на властивостях порошку з основою серпентину, досліджували в роботах. Дані дослідження не відображали порівняльної картини зношування з існуючими синтетичними аналогами добавок. В свою чергу дослідники навели певні теоретичні обґрунтування застосування мастильних композицій з деякими геомодифікаторами тертя цього типу в досліджуваних спряженнях деталей.

Геомодифікатори сприяють механохімічним реакціям, піролізу компонентів олив та трибокаталітичної карбонізації, графітизації і утворенням твердих вуглевмісних сполук з олив. Виявлено умови формування покриттів, низький коефіцієнт тертя і теплопровідності, високу міцність і корозійну стійкість геомодифікаторів. Приведені висновки можна зробити з досліджень властивостей геомодифікаторів $\text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$.

Виявлено, що в основі фрикційних геомодифікаторів лежить велика група мінералів, які мають аналогічний хімічний склад, де магній може бути замінено залізом та нікелем. Серпентинова порода включає в себе декілька видів серпентину, магнетитових та хромових включень і варіацію хімічних елементів, що використано в якості суміші геомодифікаційної композиції. Дослідження різноманітних геомодифікаційних композицій висвітлено в наукових роботах, дано рекомендації ефективного їх використання при розробці триботехнологій відновлення.

Хімічна складова утворення металокерамічного шару з геомодифікаторів в певній мірі розроблена, але не наведено інформацію фізико-механічні й реологічні властивості цих шарів. Такі розробки практично відсутні. В опублікованих роботах припускають можливість виникнення еластогідродинамічного ефекту, який характеризується високими тисками в оливному клині, викликаючи пружну деформацію матеріалів деталей, що контактують. Внаслідок чого величина зазору між деталями зростає, дане явище, очевидно, має місце при роботі шару що формується при наявності геомодифікаторів в оливі. Глибоких досліджень поверхневих і приповерхневих шарів, які сформовані на робочих поверхнях деталей при обробці геомодифікаторами у відкритій літературі не виявлено.

1.5 Шляхи підвищення довговічності рухомих спряжень деталей силових агрегатів, що працюють в оливному середовищі

Одним з головних завдань покращення експлуатаційних властивостей і показників олив є підвищення довговічності силових агрегатів автомобілів. Найбільш ефективним способом реалізації цього є додавання до них спеціальних присадок і добавок. Проте, далеко не завжди поєднання їх з різними функціональними властивостями забезпечує хорошу якість моторних олив, відомі випадки, коли одні присадки погіршують дію інших, а

взаємнопосилуюча дія присадок спостерігається значно рідше. Незважаючи на це, отримання високоякісних товарних олив може бути тільки за допомогою оптимально підібраної композиції присадок, яка дозволить збільшити термін служби мастильного матеріалу і час безаварійної експлуатації спряжень деталей або самого силового агрегату автомобіля.

До олив додають антиокислюючі присадки, що підвищують стійкість олив при окисленні киснем повітря; протизнос і протизадири, покращують антифрикційні властивості; в'язкісні і дисперсні присадки, що покращують вязкістно-температурні і низькотемпературні властивості; запобігаючі спінюванню оливи, миючо-диспергуючі присадки, що перешкоджають відкладенню продуктів окислення на деталях двигунів внутрішнього згорання. Найбільш прийнятні багатофункціональні присадки, що покращують одночасно різні експлуатаційні властивості моторної оливи.

Питання про термін служби моторних олив актуальне і викликає суперечки серед дослідників. Насьогодні немає єдиної думки про оптимальні терміни служби моторних олив, оскільки їх стан оцінюють за одним або декількома діагностичними показниками. Потрібно відмітити, що зміна рівнів цих показників по різному впливають на міру старіння моторної оливи і, отже, на швидкість зношування деталей силових агрегатів автомобілів.

Більшість дослідників вважають, що потрібно встановити дійсний термін заміни оливи по фактичному стану, базуючись на комплексній оцінці різних фізико-хімічних показників працюючої оливи силових агрегатів. З точки зору економіки і надійності роботи силових агрегатів автомобілів необхідно оптимізувати термін їх служби. Часта зміна моторних олив не вигідна не лише економічно, але і технічно, оскільки олива набуває оптимум експлуатаційних властивостей, зокрема протизносних, тільки після певного напрацювання.

Розробляючи методи підвищення довговічності силових агрегатів автомобілів, слід враховувати наступні впливові чинники: попаданні абразиву в змащувальну систему; підвищенні вмісту сірки в паливі;

накопиченні в оливі води або іншої охолоджуючої рідини; підвищенні хімічної активності оливи; збільшенні витрати оливи на чад унаслідок підвищеного зносу ЦПГ і т.д.

При цьому особливе значення має знос, що виникає у момент пуску двигуна. Такий знос більше, ніж знос при роботі двигуна на сталому режимі. Він залежить від в'язкості оливи – змащувальні матеріали з малою в'язкістю забезпечують більш низький знос унаслідок кращого підтікання оливи спряжень деталей. Для роботи в сталому режимі перевага віддається більш в'язким оливам. Щоб зменшити тертя і зношування спряжень деталей силових агрегатів автомобілів використовуються оливи з хорошими в'язкісно-температурними властивостями, що забезпечують нормальний пуск і надійну роботу силового агрегату в подальший період.

Для підвищення надійності роботи силового агрегату автомобіля використовуються також і інші способи, що приводять до зниження зносу. Для цього збільшують ефективність роботи засобів очищення, що видаляють з оливи механічні домішки, воду і інші продукти, присутність яких може негативним чином відобразитися на надійності роботи двигуна в процесі його експлуатації. Наприклад, наявність в оливі води знижує її здатність протидіяти зношуванню спряжень деталей.

Велика увага приділяється також спрацьовуванню присадок і добавок при роботі моторних оли в силових агрегатах автомобілів. Встановлено, що в перші години роботи силових агрегатів найінтенсивніше зменшується вміст миючих присадок, а в подальшому поступово зменшується спад присадок до стабілізації її концентрації в оливі. Аналіз вказує на те, що зменшення вмісту миючих присадок в оливи викликане різними причинами. Серед них безпосередня адсорбція присадки на елементах оливних фільтрів, що фільтрують, а також видаляють елементами оливних фільтрів нерозчинні в оливі продукти забруднення, що фільтрують, разом з адсорбованою на них присадкою; зрештою, розпад присадки з утворенням нерозчинних в оливі продуктів забруднення.

Застосування моторних олив необхідного рівня якості залежить від їх технічної необхідності та економічної доцільності і розглядається в сукупності із проблемою збереження змащуваних спряжень деталей силового агрегату. Значення фізико-хімічних показників робочої оливи являє собою комплексну інформацію по знос спряжень деталей силових агрегатів або дефекти окремих його деталей, а також відображає характер протікання робочого процесу в системі змащення.

Для підвищення якісних показників моторних олив до них додають композиційні присадки, що підвищують стійкість олив при окисненні киснем повітря; протизносні і противозадирні, що забезпечують антифрикційні властивості; в'язкісні і депресорні присадки, що покращують в'язкісно-температурні і низькотемпературні властивості; протипінні, запобігаючи спінюванню оливи; миючі-диспергуючі присадки, що перешкоджають відкладенню продуктів окиснення на деталях силових агрегатів.

За аналізом даних встановлено, що існує два способи підвищення експлуатаційної надійності силових агрегатів автомобілів, працюючих без розбирання в процесі експлуатації. Це такі як вплив присадками на роботу моторних олив у спряженнях деталей та зменшення зносу при нестационарних режимах роботи "пуск-зупинка" методом подачі оливи перед початком пуску силового агрегату. У процесі експлуатації автомобілів моторна олива в їх силових агрегатах зазнає постійних змін, характер і величина яких залежить від умов експлуатації автомобілів і властивостей самих олив.

У більшості випадків, ці зміни такі, що не виключають можливості повторного використання олив після належного очищення і видалення продуктів старіння. Вибір способу відновлення моторних олив цілком визначається двома факторами: характером вимог, що пред'являються до якості свіжої оливи даного призначення; природою і кількістю забруднень і продуктів старіння, що містяться в оливі. Чим вище вимоги до якості свіжої оливи і чим далі зайшов процес старіння, тим більші затрати енергії потрібні

для її відновлення. Вибір оптимального способу відновлення можливий тільки при наявності достовірних даних про фізико-хімічних властивостях свіжих олив і вимог, які пред'являються до механізмів, що забезпечують підтримку їх якості в умовах роботи оливи і характер продуктів старіння і забруднень, що потрапили ззовні.

Висновки до першого розділу, мета і завдання досліджень

Аналіз проблеми підвищення надійності вантажних автомобілів модифікуванням моторної оливи композиційними присадками та добавкам дав можливість зробити наступні висновки:

1. Моторні оливи при експлуатації вантажних автомобілів з часом втрачають свої первісні властивості і фізико-хімічні характеристики, а отже зменшується термін їх експлуатації.

2. Визначено основні джерела та склад забруднень моторної оливи в жорстких умовах експлуатації вантажних автомобілів та основні функції моторних олив, які задовольняють ряду експлуатаційних вимог.

3. Наведено гранично-допустимі значення показників працюючої оливи М-10Г_{2К}, терміни їх заміни та показники її бракувань.

4. Показано як зміна показників якості моторної оливи впливає на зміну режимів роботи спряжень деталей силових агрегатів.

5. Наведена класифікація основних присадок і добавок, які покращують властивості і показники робочих моторних олив вантажних автомобілів.

6. Визначено шляхи підвищення довговічності рухомих спряжень деталей силових агрегатів та доцільність використання композиційних добавок на основі геомодифікаторів.

Метою магістерської роботи є підвищення довговічності вантажних автомобілів покращенням властивостей та фізико-хімічних характеристик моторної оливи додаванням композиційної добавки на основі геомодифікатору КГМТ-1.

Для реалізації мети роботи визначено наступні завдання:

- проаналізувати показники стану і властивостей моторних олив та основних вимог до них;
- теоретично обґрунтувати підвищення довговічність рухомих спряжень деталей силових агрегатів автомобілів модифікуванням моторної оливи композиційною добавкою;
- вибрати основні методики дослідження властивостей моторної оливи, модифікованої композиційними добавками;
- провести лабораторні та стендові випробування властивостей моторної оливи вантажних автомобілів.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РУХОМИХ СПРЯЖЕНЬ ДЕТАЛЕЙ СИЛОВИХ АГРЕГАТИВ АВТОМОБІЛЯ МОДИФІКУВАННЯМ МОТОРНОЇ ОЛИВИ КОМПОЗИЦІЙНОЮ ПРИСАДКОЮ

2.1 Фізична модель дії композиційної добавки на основі геомодифікатора на оливу та робочі поверхні рухомих спряжень деталей

Мастильні властивості моторних олив покращуються раціональними величинами концентрації поверхнево-активних речовин (ПАР) функціональних добавок і присадок, які на робочих поверхнях деталей формують міцні полімолекулярні шари, запобігаючи інтенсивному зношуванню в широкому діапазоні навантажень, швидкостей і температур в спряженнях деталей. Під дією силового поля на робочих поверхнях деталей в зоні тертя відбувається процес конкурентної фізичної адсорбції молекул ПАР компонентів присадки. Більш активні молекули витісняють з поверхні менш активні і через латентний період часу настає рівноважний стан, при якому на поверхні тертя формується антифрикційний шар або плівка. Товщина сформованого шару (плівки) залежить від величини силового поля, активності молекул, їх концентрації та асоціативного стану. Оскільки після припрацювання спряжень деталей силове поле поверхонь тертя залишається незмінним, то поверхнева активність молекул ПАР присадок залежатиме від величини постійного дипольного моменту їх полярно-активної частини.

Молекули компонентів присадки, що знаходяться в об'ємі оливи, взаємодіють між собою, утворюючи різні за будовою і формою надмолекулярні структури. Така взаємодія має електромагнітну природу, а інтенсивність утворення надмолекулярних структур залежить від концентрації присадки у оливі та дипольного моменту молекул ПАР. Зі збільшенням концентрації молекул у оливі, модифікованій композиційною

присадкою на основі геомодифікатора, росте кількість їх зіткнень з утворенням асоціатів. По досягненню деякого порогового значення концентрації практично усі молекули компонентів композиційної присадки знаходяться в асоційованому стані (рис. 2.1).

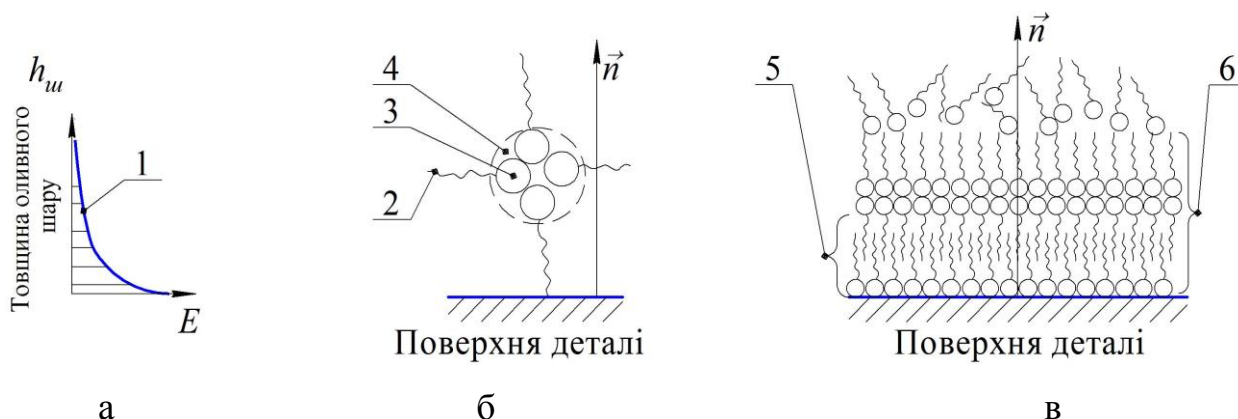


Рисунок 2.1 – Характер зміни кривої силового поля робочої поверхні деталі (а) та схеми взаємодії молекулярної структури компонент композиційної присадки з поверхнею тертя (б) і формування полімолекулярного шару (в): 1 – крива силового поля поверхні тертя; 2, 3 – вуглеводневий радикал та полярно-активна частина молекули композиції на основі геомодифікатора присадки; 4 – ядро міцели; 5, 6 – моно- та полімолекулярні шари композиційної оливи

Молекули присадки знаходяться в мономірному стані і формують полімолекулярний шар мастильного середовища (МС) (рис. 2.1, в). При цьому силового поля робочих поверхонь деталей (рис. 2.1, а) вистачає, щоб зруйнувати надмолекулярні структури (рис. 2.1, б) в зоні тертя. Основним чинником, що визначає процес адсорбції молекул композиційної присадки на поверхні тертя, є міра асоціації активних молекул в об'ємі МС.

Дослідженнями фізико-хімічних характеристик і властивостей сучасних моторних олив виявлено, що концентрації присадок в них перевищують порогові значення, тобто більшість молекул присадок знаходяться в асоціативному стані і мають надмолекулярну структуру. Такий стан оливи перешкоджає ефективному формуванню граничних мастильних

шарів на робочих поверхнях деталей, оскільки полярно-активні частини молекул компонентів композиційної присадки на основі геомодифікатора пов'язані між собою і розташовуються усередині асоціату, а неполярні вуглеводневі радикали – зовні.

Дослідження показали, що деякі композиційні оливи поблизу робочої поверхні деталей проявляють властивості неньютонівської рідини і відповідно мають меншу кінематичну в'язкість та підвищується ефективна швидкість зсуву її шарів:

$$dv/dz = f(\tau) + g(\tau, z), \quad (2.1)$$

де $f(\tau)$ – функція дотичного напруження; $g(\tau, z) \neq 0$ – функція зсуву шарів композиційної оливи вздовж нормалі до робочої поверхні і $z > \delta_h$, δ_h – відрізок нормалі до поверхні деталі.

Розв'язок диференціального рівняння (2.1) має вигляд:

$$v = f(\tau)z + \int_0^{\delta_h} g(\tau, z)dz, \quad (2.2)$$

де $\int_0^{\delta_h} g(\tau, z)dz = v_e(\tau)$ – ефективна швидкість зсуву оливи у нормальному напрямку до поверхні деталі.

Враховуючи останнє, маємо:

$$v - v_e(\tau) = f(\tau)dz. \quad (2.3)$$

Рівняння (2.2) і (2.3) свідчать, що в основі руху і теплообміну неньютонівських композиційних олив лежать пружнопластичні деформації і реологічні властивості, тобто закономірності фізико-хімічної механіки. Отже, з точки зору фізичної хімії, пояснюється поведінка композиційної оливи, як неньютонівської рідини, а з точки зору реології – створюються математична або фізична моделі її поведінки.

Через структурні ускладнення шарів композиційної оливи спостерігаються їх схильність до поверхневого мезоморфізму (самоорганізації). Виявлення цієї властивості можливе використанням

непрямих методів оцінки характеристик та властивостей оливи. Передусім це поверхневий натяг, оскільки чим вища поверхнева активність компонентів композиційної оливи, тим більшою мірою проявляється тенденція до виходу її молекул на поверхню тертя та спостереження адсорбції. Оцінити поверхневу активність, визначити робочі та критичну концентрації присадок композиційної оливи можливо за побудовою ізотерм коефіцієнту поверхневого натягу (рис. 2.2).

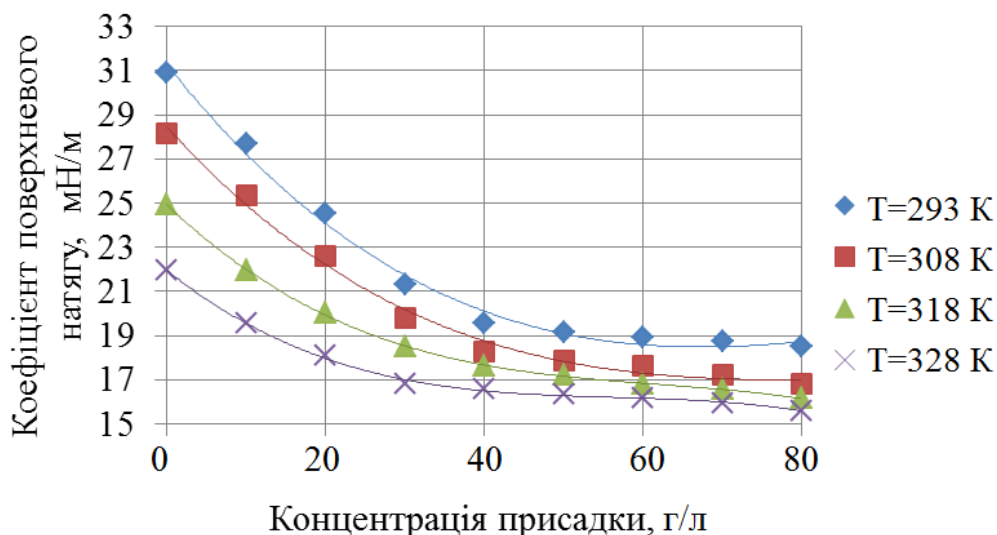


Рисунок 2.2 – Ізотерми коефіцієнта поверхневого натягу моторної оливи М-10Г₂к з додаванням композиційної на основі присадки геомодифікатора КГМТ-1

Підвищення температури в приповерхневому шарі оливи знижує величину коефіцієнта поверхневого натягу. При цьому зберігається загальна тенденція закономірності зміни коефіцієнта поверхневого натягу від концентрації присадки в її досліджуваному діапазоні. Немотонний характер кривих ізотерм $\sigma_n(C_v)$ дає можливість виділити дві широкі області різних закономірностей, в яких поверхнева активність значно змінюється. В проміжному, вузькому діапазоні концентрацій, коефіцієнт поверхневого натягу практично не змінюється. Поверхневу активність композиційної оливи по Гіббсу $d\sigma_n/dC_v$ можна апроксимувати лінійною залежністю:

$$\sigma_n = \sigma_{on} + (d\sigma_n/dC_v) \cdot C_v, \quad (2.4)$$

де σ_{on} , C_v – поверхневий натяг свіжої оливи та вміст композиційної присадки на основі геомодифікатора. Це підтверджено експериментальними дослідженнями для різних композиційних олив з різними концентраціями присадки. Найбільша активність оливи, модифікованою композиційною присадкою на основі геомодифікатора КГМТ-1, схильність її молекул до створення асоціатів спостерігається у проміжному діапазоні концентрації присадки. Зміна поверхневого натягу композиційної оливи від концентрації присадки визначає ту чи іншу схему розташування асоціатів молекул під час їх адсорбції на робочих поверхнях деталей (рис. 2.3).

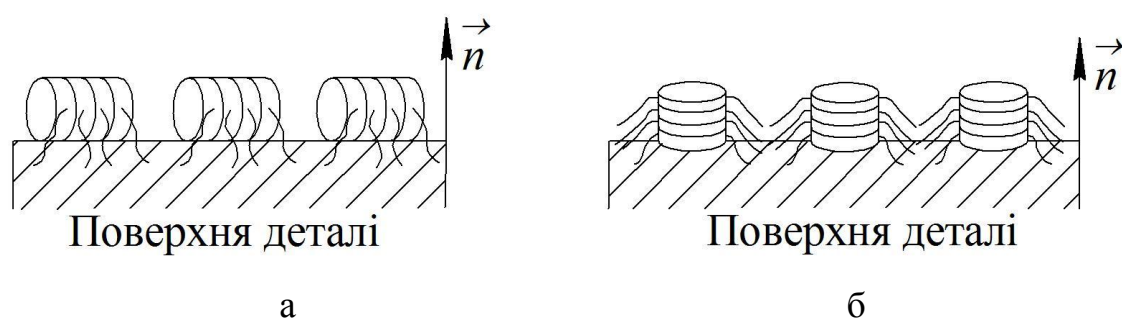


Рисунок 2.3 – Схеми розташування асоціатів молекул композиційної оливи на поверхні тертя деталей спряжень: а – асоціати орієнтуються паралельно робочій поверхні деталі; б – асоціати орієнтуються у напрям перпендикулярному до робочої поверхні деталі

Схема, зображена на рис. 2.3, а, переважно реалізується при концентраціях присадки гліцерату міді $C_v = (C_{vmin}; C_{vopt})$, а на рис. 2.3, б- $C_v = (C_{vopt}; C_{vmax})$. В області оптимальної концентрації присадки в оливі, відбувається погоджена переорієнтація асоціатів з перевагою першої схеми, що спричиняє стрибок в'язкості композиційної оливи. Зазначимо, що розташування асоціатів за другою схемою здійснюється щільніше, що дозволяє адсорбувати додаткову кількість речовини присадки на поверхні деталі. Дослідження аналогічного характеру проведені на інших присадках. Ефективність дії композиційних олив на поверхню деталі залежить від їх

фізико-хімічних характеристик та властивостей. Експериментальні дослідження коефіцієнта тертя свідчать, що при збільшенні навантаження складові присадок починають працювати більш ефективно і покращення триботехнічних характеристик пов'язані із структурними перебудовами композиційних олив. При мінімальному значенні коефіцієнта тертя довгі осі молекул розміщуються паралельно робочих поверхонь деталей, що істотно зменшує силу тертя, а отже знос деталі і спостерігається стан самоорганізації.

В'язкість композиційної оливи монотонно зростає із зростанням концентрації присадки C_v , що за характером в першому наближенні співпадає з лінійною залежністю, запропонованою Ейнштейном:

$$\eta = \eta_0(1 + \alpha_\phi \cdot C_v), \quad (2.5)$$

де α_ϕ – множник, залежний від форми частинок присадки, $\alpha_\phi = 2,5$ – для сферичної частинки; η_0 – в'язкість базової оливи; C_v – концентрація присадки.

Характеристики в'язкості структурованих композиційних олив, які за властивостями можна віднести до неньютонівських рідин, не можуть бути виражені одним параметром η . З реологічної точки зору їх доцільно оцінювати функціональною залежністю швидкості зсуву від напруження зсуву. Ця залежність на практиці набуває більш складного характеру і пояснюється особливостями структуризації та асоціації компонентів композиційної присадки на основі геомодифікатора. При незначному напруженні зсуву структурний каркас композиційної оливи зазнає пружних, цілком зворотних деформацій. Деформації, що відбуваються до межі плинності, протікають без порушення цілісності структурного каркаса та характеру взаємодії. Такий стан композиційної оливи можна описати моделлю Шведова-Бінгама.

Насьогодні ще недостатньо виявлено механізм взаємодії кожної компоненти присадки між собою, з композиційною оливою і з робочою поверхнею деталей. Найбільш ймовірно можна прийняти механізми асоціації

шляхом утворення водневих сполук і π - π - комплексів з перенесенням заряду. Перший механізм – це фазові перетворення (ФП) між щільноупакованою і слабо зв'язаною структурами адсорбованого шару молекул композиційної оливи, а другий – зміна поверхневої енергії стовпчастих π – асоціатів сполук присадки в результаті ФП. З'ясовано, що орієнтовані структури композиційної оливи мають менший опір плину, ніж неорієнтовані, про що свідчить зниження в'язкості при певних рівнях концентрації присадки й поліпшення реологічних властивостей оливи: пластична в'язкість зменшується, зменшується і напруження зсуву.

Використання активних компонентів композиційних присадок на основі геомодифікатора обумовлює виникнення умов реалізації процесів самоорганізації робочих поверхонь спряжених деталей з мастильним середовищем. При цьому дія складу присадок, їх активних компонентів може ініціювати трибохімічні реакції та фазові перетворення з утворенням на поверхнях деталей вторинних структур, які під дією навантажувально-швидкісного фактору спрацьовуються та відновлюються, забезпечуючи формування антифрикційного шару або антифрикційної захисної плівки.

Вважаючи процес тертя, як сукупність великого числа актів механічної взаємодії мікронерівностей спряжених поверхонь деталей розглянемо механізм створення антифрикційної плівки. При цьому порушується рівноважний стан поверхневих шарів спряжених деталей, що відповідає мінімуму потенціальної енергії деформованої зони. Накопичення енергії пружних деформацій в поверхневих шарах деталей змінює механічні властивості та теплофізичні характеристики їх матеріалів. Зважаючи на малість об'ємів поверхневих шарів, значення накопиченої енергії може виявитись критичними для переходу його в особливий, надзбуджений стан – трибоплазму. Такий стан є нестійким і швидко релаксує, переходячи до початкового стану, постадійно створюючи реакційноздатні сполуки, що мають радикальну, іонорадикальну або іонну структуру, а також вторинних структур.

Зазначені процеси супроводжуються емісією електронів з поверхні тертя в композиційну оливу. Електрони, співударяючись з молекулами оливи і атомами речовин компонент присадки, збуджують їх. Це приводить до іонного розпаду структури молекул активних компонентів присадки, що є спусковим механізмом формування на спряжених поверхнях деталей захисних плівок з продуктів трибохімічних реакцій та фазових перетворень. Наслідком описаних процесів є вибіркова адсорбція іонів протилежного знаку, які беруть участь у добудові кристалічної ґратки твердої фази на металевій поверхні деталей під дією когезійних сил або формуванні приповерхневого шару в результаті золь-гель фазових перетворень (рис. 2.4).

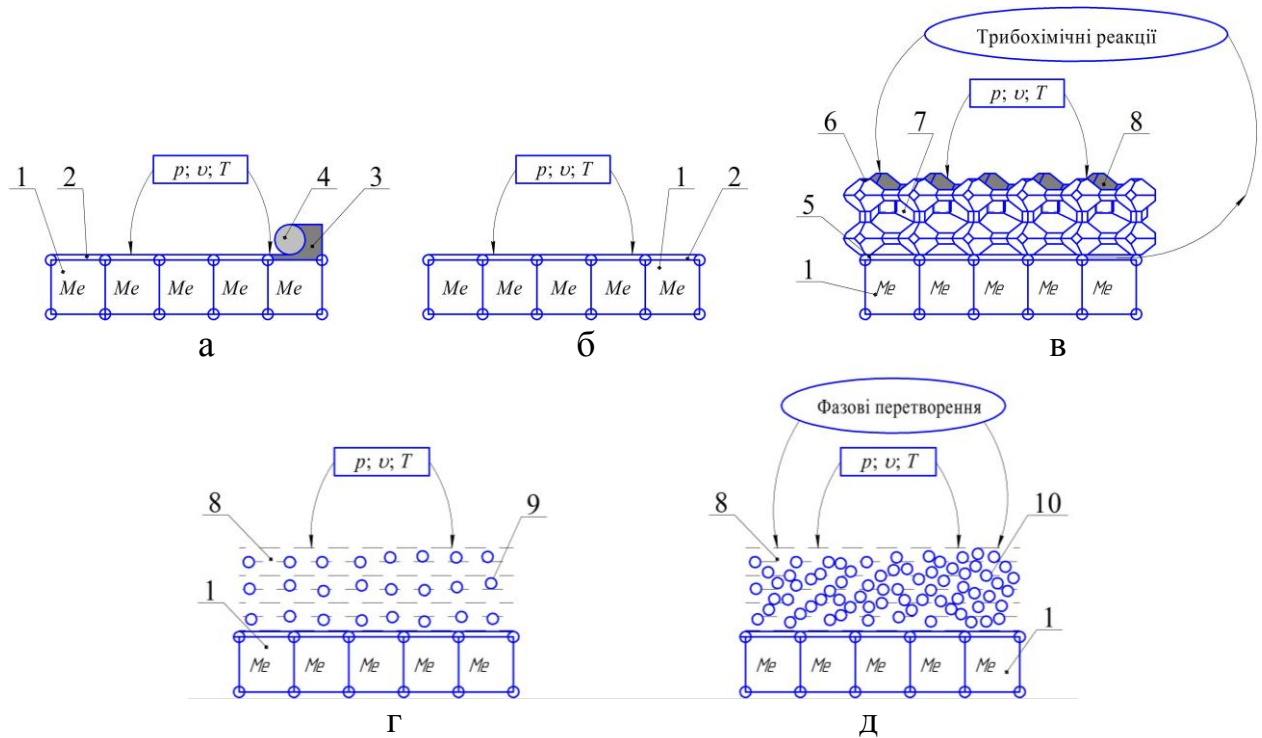


Рисунок 2.4 – Схема зміни станів поверхневого шару матеріалу деталей рухомих спряжень в умовах, що визначаються параметрами p , v , T (тиск, швидкість руху, температура): підготовчий (а); з ювенільною поверхнею (б); з добудовою кристалічних ґраток основи деталей ґратками антифрикційної плівки матеріалу (в); золь-стан оливи з композиційною присадкою; (г); гель-стан оливи з композиційною присадкою; (д); 1 – основа матеріалу деталі; 2 – поверхневий шар деталі, що включає оксидні плівки та некомпенсовані зв'язки; 3 – шар забруднень; 4 – абразивні частинки; 5 – поверхня деталі, очищена від оксидів; 6, 7 – захисна структура матеріалу антифрикційної плівки та пори в ньому; 8 – композиційна олива; 9 – золь-стан приповерхневого шару оливи; 10 – гель-стан приповерхневого шару оливи

Інтенсивність процесу утворення на поверхні тертя антифрикційної плівки залежить від щільності некомпенсованих зв'язків в її локальних областях. Склад композиційної присадки, особливо наявність в ній компонентів з молекулами ПАР, обумовлює процес знаходження активних областей на робочих поверхнях деталей та формування на них захисної плівки, яка є хімічно стабільною, має високі іонообмінні властивості і достатньо інертна по відношенню до хімічно агресивних речовин. Пори, що наявні в сформованій плівці, є областями аномально високої активності абсорбції і можуть ефективно утримувати оливу, змінюючи режими тертя в процесі експлуатації.

Зазначимо, що під захисною антифрикційною плівкою формується перенасичений дислокаціями поверхневий шар матеріалу деталі внаслідок дії груп молекул складових активних компонентів присадки. При реалізації ефекту П.А. Ребіндера це приводить до формування поверхневого шару наднизького опору деформації зсуву, який в колективній взаємодії із структурою антифрикційної плівки має аномально високу адсорбційну здатність і створює на поверхні тертя сприятливі умови для розвитку гранично низьких рівнів коефіцієнта тертя і інтенсивності зношування, тобто ефект самоорганізації.

2.2 Зміна режимів тертя у рухомих спряженнях деталей силових агрегатів з композиційним мастильним матеріалом

Зниження тертя під дією композиційних присадок, внесених в моторну оливу, можна пояснити з позицій теорії дискретного тертя та зміни його режиму змащення (рис. 2.5).

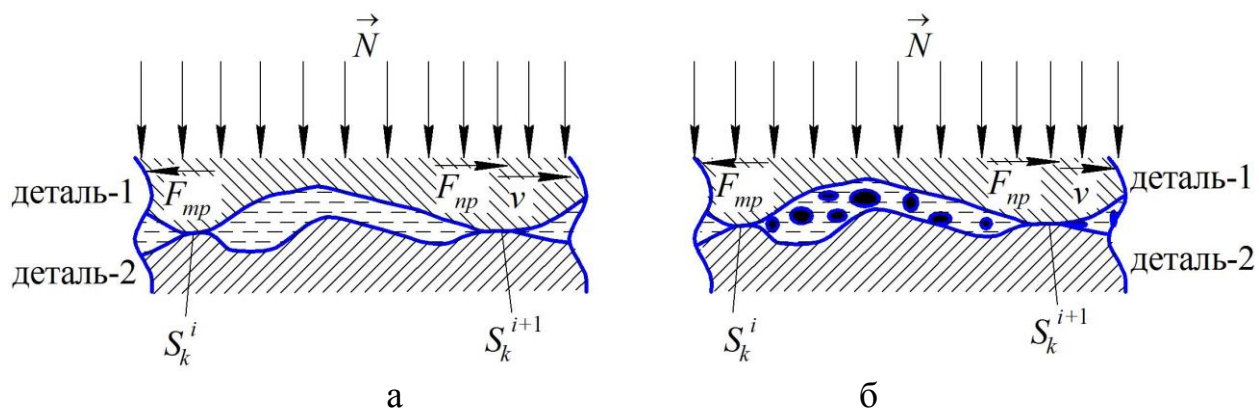


Рисунок 2.5 – Схема переходу режиму змащення в рухомому sprzęженні деталей із змішаного (а) в граничний (б) з присутністю композиційної присадки на основі геомодифікатора: $\vec{F}_{mp}$ – сила тертя; $\vec{F}_{np}$ – сила проорювання поверхні тертя; N – нормальне навантаження; v – швидкість ковзання; S_k^i , S_k^{in} – мікроконтактні площинки

Сила тертя у випадку змішаного змащення (рис. 2.5, а) дорівнює:

$$F_{mp} = S_{\kappa} (\alpha_{\kappa} \sigma_{\kappa}^{m\phi} + (1 - \alpha_{\kappa}) \sigma_{\kappa}^{3p}) + F_{np}, \quad (2.6)$$

де α_{κ} – частка площі, на якій здійснюється контакт рухомих деталей; σ_{κ}^{3p} – міцність контакту на зріз; S_{κ} – номінальна площа контакту. При наявності в контакті деталей дрібнодисперсних частинок присадки (рис. 2.5, б) характерним є три типи контактних ділянок:

- у порожнинах гомогенна олива замінюється композиційною, частинки якої за розміром менші величини проміжку, тобто встановлюється гідродинамічне тертя, коефіцієнт якого збільшується за моделлю Ейнштейна;
- на частині ділянок твердого контакту деталей відбувається адгезія і спостерігається режим тертя, аналогічний при відсутності присадки;
- на частині ділянок твердого контакту формується захисна плівка речовини присадки.

При цьому сила тертя дорівнює:

$$F_{mp} = S_{\kappa} (\alpha_{\kappa}^p \sigma_{\kappa}^{3p} + \alpha_{\kappa}^{m\phi} \sigma_{\kappa}^{m\phi} + \alpha_{\kappa}^{n\phi} \sigma_{\kappa}^{n\phi}) + F_{np}, \quad (2.7)$$

де α_{κ}^p , $\alpha_{\kappa}^{m\phi}$, $\alpha_{\kappa}^{n\phi}$ – частки площ рідинного, твердого адгезійного і

твердого, покритого плівкою з речовини присадки, контактів:

$$\alpha_{\kappa}^p + \alpha_{\kappa}^{ms} + \alpha_{\kappa}^{nl} = 1. \quad (2.8)$$

Коефіцієнт тертя для рухомих спряжень деталей з композиційною оливою дорівнює:

$$f_{mp} = f_p + f_{ms} + f_{nl} \quad (2.9)$$

де f_p , f_{ms} , f_{nl} – складові коефіцієнтів тертя для рідинного, твердого адгезійного і твердозмашувального механізмів в контактах рухомих спряжень деталей силових агрегатів. Через те, що величина коефіцієнта тертя в адгезійному контакті багато вища за величину коефіцієнта тертя в рідинному і твердозмашувальному контактах, то переважаюча роль в зниженні загального коефіцієнта тертя відводиться змашувальному механізму, а тому композиційна присадка повинна мати компоненти, що взаємно підсилюють дію одна одної, згідно синергетичної концепції.

Оскільки циліндро-поршнева група (ЦПГ) силових агрегатів автомобілів є ресурсовизначальною, то розглядаючи режими тертя в основних її спряженнях, оливу вважали одним з елементів, який виконує функції зниження витрат на тертя і зношування. Формування плівки оливи на робочих поверхнях рухомих спряжень деталей, згідно принципу Делаμβера, можна описати системою диференціальних рівнянь гідродинаміки. Такі рівняння гідродинаміки існують у формі Лагранжа, Нав'є-Стокса і Ламе. При розгляді режимів змащення їх інтегрування бажано проводити у формі Рейнольдса:

$$\frac{d}{dx} \left(h_u^3 \frac{dp}{dx} \right) = 6\eta v \frac{dh_u}{dx}, \quad (2.10)$$

де p – тиск, v – швидкість відносного переміщення, x , h_u – відповідно довжина та товщина шару (плівки) оливи, η – динамічна в'язкість оливи. За рівнянням (2.10) після подвійного диференціювання можна оцінити тиск в плівці оливи за формулою:

$$p = \frac{6\eta vx}{h_u^2}. \quad (2.11)$$

За умови задання сукупності параметрів у формулі (2.11), важливим з яких є в'язкість, що характеризує фізичні властивості оливи та тип композиційної присадки до неї, а також режим роботи рухомих спряжень деталей. Залежно від швидкості v відносного переміщення робочих поверхонь спряжених деталей, навантаження і співвідношення цих величин реалізується граничний, змішаний або гідродинамічний режими змащення.

Виходячи з гідротермодинамічної теорії змащення, розробленої М.П. Петровим, сила тертя F_{mp} і коефіцієнт тертя f_{mp} дорівнюють:

$$F_{mp} = \eta v \cdot S_{mp} / h_u ; \quad f_{mp} = \eta v / p \cdot h_u , \quad (2.12)$$

$$\eta \cdot v / p = \lambda , \quad (2.13)$$

де S_{mp} – площа поверхні тертя.

Визначено, що співвідношення (2.13), є постійним для даної конструкції спряження деталей. Наявність шару оливи в спряженні деталей "гільза циліндра-поршневе кільце" визначають критерієм Зоммерфельда S_0 :

$$S_0 = \eta v / \bar{p}_{\kappa-\varepsilon} \cdot b_{\kappa} , \quad (2.14)$$

де b_{κ} – висота поршневого кільця; $\bar{p}_{\kappa-\varepsilon}$ – усереднений тиск кільця на гільзу циліндра; v – швидкість переміщення поршня. При цьому товщина шару оливи, враховуючи (2.14), дорівнює:

$$h_u = \sqrt{\eta v b_{\kappa} / \bar{p}_{\kappa-\varepsilon}} = b_{\kappa} \sqrt{S_0} . \quad (2.15)$$

Товщину шару оливи можна оцінити і за її електропровідністю:

$$h_u = \chi \cdot S_{\delta} / G_{el} , \quad (2.16)$$

де G_{el} – електропровідність шару оливи; χ – питома електропровідність оливи; S_{δ} – площа бічної поверхні кільця.

Враховуючи те, що електричний R_{el} і електропровідність G_{el} шару оливи взаємооборотні величини ($R_{el} = 1/G_{el}$) маємо:

$$R_{el} = b_{\kappa} \cdot \sqrt{S_0} / \chi \cdot S_{\delta} . \quad (2.17)$$

При цьому коефіцієнт тертя дорівнює:

$$f_{mp} = \eta \cdot v / \bar{p}_{\kappa-\varepsilon} \cdot b_{\kappa} \cdot \sqrt{S_0} . \quad (2.18)$$

Для аналізу режимів змащення, в рухомих спряженнях деталей використовують діаграму Герсі-Штрибека, яка являє собою графічну

залежність коефіцієнта тертя або товщини плівки оливи (2.15) від критерію Зоммерфельда.

Для спряження деталей "гільза циліндра-поршневе кільце" критерій Зоммерфельда можна оцінити за формулою:

$$S_0 = \left(\frac{D}{2\Delta} \right)^2 \cdot \left(\frac{\eta \cdot \omega}{2\pi} / p \right) = \frac{D^2 \eta \omega}{8\pi \Delta^2 p}, \quad (2.19)$$

де D – діаметр гільзи; Δ – зазор в рухомому спряженні; ω – швидкість обертання колінчастого валу; η – динамічна в'язкість оливи.

Формула (2.19) дає можливість управляти режимами змащування в системах рухомих спряжень деталей силових агрегатів, модифікуванням композиційної присадки на основі геомодифікатора, змінюючи в'язкість моторної оливи.

Динамічна в'язкість дисперсних систем якими, є моторна олива, що містять частинки компонентів композиційної присадки та частинки зносу збільшується із зростанням вмісту такої дисперсної фази. Цей зв'язок виражається законом Ейнштейна:

$$\frac{(\eta_{np} - \eta_{zn})}{\eta_0} = k_{F_1} \cdot \varphi_1 + k_{F_2} \cdot \varphi_2 = \frac{k_1 V_{np} + k_2 V_{zn}}{V_0}, \quad (2.20)$$

де η_{np} і η_{zn} – в'язкості оливи при наявності частинок присадок та частинок зносу; k_1 , k_2 – константи, обумовлені формою частинок присадки і зносу; $\varphi_1 = \frac{V_{np}}{V_0}$; $\varphi_2 = \frac{V_{zn}}{V_0}$ – об'ємні частки дисперсної фази присадки V_{np} і зношування V_{zn} у загальному об'ємі оливної системи V_0 .

Враховуючи зазначене, маємо:

$$\frac{\eta_{np} - \eta_{zn}}{\eta_0} = \frac{k_1 V_{np} + k_2 V_{zn}}{V_0}. \quad (2.21)$$

Для сферичних частинок присадки і зносу $k_{F_1} = k_{F_2} = 2,5$, маємо:

$$\eta_{np} = \eta_0 (1 + 2,5\varphi_1); \quad \eta_{zn} = \eta_0 (1 + 2,5\varphi_2). \quad (2.22)$$

Виявлено, що при $S_0 = 10^{-5}$ – спостерігається режим граничного змащення, при $S_0 < 10^{-5}$ – реалізується режим перехідний режим змінного змащення, а при $S_0 > 10^{-5}$ – режим гідродинамічного змащення. Зміну режиму

змащення можна оцінювати і за зміною в'язкості: при малій в'язкості гідродинамічне змащення не спостерігається, але після досягнення мінімуму коефіцієнта тертя збільшення в'язкості оливи підвищує опір тертю. Протилежну дію проявляє питоме навантаження: при великому тиску умови для реалізації гідродинамічного тертя несприятливі; зниження навантаження до деякої величини приводить до ефекту "спливання"; подальше зменшення навантаження супроводжується збільшенням товщини шару змащувального матеріалу.

2.3 Підвищення довговічності силових агрегатів вантажних автомобілів покращенням показників і властивостей моторної оливи додаванням композиційної добавки на основі геомодифікатора

Отримані закономірності процесів надходження частинок зносу і спрацювання частинок присадки в повній мірі не забезпечують контролю динаміки їх кількості. Фізико-хімічні реакції та фізичні процеси, що протікають в моторній оливі, носять ймовірнісний характер. Ці зміни можуть бути обумовлені як одним ресурсовизначальним фактором або діагностичним параметром, так і їх сукупністю. Значення випадкової величини певного діагностичного параметру стану оливи описуються функцією щільності експоненціального розподілу, при $\Pi \geq 0$:

$$f(\Pi) = \lambda_{\Pi} \exp(-\lambda_{\Pi} \Pi), \quad (2.23)$$

де λ_{Π} – параметр інтенсивності спрацювання моторної оливи за вектором діагностичних параметрів Π їх стану.

Основний вуглеводневий склад в процесі старіння олив не зазнає істотних змін, а тому мало впливає на їх ресурс. Стан працездатності моторних олив значною мірою характеризують механічні домішки, внаслідок спрацювання робочих поверхонь спряжених деталей силових агрегатів автомобілів, в'язкість, лужне та кислотне число олив, які знаходяться в хорошій кореляційній залежності із змінами антиокисних, протизносних і

антикорозійних показників та їх властивостей.

Зміну властивостей моторних олив можна з достатньою точністю прогнозувати за результуючим критерієм у вигляді коефіцієнта запасу працездатності $k_{зан}$, що представляє собою добуток середніх значень зміни різних контрольованих діагностичних показників якості моторної оливи і враховує зміни умов експлуатації. Коефіцієнт $k_{зан}$, у найпростішому випадку представлений у вигляді:

$$k_{зан} = 1 - k_{зн} k_{нр}. \quad (2.24)$$

Використовуючи отримані вирази зміни величини в'язкості динаміки зміни концентрації механічних домішок, як продуктів зношування, спрацювання присадок та визначимо величину напрацювання до заміни оливи:

$$T = T_{нл} (1 - k_{зан}) \ln \left[\frac{(\eta - \eta_0) V_p}{2,5 \eta_0 (V_{мр0} + V_{нр0})} \right], \quad (2.25)$$

де $T_{нл}$ – планове напрацювання силового агрегату до зміни оливи, мото-год.

Формула (2.25) забезпечує моніторинг якості моторної оливи і дозволяє коригувати нормативне напрацювання дизеля автомобіля до чергової зміни оливи з урахуванням різних умов їх експлуатації, зміни в'язкості, накопичення продуктів зносу та спрацювання присадки. Вона також дозволяє чисельно контролювати інтенсивність зміни показників якості моторної оливи: кінематичну в'язкість, спрацьовування присадок і накопичення механічних домішок.

Інтенсивність спрацювання присадок може бути визначена непрямым шляхом за величиною зміни лужного числа, або кислотного числа:

$$V_{нр} = V_{нр0} (\Pi_{лч} / \Pi_{лч0}), \text{ або } V_{нр} = V_{нр0} (\Pi_{кч0} / \Pi_{кч}), \quad (2.26)$$

де $\Pi_{лч}$, $\Pi_{кч}$ – фактичне значення лужного числа, мг КОН/г; $\Pi_{лч0}$, $\Pi_{кч0}$ – значення лужного числа в непрацюючій оливі, мг КОН/г.

$$\Pi_{лч} = \Pi_{лч0} \exp(-b_{лч} t); \quad \Pi_{кч} = \Pi_{кч0} \exp(-b_{кч} t). \quad (2.27)$$

Інтенсивність накопичення механічних домішок так само може бути визначена непрямым шляхом за величиною оптичної щільності:

$$V_{zn} = V_{zn0} (C_{zn} / C_{zn0}), \quad (2.28)$$

де C_{zn} – фактичне значення концентрації продуктів зношування, %; C_{zn0} – концентрація продуктів зношування у непрацюючій оливі, %.

Зміни концентрації присадок і механічних домішок здійснюють безпосередній вплив на показник оптичної щільності моторної оливи. Відпрацьовані присадки і механічні домішки випадають в осад, що збільшує показник оптичної щільності:

$$P_{оптщ} = V_{zn} + V_{np} = V_p (C_{\phi} / C_{zn0}), \quad (2.29)$$

де $P_{оптщ}$ – показання приладу за визначенням оптичної щільності оливи.

З урахуванням виразів (2.27) і (2.29) напрацювання дизеля автомобіля до чергової зміни моторної оливи визначається за формулою:

$$T = T_{нл} - T_{нл} k_{зам} \ln \left[\frac{(\eta - \eta_0) V_p}{2,5 \eta_0 P_{оптщ} \cdot 10^4} \right]. \quad (2.30)$$

Працездатність моторної оливи визначається стабільністю дисперсного її стану, що відображається формулою (2.26), яка дозволяє визначати фактичні терміни T заміни моторної оливи і представити отримані значення у вигляді таблиць для практичного використання з урахуванням змін показників кількості домішок, лужного (кислотного) числа і динамічної (кінематичної) в'язкості оливи.

Інтенсивність накопичення механічних домішок у вигляді частинок зносу залежить від ефективності і тривалості роботи системи очищення моторної оливи. Важливим з елементів очищення моторної оливи в системі змащення двигуна є оливний фільтр, через який подається 8...20% оливи. Робота системи змащення двигуна здійснюється таким чином: олива від насоса надходить у внутрішню порожнину фільтра через протидренажний клапан, проходить фільтроелемент і прямує в систему змащення через

центральный штуцер. Засмічення фільтра призводить до зростання перепаду тисків до 0,05...0,06 МПа, при яких спрацьовує перепускний клапан, пропускаючи оливу повз фільтруючого елемента, що є істотним недоліком.

При тривалій роботі на поверхні фільтроелемента накопичується велика кількість частинок розміром понад 25...40 мкм. У процесі роботи перепад тиску на елементі зростає, і при напрацюванні двигуна 400...500 мото-год відбувається перше відкриття перепускного клапана. При цьому великі частки змиваються з поверхні елемента потоком оливи через відкритий клапан в магістраль, що викликає прискорений знос і пошкодження деталей двигуна.

На високофорсованих дизелях, встановлюють пристрої для охолодження оливи, а в якості фільтра – центрифугу. Центрифуга забезпечує хороше очищення оливи від частинок більше 0,5...1,0 мкм при малому гідравлічному опорі, тому їх застосовують при послідовному і паралельному включених в оливній системі. При відцентровому очищенню відокремлюються найбільш щільні домішки, що володіють абразивними властивостями, тому зношування робочих поверхонь деталей при такому очищенні скорочується в 3...4 рази.

Класична схема оливної системи володіє істотним недоліком – періодично в двигун надходить неочищена моторної оливи і такої короткочасної роботи цілком достатньо, щоб змінити режим тертя, коли в дисперсній системі "робоча поверхня деталі-моторна олива-середовище" буде реалізований тип системи, а крива інтенсивності спрацювання, за весь період експлуатації двигуна матиме ступінчастий характер.

Усувається цей недолік доповненням системи змащення датчиком контролю забрудненості моторної оливи. Покази датчика зчитуються періодично, через певний проміжок часу, і використовуються для розробленого алгоритму визначення інтенсивності накопичення механічних домішок під час зношування поверхонь спряжень деталей з урахуванням конкретних умов експлуатації силового агрегату автомобіля. У систему

змащення додатково встановлюється мініфільтр, розташований за перепускному клапаном і призначений для забезпечення короткочасної роботи двигуна при відкритому перепускним клапані. Використання модернізованої системи змащення дозволяє виключити попадання неочищеної моторної оливи до поверхонь тертя рухомих спряжень деталей силових агрегатів автомобіля.

Висновки по другому розділу

1. Запропоновано фізичну модель дії композиційної добавки на основі геомодифікатору на показники і властивості оливи та на робочу поверхні рухомих спряжень деталей.
2. Показано, як композиційна добавка може істотно впливати на зміну режимів тертя у рухомих спряженнях деталей силових агрегатів вантажних автомобілів.
3. З'ясовано яким чином здійснюється підвищення довговічності силових агрегатів вантажних автомобілів при покращенні показників і властивостей моторної оливи додаванням композиційної добавки на основі геомодифікатора.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОТОРНОЇ ОЛИВИ, МОДИФІКОВАНОЇ КОМПОЗИЦІЙНИМИ ДОБАВКАМИ

3.1 Вибір моторної оливи і композиційних добавок для дослідження

Для дослідження були обрані моторна олива М-10Г₂к (ГОСТ 8581-78), синтезована композиційна добавка на основі геомодифікатора КГМТ-1, а також порівняльні присадки НІОД-5, Roil Gold.

Моторну оливу М-10Г₂к використовують в сучасних вантажних автомобілях, що працюють в жорстких нестаціонарних умовах. Оливи групи Г₂ виробляють из зернистої і малозернистої нафти. Моторна олива М-10Г₂к застосовується в системі змащення кар'єрних автосамоскидів та техніки, вантажопідйомність якої складає вище 40 тонн. На зазначеній оливі працюють двигуни ЯМЗ (самоскиди: БелАЗ-75471, 75481, 7423; тягачі: МЗКТ-7413, 74131, 79191, КЗКТ-7427, 7428, 74287, 7428-011) і COMATSU SAA6D140E-3 (самоскиди: Comatsu HD 405-6, НМ 350-1; бульдозери: Comatsu d155ах-3; екскаватори: РС 750-7).

З практичної точки зору встановлено, що збільшення якості оливи силових агрегатів автомобілів можливе за рахунок формування в ній функціональних добавок. Зазначене дає можливість розвитку композиційних присадок і добавок, що формуються з більш якісного складу. Для кожних умов експлуатації робочої оливи формуються свої режими: безперервний та режим "пуск-зупинка". На цих режимах також доцільно проводити трибологічні дослідження на сумісність та ефективність.

Високий ступінь модифікування композиційними добавками моторних олив дозволяє застосовувати їх в більш жорстких умовах, щоб забезпечити високу термічну стабільність, кращі антиокислювальні, мийно-диспергуючі, нейтралізуючі і протизносні властивості. Високооборотні дизелі, змащувані робочими оливами, експлуатують на дистилятах паливах з вмістом сірки до 0,5% (масова частка), середньо- і малооборотних дизелі з великим діаметром

циліндра – до 1,5% (масова частка).

Як зазначалось, для визначення якості та порівняльної дії запропонованої композиційної добавки на основі геомодифікатора КГМТ-1 використано присадки НІОД-5 та Roil Gold.

НІОД-5 – це триботехнічний склад, що являє собою мікродисперсну (10...50 мкм) багатокомпонентну суху суміш (порошок сірого кольору), що містять 40...60% мінералу серпентину, а також силікатні з'єднання, що включають, в різних кристалічних і аморфних фазах. Присадка хімічно абсолютно інертна, не взаємодіє ні з якими хімічними речовинами, не гігроскопічна. Призначена для створення у вузлах саморегульованих фрикційно-адаптованих спряжень деталей. НІОД (спрямована іонна дифузія) дозволяє провести спеціальну відновну, протизносну, антифрикційну, зміцнювальну обробку поверхонь тертя в режимі експлуатаційного навантаження. В свіжу моторну оливу НІОД-5 добавляють у розрахунку 5...7 г на літр оливи.

Roil Gold – присадка високотехнологічного складу виробництва фірми Neways додається до олив будь-яких типів призначена для зниження тертя кондиціонуванням металу у спряжених деталях різних систем і агрегатів ТМ. Принцип роботи присадки полягає в створенні на поверхні деталі особливого антифрикційного мікрошару з галогенізованих вуглеводнів. Цей шар володіє одночасно високою міцністю і низьким коефіцієнтом тертя. Напрацьований шар складає декілька мікрометрів. Теплове навантаження при цьому не зменшується. Під час обробки згладжуються дрібні подряпини і задири. Створюється процес замкненого циклу "знос-відновлення", що дозволяє реалізувати принцип самовідновлення механізмів поверхневих шарів. Механізм зниження тертя і зношування безпосередньо зв'язаний із характером взаємодії молекул компонентів присадки з робочих поверхонь деталей. На молекулах галогенізованих вуглеводнів сконцентровано як позитивний, так і негативний заряди, а на поверхні матеріалу деталей – негативний. Молекули присадки концентруються на спряжених поверхнях завдяки взаємодії зарядів. При цьому спочатку виникає невеликий знос, але після того як олива разом з присадкою починає діяти, протягом декількох

хвилин відновлюється будь-яка пошкоджена поверхня.

В свіжу моторну оливу добавляють Roil Gold в співвідношенні: 72 мл добавки на 1000 мл оливи.

3.2 Отримання композиційної добавки на основі геомодифікатора КГМТ-1

Аналіз основних компонентів композиційної добавки на основі геомодифікатора КГМТ-1 дав можливість запропонувати наступні складові: геомодифікатор КГМТ-1, що представляє собою дисперсійний порошок глини з Катеринівського родовища Кіровоградської області; олеат натрію; сульфат міді; люмінофор ТАТ 33. Кожен з цих компонентів відіграє значну роль підчас тертя. КГМТ-1 дає можливість активувати робочу поверхню металевих зразків та формує на робочих поверхнях тертя керамічне покриття, а також армує своїми частинками гелеву складову, яка може створюватись з олеату натрію в поверхневому шарі. Також його частинки частково відкладаються на поверхнях металевих деталей і слугують твердим змащенням в граничних режимах тертя. Люмінофор ТАТ 33 дає зменшення утворення задирів підчас активації КГМТ-1. Кількість кожного елементу складу композиційної присадки підбирали експериментальним шляхом. КГМТ-1 попередньо проходить етап очищення та подрібнення. Очищення відбувається шляхом розмочування неочищеного порошку 300 г/л в дистильованій воді і перемішування на протязі 30 хв. при швидкості обертання, рівній 300 об/хв. гомогенізатором НГ-15А рис. 3.1.



Рисунок 3.1 – Гомогенізатор НГ-15А

Після цього розчин залишають на 3 хв., щоб важкі частинки абразивних домішків осіли. Верхній шар 95% від об'єму отриманого розчину зливали і піддавали випаровуванню при температурі 373 К.

Наступним етапом є подрібнення частинок компонентів композиційної

присадки. Це проходить з використанням відцентрованого лабораторного млина FM 100 (рис. 3.2). Подрібнення виконується на протязі 35 хв. для кожної порції порошку.



Рисунок 3.2 – Відцентровий млин FM100

Закінчивши операцію помолу, порошок просіювали на лабораторному ситі, щоб отримати фракцію розміром не більше 100 мкм і частинки присадки практично не зазнавали явища седиментації. Для просіювання обрано лабораторне сито GB/T6003.1-2012 з розміром комірки 74 мкм (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Сито GB/T6003.1-2012 з коміркою 74мкм

Після просіювання фракції порошкового матеріалу проходить етап формування композиційної присадки. Зважування кожного компонента присадки виконували на вагах ТВЕ-0.21-0.001, другий клас точності ДСТУ EN 45501 рис. 3.4.



Рисунок 3.4 – Лабораторні ваги ТВЕ-0.21-0.001

Попереднім підбором складових композиційної присадки в лабораторних умовах встановлено: базова олива 50 мл; КГМТ-1 (1500...3000 мг); олеат натрію (500...2000 мг); сульфат міді (500...2000 мг); люмінофор ТАТ 33 (500...2000 мг).

Рідку дисперсію формували за допомогою гомогенізатора перемішування кожної проби на протязі 20 хв. при кімнатній температурі, кількість обертів збільшували через кожні 5 хв. на 1000 об/хв., початкове значення обертів гомогенізаторів 1000 об/хв. Формування робочої оливи здійснювали при перемішуванні 50 мл композиційної добавки з 1 л свіжої оливи, перемішування виконували гомогенізатором 10 хв. при 1000 об/хв.

Зазначимо, що при виконанні технічного обслуговування в моторну оливу додавали композиційну присадку на основі геомодифікатора КГМТ-1 концентрацією 70 г/л моторної оливи і композиція заповнює систему змащення силового агрегату автомобіля.

3.3 Методика дослідження властивостей моторних олив на машині тертя ЧМТ-1

Протизносні і протизадирні властивості моторних олив на машині тертя ЧМТ-1 визначали згідно ГОСТ 9490-75. Стандартним методом оцінки протизносних властивостей оливи передбачали визначення протизносних властивостей на чотирикульковій машині тертя (ЧМТ-1) (рис. 3.5).



Рисунок 3.5 – Загальний вигляд чотирикулькової машини тертя ЧМТ-1

Вузол тертя приладу складається з чотирьох кульок діаметром 12,7 мм. Три нерухомих кульки розміщені в обоймі з випробуваною оливою, а четверта кулька, що обертається розміщена на торці валу. Навантаження прикладене по осі валу. Швидкість обертання валу і навантаження можуть змінюватися. Протизносні властивості оливи оцінюють по діаметру плями зносу куль (мм). Цей показник визначали як середнє арифметичне значення діаметрів плям зносу трьох нижніх кульок після роботи ЧМТ-1 протягом одного часу при навантаженні 0,4 кН. Протизадирні властивості визначали за критичним навантаженням задиру $P_{кр}$ (гранична навантажувальна здатність), навантаження зварювання $P_{зв}$ (несуча здатність).

В процесі дослідження визначали усередненні значення критичного навантаження, навантаження зварювання, показника зносу, що характеризується діаметром плями зносу від прикладеного критичного навантаження для відповідних мастильних середовищ. Випробування та визначення характеристик мастильних середовищ на машині ЧМТ-1 проводили відповідно до одностипних стандартів ГОСТ 9490-75, в Німеччині DIN 51350, в США ASTM D2783 із визначенням наступних показників:

– показник зносу D_i (мм), який є середнім діаметром плям зносу нижніх нерухомих кульок. Характеризує протизносні властивості мастильної середовища, тобто наявність поверхнево-активних речовин (ПАР) в оливі. Чим менше показник D_i , тим кращими протизносними властивостями володіє мастильна середовище;

– критичне навантаження $P_{кр}$ (Н) характеризує межа несучої здатності ПАР в змащувальному матеріалі. Критичним вважають навантаження $P_{кр}$, при якому середній діаметр плям зносу кульок знаходиться в межах значень граничного зносу ($D_{зр} = 0,15$) для даного навантаження, і, збільшення якого до величини подальшого навантаження (першого і другого навантажувального рядів), викликає збільшення середнього діаметра плям зносу на величину більш 0,1 мм. Чим більше величина $P_{кр}$ у мастильному середовищі, тим

більше запас роботи адсорбційної оливної плівки і більший діапазон роботи протизносних присадок;

– навантаження зварювання $P_{зв}$ (Н) характеризує наявність в мастильній середовищі присадок у вигляді хімічно-активних речовин (ХАР), межа працездатності цих присадок і мастильної середовища в цілому. Чим більше величина $P_{зв}$ у оливному середовищі, тим більший діапазон працездатності і вище протидії задиру властивості мастильного матеріалу;

Згідно методики ГОСТ 9490-75, встановлено залежність діаметра плями зносу еталонних зразків-кульок (сталь ШХ15) від навантаження. В результаті проведених численних досліджень визначено, що характер цієї залежності, з незначним наближенням в межах похибки випробувань, однаковий для багатьох мастильних матеріалів, в тому числі і для моторних олив.

3.4 Оптимізація вмісту компонентів композиційної добавки на основі геомодифікатора КГМТ-1 в робочій оливі силового агрегату вантажних автомобілів

Для виявлення раціонального та оптимального вмісту компонентів композиційної добавки на основі геомодифікатора КГМТ-1 в моторній оливі силового агрегату автомобіля використовували метод математичного планування експерименту на чотирикульковій машині тертя ЧМТ-1.

В процесі експерименту досліджували вплив складу композиційної добавки на основі геомодифікатора КГМТ-1 на зміну трибологічних характеристик. Відгуками або результуючими ознаками під час проведення експерименту обрано: Y_1 – показник зносу (мм) $\rightarrow \min$; Y_2 – критичне навантаження (Н) $\rightarrow \max$, які визначали на машині ЧМТ-1. Запропоновані фактори та їх рівні представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Фактори та їх рівні у дослідях експерименту

Фактори	Рівні	
	Нижній (-1)	Верхній (+1)
X_1 – КГМТ-1, мг/50мл	1500	3000
X_2 – олеат натрію, мг/50мл	500	2000
X_3 – сульфат міді, мг/50мл	500	2000
X_4 – люмінофор ТАТ 33, мг/50мл	500	2000

Кількість дослідів, які повинні проводитись, розраховували за формулою:

$$N_e = 2^{n_f} \quad (3.1)$$

де 2 – кількість рівнів, n_f – кількість факторів.

Визначено, що проведення 16 дослідів потрібні для вирішення завдань оптимізації. З метою зменшення впливу на результати відгуку, експерименти необхідно виконувати у випадковій послідовності.

Аналіз даного плану експерименту виконували з використанням портативного програмного забезпечення (Statistica 10.0.1011.0, CD-key 42347678921334567692). Обробку результатів експерименту починали з регресійного аналізу, тобто будували математичні моделі у вигляді регресійних рівнянь з невідомими коефіцієнтами:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot (X_1)^2 + b_2 \cdot (X_2)^2 + b_3 \cdot (X_3)^2 + b_4 \cdot (X_4)^2 + b_5 \cdot X_1 \cdot X_2 + b_6 \cdot X_1 \cdot X_3 + b_7 \cdot X_1 \cdot X_4 + b_8 \cdot X_2 \cdot X_3 + b_9 \cdot X_2 \cdot X_4 + b_{10} \cdot X_3 \cdot X_4 \quad (3.2)$$

Виявлено, що ефекти взаємодії факторів практично відсутні, а тому вони не були включені в загальний вигляд математичної регресійної моделі (3.2). Визначення невідомих сталих коефіцієнтів моделі проводили за методом найменших квадратів. Значення коефіцієнтів регресійної моделі (3.2) розраховували за наступними формулами:

$$b_0 = \sum_{i=1}^N Y_i / N; \quad b_j = \sum_{i=1}^N Y_i / N; \quad b_{j^2} = \sum_{i=1}^N Y_i (X_{ji})^2 / N. \quad (3.3)$$

Опис факторів та відгуків математичної моделі (3.2) характеризується коефіцієнтом детермінації, який повинен бути не менше 0,95. Для якісного опису об'єкту дослідження цей коефіцієнт оцінюється за формулою:

$$R^2 = 1 - \frac{\sigma_{zl}^2}{\sigma_Y^2} = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2} \right), \quad (3.4)$$

де σ_{zl}^2 , σ_Y^2 – дисперсії залишків регресії, відгуку; Y_i , $\bar{Y}$, $\hat{Y}_i$ – фактичне, середнє та розрахункове значення відгуку.

Стандартна помилка, яка характеризує відхилення досліджуваних коефіцієнтів регресії від середнього значення, розраховується за формулою:

$$S_{b_{j^r}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (X_{ij} - \bar{X}_j)^2} \cdot \frac{1}{n-2}}, \quad (3.5)$$

де n – об'єм вибірки.

З статистичної точки зору оцінку значень коефіцієнтів регресії здійснювали за критерієм Стюдента. При цьому порівнювали розрахункове значення з табличним при заданому довірчому рівні значущості 0,05, та враховували ступінь вільності:

$$\left| t_{\alpha, f} \right| = \left| \frac{b_{j^r}}{S_{b_{j^r}}} \right| > t_{\alpha/2, f_{tb}}, \quad (3.6)$$

де b_{j^r} – оціночні коефіцієнти регресії, α – довірчої ймовірності 0,95, f – ступінь вільності. При значимому коефіцієнті регресії розрахунковий критерій Стюдента більший за табличний.

Розрахунок граничної похибки відхилення встановлювали за формулою:

$$\Delta_{j^r} = t_{\alpha, f_{tb}} \cdot S_{b_{j^r}}. \quad (3.7)$$

Визначення довірчого інтервалу для кожного коефіцієнту регресії проводили згідно нерівності:

$$b_{j^r} - \Delta_{j^r} \leq b_{j^r} \leq b_{j^r} + \Delta_{j^r}. \quad (3.8)$$

Відповідність математичної регресійної моделі експериментальній базі

даних, тобто її адекватність, визначали за критерієм Фішера F . При цьому розрахункове значення критерію повинно бути більшим за його табличне значення:

$$F = \frac{\sigma_x^2}{\sigma_y^2} = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{f_2}{f_1} \geq F_{\alpha, f, tbl}, \quad (3.9)$$

де $\sigma_x^2 = \left(\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \right) / f_1$ – дисперсія фактору; f_1 – ступінь вільності;
 $\sigma_y^2 = \left(\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2 \right) / N - f_1 - 1$ – дисперсія відгуку, N – кількість експериментів,
 R^2 – коефіцієнт детермінації.

Для вирішення завдання оптимізації використовували метод аналізу функції бажаності Е.К.Харрінгтона. Цей метод має корисні властивості безперервності, монотонності та гладкості. В методі здійснюється перерахунок конкретних параметрів в абстрактні числові значення. За основу перерахунку використовували логічну функцію вигляду:

$$d_i = \exp(-\exp(-Y_i)), \quad (3.10)$$

де Y_i – функція відгуку.

Логічна функція (3.10) характеризується двома ділянками насичення ($d \rightarrow 0$ та $d \rightarrow 1$) та лінійною ділянкою ($d \rightarrow 0.2$ та $d \rightarrow 0.63$). Для більш якісного абстрактного уявлення функції бажаності необхідно її розбити на діапазони, де конкретні значення шкали бажаності відповідають досліджуваним показникам. Формування багатофакторної оптимізації функцію бажаності здійснювали за наступною формулою:

$$Z = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n d_i}. \quad (3.11)$$

Подальше дослідження функції бажаності передбачало аналіз відносно досліджуваних відгуків та факторів процесу. Значення умови оптимуму відгуку задавали межами бажаного рівня відгуку. В цих межах відбувається відбір найбільш відповідних значень факторів. Зазначимо, що метод функції бажаності є візуальним.

Висновки до третього розділу

1. Розроблено методика вибору складу композиційної добавки до моторної оливи та її синтезу.
2. Запропонована методика дослідження властивостей моторних олив на машині тертя ЧМТ-1.
3. Розроблено методику оптимізації компонентів композиційної добавки на основі геомодифікатора КГМТ-1 в робочу моторну оливу силового агрегату вантажного автомобіля з використанням функції бажаності.
4. Розроблено методики порівняльних випробувань різних композиційних добавок на основі геомодифікатору КГМТ-1 на машині тертя ЧМТ-1 та складових випробувань.

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ СИЛОВИХ АГРЕГАТИВ АВТОМОБІЛІВ ДОДАВАННЯМ В РОБОЧУ ОЛИВУ КОМПОЗИЦІЙНОЇ ДОБАВКИ

4.1 Раціональні та оптимальний склад композиційної добавки на основі геомодифікатора КГМТ-1

На основі проведених експериментальних досліджень на чотирикульковій машині тертя ЧМТ-1 свіжої моторної оливи з додаванням композиційної добавки на основі геомодифікатора КГМТ-1 сформовано наступну експериментальну базу даних (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Експериментальна база даних математичного планування експерименту

Порядковий номер проведення лабораторних випробувань	Фактори				Функції (Відгуки)	
	X1	X2	X3	X4	Y1, мм	Y2, Н
1	-1	-1	-1	-1	0,366	844
2	+1	-1	-1	-1	0,332	881
3	-1	+1	-1	-1	0,281	956
4	+1	+1	-1	-1	0,316	896
5	-1	-1	+1	-1	0,287	963
6	+1	-1	+1	-1	0,351	938
7	-1	+1	+1	-1	0,256	1014
8	+1	+1	+1	-1	0,377	911
9	-1	-1	-1	+1	0,308	892
10	+1	-1	-1	+1	0,328	915
11	-1	+1	-1	+1	0,231	1033
12	+1	+1	-1	+1	0,322	952
13	-1	-1	+1	+1	0,252	973
14	+1	-1	+1	+1	0,367	931
15	-1	+1	+1	+1	0,227	1041
16	+1	+1	+1	+1	0,402	925

При побудові табл.4.1 використано дані табл.3.1 (п.3.4) та формули (3.1) і (3.2). Обробка експериментальних даних з використанням прикладного програмного забезпечення дає можливість автоматизувати розрахунки, за наведеними формулами (3.3)-(3.8). При проведенні регресійного аналізу експериментальних результатів незначимі коефіцієнти в них відкидали.

Для більш точного відображення результатів експерименту математичну регресійну модель ускладнювали до другого порядку залежності факторів з їх взаємодією, при умові, що коефіцієнт детермінації (3.4) повинен мати значення не нижчі 0,95. Аналізуючи отримані дані можливо зробити висновок, що всі включені фактори є статистично значимі. Про що свідчить рівень їх значимості у математичних регресійних моделях, що описують процес тертя кульок в чотирикульковій машині ЧМТ-1 в середовищі з композиційною присадкою. Підставляючи дані таблиць у загальний вигляд регресійних рівнянь (3.2), отримаємо наступні рівняння регресії:

– для показника зносу (усередненого діаметру плям зносу кульок):

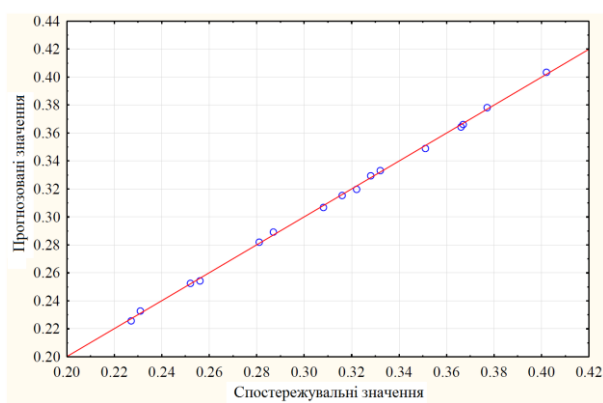
$$Y_1 = 0.53 - 5.67 \cdot 10^{-5} \cdot (X_1)^2 - 9.45 \cdot 10^{-5} \cdot (X_2)^2 - 8.51 \cdot 10^{-5} \cdot (X_3)^2 - 9.09 \cdot 10^{-5} \cdot (X_4)^2 + 9.22 \cdot 10^{-9} \cdot X_1 \cdot X_2 + 3.67 \cdot 10^{-9} \cdot X_1 \cdot X_3 + 2.39 \cdot 10^{-8} \cdot X_1 \cdot X_4 + 2.1 \cdot 10^{-8} \cdot X_2 \cdot X_3 + 4.03 \cdot 10^{-8} \cdot X_2 \cdot X_4 + 2.86 \cdot 10^{-8} \cdot X_3 \cdot X_4 ; \quad (4.1)$$

– для критичного навантаження:

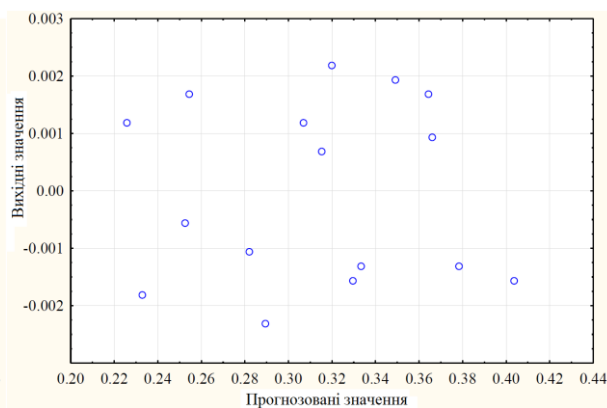
$$Y_2 = 675.60 + 0.04 \cdot (X_1)^2 + 0.13 \cdot (X_2)^2 + 0.09 \cdot (X_3)^2 + 0.06 \cdot (X_4)^2 - 1.9 \cdot 10^{-5} \cdot X_1 \cdot X_2 + 9.89 \cdot 10^{-6} \cdot X_1 \cdot X_3 - 7.22 \cdot 10^{-6} \cdot X_1 \cdot X_4 - 2.43 \cdot 10^{-5} \cdot X_2 \cdot X_3 - 2.28 \cdot 10^{-5} \cdot X_2 \cdot X_4 - 3.92 \cdot 10^{-5} \cdot X_3 \cdot X_4 . \quad (4.2)$$

Оцінку адекватності моделей проводили за допомогою дисперсійного аналізу експериментальних даних, за формулами (3.9) і визначали критерій Фішера F . Дані дисперсійного аналізу свідчать, що включені фактори в математичні моделі (4.1) і (4.2) адекватно описують досліджуваний процес тертя в середовищі оливи з композиційною присадкою, оскільки рівень значимості p , для кожного фактору є нижчим за допустимий рівень.

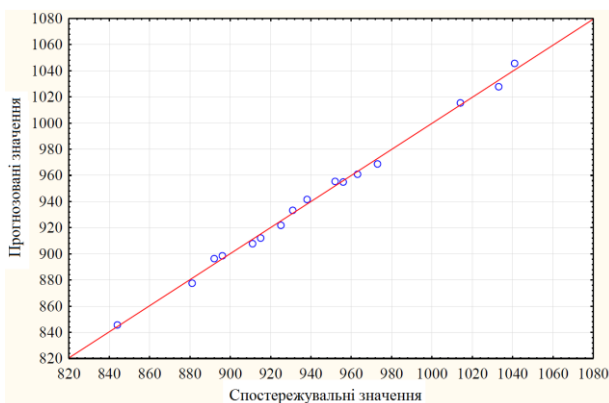
Додатково оцінимо викиди залишків між спостережувальними та прогнозованими значеннями за математичними моделями (4.1) і (4.2). Значні викиди в розмірі 10% від максимальних прогнозованих значень, що впливають з графіку математичної моделі відповідної функції відгуку, не повинні бути присутніми в аналізованих даних експерименту, оскільки запропонована математична модель не буде задовільно описувати фізичний зміст досліджуваного процесу. Графічно зазначена процедура представлена на рис. 4.1.



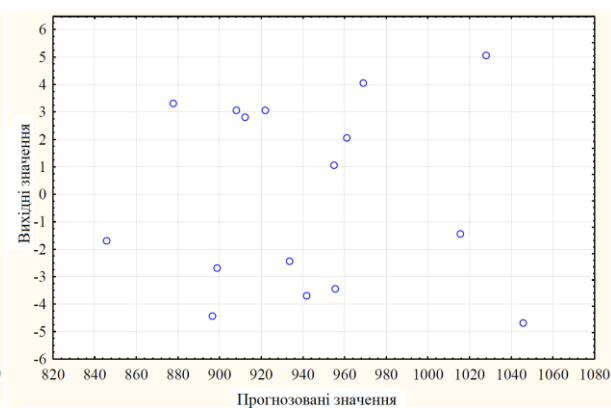
а



б



в

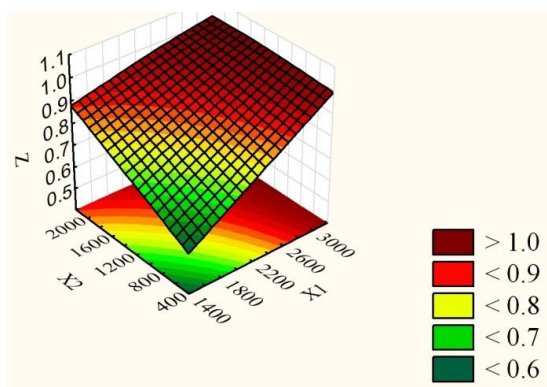


г

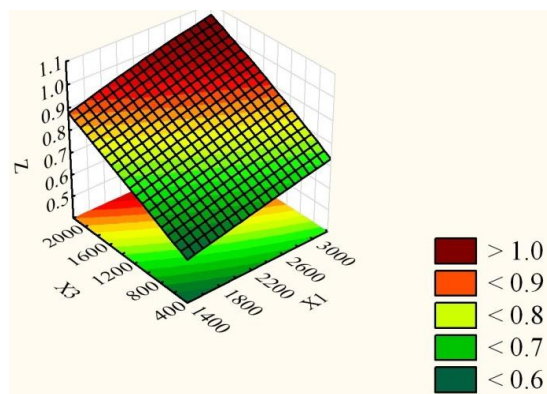
Рисунок 4.1 – Графік прогнозованих та спостережуваних залишків, а також оцінка їхнього розмаху: а, б – для функції величини зношування; в, г – для функції величини критичного навантажування

З графічної інтерпретації (рис.4.1) візуально видно, що значних викидів бази даних немає, а тому математичні регресійні моделі (4.1) і (4.2) можна прийняти як достовірні.

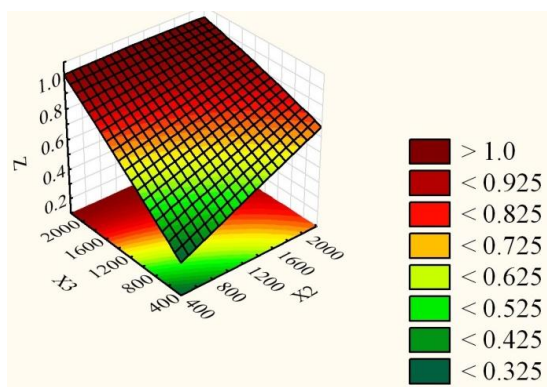
Поверхні відгуку розвитку досліджуваних функцій процесу тертя з наявністю в оливі композиційної добавки на основі гемодифікатора КГМТ-1 з відображенням значень факторів та шкалою бажаності мають ідентичний характер і представлені на рисунку 4.2. Рівні відгуку функції за шкалою бажаності наведено на рисунку 4.3.



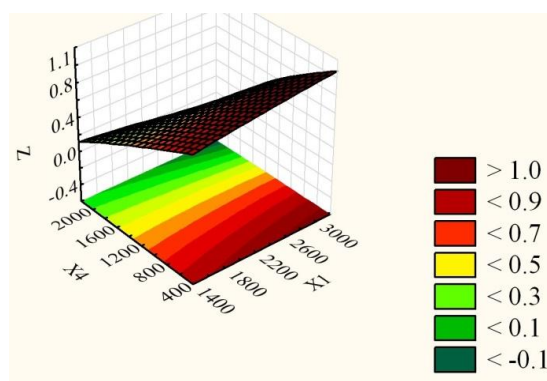
а



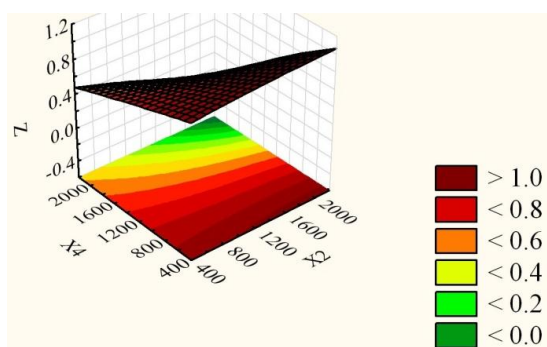
б



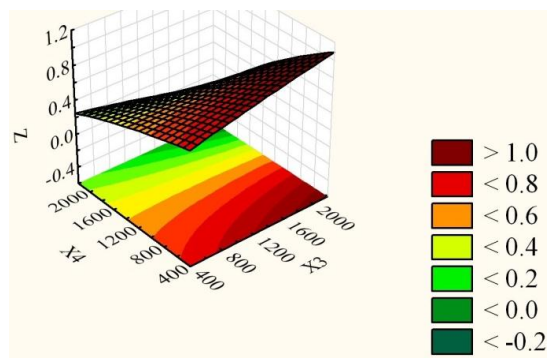
в



г

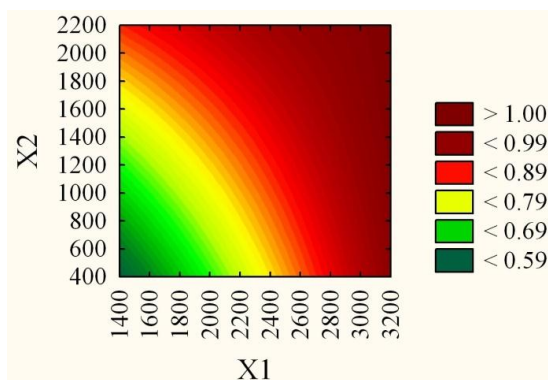


д

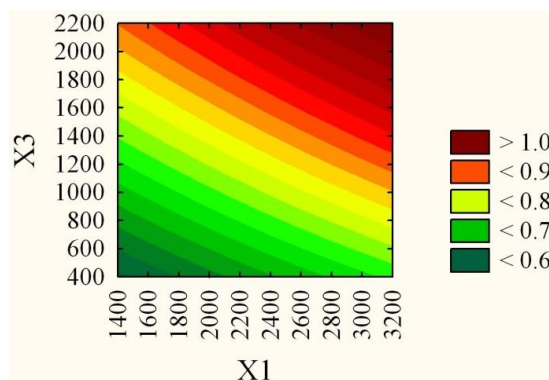


е

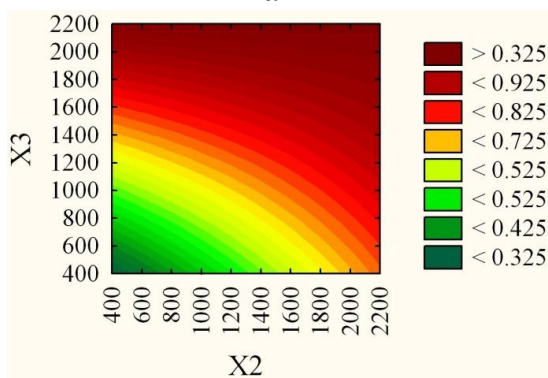
Рисунок 4.2 – Графічне відображення поверхонь відгуку за шкалою бажаності запропонованої композиційної добавки: а – залежність Z від X_2 та X_1 ; б – залежність Z від X_3 та X_1 ; в – залежність Z від X_3 та X_2 ; г – залежність Z від X_4 та X_1 ; д – залежність Z від X_4 та X_2 ; е – залежність Z від X_4 та X_3



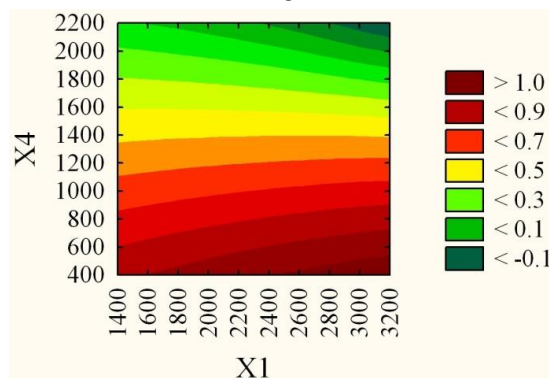
а



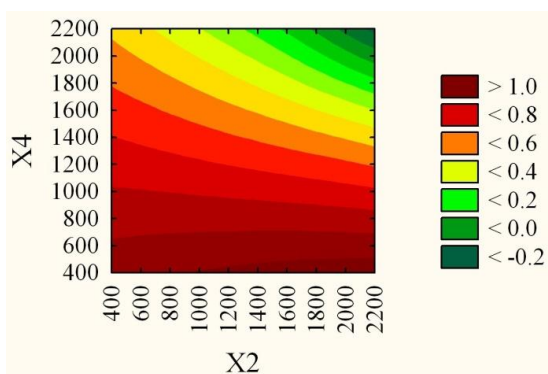
б



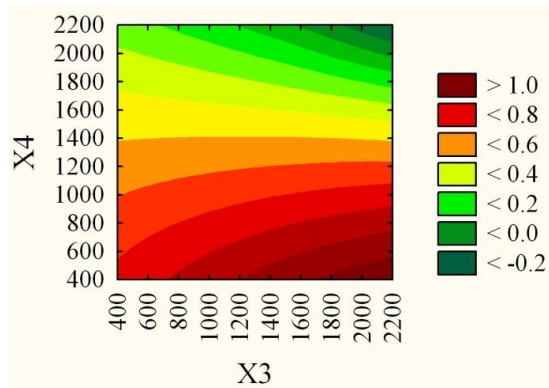
в



г



д



е

Рисунок 4.3 – Графічне відображення рівнів відгуку за шкалою бажаності запропонованої композиційної добавки на основі геомодифікатора КГМТ-1: а – залежність Z від X_2 та X_1 ; б – залежність Z від X_3 та X_1 ; в – залежність Z від X_3 та X_2 ; г – залежність Z від X_4 та X_1 ; д – залежність Z від X_4 та X_2 ; е – залежність Z від X_4 та X_3

Аналізуючи дані графіків (рис.4.2 і рис.4.3), можливо однозначно зазначити, що раціональний та оптимальний склад композиційної добавки на основі геомодифікатора КГМТ-1, як трибологічної добавки, присутні, в досліджуваних діапазонах значень факторів X_1 , X_2 , X_3 , X_4 . Реалізація

оптимізації складу композиційної добавки на основі геомодифікатора КГМТ-1 до оливи, за розробленою моделлю можлива за допомогою функції бажаності. Функцію бажаності необхідно розглядати в межах $[0; 1,0]$. Всі результати за межами цього діапазону не задовольняють фізичний зміст завдання дослідження. Розбиття значень шкали бажаності $[0; 1,0]$ відносно різних груп факторів виконується в межах 10 до 20 % зміни кожного рівня в автоматизованому режимі. Нижні і верхні значення функції бажаності обмежуються заданими рівнями факторів табл.4.1.

Для визначення раціонального складу композиційної добавки на основі геомодифікатора КГМТ-1 встановимо межі досліджуваних відгуків за рівняннями регресії (4.1) і (4.2), що будуть включати в себе весь обсяг експериментальної бази даних, яка доступна для аналізу. За таких умов можливо знайти необхідні максимальні значення відгуку за функцією бажаності та формування багатofакторної її оптимізації. Проаналізуємо кожний фактор та кожну функцію відгуку. Реалізацію процедури визначення оптимізації складу композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1 представлено на рисунку 4.4.

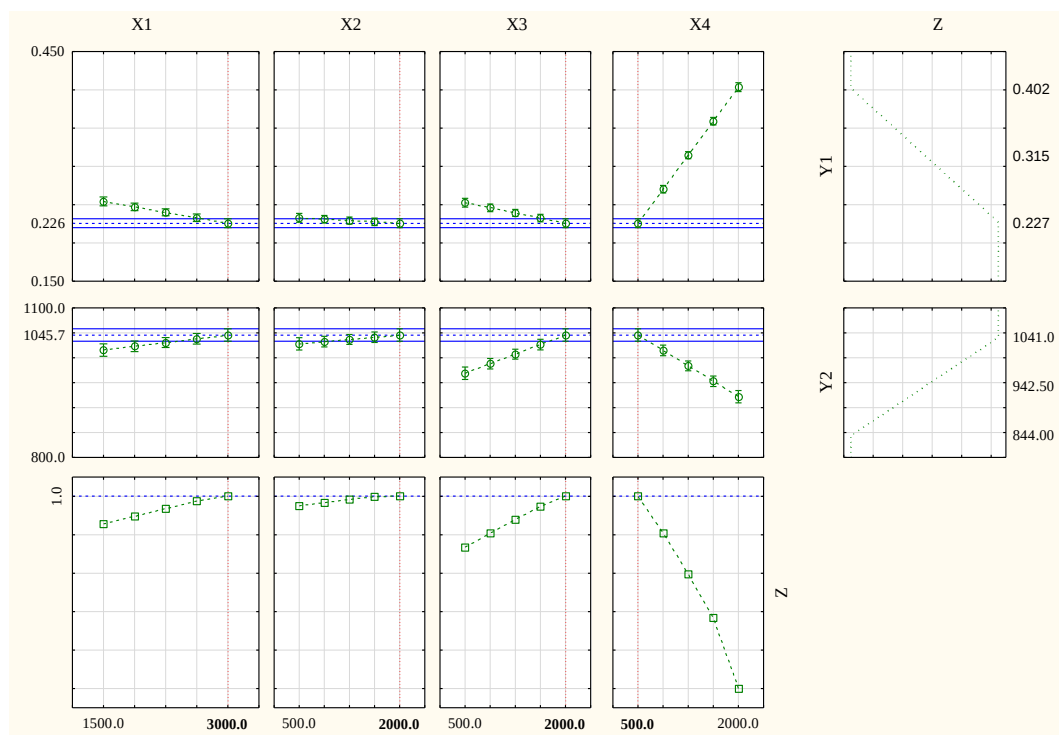


Рисунок 4.4 – Графічне відображення процедури знаходження оптимального складу композиційної добавки на основі геомодифікатора КГМТ-1 за профілем функції бажаності

З рисунку 4.4 можна бачити, що оптимальний варіант компонентів композиційної добавки знаходиться на перетині максимального значення функції бажаності в зазначеному інтервалі кожного фактору. Максимально досяжна бажаність за експериментальною базою даних та умовами оптимізації складає 1,0. Для даної величини бажаності раціональний склад композиційної добавки буде містити: геомодифікатор КГМТ-1 на проміжку [1500,0...3000,0 мг/50мл]; олеат натрію на проміжку [500,0...2000,0 мг/50мл]; сульфат міді на проміжку [500,0...2000,0 мг/50мл]; люмінофор ТАТ 33 на проміжку [500,0...2000,0 мг/50мл]. При складі композиційної присадки: геомодифікатор КГМТ-1 3000,0 мг/50мл; олеат натрію 2000,0 мг/50мл; сульфат міді 2000,0 мг/50мл; люмінофор ТАТ 33 500,0 мг/50мл, можливо стверджувати про оптимальність вирішення прикладного завдання. Порівняльні результати оптимізації складу запропонованої присадки дають можливість оцінити її ефективність за усередненими показниками для моторної оливи М-10Г₂к.

Таблиця 4.2 – Усереднені результати випробувань на чотирикульковій машині тертя ЧМТ-1 у моторному мастильному середовищі

Усереднені показники	Базова олива М-10Г ₂ к	Базова олива М-10Г ₂ к + + сформована добавка
Показник зносу, мм	0,548±0,02	0,419±0,02
Критичне навантаження, Н	1235±5,0	1,602±4,0
Навантаження зварювання, Н	1960±12,0	2497±11,0

Запропонована композиційна добавка на основі геомодифікатора КГМТ-1 дає можливість збільшити якість моторної оливи. Це підтверджують дані таблиці 4.2. В лабораторних умовах спостерігається зменшення показника зношування в трибологічному контакті, збільшення критичного навантаження та навантаження зварювання. При додаванні в моторну оливу М-10Г₂к запропонованої композиційної добавки на основі геомодифікатора КГМТ-1 показник зносу зменшується на 23,5%. Критичне навантаження збільшується на 29,6%, а навантаження зварювання – на 27,4%.

Для приготування композиційної добавки в моторну оливу досягнення максимальних значень функцій відгуку при процесі тертя, необхідно забезпечити раціональний склад компонентів добавки, при якому функція

відгуку має область максимуму за функцією бажаності.

Запропонована композиційна присадка дає можливість формувати функціональні поверхневі шари, які володіють локальною міцністю та мають більш низький коефіцієнт тертя. Для детального дослідження функціональних створюваних покриттів, або антифрикційних плівок та специфічного приповерхневого шару з "золь-гель" перетвореннями, потрібно проводити спектрометричний аналіз олив та робочих поверхонь трибоспрями зразків і деталей. Запропонована композиційна добавки для моторної оливи може бути використана для підвищення довговічності силових агрегатів автомобілів в процесі експлуатації.

4.2 Порівняльний аналіз результатів лабораторних випробувань модифікованих олив декількома добавками на чотирикульковій машині тертя ЧМТ-1

Оптимізований склад композиційної добавки на основі геомодифікатора КГМТ-1 пройшов лабораторні випробування на чотирикульковій машині тертя ЧМТ-1, згідно ГОСТ 9490-75. Випробування мали порівняльний характер. Запропоновану присадку в моторну оливу М-10Г₂к порівнювали з базовою оливою М-10Г₂к. В лабораторних випробуваннях визначали показник зносу, критичне навантаження та навантаження зварюванню.

Випробування на чотирикульковій машині тертя відносяться до "жорстких" випробувань. Тому для того, щоб підтвердити ефективність розробленої композиційної добавки на основі геомодифікатора КГМТ-1, було проведено порівняльні лабораторні випробування параметру зносу з іншими присадками (НИОД-5, Roil Gold) від навантаження. Результати порівняльних лабораторних випробувань наведені на рис.4.4-4.6.

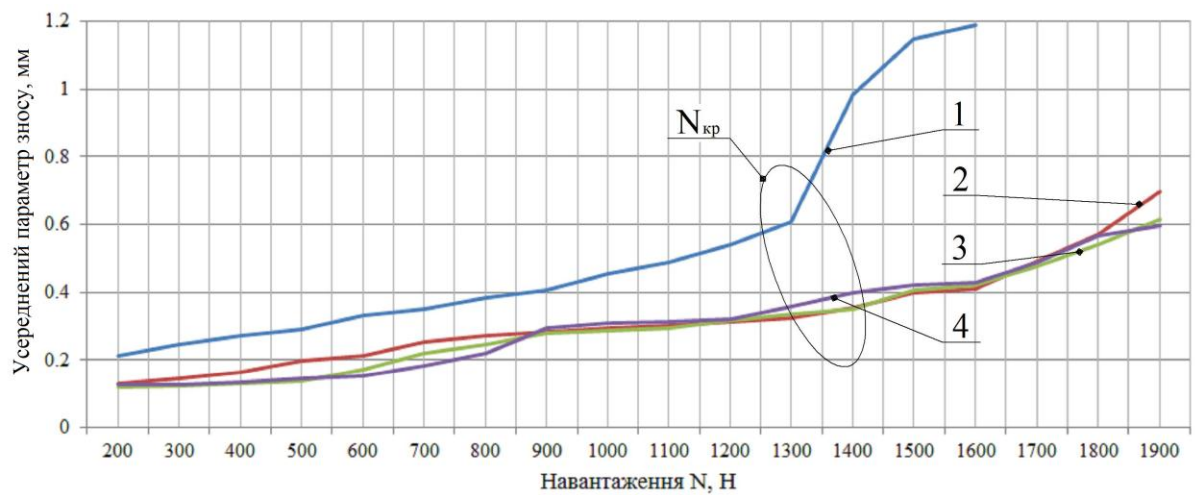


Рисунок 4.4 – Залежність усередненого параметру зносу від навантаження: 1 – базова олива М-10Г₂к, 2 – М-10Г₂к+НИОД-5; 3 – М-10Г₂к+Roil Gold; 4–М-10Г₂к + "КГМТ-1"

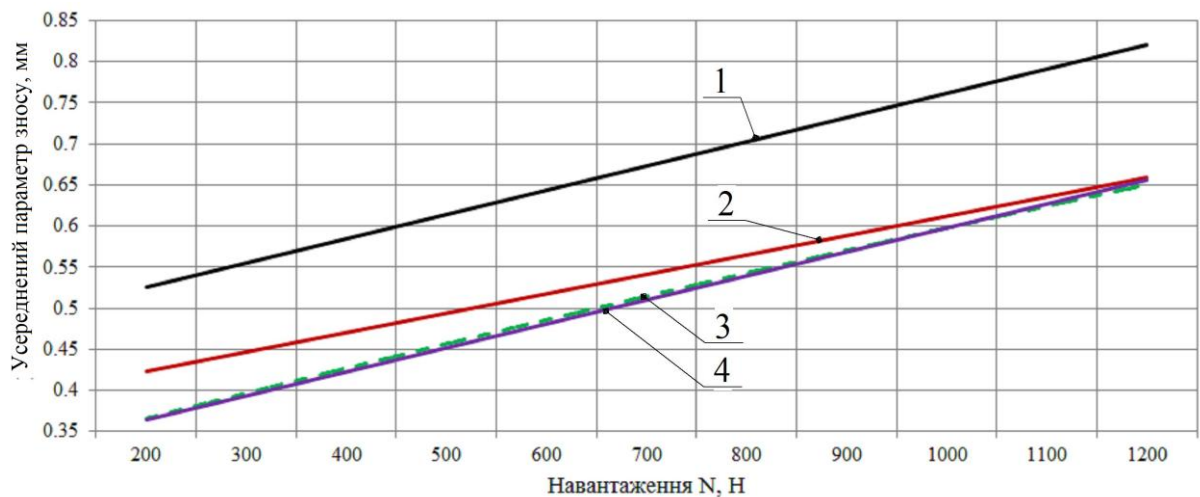


Рисунок 4.5 – Залежність усередненого параметру зносу від початкового навантаження: 1 – базова олива М-10Г₂к, 2 – М-10Г₂к+НИОД-5; 3–М-10Г₂к+Roil Gold; 4 – М-10Г₂к + "КГМТ-1"

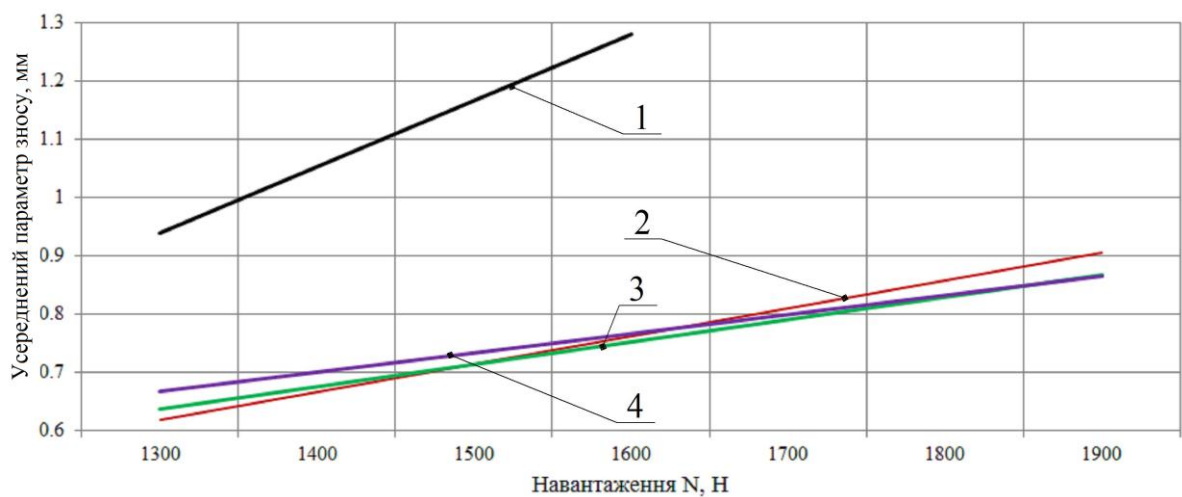


Рисунок 4.6 – Залежність усередненого параметру зносу від кінцевого навантаження: 1 – базова олива М-10Г₂к, 2 – М-10Г₂к+НИОД-5; 3 – М-10Г₂к+Roil Gold; 4 – М-10Г₂к + "КГМТ-1"

Порівняння отриманих результатів здійснювали з результатом на базовому мастильному середовищі – моторна олива М-10Г_{2к}, (крива 1, рис. 4.4), мастильному середовищі М-10Г_{2к} з додаванням присадок: НИОД-5 (крива 2, рис.4.4) та Roil Gold (крива 3, рис.4.4). Результати лабораторних випробувань запропонованої присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1 відображає крива 4, рис.4.4.

Практично однакові зносні властивості за зміною діаметру плями контакту продемонстрували присадки Roil Gold та КГМТ-1. Додавання таких присадок покращує протизадирні властивості базової оливи (крива 1). Присадка НИОД-5 також позитивно впливають на залежність зміни діаметру плями контакту випробуваних зразків від навантаження. Необхідно відмітити, що додавання композиційної добавки на основі геомодифікатора КГМТ-1 в базову оливу збільшує $P_{кр}$, яке усереднено дорівнює 1602 Н. Це свідчить про збільшення протизносних властивостей базової оливи додаванням добавки на основі геомодифікатора КГМТ-1 і про збільшення діапазону роботи протизносних добавок.

В цілому розроблена композиційна добавок на основі геомодифікатора КГМТ-1 подібна до присадки Roil Gold за протизадирними властивостями, але забезпечує більший діапазон і більшу ефективність роботи ніж протизносні присадки. Про це свідчить α і β – кути нахилу прямих (рис.4.5), які характеризують протизносні (ліва частина графіків) і протизадирні властивості (рис.4.6) (права частина графіків) мастильного матеріалу, які визначаються з геометричних міркувань.

Тангенс кутів α і β є ваговими коефіцієнтами, що характеризують швидкість зміни протизносних властивостей і працездатності добавок. Чим менше значення цих коефіцієнтів, тим менше швидкість втрат трибологічних властивостей мастильного матеріалу. Знаючи показники зносу при навантаженнях першого навантажувального ряду можна обчислити ці коефіцієнти. Тангенс кута α різних олив змінюється від 0,103 до 0,846. Отже, при роботі на такій оливі на невеликих вантажувально-швидкісних режимах

зношування буде нижче, а ресурс агрегату вищим. Тангенс кута β (рис.4.6), що характеризує роботу присадок при високих температурах і навантаженнях, змінюється від 0,384 до 1,04.

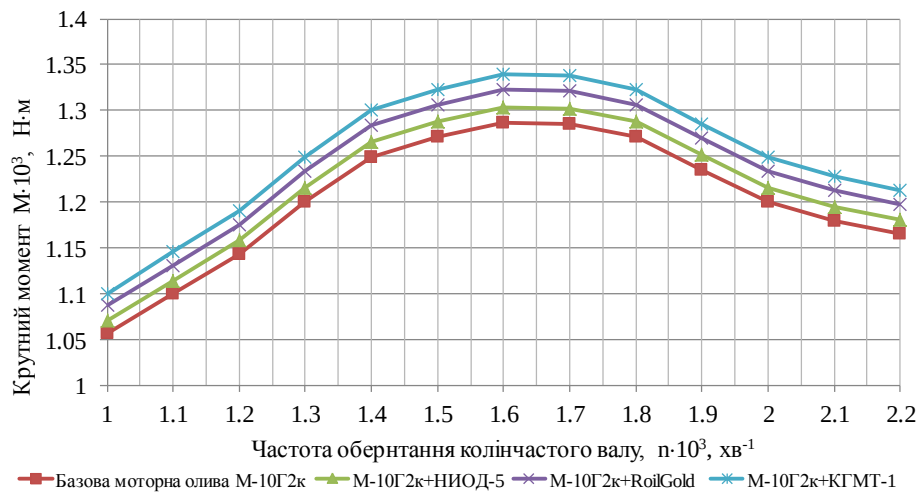
Проведені лабораторні дослідження моторної оливи свідчить, що конкурентну спроможність запропонованій композиційної добавки, в основному, здійснює добавки Roil Gold.

4.3 Результати стендових випробувань впливу модифікування оливи композиційними присадками на показники зовнішньої швидкісної характеристики силового агрегату автомобілів

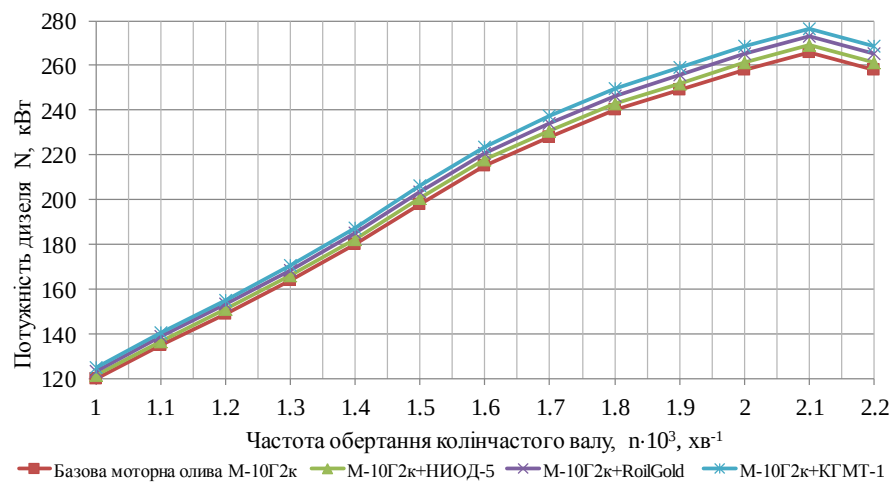
При стендових випробуваннях дизелів серії COMATSU і ЯМЗ проводили на стенді КИ-1363В, знімали їх зовнішню швидкісну характеристику. Потужність, крутний момент і питому витрату палива оцінювали за стандартними формулами. Проби моторної базової та модифікованою КГМТ-1, олив брали згідно методики, наведеної в ГОСТ 2517-85.

За результатами стендових досліджень побудовані залежності крутного моменту, потужності та питомої витрати палива від частоти обертання колінчастого валу при роботі на свіжій моторній оливі, модифікованій добавками НИОД-5, Roil Gold і КГМТ-1 (рис.4.7).

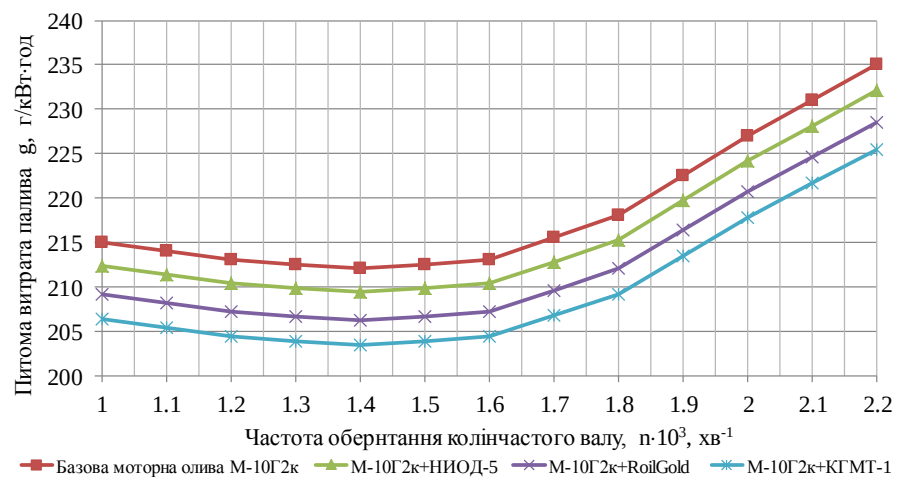
Аналіз зовнішньої швидкісної характеристики свідчить, що додавання композиційної добавки на основі геомодифікатора КГМТ-1 в моторну оливу і інших добавок забезпечило стійке підвищення потужності дизеля в усьому діапазоні швидкісного режиму (частоти обертання колінчастого валу). Збільшення крутного моменту для оливи М-10Г₂к+НИОД-5 склало на 1,2...1,4 %; для оливи М-10Г₂к+RoilGold – на 2,6...3,0%; для оливи М-10Г₂к + КГМТ-1 – на 3,9...4,3%. Найбільший приріст крутного моменту отримано в режимі максимальної частоти обертання колінчастого валу дизеля.



а



б



в

Рисунок 4.7 – Зовнішня швидкісна характеристика дизеля ЯМЗ-240 зі свіжою моторною оливою М-10Г₂к та оливою з добавками НИОД-5, RoilGold і КГМТ-1: а – крутящий момент; б – потужність; в – питома витрата палива

Потужність дизеля при роботі на оливі М-10Г₂к+НИОД-5 збільшилась на 1,1...1,3 %; на оливі М-10Г₂к+RoilGold – на 2,5...2,9%; на оливі М-10Г₂к + КГМТ-1 – на 3,9...4,2%.

Зменшення питомої витрати палива від додавання добавок у оливу склало: М-10Г₂к+НИОД-5 – на 1,24...1,26 %; М-10Г₂к+RoilGold – на 2,73...2,77%; М-10Г₂к + КГМТ-1 – на 3,95...4,15%.

Отримані дані по добавкам свідчать, що в експлуатаційні випробування достатньо досліджувати добавки Roil Gold і КГМТ-1.

Таким чином, підвищення потужності обумовлене зниженням витрат на подолання сили тертя та процесів припрацювання при пуску дизелів автомобілів, які працюють в нестационарних умовах експлуатації при додаванні присадок до моторної оливи. Зниження питомої та погодинної ефективної витрати палива, обумовлене підвищенням ефективної потужності при використанні композиційної присадки.

Висновки до четвертого розділу

1. Методами математичного планування експерименту отримано раціональні та оптимальний склад композиційної добавки на основі геомодифікатора КГМТ-1. Обґрунтовано вплив кожної компоненти на показники і властивості оливи та робочої поверхні рухомих спряжень деталей силового агрегату вантажного автомобіля.

2. Порівняльний аналіз лабораторних випробувань на чотирикульковій машині тертя ЧМТ-1 показав, що додавання отриманої композиційної добавки на основі геомодифікатора КГМТ-1 в базову оливу збільшує протизносні її властивості. Результати дослідження свідчать про конкурентну спроможність запропонованої композиційної добавки у порівнянні з RoilGold і НИОД-5.

3. Стендові випробування дизелів серії KAMATSU і ЯМЗ підтверджують результати лабораторних випробувань.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз літературних джерел свідчить, що підвищення довговічності силових агрегатів вантажних автомобілів можливе покращення показників і властивостей моторної оливи та робочих поверхонь рухомих спряжень деталей.
2. Запропонована фізична модель дії композиційної добавки на основі модифікатора на оливу та робочі поверхні рухомих деталей і формування асоціатів молекул складових композиційної оливи та зміни станів поверхневого шару матеріалу деталей.
3. Внесення композиційних добавок в моторну оливу обумовлюють зміну режимів тертя у рухомих деталей силових агрегатів вантажних автомобілів.
4. Теоретично обґрунтовано вплив зміни показників і властивостей моторної оливи на підвищення довговічності рухомих спряжень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аулін В. В., Лисенко С. В., Гриньків А. В., Голуб Д. В., Головатий А. О. Логістика постачання транспортних і виробничих підприємств, фірм, компаній: Навчальний посібник під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2022. – 325 с.
2. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Головатий А.О., Голуб Д.В. Теоретичні і методологічні основи логістики транспортних і виробничих систем / монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2021. – 503 с.
3. Методологічні основи проектування та функціонування інтелектуальних транспортних і виробничих систем : монографія / В. В. Аулін, А. В. Гриньків, А. О. Головатий [та ін.] ; під заг. ред. В. В. Ауліна. - Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2020. - 428с.
4. Аулін В.В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія / В.В. Аулін, Д.В. Голуб, А.В. Гриньків, С.В. Лисенко. – Кропивницький: Видавництво ТОВ "КОД", 2017. – 370 с.
5. Методичні вказівки з науково-дослідної практики: для здобувачів за освітньо-професійної програми "Транспортні технології (автомобільний транспорт)" другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 275 – Транспортні технології (автомобільний транспорт) денної та заочної форми навчання / уклад.: В.В. Аулін, А.В. Гриньків, С.В. Лисенко, Д.В. Голуб, А.П. Голованов; М-во освіти і науки Укр., Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2022. – 29 с.
6. Методичні вказівки для виконання випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів за освітньо-професійної програми "Транспортні технології (автомобільний транспорт)" другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 275 – Транспортні технології (на автомобільному транспорті) денної та заочної форми навчання / уклад.: В.В. Аулін, А.В. Гриньків, С.В.

Лисенко, Д.В. Голуб, Д.В. Вінницький; під заг. редакцією д.т.н., проф. Ауліна В.В. М-во освіти і науки Укр., Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2022. – 42 с.

7. Аулін В.В., Лисенко С.В., Гриньків А.В. та ін. Вплив процесів, що відбуваються в рухомих спряженнях деталей транспортних машин під дією компонентів геомодифікатора, на ефективність триботехнологій припрацювання і відновлення. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2020. Вип. 3(34). С.250-265.

8. Лисенко С.В. Системно-спрямований підхід підвищення експлуатаційної надійності транспортних машин на етапах їх життєвого циклу //Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2022. Вип. 5(36) ч.І. С.278-289.

9. . Aulin, V., Hrynkiv, A., Lysenko, S., Zamota, T., Pankov, A., Tykhyi, A. Determining the rational composition of tribologically active additive to oil to improve characteristics of tribosystems (2019) Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (12-102), pp. 52-64.

10. Aulin, V., Lyashuk, O., Hrynkiv, A., Lysenko, S., Zamota, T., Vovk, Y., Pankov, A., Tykhyi, A., Horkunenko, A. Determination of the rational composition of the additive to oil with the use of the katernivka friction geo modifier (2019) Tribology in Industry, 41 (4), pp. 548-562.

11. Aulin, V., Lysenko, S., Lyashuk, O., Hrinkiv, A., Velykodnyi, D., Vovk, Y., Holub, D., Chernai, A. Wear resistance increase of samples tribomating in oil composite with geo modifier KgMf-1 (2019) Tribology in Industry, 41 (2), pp. 156-165.

12. Аулін В.В. Вплив експлуатаційних факторів на режим змащування і зносостійкість деталей дизельних двигунів автомобілів / В.В. Аулін, О.В. Диха, С.В. Лисенко, А.В. Гриньків // Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2018. – №4 – С.41-53.

13. Wear resistance increase of samples tribomating "Steel 45-cast iron SCH20" with geo modifier KGMF-1 / V. Aulin, S. Lysenko, A. Hrynkiv [et al.] //

Problems of Tribology. - 2019. - Vol. 92. - № 2. - P. 55-60.

14. Аулін В.В. Методологічні і теоретичні основи забезпечення та підвищення надійності функціонування автомобільних транспортних систем: монографія / В.В. Аулін, Д.В. Голуб, А.В. Гриньків, С.В. Лисенко. – Кропивницький: Видавництво ТОВ "КОД", 2017. – 370 с.

15. Войтов В.А., Мазепа В.А., Ярошно С.Ю. Системный подход при подборе моторных масел к ДВС и определении сроков их смены. Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, 2007. Вип. 39. С. 48-51.

16. Аулін В.В., Лисенко С.В., Кузик О.В. Підвищення експлуатаційної надійності машин шляхом модифікування моторної оливи. Вісник Харківського нац. техн. університету сільськ. господарства. Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва. 2010. Вип. 100. С. 127-133.

17. Singh, Y. Tribological behavior as lubricant additive and physiochemical characterization of Jatropha oil blends. Friction, 2015. Vol 3(4). P. 320-332.

18. Левченко А. В., Наглюк И. С., Осипенко Д. В. Системный подход в применении добавок, обеспечивающих восстановление эксплуатационных параметров двигателей внутреннего сгорания. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2016. Вип. 74. С. 100-106

19. ДСТУ ГОСТ 33-2003 Нафтопродукти. Прозорі і непрозорі рідини. Визначення кінематичної в'язкості і розрахунок динамічної в'язкості (ГОСТ 33-2000 (ИСО 3104-94), IDT).

20. Гомон Д. А., Дудка А. М., Начовний І. І. Порівняльні дослідження ефективності протизношувальних присадок до моторних мастил. Хімія та сучасні технології: VIII Міжнародна науково-технічна конференція. Том V. м.Дніпро. 26-28 квітня 2017. С.125.