

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ СІЛЬСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

СЛОНЬ ВІКТОР ВІКТОРОВИЧ



УДК.621.892.8:629.083

**ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ СИЛОВИХ АГРЕГАТІВ
ТРАНСПОРТНИХ МАШИН ВИКОРИСТАННЯМ ОЛИВ З ПРИСАДКОЮ
НА ОСНОВІ ГЕОМОДИФІКАТОРА**

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Центральноукраїнському національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Аулін Віктор Васильович,
Центральноукраїнський національний технічний університет, професор кафедри експлуатації та ремонту машин.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Наглюк Іван Сергійович,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, зав. кафедри організації і безпеки дорожнього руху

кандидат технічних наук, доцент
Карнаух Микола Віталійович,
Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка, доцент кафедри транспортних технологій і логістики

Захист відбудеться "21" вересня 2021р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 64.832.03 при Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: просп. Московський, 45, ауд. 204, м.Харків, Україна, 61050.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: вул. Алчевських, 44, м.Харків, Україна, 61002.

Автореферат розісланий "20" серпня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Ю.О.Градиський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Проблема підвищення довговічності силових агрегатів транспортних машин (ТМ) подовженням ресурсу спряжень деталей та терміном функціонування робочої оливи з часом неухильно зростає. Це пов'язано з експлуатацією ТМ в жорстких нестационарних умовах, особливо в режимі "пуск-зупинка", запиленості, при великих навантаженнях і малій швидкості руху по автомобільних дорогах складного профілю. Надважкі нестационарні умови і режими експлуатації призводять до інтенсивного спрацювання деталей й зниженню показників якості та погіршенню властивостей моторної та трансмісійної оливи, що обумовлює зменшення терміну їх використання, а отже і збільшення частоти заміни і витрат на їх закупівлю та запасні частини. Реалізація ресурсу, закладеного в силові агрегати ТМ, можлива тільки при використанні якісних мастильних матеріалів, які за експлуатаційними властивостями повністю відповідають їх конструктивним особливостям і умовам експлуатації.

Моторні та трансмісійні оливи є одними з основних функціональних елементів силових агрегатів ТМ і багато в чому визначають довговічність та ефективність їх роботи при експлуатації. Якість оливи і конструкції силових агрегатів доповнюють одна одну. Постійне вдосконалення конструкції силових агрегатів ТМ в напрямку поліпшення умов роботи оливи і покращення показників і властивостей забезпечує високий рівень надійності їх та зниження витрат паливо-мастильних матеріалів. Зміна фізико-хімічних показників та експлуатаційних властивостей робочих оливи модифікуванням композиційних присадок на основі геомодифікаторів дозволяє підвищити довговічність силових агрегатів ТМ. Разом з тим не виявлено механізму дії таких присадок, остаточно необґрунтовано характер змін показників і властивостей оливи та режимів функціонування спряжень деталей від компонентів присадки, що є безумовно актуальним для управління ресурсом силових агрегатів та терміном використання моторних і трансмісійних оливи.

Зв'язок роботи з науковими програмами та темами. Дисертаційна робота виконувалась згідно стратегічних пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки в Україні на 2011-2020рр., а саме – новітні та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі; напрямків наукових досліджень Центральноукраїнського національного технічного університету (ЦНТУ) за темами: "Підвищення надійності транспортних засобів управлінням їх технічного стану" (№ДР0116U008055); "Підвищення надійності вантажних автомобілів в нестационарних умовах експлуатації модифікуванням моторних та трансмісійних оливи потоками речовини і енергії фізичних полів" (№ДР0116U008112); "Прогнозування експлуатаційної надійності автомобілів для забезпечення якісних транспортних послуг" (№ДР0116U008110).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення довговічності силових агрегатів транспортних машин, що працюють в жорстких умовах експлуатації, на основі закономірностей зміни показників, властивостей робочих оливи та режимів роботи рухомих спряжень деталей при модифікуванні оливи композиційними присадками з використанням геомодифікатора КГМТ-1.

Відповідно до поставленої мети сформульовані наступні завдання досліджень:

- проаналізувати жорсткі нестационарні умови і режими експлуатації транспортних машин та можливі методи підвищення ресурсу деталей силових агрегатів та моторних і трансмісійних робочих олів;
- теоретично обґрунтувати вплив композиційних присадок на основі геомодифікаторів на показники і властивості робочих олів та довговічність рухомих спряжень деталей силових агрегатів ТМ;
- запропонувати синтез ефективної композиційної присадки на основі геомодифікатора, внесення якої в моторну та трансмісійну оливи, надасть їм необхідного комплексу експлуатаційних характеристик та властивостей й підвищить довговічність силових агрегатів ТМ;
- провести лабораторні та стендові дослідження показників і властивостей модифікованих робочих олів та зовнішньо-швидкісну характеристику силових агрегатів;
- дослідити вплив запропонованої композиційної присадки на характеристики та властивості робочих поверхонь спряжень деталей в процесі експлуатації й оцінити ресурс силових агрегатів ТМ;
- дати техніко-економічне обґрунтування доцільності використання композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1 та розробити рекомендації експлуатаційним службам підприємств по підвищенню довговічності силових агрегатів ТМ.

Об'єкт дослідження – процеси зміни характеристик і властивостей робочих олів композиційною присадкою на основі геомодифікатора КГМТ-1 й підвищення довговічності силових агрегатів ТМ.

Предмет дослідження – закономірності зміни показників і властивостей модифікованої робочої оливи та ресурсу силового агрегату ТМ під час експлуатації.

Методи дослідження. В теоретичних дослідженнях використані методи системного аналізу, гідродинамічної теорії змащення, теорій надійності та технічної діагностики, теорій інформації, управління та ефективності технічного стану систем і агрегатів машин, теорії ймовірності та математичної статистики, математичного планування експерименту. Експериментальні дослідження і формування діагностичної бази даних про зміну технічного стану і рівня довговічності силових агрегатів транспортних машин проводили на основі методів і методик діагностики та надійності. Фізико-хімічні показники і властивості моторної і трансмісійної олів визначали по загально прийнятим методикам. Математичне планування експерименту, розрахунки та обробка результатів досліджень виконані з використанням пакетів прикладних програм на ПК.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розв'язанні науково-практичного завдання підвищення довговічності силових агрегатів транспортних машин модифікуванням робочих олів композиційними присадками на основі геомодифікатора КГМТ-1, що на відміну від відомих раніше враховуються встановлені закономірності зміни їх показників і властивостей та поверхонь

деталей під час експлуатації.

Вперше:

– запропоновано механізм дії присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1, зменшенням в'язкості композиційної оливи в приповерхневих шарах та підвищенням ефективності її зсуву, що істотно знижує спрацювання робочих поверхонь в спряженнях деталей та забезпечує необхідний рівень довговічності силових агрегатів транспортних машин, що працюють в режимі "пуск-зупинка";

– теоретично обґрунтовано та експериментально доведено, що при додаванні в робочу оливу композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1, змінюється її стан, внутрішня енергія спряжень деталей та ентропія системи в залежності від вмісту компонентів присадки та механічних домішок під час експлуатації, що дає можливість покращити показники і властивості моторних і трансмісійних олив, збільшити їх ресурс та термін заміни.

Удосконалено:

– системно-спрямований та синергетичний підхід до модифікування робочої оливи композиційною присадкою на основі геомодифікатора КГМТ-1, що дає можливість управляти складом і розміром частинок її компонентів у відповідності до умов експлуатації транспортних машин.

Одержали подальший розвиток:

– закономірності зміни експлуатаційних показників та властивостей модифікованих робочих олив силових агрегатів транспортних машин з напрацюванням, що дає можливість управляти технічним станом спряжень деталей в нестационарних умовах експлуатації: як в безперервному режимі, так і в режимі "пуск-зупинка".

Практичне значення отриманих результатів.

На основі теоретичних та експериментальних досліджень розроблені заходи, щодо методів діагностування стану моторної і трансмісійної олив та підвищення довговічності силових агрегатів транспортних машин з додаванням композиційних присадок. Показано, що композиційні присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1 покращують показники і експлуатаційні властивості моторних і трансмісійних олив, подовжує термін їх використання та підвищує ресурс силових агрегатів у 1,3...1,5 разів. Розроблено рекомендації службам експлуатації ТМ на підприємствах по підвищенню їх ресурсу зменшенням зносу спряжень деталей силових агрегатів під час пуску, спосіб експрес діагностики систем змащення, зміни нормування ТО ТМ в зв'язку з подовженням ресурсу моторної оливи. Це підтверджується отриманими патентами України на корисну модель: 74249, 74645, 74646, 74656.

Результати роботи прийняті до впровадження в технічній експлуатації ТМ на підприємствах ПАТ "Кіровоградграніт", СТОВ "Хутірське, ТОВ "Агрофірма Колос", а також використовуються в навчальному процесі ЦНТУ при вивченні дисциплін з напрямків підготовки 274 "Автомобільний транспорт", 275 "Транспортні технології (на автомобільному транспорті)" та 208 "Агроінженерія": "Ремонт машин", "Автомобілі", "Технічна експлуатація автомобілів", "Діагностика машин", "Експлуатація і ремонт ДВЗ", "Надійність автомобілів", "Надійність сільськогосподарської техніки", "Інформаційні технології на автомобільному

транспорті".

Особистий внесок здобувача.

Планування дисертаційної роботи, обговорення її результатів та висновків виконано спільно з науковим керівником, а основні положення і результати досліджень автор отримав самостійно. Особисто опубліковано наукову працю [6]. У наукових працях опублікованих у співавторстві здобувачу належать: отримані триботехнічні характеристики за різних режимів експлуатації ТМ [3]; експериментальні визначення фізико-хімічних показників оливи в процесі експлуатації та аналіз бази даних [1]; запропоновано експрес-оцінку впливу композиційної оливи на робочу поверхню спряжених деталей [2]; результати експериментальних досліджень концентрації хімічних елементів [23]; дослідження стану робочих олив в нестаціонарних умовах експлуатації [4]; експериментальні дослідження впливу модифікованих присадок на термін заміни оливи в нестаціонарних умовах [5,6,15,16]; запропоновані компоненти присадки на основі геомодифікатора і досліджено їх вплив на робочі поверхні спряжень деталей [7,8,22]; результати вимірювання потужності двигунів в нестаціонарних умовах експлуатації [9]; виявлені закономірності зміни якості робочих олив в нестаціонарних умовах експлуатації [10,19]; результати досліджень припрацювання спряжень силових агрегатів в режимі "пуск-зупинка" [13,14]; досліджено питання можливості автоматизованого управління зношування і реалізація процесів самоорганізації [11]; виявлено вплив композиційної оливи на зміну якості робочих поверхонь деталей силових агрегатів [12,17]; запропоновано удосконалення технічне обслуговування транспортних машин при подовженні терміну заміни оливи [18]; визначено вплив модифікування моторної оливи на зовнішньо-швидкісні характеристики дизелів [20-23]; запропоновано технологію припрацювання [24]; удосконалено методи діагностування системи змащення [25-29,32,33]; запропоновано припрацювальні композиції на основі геомодифікатора КГМТ-1 [26,27] та спосіб визначення моменту тертя [34].

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались, обговорювались та були схвалені на наукових конференціях: співробітників та викладачів ЦНТУ (м. Кропивницький, 2011-2021 рр.); "Молодежь и сельскохозяйственная техника в XXI веке" (Харьков, 2009р.); "Ольвійський форум 2012: Стратегія України в геополітичному просторі" (Ялта, 2012р.); "Актуальні проблеми інженерної механіки" (Миколаїв, 2012р.); "Підвищення надійності машин і обладнання" (Кіровоград, 2011р., 2013-2015 рр.); "Проблеми розвитку транспортних систем і логістики" (Євпаторія, 2013р.); "Трибологія, енерго- та ресурсозбереження" (Миколаїв, 2013р.); "Проблеми і перспективи розвитку автомобільної галузі" (Донецьк, 2013); "Проблеми розвитку дорожньо-транспортного і будівельного комплексів" (Кіровоград 2013р.); "Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту" (Вінниця, 2015р.); "Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації с.-г. техніки" (Кіровоград, 2015р.); "Крамаровські читання" (Київ, 2021р.); "Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем" (Кропивницький, 2021р.). У повному обсязі робота доповідалась та обговорювалась на розширеному науковому семінарі

кафедри експлуатації та ремонту машин ЦНТУ (м. Кропивницький, лютий 2021р.).

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 34 наукових праць, в тому числі, 8 статей у наукових фахових виданнях України, 15 публікацій тез наукових конференцій, 9 патентів України на винахід та дві публікації у закордонних виданнях.

Структура й обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел із 152 найменувань на 18 сторінках та додатків. Основний обсяг роботи викладено на 165 сторінках і містить 16 таблиць і 57 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації роботи, сформульовано її мету, завдання, об'єкт і предмет досліджень, наведено зв'язок роботи з проведеними науковими програмами, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, вказані дані апробації основних положень дисертації.

В першому розділі проведено аналіз умов та режимів експлуатації ТМ у кар'єрах, сільськогосподарському виробництві, при обслуговуванні аеропортів та ін. Зроблено їх класифікацію. Виявлено, що моторні і трансмісійні оливи при роботі ТМ в жорстких нестаціонарних умовах експлуатації піддаються комплексній дії високої температури, знакозмінного навантаження, кисню та запиленості повітря, продуктів згоряння палива і зношування основних спряжень деталей та вмісту сторонніх домішок. Це обумовлює погіршення якості олив, яке полягає у зміні фізико-хімічних показників та властивостей, зменшенні терміну їх використання та зменшення довговічності рухомих спряжень деталей силових агрегатів та ТМ в цілому.

Дано аналіз показників стану і властивостей робочих олив, їх гранично-допустимих значень та показників бракування. Сформульовані основні вимоги до моторних і трансмісійних олив. Розглянуто сукупність присадок, що покращують властивості і показники олив силових агрегатів ТМ та вплив на довговічність їх рухомих спряжень з утворенням стійкої мастильної плівки на робочих поверхнях деталей для забезпечення мінімального тертя і запобігання їх зношування.

Розробці питань довговічності силових агрегатів ТМ та підвищення показників і властивостей моторних і трансмісійних олив присвячені роботи І.С. Наглюка, В.А. Войтова, В.В. Ауліна, В.В. Біліченка, О.В. Дихи, О.С. Полянського, В.В. Самородова, М.І. Дмитриченко, Р.Г. Мнацаканова, О.М. Мікосянчик, Л.І. Погодаєв, В.М. Кузьмін, Р.І. Blau, R.I. Taylor, Vincent Gatto, Y.Y. Wu, N.S. Ahmed, A.M. Nassar та ін. Встановлено, що 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 та самого силового агрегату ТМ.

В другому розділі розглянуто фізичну модель дії композиційної присадки на основі геомодифікатора, внесеної в оливу, на робочі поверхні рухомих спряжень деталей. Показано, що молекули компонентів присадки в об'ємі олив, взаємодіють

між собою, утворюючи різні за будовою і формою надмолекулярні структури. По досягненню деякого порогового значення концентрації практично усі молекули компонентів композиційної присадки знаходяться в асоційованому стані.

Виявлено, що в приповерхневому шарі композиційна олива проявляє неньютонівські властивості та має меншу кінематичну в'язкість з підвищеною ефективною швидкістю зсуву її шарів:

$$dv/dz = f(\tau) + g(\tau, z), \quad (1)$$

де $f(\tau)$, $g(\tau, z) \neq 0$ – функції дотичного напруження та зсуву шарів композиційної оливи вздовж нормалі до робочої поверхні і $z > \delta_h$, δ_h – відрізок нормалі. Розв'язок диференціального рівняння (1) має вигляд:

$$v = f(\tau)z + \int_0^{\delta_h} g(\tau, z)dz, \quad (2)$$

де $\int_0^{\delta_h} g(\tau, z)dz = v_e(\tau)$ – ефективна швидкість зсуву оливи у нормальному напрямку до поверхні деталі. В основі руху і теплообміну таких олив лежать закономірності пружно-пластичних деформацій і реологічних властивостей.

Поверхневу активність, робочі і критичну концентрації композиційних присадок в оливі можливо оцінити за побудовою ізотерм коефіцієнту поверхневого натягу (рис. 1).

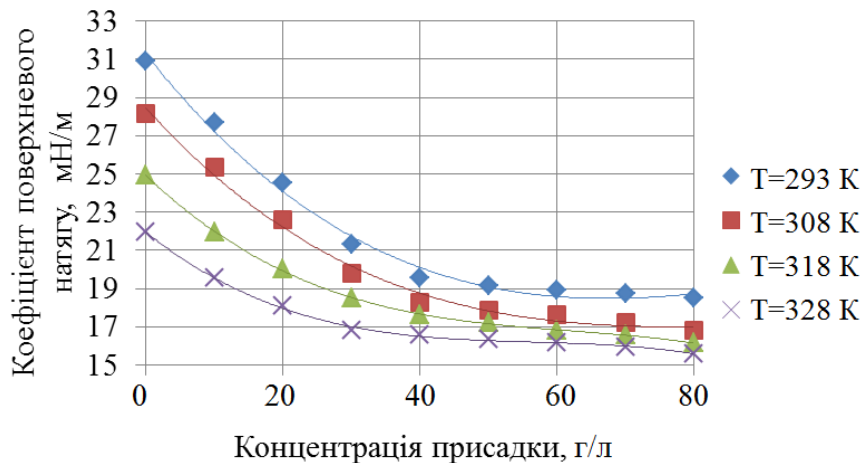


Рисунок 1 – Ізотерми коефіцієнта поверхневого натягу моторної оливи М-10Г₂К з додаванням композиційної на основі присадки геомодифікатора КГМТ-1

Обґрунтовано, що поверхневу активність композиційної оливи по Гіббсу $d\sigma_n/dC_v$ можна апроксимувати лінійною залежністю:

$$\sigma_n = \sigma_{on} + (d\sigma_n/dC_v) \cdot C_v, \quad (3)$$

де σ_{on} , C_v – поверхневий натяг свіжої оливи та вміст композиційної присадки на основі геомодифікатора. Зміна поверхневого натягу композиційної оливи від концентрації присадки визначає ту чи іншу схему розташування асоціатів молекул під час їх адсорбції на робочих поверхнях деталей. Визначено, що стан оливи з композиційною присадкою можна описати моделлю Шведова-Бінгама. Використання активних компонентів присадок на основі геомодифікатора обумовлює виникнення умов реалізації процесів самоорганізації робочих

поверхонь спряжень деталей з мастильним середовищем.

Зниження тертя під дією композиційних присадок, внесених в моторну та трансмісійні оливи, можна пояснити з позицій теорії дискретного тертя та зміни режиму змащення (рис.2).

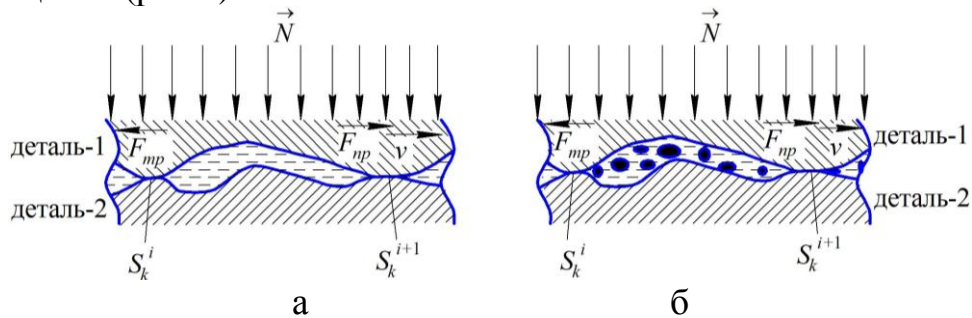


Рисунок 2 – Схема переходу режиму змащення в рухомому спряженні деталей із змішаного (а) в граничний (б) з присутністю композиційної присадки: \vec{F}_{mp} – сила тертя; \vec{F}_{np} – сила проорювання поверхні тертя; N – нормальне навантаження; v – швидкість ковзання; S_k^i , S_k^{i+1} – мікроконтактні площинки

Сила тертя у випадку змішаного змащення (рис. 2) дорівнює:

$$F_{mp} = S_k (\alpha_k \sigma_k^{ms} + (1 - \alpha_k) \sigma_k^{zp}) + F_{np}, \quad (4)$$

де α_k – частка площі, на якій здійснюється контакт рухомих деталей; σ_k^{zp} – міцність контакту на зріз; S_k – номінальна площа контакту.

Оскільки ЦПГ силових агрегатів ТМ є ресурсовизначальною, то в основних її спряженнях є одним з елементів, який виконує функції зниження витрат на тертя і зношування. Для спряження деталей "гільза циліндра-поршневе кільце" критерій Зоммерфельда можна оцінити за формулою:

$$S_0 = \left(\frac{D}{2\Delta} \right)^2 \cdot \left(\frac{\eta \cdot \omega}{2\pi} / p \right) = \frac{D^2 \eta \omega}{8\pi \Delta^2 p}, \quad (5)$$

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

Динамічна в'язкість моторних і трансмісійних оливи, що містять частинки компонентів композиційної присадки та частинки зносу збільшується із зростанням їх вмісту:

$$\frac{(\eta_{np} - \eta_{zn})}{\eta_0} = k_{F_1} \cdot \varphi_1 + k_{F_2} \cdot \varphi_2 = \frac{k_1 V_{np} + k_2 V_{zn}}{V_0}, \quad (6)$$

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

Загальна внутрішня енергія моторних і трансмісійних оливи змінюється в результаті попадання в них твердих частинок компонентів композиційної присадки та зносу робочих поверхонь рухомих спряжень деталей:

$$dU_{\Sigma} = dU_{np} + dU_{zn} = w_{np} dS_{np} + w_{zn} dS_{zn}, \quad (7)$$

де w_{np} , w_{zn} – щільність поверхневої енергії на межі поділу рідкої і твердої фаз, Дж/м², частинок присадки і зносу деталей; S_{np} , S_{zn} – величина поверхні поділу "частинка присадки-олива" і "частинка зносу-олива", м². При врахуванні \bar{d}_{np} і \bar{d}_{zn} розмірів частинки та їх кількості dN_{np} і dN_{zn} , має вигляд:

$$dU_{\Sigma} = 0,25w_{np}\bar{d}_{np}^2dN_{np} + 0,25w_{zn}\bar{d}_{zn}^2dN_{zn} + f_{mp}(dU_{zn} - dU_{np} + dU_{\kappa}), \quad (8)$$

де f_{mp} – коефіцієнт тертя. При досягненні межі працездатності, очевидно, матиме місце рівновага:

$$dU_{np} = dU_{zn} + dU_{\kappa}. \quad (9)$$

Визначено, що зміну властивостей моторних і трансмісійних олив можна з достатньою точністю прогнозувати, використовуючи коефіцієнт запасу працездатності $k_{зан}$, який враховує жорсткі нестационарні умови експлуатації.

Враховуючи вирази зміни величини в'язкості, динаміки концентрації механічних домішок, як продуктів зношування, спрацювання присадок, можливо визначити величину напрацювання до заміни оливи:

$$T = T_{пл}(1 - k_{зан}) \ln \left[\frac{(\eta - \eta_0)V_p}{2,5\eta_0(V_{мп0} + V_{np0})} \right], k_{зан} = 1 - k_{zn}k_{np}, \quad (10)$$

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

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

$$V_{np} = V_{np0}(\Pi_{лч} / \Pi_{лч0}), \text{ або } V_{np} = V_{np0}(\Pi_{кч0} / \Pi_{кч}), \quad (11)$$

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

Динаміка зносу рухомих спряжень деталей силових агрегатів ТМ має вигляд:

$$u(t) = \int_0^t \alpha_1 K_p t^{\alpha_1 - 1} dt - \int_0^t K_p m_0 \exp\left(-\frac{I_u}{V_M \rho_M} t\right) dt = K_p t^{\alpha_1} - \frac{K_p m_0 \rho_M V_M}{I_u} \exp\left(-\frac{I_u}{V_M \rho_M} t\right). \quad (12)$$

Вираз (12) є математичною моделлю зносу спряжень деталей при використанні композиційних присадок до робочих олив з активними компонентами. Виявлено, що зносостійкість деталей підвищується за рахунок зміни показників і властивостей моторної та трансмісійної олив, періодичного формування на їх робочих поверхнях антифрикційної плівки та приповерхневого мастильного шару з гель-зольним фазовим перетворенням. Отримано рівняння для оцінки залишкового ресурсу силових агрегатів ТМ за експлуатаційними випробуваннями.

В третьому розділі розроблена програма, визначено етапи її реалізації та сформульовані основні завдання лабораторних, стендових та експлуатаційних досліджень. Обґрунтовано вибір олив силових агрегатів ТМ, що працюють в жорстких нестационарних умовах експлуатації, комплекс присадок для їх модифікування, компоненти композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1, вибір устаткування для її синтезу та дослідження основних фізико-хімічних показників і властивостей модифікованих і немодифікованих олив. Розроблено методику визначення раціонального та оптимального вмісту

компонентів у композиційній оливі за допомогою чотирикулькової машини тертя ЧМТ-1. Оптимізуючі ознаки: параметр зносу кульок та усереднене критичне навантаження. Наведені методики реалізації регресійного і дисперсійного аналізів та використання функції бажаності. Вибрані і обґрунтовані основні методи і методики визначення фізико-хімічних показників і властивостей моторної і трансмісійної олив. Всі вони є стандартизованими. Розроблені методики: дослідження властивостей поверхонь рухомих спряжень зразків і деталей у середовищі робочих олив модифікованих присадками; визначення моменту тертя в безперервному режимі та режимі "пуск-зупинка"; оцінки якості поверхонь тертя. Наведена методика зовнішньо-швидкісної характеристики дизелів в процесі стендових випробувань із визначенням потужності, крутного моменту та питомої витрати палива, експлуатаційних досліджень зміни фізико-хімічних показників та властивостей моторної і трансмісійної олив та ресурсних показників довговічності силових агрегатів ТМ на підприємствах, на яких вона використовується в жорстких нестационарних умовах.

В четвертому розділі наведено основні результати лабораторних, стендових та експлуатаційних випробувань моторних, трансмісійних олив та силових агрегатів транспортних машин. Визначено раціональний склад композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1, встановлено межі досліджуваних відгуків за отриманими рівняннями регресії показника зносу та критичного навантаження, проаналізовано кожний фактор багатofакторної оптимізації. Реалізацію процедури визначення оптимізації складу композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1 представлено на рисунку 3 з використанням функції бажаності.

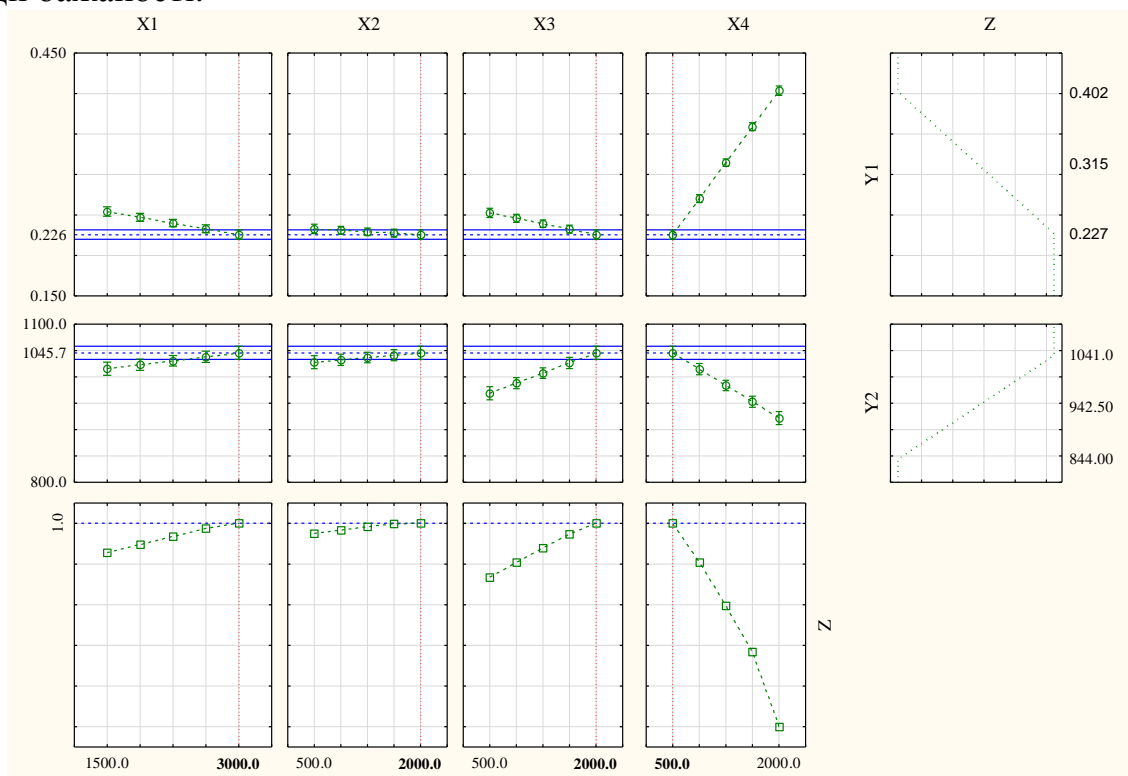
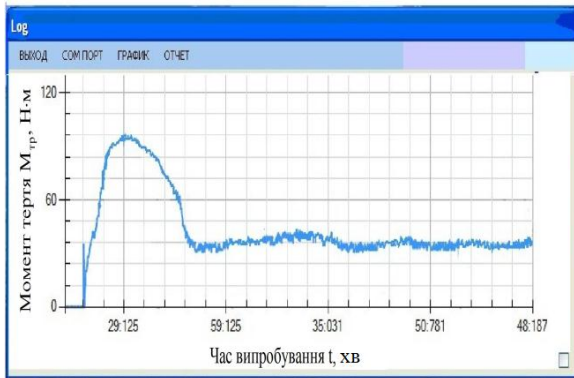


Рисунок 3 – Графічне відображення процедури знаходження оптимального складу композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1

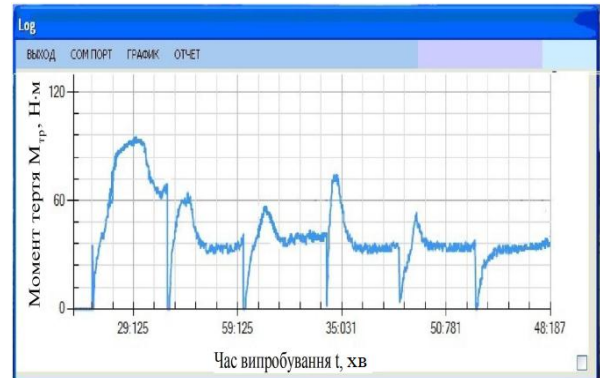
В процесі лабораторних випробувань на машині ЧМТ-1 визначено, що при модифікуванні моторної оливи М-10Г₂к запропонованою композиційною присадкою показник зносу зменшується на 23,5%, критичне навантаження збільшується на 29,6%, а навантаження зварювання – на 27,4%. Для трансмісійної оливи ТМ-3-18к показник зносу зменшується на 36,2%, критичне навантаження збільшується на 18,4%, а навантаження зварювання – на 7,3%.

Проведені порівняльні лабораторні випробування силових характеристик рухомих спряжень зразків деталей з присадками НІОД-5, Roil Gold та КГМТ-1 від тривалості і навантаження (рис.4).

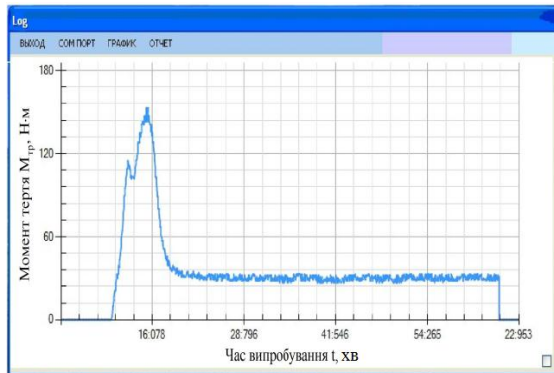
Визначено, що за моментом сил тертя характер дії робочої оливи відрізняється від свіжої базової, в наслідок наявності частинок зносу. Зафіксовано ефект відновлення характеристик і властивостей робочої оливи при додаванні присадки КГМТ-1. Виявлено різну якість зон тертя в безперервному режимі і режимі "пуск-зупинка". У першому прослідковується практично паралельні лінії подряпин, а другому – сліди схоплювання.



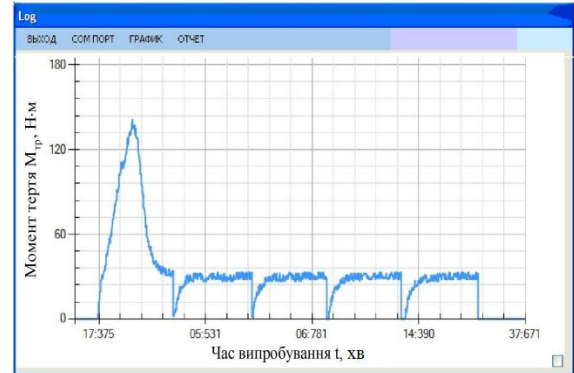
а



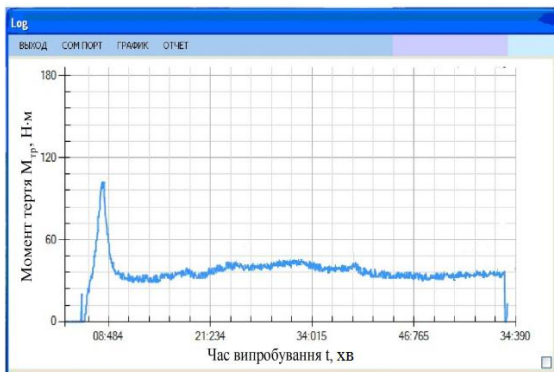
б



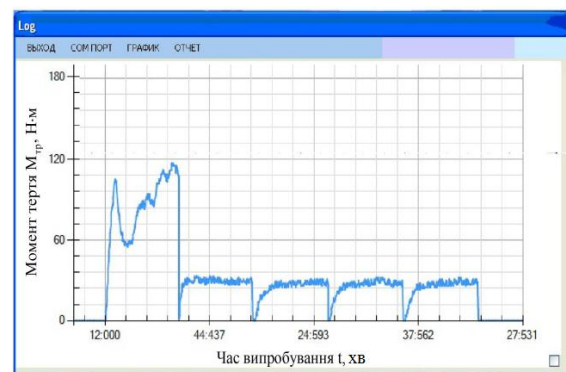
в



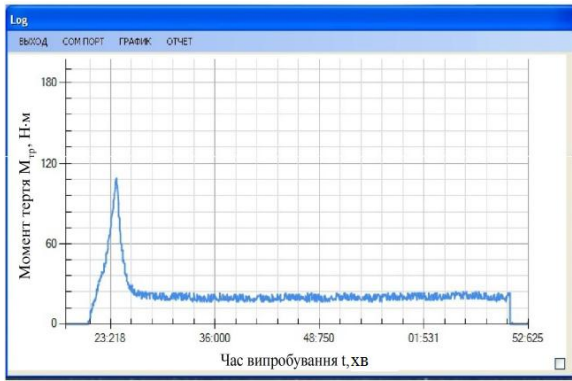
г



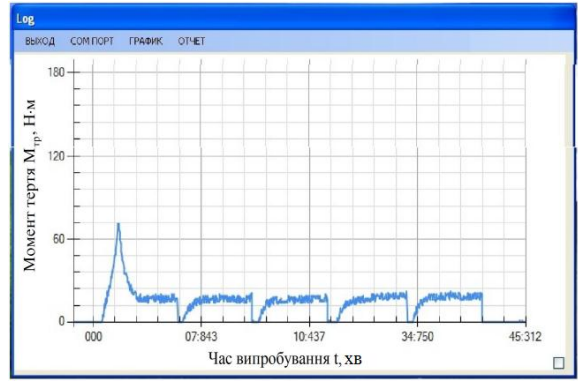
д



е



Ж



З

Рисунок 4 – Характерні криві зміни моменту тертя в трибоспряженні зразків з напрацюванням при фіксованому навантаженні 20 Н, на модернізованій машині тертя СМЦ-2 при змащенні базовою (а,б) та модифікованою моторною оливою присадками НИОД-5 (в,г), Roil Gold (д,е), КГМТ-1 (ж,з), в безперервному (а,в,д,ж) та "пуск-зупинка" (б,г,е,з) режимах випробувань

Отримана під час стендових випробувань зовнішня швидкісна характеристика (рис.5) свідчить, що додавання композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1 в моторну оливу та інших присадок забезпечило збільшення крутного моменту для оливи М-10Г₂к+НИОД-5 – на 1,2...1,4%; М-10Г₂к+RoilGold – на 2,6...3,0%; М-10Г₂к + КГМТ-1 – на 3,9...4,3%. Потужність дизеля при роботі на оливі М-10Г₂к+НИОД-5 збільшилась на 1,1...1,3%; М-10Г₂к+RoilGold – на 2,5...2,9%; М-10Г₂к + КГМТ-1 – на 3,9...4,2%. При цьому зменшується питома витрата палива від додавання присадок у оливу: 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%.

Досліджено вплив свіжої моторної оливи і оливи модифікованої присадками RoilGold і КГМТ-1 з напрацюванням на такі фізико-хімічні показники моторної оливи М-10Г₂к як зольність, коксівність, густина, температура спалаху, лужне число, диспергуюча здатність, кінематична в'язкість та діелектрична проникність.

В процесі експлуатаційних випробувань отримано ряд регресійних рівнянь:

– для густини оливи:

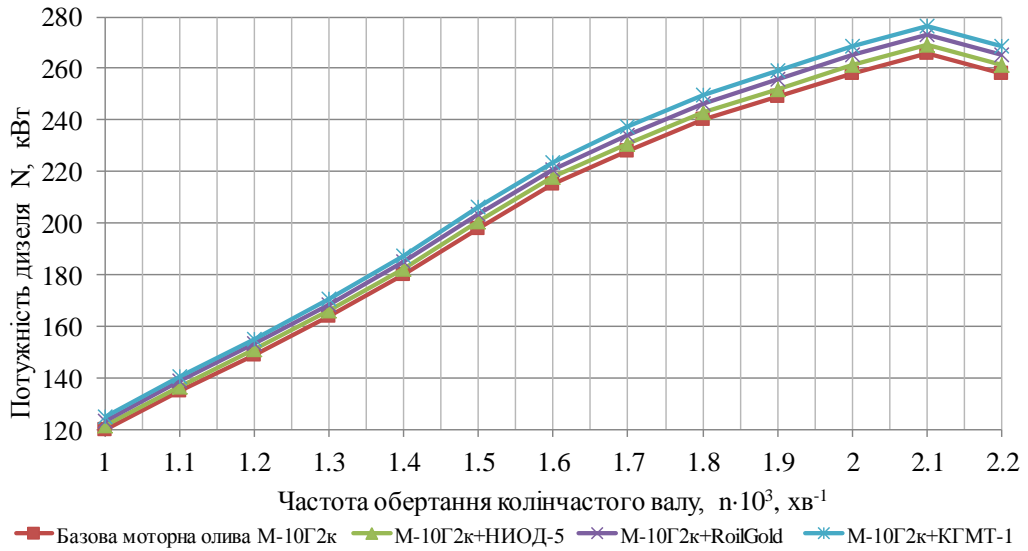
$$\begin{cases} P_{\rho_1}(t) = 0,87 \cdot \exp(0,00012 \cdot t) - \text{базова олива М-10Г}_2\text{к;} \\ P_{\rho_2}(t) = 0,85 \cdot \exp(0,00014 \cdot t) - \text{М-10Г}_2\text{к+ Roil Gold;} \\ P_{\rho_3}(t) = 0,845 \cdot \exp(0,00017 \cdot t) - \text{М-10Г}_2\text{к+ КГМТ-1.} \end{cases} \quad (13)$$

– для температури спалаху:

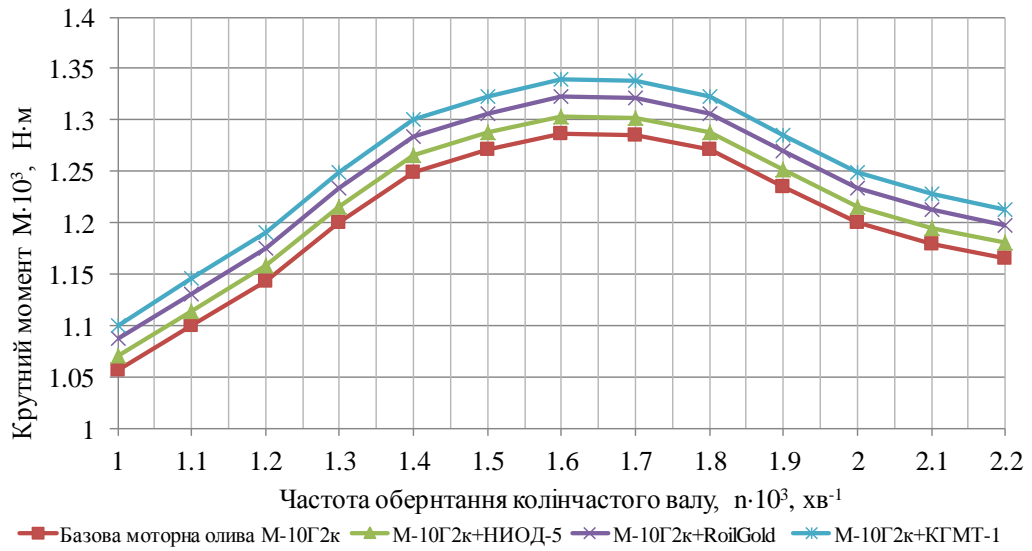
$$\begin{cases} P_{T,C1}(t) = 501,7 \cdot \exp(-0,00017 \cdot t) - \text{базова олива М-10Г}_2\text{к;} \\ P_{T,C2}(t) = 506,7 \cdot \exp(-0,00018 \cdot t) - \text{М-10Г}_2\text{к+ Roil Gold;} \\ P_{T,C3}(t) = 504,4 \cdot \exp(-0,00015 \cdot t) - \text{М-10Г}_2\text{к+ КГМТ-1.} \end{cases} \quad (14)$$

– для лужного числа:

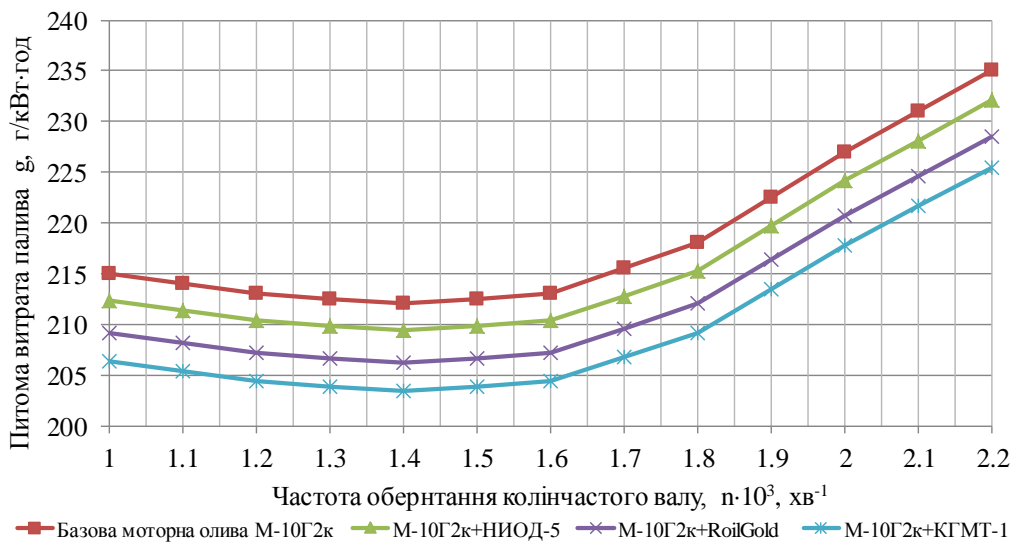
$$\begin{cases} P_{L,C1}(t) = 7 \cdot \exp(-0,00063 \cdot t) - \text{базова олива М-10Г}_2\text{к;} \\ P_{L,C2}(t) = 8,1 \cdot \exp(-0,0009 \cdot t) - \text{М-10Г}_2\text{к+ Roil Gold;} \\ P_{L,C3}(t) = 8,2 \cdot \exp(-0,00082 \cdot t) - \text{М-10Г}_2\text{к+ КГМТ-1.} \end{cases} \quad (15)$$



а



б



в

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

– для диспергуючої здатності:

$$\begin{cases} P_{д.31}(t) = 0,93 \cdot \exp(-0,000358 \cdot t) - \text{базова олива М-10Г}_2\text{к}; \\ P_{д.32}(t) = 0,945 \cdot \exp(-0,00037 \cdot t) - \text{М-10Г}_2\text{к} + \text{Roil Gold}; \\ P_{д.33}(t) = 0,95 \cdot \exp(-0,00039 \cdot t) - \text{М-10Г}_2\text{к} + \text{КГМТ-1}. \end{cases} \quad (16)$$

– для кінематичної в'язкості:

$$\begin{cases} P_{к.В1}(t) = 14,3 \cdot \exp(-0,00031 \cdot t) - \text{базова олива М-10Г}_2\text{к}; \\ P_{к.В2}(t) = 14,45 \cdot \exp(-0,0003 \cdot t) - \text{М-10Г}_2\text{к} + \text{Roil Gold}; \\ P_{к.В3}(t) = 14,43 \cdot \exp(-0,00028 \cdot t) - \text{М-10Г}_2\text{к} + \text{КГМТ-1}. \end{cases} \quad (17)$$

Графічне відображення зазначених рівнянь дало можливість визначити терміни експлуатації оливи до граничного рівня відповідного показника. Для оливи М-10Г₂к+КГМТ-1: коксівність – 200 мото-год; густина – 390 мото-год; температура спалаху – 350 мото-год; лужне число – 380 мото-год; диспергуюча здатність – 310 мото-год; в'язкість – 310 мото-год. Виявлено збільшення терміну використання модифікованих як моторної, так і трансмісійної олив силових агрегатів ТМ.

Показано, що для моторної і трансмісійної олив існує зв'язок між зміною концентрації заліза в ній і діелектричною проникністю. При додаванні присадок діелектрична проникність зменшується: Roil Gold – на 2,2...3,5 %, КГМТ-1 – 3,7...5,6%. З напрацюванням швидкість збільшення значень діелектричної проникності у випадку додавання до оливи присадок Roil Gold і КГМТ-1: на 2,1...3,5% і 3,6...6,4% менше ніж на базовій свіжій оливі.

Визначено, що основні хімічні елементи продуктів зношування в моторній оливі, досягають свого граничного значення при тривалості роботи 250 мото-год, а з додаванням присадки Roil Gold – 275-300 мото-год.: Al-275 мото-год., Pb-290 мото-год., Cr-295 мото-год., Fe при 300 мото-год., (C_{Fe} – 148 г/т), а при додаванні присадки КГМТ-1 – 285-310 мото-год.: Al-285 мото-год., Pb-295 мото-год., Cr-300 мото-год., Fe-310 мото-год., (C_{Fe} – 130 г/т).

Ресурсна оцінка силових агрегатів проводилась при експлуатаційних випробуваннях ТМ в досліджуваних підприємствах: середньомісячні напрацювання дизелів на базовій оливі становить 101 мото-годину, а з використанням оливи, модифікованої КГМТ-1 – 132 мото-годин, що на 30 % вище. При цьому середнє напрацювання на оливі М-10Г₂ склало 7530 мото-год, на оливах модифікованих присадкою Roil Gold – 8716 мото-год, а КГМТ-1 – 9250 мото-год.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень дали можливість розробити ряд рекомендацій підприємствам, що використовують ТМ в жорстких нестаціонарних умовах відкритих кар'єрів і агропромислового виробництва та визначити економічну ефективність від використання запропонованої композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання підвищення надійності силових агрегатів ТМ на основі закономірностей зміни їх стану та зміни показників і експлуатаційних властивостей робочих моторних та трансмісійних олив додаванням композиційних присадок на основі геомодифікатора КГМТ-1. Отримано наступні основні результати:

1. Аналіз технічного стану ТМ відкритих кар'єрів та підприємств АПВ, що експлуатуються в жорстких нестаціонарних умовах, запиленості, великих навантажень безперервному режимі та режимі "пуск-зупинка" і малих швидкостей руху по автомобільних дорогах складного профілю, свідчить про негативний їх вплив на термін експлуатації силових агрегатів, моторних та трансмісійних олив. Визначено, що одним з ефективних методів підвищення їх довговічності є додавання композиційних присадок на основі геомодифікаторів до робочих олив.

2. З теоретичної точки зору розглянуто механізм дії композиційних присадок на основі геомодифікаторів, внесених в робочу оливу, на поверхні спряжень деталей силових агрегатів ТМ. Виявлено зменшення в'язкості композиційних олив та підвищення ефективності швидкості зсуву їх приповерхневих шарів. Обґрунтовано зміну показників та властивостей робочої оливи від концентрації присадки. Дано теоретичний аналіз механізму формування захисного антифрикційного шару на робочих поверхнях деталі та приповерхневого шару композиційної оливи.

3. Показано, що при додаванні композиційної присадки на основі геомодифікатора в робочу оливу змінюється стан, внутрішня енергія спряжень деталей та ентропія системи в часі. З'ясовано закономірність зменшення концентрації присадки та збільшення концентрації механічних домішок в моторній та трансмісійних оливах в процесі експлуатації.

4. Обґрунтовано компоненти композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1, визначена їх роль в компенсації процесів зношування спряжень деталей силових агрегатів ТМ. Методом математичного планування експерименту на чотирикульковій машині тертя ЧМТ-1 визначено раціональний та оптимальний вміст компонентів композиційної присадки в оливі ТМ-3-18к: КГМТ-1 (1500...3000 мг/50 мл), оптимум – 3000 мг/50 мл; олеат натрію (500...2000 мг), оптимум – 2000 мг/50 мл; сульфат міді (500...2000 мг), оптимум – 2000 мг/50 мл; люмінофор ТАТ33 (500...2000 мг), оптимум – 500 мг/ 50 мл. Аналогічний склад і вміст компонентів присадки запропоновано і для моторної оливи М-10Г₂к.

Лабораторні випробування на машині ЧМТ-1 показали, що при додаванні запропонованої присадки в оливу М-10Г₂к показник зносу зменшується на 23,5 %, критичне навантаження збільшується на 29,6 %, а навантаження зварюванням збільшується на 27,4 %. Для модифікованої оливи ТМ-3-18к показник зносу зменшується на 36,2 %, критичне навантаження збільшується на 18,4 %, а навантаження зварювання – на 7,3%. Визначено, що присадка НИОД-5 за усередненим параметром зносу на 2,5...4,0 %, а присадка Roil Gold – на 1,5...2,0 % менш ефективні ніж присадка на основі геомодифікатора КГМТ-1.

5. Оцінка силових характеристик рухомих спряжень зразків деталей на модернізованій машині тертя СМЦ-2 показала, що при змащенні базовою свіжою оливою в безперервному режимі початкові максимальні значення моменту тертя зменшуються у 1,3...1,7 рази, а при припрацюванні – у 3,5...5,0 разів у порівнянні з сухим тертям. В режимі "пуск-зупинка" на кожному з інтервалів випробувань ця величина зменшується і через декілька періодів пік моменту тертя зникає. При постійній концентрації присадки КГМТ-1 в моторній оливі (70 г/л) зі збільшенням

навантаження в два рази в 1,4...1,7 разів збільшується величина початкового піку моменту тертя. Визначено, що запропонована присадка на основі геомодифікатора КГМТ-1 за силовими характеристиками не поступається присадками НИОД-5 і Roil Gold. Виявлено різний характер структури зон спрацювання: у безперервному режимі прослідковуються практично паралельні лінії дії сил тертя, а у режимі "пуск-зупинка" – сліди схоплювання і розмитість ліній. Експериментально, на основі зміни моменту тертя в різних режимах лабораторних випробуваннях на машині СМЦ-2, доведено, що додавання присадки на основі КГМТ-1 до робочих моторної і трансмісійної оливок відновлює їх характеристики і властивості.

6. Результати стендових досліджень силових агрегатів ТМ свідчать, що додавання присадки КГМТ-1 в моторну оливу забезпечує стійке покращення зовнішніх швидкісних характеристик. Збільшення крутного моменту у порівнянні з базовою оливою 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%. 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 присадок 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%.

7. Експлуатаційні випробування показали, що граничний рівень зольності і коксівності при використанні запропонованої присадки досягається при напрацюванні 300 мото-годин. Встановлено закономірності зміни температури спалаху, густини, лужного числа, диспергуючої здатності, кінематичної в'язкості та діелектричної проникності з напрацюванням для модифікованих моторних і трансмісійних оливок. Отримані результати дозволили розробити методологію оцінки якості та термін заміни оливи в силових агрегатах ТМ для нестационарних і жорстких умов експлуатації.

8. Визначено, що в процесі експлуатації силових агрегатів ТМ у модифікованій оливі запропонованою присадкою у 1,5...1,6 разів зменшуються концентрація заліза та у 1,1...1,3 рази сповільнення швидкості його надходження в оливу у порівнянні з базовою. Побудовані діаграми зміни концентрації таких хімічних елементів як Al, Pb, Cr і Fe від тривалості роботи ТМ. Виявлено, що основні хімічні елементи продуктів зношування, що потрапляють в свіжу моторну оливу, досягають свого граничного значення при тривалості роботи 250 мото-год, а з додаванням присадки Roil Gold – 275-300 мото-год., а при додаванні присадки КГМТ-1 – 285-310 мото-год. Зазначене свідчить про можливість подовження терміну використання моторної та трансмісійної оливи ТМ.

9. Ресурсна оцінка досліджуваних ТМ у відкритих кар'єрах та на підприємствах АПВ Кіровоградської області показала, що їх середньомісячне напрацювання на базовій оливі становить 101 мото-годину, а з використанням оливи, модифікованої КГМТ-1 – 132 мото-годин, що на 30 % вище. При цьому середнє напрацювання на свіжій оливі М-10Г₂ склало 7530 мото-год, на оливі модифікованій присадкою Roil Gold – відповідно 8716 мото-год, на оливі модифікованій КГМТ-1 – 9250 мото-год. Визначено, що міжремонтний ресурс за

рахунок дії присадки Roil Gold збільшився на 16%, а КГМТ-1 – на 23%, у порівнянні з свіжою базовою оливою.

Встановлено, що при використанні запропонованої композиційної присадки економічний ефект за рахунок зменшення кількості проведених ТО та підвищення ресурсу для однієї одиниці транспортної машини становить 13686,4 грн.

10. Результати проведених теоретичних, лабораторних, стендових і експлуатаційних досліджень дали можливість розробити комплекс науково-методичних рекомендацій підприємствам, що експлуатують ТМ у жорстких нестаціонарних умовах: знаючи реальний термін заміни моторної оливи, можна управляти термінами ТО силових агрегатів; розроблено спосіб зменшення спрацювання спряжень деталей у систему змащення; запропоновано експрес-діагностику працездатного та непрацездатного станів системи змащення; розроблено таблицю коректування термінів заміни моторної оливи і відповідно підвищення довговічності силового агрегату.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

У фахових виданнях

1. Аулін В.В., Слонь В.В., Кузик О.В. Зміна фізико-хімічних показників моторної оливи дизелів автосамоскидів в процесі експлуатації *Зб. наук. праць Кіровоградського національного технічного університету /техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація.* 2012. Вип. 25., Ч.1. С. 98-103.
2. Аулін В.В., Слонь В.В., Лисенко С.В. Експрес-оцінка впливу моторних оливи і присадок до них на характеристики зносу робочих поверхонь деталей двигунів вантажних автомобілів. *Вісник інженерної академії України.* 2013. №2. С. 166-170.
3. Аулін В.В., Слонь В.В., Лисенко С.В. Характер зміни триботехнічних характеристик спряжень дизелів при їх роботі в різних режимах. *Проблеми трибології.* 2013. №3. С.89-96.
4. Аулін В.В., Слонь В.В., Голуб Д.В. Закономірності зміни концентрації хімічних елементів в моторній оливі автомобілів, працюючих в нестаціонарних умовах експлуатації при додаванні присадок. *Автомобильный транспорт.* 2014. Вып. 34. С.22-27.
5. Аулін В.В., Слонь В.В., Голуб Д.В. Вплив присадок до моторних оливи на характеристики дизелів, що працюють в нестаціонарних умовах експлуатації. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту.* 2014. Вип. 148. С.18-25.
6. Слонь В.В. Модифікуючий вплив присадок на термін заміни моторної оливи в нестаціонарних умовах експлуатації. *Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник КНТУ. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин.* 2015. Вип. 45. С. 308-313.
7. Аулін В.В., Лисенко С.В., Гриньків А.В., Слонь В.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. Slon V.V., Lysenko S.V., Hrinkiv A.V., Slon V.V. et al. Creation of theoretical bases of tribotechnologies of running-in and restoration as means of effective increase of operational wear resistance of motor transport and mobile agricultural machinery. *Problems of Tribology.* V. 26. No 1/99-2021. 51-58.

В закордонних виданнях

9. V. Aulin, V. Slon, S. Lysenko, D. Golub. Research of the change of power of diesel vehicles operating in non-stationary conditions. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2015. Vol.17. No.2. P. 103-108.

10. Аулин В.В., Слонь В.В. Закономерности изменения показателей качества моторного масла автомобилей, работающих в нестационарных условиях эксплуатации. *Проблемы автомобильно-дорожного комплекса России: Эксплуатация и развитие автомобильного транспорта*: материалы X междунар. заочн. науч.-техн. конф. 21 ноября 2013 г. Пенза: ПГУАС, 2013. С. 22-29.

Матеріали та тези конференцій

11. Аулін В.В., Лисенко С.В., Онолов М.В., Панчул С.О., Слонь В.В. Автоматичне керування процесом зношування деталей ДВЗ реалізацією процесу самоорганізації: *Молодежь и сельскохозяйственная техника в XXI веке.*" матеріали V-го міжнародного форуму молодіжи. Харків: ХНТУСХ, 2009. С. 6-7.

12. Аулін В.В., Слонь В.В. Експрес-методика дослідження впливу дії присадок на поверхні тертя деталей. *Підвищення надійності машин і обладнання.*: Тези доповідей студентів, магістрантів, аспірантів та викладачів на V Всеукр. наук.-практ. конф. 6-8 квітня 2011 р. Кіровоград: КНТУ, 2011. С. 19-21.

13. Аулін В.В., Слонь В.В. Припрацювання трибосполучень деталей в режимі роботи "пуск-зупинка". *Ольвійський форум 2012: Стратегія України в геополітичному просторі*: зб. тез матеріалів міжнародної науково практичної конференції. 6-10 червня 2012, Ялта., т. 12. С.73-74.

14. Аулін В.В., Слонь В.В. Способи підвищення зносостійкості основних спряжень деталей дизеля в режимі роботи "пуск-зупинка". *Актуальні проблеми інженерної механіки.*: матеріали II міжнародної науково – технічної конференції, 22-24 жовтня 2012р. Миколаїв: НУК, 2012. С 74-76.

15. Аулін В.В., Слонь В.В., Лисенко С.В. Вплив геомодифікуючих присадок на фізико-хімічні показники моторної оливи. *Підвищення надійності машин і обладнання.*: збірник тез доповідей VII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та аспірантів., Кіровоград: КНТУ, 2013. С. 213-215.

16. Аулін В.В., Слонь В.В., Лисенко С.В. Покращення кар'єрних перевезень подовженням терміну заміни моторної оливи кар'єрних самоскидів. *Проблеми розвитку транспортних систем і логістики*: матеріали IV-ої Міжнародної науково-практичної конференції, м. Євпаторія, 14-16 травня 2013 року, Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2013. С. 191-193.

17. Аулін В.В., Слонь В.В., Лисенко С.В. Вплив композиційної моторної оливи на зміну структури поверхонь тертя деталей дизеля. *Ольвійський форум 2013: Стратегія країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі*: зб. тез матеріалів міжнар. наук.-практ. конф. 7-8 червня 2013, Миколаїв-Ялта: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2013. С.81-83.

18. Аулін В.В. Слонь В.В., Головатий А.О. Підвищення ефективності технічного обслуговування подовженням терміну заміни моторної оливи транспортних засобів. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільної галузі*: Матеріали II Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених та студентів (м. Донецьк, 18-19 вересня 2013 р.), Донецьк: ЛАНДОН-XXI, 2013. С. 50-52.

19. Аулін В.В., Слонь В.В., Лисенко В.М. Якість працюючої моторної оливи як

показник технічного стану кар'єрних самоскидів. *Проблеми розвитку дорожньо-транспортного і будівельного комплексів*: збірник статей і тез міжнар. наук.-прак. конф. 03-05 жовтня 2013р., Кіровоград, ПП "Ексклюзив-Систем", 2013. С. 216-219.

20. Аулін В.В., Слонь В.В., Лисенко В.В. Вплив модифікуючих моторну оливу присадок на зовнішньо-швидкісні характеристики дизелів. *Підвищення надійності машин і обладнання*: зб. тез доповідей VII Всеукраїнської науково-практичної конф. студентів та аспірантів. Кіровоград: КНТУ, 2014 С. 210-212.

21. Аулін В.В., Слонь В.В. Вплив модифікованої моторної оливи на зміну потужності дизелів. *Підвищення надійності машин і обладнання*: Зб. тез доповідей IX Всеукраїнської наук.-практ. конференції студентів, аспірантів та молодих учених. Кіровоград: КНТУ, 2015. С.66-68.

22. Аулін В.В., Слонь В.В. Оцінка впливу присадок на термін зміни моторної оливи в нестационарних умовах експлуатації транспортних засобів. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту*: матеріали VIII міжн. наук.-практ. конф., 19-21 жовтня 2015 року, Вінниця: ВНТУ, 2015. С. 29-32.

23. Аулін В.В., Слонь В.В., Лисенко С.В. Вплив модифікованої моторної оливи присадками на зміну концентрації механічних домішок в оливній системі дизелів АТТ у СГВ. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації с.-г. техніки*: матеріали X Міжнар. наук.-практичної конференції. Кіровоград: КНТУ, 2015. – С.149-151.

24. Аулін В.В., Лисенко С.В., Чернай А.Є., Слонь В.В., Лукашук А.П. Інноваційна технологія припрацювання спряжень деталей транспортних машин та мобільної сільськогосподарської техніки. *Крамаровські читання*: зб. тез доповідей VIII Міжнародної науково-технічної конференції, 25-26 лют. 2021 р., м. Київ, НУБіП. – К.: Видавничий центр НУБіП України, 2021. С. 32-36.

25. В. Аулін, В.В. Слонь, О.М. Лівіцький, А.В. Гриньків, Є.Г. Артюх Удосконалення методів і засобів діагностування систем змащення силових агрегатів транспортних засобів. *Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems*: матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції, 14-16 квітня 2021 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2021. С.169-174.

Патенти

26. Спосіб керування двигуном внутрішнього згорання: пат. 50669 Україна: МПК(2009) F02B 1/00. №u200911039; заявл. 02.11.2009; опубл. 25.06.2010; Бюл.№ 12.

27. Припрацювальна мастильна композиція: пат. 69657 Україна. МПК С10М 125/04 U. №u201112124; заявл. 17.10.2011; публ. 10.05.2012, Бюл. № 9.

28. Система мащення двигуна внутрішнього згорання: пат. 74645 Україна: МПК(2012.01) F01M 1/00. №u201203311; заявл. 20.03.2012; опубл. 12.11.2012; Бюл.№ 21.

29. Електронна система керування автомобільним двигуном внутрішнього згорання та характеристиками оливи: пат. 74646 Україна: МПК(2012.01) F02D 41/00. №u201203313; заявл. 20.03.2012; опубл. 12.11.2012; Бюл.№ 21.

30. Припрацювальна мастильна композиція: пат. 81598 Україна: МПК (2013) С10М 125/04. №u201213907; заявл. 06.12.2012 ; опубл. 10.07.13, Бюл. № 13.

31. Спосіб зменшення зносу трибосполучень деталей двигуна внутрішнього згорання під час його пуску: пат. 74656 Україна: МПК(2012.01) F01M 1/00 U. №u201203533; заявл. 26.03.2012; публ. 12.11.2012, Бюл. № 21.

32. Система мащення двигуна внутрішнього згорання: пат. 89246 Україна: МПК

(2014.01) F01M 1/00 №u201313928; заявл. 02.12.2013; опубл. 10.04.2014; Бюл.№ 7.

33. Спосіб діагностування технічного стану системи мащення дизеля: пат. 98561 Україна: МПК (2015.01) F01M 1/00 U. №u201413616; заявл. 18.12.2014; публ. 27.04.2015, Бюл.№ 8.

34. Спосіб визначення моменту тертя трибоспряжень на машині тертя: пат. 98562 Україна: МПК (2015.01) G01N 19/00 U. №u201413617; заявл. 18.12.2014; публ. 27.04.2015, Бюл.№ 8.

АНОТАЦІЯ

Слонь В.В. Підвищення довговічності силових агрегатів транспортних машин використанням оливо з присадкою на основі геомодифікатора. – Кваліфікаційна наукова робота на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.20 "Експлуатація та ремонт засобів транспорту" (274 – Автомобільний транспорт). – Харківський національний технічний університет сільського господарства ім.П.Василенка МОН України, Харків, 2021.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуального науково-практичне завдання підвищення довговічності силових агрегатів транспортних машин на основі закономірностей зміни їх стану та зміни показників і експлуатаційних властивостей робочих моторних та трансмісійних оливо додаванням композиційних присадок на основі геомодифікатора КГМТ-1. Наведено результати теоретичних досліджень з виявленням механізму взаємодії компонентів композиційної присадки між собою і з робочою поверхнею спряжень деталей та утворення асоціатів молекул. Обґрунтовано зміну режимів тертя та визначено підвищення силових характеристик і зносостійкості рухомих спряжень деталей та покращення параметрів і властивостей оливо силових агрегатів з напрацюванням з додаванням запропонованої присадки. Дано результати стендових випробувань на показники зовнішньо-швидкісної характеристики силового агрегату та експлуатаційних випробувань показників та властивостей модифікованої робочої оливи і оцінка ресурсу транспортних машин.

Ключові слова: силовий агрегат, транспортна машина, робоча олива, довговічність, геомодифікатор, композиційна присадка.

АННОТАЦИЯ

Слонь В.В. Повышение долговечности силовых агрегатов транспортных машин использованием масел с присадкой на основе геомодификаторов. - Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.22.20 "Эксплуатация и ремонт средств транспорта" (274 – Автомобильный транспорт). – Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П.Василенко МОН Украины, Харьков, 2021.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-практической задачи повышения долговечности силовых агрегатов транспортных машин на основе закономерностей изменения их состояния и изменения показателей и эксплуатационных свойств рабочих моторных и трансмиссионных масел добавлением композиционных присадок на основе геомодификатора КГМТ-1.

Предложена физическая модель взаимодействия компонентов композиционной присадки между собой и с рабочей поверхностью подвижных сопряжений деталей с образованием ассоциатов молекул. Обоснованы изменения режимов трения, улучшение

характеристик и свойств масел, повышение износостойкости и долговечности силовых агрегатов транспортных машин.

Определен рациональный и оптимальный состав и концентрация композиционной присадки на основе геомодификатора КГМТ-1. Получены сравнительные результаты лабораторных испытаний масел с присадками на четырехшариковой машине ЧМТ-1 и силовых характеристик сопряжений образцов деталей на машине трения СМЦ-2 в непрерывном режиме и режиме "пуск-остановка".

Стендовые испытания показали: увеличения крутящего момента для масла М-10Г₂к+НИОД-5 составило 1,2...1,4%, для М-10Г₂к+RoilGold – 2,6...3,0%, для М-10Г₂к+КГМТ-1 – 3,9...4,1%; увеличения мощности соответственно равно: 1,1...1,3%, 2,5...2,9%, 3,9...4,2%; уменьшения удельного расхода топлива: 1,24...1,26%, 2,73...2,77%, 3,95...4,15%. Получены закономерности показателей (зольность, коксивность, плотность, диспергирующая способность, вязкость, диэлектрическая проницаемость, концентрация химических элементов) определяющих ресурс моторного и трансмиссионного масла и силового агрегата с наработкой транспортных машин в жёстких нестационарных условиях эксплуатации. Определено, что средняя наработка на базовом масле М-10Г₂к составила 7530 мото-часов, М-10Г₂к+RoilGold – 8716 мото-часов, М-10Г₂к+КГМТ-1 – 9250 мото-часов. Ожидаемый экономический эффект за счет уменьшения числа проведенных ТО и повышения ресурса для одной единицы транспортной машины составил 13686,4 грн.

Ключевые слова: силовой агрегат, транспортная машина, рабочее масло, долговечность, геомодификатор, композиционная присадка.

ABSTRACT

Slon V.V. Increasing the durability of power units of transport vehicles using oils with additives based on geomodifier. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for the scientific degree of the candidate of technical sciences (PhD) in specialty 05.22.20 "Maintenance and repair of transport means" (274 – Automobile transport).– Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The dissertation is devoted to solving the current scientific and practical problem of increasing the durability of power units of transport vehicles on the basis of patterns of change of their condition and indicators and operational properties of working motor and transmission oils by adding composite additives based on geomodifier KGMT-1. The results of theoretical researches showing the mechanism of components interaction of a composite additive among themselves and with a working surface of details conjugations and formation of molecules associates. The change of friction modes is substantiated and the increase of power characteristics and wear resistance of moving joints of parts and improvement of parameters and properties of oils of power units with operating time with addition of the offered additive is determined. The results of bench tests on the indicators of external speed characteristics of the power unit and operational tests of the indicators and properties of the modified working oil and the estimation of the service life of transport machines are given.

Keywords: power unit, transport vehicle, operating oil, durability, geomodifier, composite additive.

Підписано до друку 17.08.2021 р. Формат 60×90/16.
Ум. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. – 1,0. Наклад 100 прим. Зам. № 9.

Видавець і виготовлювач СПД ФО Лисенко В.Ф.
25029, м. Кропивницький, вул. Пацаєва, 14, корп. 1, кв. 101. Тел.: (0522) 322-326
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: серія ДК № 3904 від 22.10.2010