

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

СЛОНЬ ВІКТОР ВІКТОРОВИЧ

УДК.621.892.8:629.083

ДИСЕРТАЦІЯ

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

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту
27 – Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 В.В. Слонь

Науковий керівник: Аулін Віктор Васильович, доктор технічних наук, професор

Кропивницький – 2021

АНОТАЦІЯ

Слонь В.В. Підвищення довговічності силових агрегатів транспортних машин використанням олив 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 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 олив потоками речовини і енергії фізичних полів" (№ДР0116U008112); "Прогнозування експлуатаційної надійності автомобілів для забезпечення якісних транспортних послуг" (№ДР0116U008110).

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

Об'єкт дослідження – процеси зміни характеристик і властивостей робочих олив 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 оливи визначали по загально прийнятим методикам. Математичне планування експерименту, розрахунки та обробка результатів досліджень виконані з використанням пакетів прикладних програм на ПК.

Побудовано фізичну модель дії композиційної присадки на основі геомодифікатора на робочі поверхні рухомих спряжень деталей. Визначено, що приповерхневий шар оливи з композиційною присадкою проявляє властивості неньютонівської рідини: зменшується кінематична в'язкість, підвищується швидкість зсуву її шарів. Виявлено, що в основі руху і теплообміну таких оливи лежать пружно-пластичні деформації і реологічні властивості.

З'ясовано, що дії компонент композиційної присадки ініціюють трибохімічні реакції та фазові перетворення з утворенням на поверхнях деталей вторинних структур, які під дією навантажувально-швидкісного фактору спрацьовуються та відновлюються, забезпечуючи формування приповерхневого шару композиційної оливи та антифрикційної захисної плівки.

Виявлено, що композиційна присадка повинна мати компоненти, що взаємно підсилюють дію одна одної, згідно синергетичної концепції.

Побудовано рівняння режимів змащення, отримано формулу для критерію Зоммерфельда, яка дає можливість управляти режимами змащування в системі рухомих спряжень деталей силових агрегатів. Показано, що процеси які протікають в оливах можна описати сукупністю одиничних діагностичних параметрів та експлуатаційних показників їх властивостей. Отримана умова рівноваги. З'ясовано, що закономірності швидкості надходження продуктів зношування деталей силових агрегатів до оливи і швидкості спрацювання, внесеної присадки, мають експоненціальний характер. Використовуючи закономірності зношування робочих поверхонь деталей спряжень і спрацювання присадки отримано рівняння залежності величини зносу від напрацювання. Показано, що залишковий ресурс транспортних машин можливо оцінити за швидкістю надходження заліза в оливу її діелектричної проникності.

Визначено раціональний та оптимальний склад композиційної присадки до моторних і трансмісійних оливи на основі геомодифікатора КГМТ-1. При

додаванні її в моторну оливу М-10Г₂к показник зносу на машині ЧМТ-1 зменшується на 23,5 %, критичне навантаження збільшується на 29,6 %, а навантаження зварюванням збільшується на 27,4 %. При додаванні присадки у трансмісійну оливу ТМ-3-18к показник зносу зменшився на 36,2 %, критичне навантаження збільшується на 18,4 %, а навантаження зварювання – 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 композиційна присадка на основі геомодифікатора КГМТ-1.

При змащенні базовою свіжою оливою в безперервному режимі у порівнянні з сухим тертям початкове максимальне значення моменту тертя зменшується в 1,3...1,7 рази, а при припрацюванні – в 3,5...5,0 разів. В режимі "пуск-зупинка" зі змащенням на кожному з інтервалів лабораторних випробувань величина початкового моменту тертя зменшується і через декілька періодів пік моменту тертя зникає. Зафіксовано, що при додаванні присадки в робочу оливу її властивості відновлюються, оскільки момент тертя зменшується, але за різною закономірністю в безперервному режимі та режими "пуск-зупинка".

Виявлено покращення якості робочих поверхонь рухомих спряжень деталей у безперервному режимі і режимі "пуск-зупинка". У першому випадку прослідковуються практично паралельні лінії подряпин, а у другому – є сліди схоплювання і розмитості ліній подряпин.

Побудовано зовнішню швидкісні характеристики при додаванні присадок НИОД-5, Roil Gold і КГМТ-1 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%. 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%.

Визначено, що зольність в моторній оливі М-10Г₂к набуває граничного значення при терміні експлуатації 250 мото-год, а при додаванні присадок Roil Gold і КГМТ-1 – 300 і 310 мото-год. Коксівність базової свіжої оливи досягає граничного значення при 200 мото-год, а при додаванні зазначених присадок не досягає при 300 мото-год за отриманими даними експлуатаційних випробувань

густини, температури спалаху, лужного числа, диспергуючої здатності, кінематичної в'язкості базової та модифікованої олив. Побудовані математичні моделі залежності значень показників від напрацювання ТМ, які дають можливість визначити напрацювання при досягненні їх граничних значень, а також проводити прогнозування.

Визначено, що для свіжої оливи густина набуває граничного значення при 280 мото-год, температура спалаху – 230 мото-год, лужне число – 245 мото-год, диспергуюча здатність – 250 мото-год, кінематична в'язкість – 250 мото-год. При додаванні до оливи присадок Roil Gold і КГМТ-1 граничні значення показники набувають при більшому напрацюванні: густина – 360 і 390 мото-год; температура спалаху – 340 і 350 мото-год; лужного числа – 335 і 380 мото-год; диспергуюча здатність – 280 і 310; кінематична в'язкість – 290 і 310 мото-год.

Встановлено, лінійну залежність діелектричної проникності від концентрації заліза в оливі. При додаванні присадок значення діелектричної проникності зменшується: Roil Gold – на 23,5%, КГМТ-1 – 3,7...5,6%.

Граничні значення концентрації заліза в моторній і трансмісійній оливах було досягнуто при напрацюванні 225...250 мото-год, а при додаванні присадок – 290...330 мото-год.

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 оливі М-10Г₂ склало 7530 мото-год, середнє квадратичне відхилення – 283 мото-год, на оливі модифікованій присадкою Roil Gold – відповідно 8716 і 2252 мото-год, на оливі модифікованій КГМТ-1 – відповідно 9250 і 249 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. Економічний ефект за рахунок зменшення кількості проведених ТО та підвищення ресурсу, внаслідок використання запропонованої присадки, для однієї одиниці транспортної машини становить 13686,4 грн. Результати проведених теоретичних, лабораторних, стендових та експлуатаційних досліджень дали можливість сформулювати ряд узагальнених рекомендацій, що стосуються підвищення довговічності силових агрегатів ТМ із урахуванням умов експлуатації ТМ та характеристик присадок для модифікування олив.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розв'язанні науково-практичного завдання підвищення довговічності силових агрегатів транспортних машин модифікуванням робочих олив 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 спраженнях 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 спражень 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 спражень 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 оливо, 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".

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

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ 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 оливо 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

нестационарних 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 олив на характеристики дизелів, що працюють в нестационарних 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 нестационарних 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. материалы V-го международного форума молодежи*. Харьков: 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 C10M 125/04 U. №u201112124; заяв. 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) C10M 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.

SUMMARY

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 was performed according to the strategic priority areas of science and technology development in Ukraine for 2011-2020, namely - the latest and resource-saving technologies in energy, industry and agro-industrial complex; according to latest scientific researches of the Central Ukrainian National Technical University (CUNTU) on the topics: "Improving the reliability of vehicles by managing their technical condition" (№DR0116U008055); "Improving the reliability of trucks in non-stationary operating conditions by modifying motor and transmission oils by fluxes of matter and energy of physical fields" (№DR0116U008112); "Forecasting the operational reliability of vehicles to ensure the quality of transport services" (DR0116U008110).

The aim of the work is to increase the durability of power units of transport machines operating in hard operating conditions, based on the changes of patterns of working oils and modes of operation of moving couplings of parts when modifying oils with composite additives using geomodifier "KГMT-1".

The object of research – the process of changing the characteristics and properties of working oils with a composite additive based on the geomodifier "KГMT-1" and increasing the durability of transport vehicles power units.

The subject of research – patterns of indicators and properties change of the modified working oil and a resource of the power unit of transport vehicles during operation.

Research methods. Theoretical research uses methods of systems analysis, hydrodynamic theory of lubrication, theories of reliability and technical diagnostics, theories of information, control and efficiency of technical condition of systems and machines units, theory of probability and mathematical statistics, mathematical planning of the experiment. Experimental studies and the formation of a diagnostic

database on changes in the technical condition and level of durability of power units of transport vehicles were carried out on the basis of methods and techniques of diagnosis and reliability. Physico-chemical parameters and properties of engine and transmission oils were determined according to generally accepted methods. Mathematical planning of the experiment, calculations and processing of research results were performed using PC software.

A physical model of the action of a composite additive based on a geomodifier on the working surfaces of moving parts is built. It is determined that the near-surface layer of oil with a composite additive shows the properties of a non-Newtonian fluid: the kinematic viscosity decreases, the shear rate of its layers increases. It was found that the motion and heat exchange of such oils are based on elastic-plastic deformations and rheological properties.

It was found that the actions of the components of the composite additive initiate tribochemical reactions and phase transformations with the formation on the surfaces of parts of secondary structures, which under the action of load-speed factor are triggered and restored, providing the formation of a surface layer of composite oil and antifriction protective film.

It was found that the composite additive should have components that mutually reinforce each other, according to the synergetic concept.

The equation of lubrication modes is constructed, the formula for Sommerfeld's criterion is obtained, which makes it possible to control the lubrication modes in the system of moving couplings of power units parts. It is shown that the processes occurring in oils can be described by a set of individual diagnostic parameters and performance indicators of their properties. The equilibrium condition is obtained. It is found out that the regularities of the rate of receipt of wear products of parts of power units to oils and the speed of operation of the applied additive are exponential. Using the laws of wear of the working surfaces of the parts of the couplings and the operation of the additive, the equation of the dependence of the amount of wear on the operating time is obtained. It is shown that the residual life of transport vehicles can be estimated by the rate of flow of iron into the oil of its dielectric constant.

The rational and optimal composition of the composite additive for motor and transmission oils based on the "KFMT-1" geomodifier has been determined. When it

is added to "М-10Г₂к" engine oil, the wear rate on the "ЧМТ-1" machine decreases by 23.5%, the critical load increases by 29.6%, and the welding load increases by 27.4%. When adding the additive to the transmission oil "ТМ-3-18к", the wear rate decreased by 36.2%, the critical load increases by 18.4%, and the welding load – 7.3%. It was determined that the additive "НИОД-5" is less effective on the average wear parameter by 2.5...4.0%, and the additive "Roil Gold" – by 1.5...2.0% than the composite additive based on geomodifier "КГМТ-1".

When lubricating with base fresh oil in a continuous mode in comparison with dry friction the initial maximum value of the moment of friction decreases in 1.3...1.7 times, and at running in – in 3.5...5.0 times. In the "start-stop" mode with lubrication at each of the intervals of laboratory tests the value of the initial friction moment decreases and after a few periods the peak of the friction moment disappears. It is recorded that when the additive is added to the working oil, its properties are restored, as the moment of friction decreases, but it is happening in the continuous mode and the "start-stop" modes according to different patterns.

The improvement of the quality of the working surfaces of the moving parts in the continuous mode and the "start-stop" mode is revealed. In the first case, almost parallel lines of scratches are traced, and in the second – there are traces of setting and blurring of scratch lines.

The external speed characteristics were constructed with the addition of "НИОД-5", "Roil Gold" and "КГМТ-1" additives, the increase in torque for "М-10Г₂к + НИОД -5" oil was 1.2...1.4%; for "М-10Г₂к + RoilGold" oil – by 2.6...3.0%; for "М-10Г₂к + "КГМТ-1" oil – by 3.9...4.3%. Diesel power increased by 1.1...1.3% when working on oil "М-10Г₂к + НИОД-5"; – by 2.5...2.9 % on "М-10Г₂к + RoilGold" oil; by 3.9...4.2% on oil "М-10Г₂к + "КГМТ-1". The reduction of the specific fuel consumption after adding of additives to the oil was: "М-10Г₂к + НИОД-5" – by 1.24...1.26%; "М-10Г₂к + RoilGold" – by 2.73...2.77%; "М-10Г₂к + КГМТ-1" – by 3.95...4.15%.

It is determined that the ash content in motor oil "М-10Г₂к" becomes the limit value at the service life of 250 motor hours, and when adding additives Roil Gold and "КГМТ-1" – 300 and 310 motor hours. The coking capacity of the base fresh oil reaches the limit value at 200 moto-hours, and when adding these additives it does not

reach the limit at 300 moto-hours according to the operational tests of density, flash point, alkalinity, dispersibility, kinematic viscosity of base and modified oils. Mathematical models of the dependence of the values of indicators on the operating time of transport vehicles, which make it possible to determine the operating time when reaching their limit values, as well as to make predictions.

It was determined that for fresh oil the density acquires a limit value at 280 moto-hours, flash point – 230 moto-hours, alkaline number – 245 moto-hours, dispersing ability – 250 moto- hours, kinematic viscosity – 250 moto-hours. When Roil Gold and "KГMT-1" additives are added to the oil, the limit values become higher with the operating time increase: density – 360 and 390 motor hours; flash point – 340 and 350 moto-hours; alkaline number – 335 and 380 moto-hours; dispersing ability – 280 and 310 moto-hours; kinematic viscosity – 290 and 310 moto-hours.

The linear dependence of the dielectric constant on the concentration of iron in oil has been established. When adding additives, the value of dielectric constant decreases: Roil Gold – by 23.5%, "KГMT-1" – by 3.7...5.6%.

Limit values of iron concentration in motor and transmission oils were reached at 225...250 motor-hours, and with the addition of additives – 290...330 moto-hours.

Resource assessment of the studied transport vehicles in open pits and enterprises of agro-industrial production of Kirovograd region showed that their average monthly operating time on the base oil is 101 motor-hours, and with the use of oil modified "KГMT-1" – 132 motor-hours, which is 30% higher. The average operating time on "M-10Г₂κ" oil was 7530 motor-hours, the standard deviation was 283 motor-hours, on oil modified with "Roil Gold" additive – 8716 and 2252 motor-hours, respectively, on oil modified with "KГMT-1" – 9250 and 249 moto-hours. It is determined that the service life due to the Roil Gold additive increased by 16%, and "KГMT-1" by 23%, compared to fresh base oil. The economic effect due to the reduction of the number of maintenance and increase the resource, due to the use of the proposed additive, for one unit of transport vehicle is 13686.4 UAH. The results of theoretical, laboratory, bench and operational studies made it possible to formulate a number of generalized recommendations for increasing the durability of transport vehicles' power units, taking into account the operating conditions of transport vehicle and the characteristics of additives for oil modification.

The scientific novelty of the obtained results is to solve the scientific and practical problem of increasing the durability of power units of transport vehicles by modifying working oils with composite additives based on geomodifier "KГMT-1", which in contrast to the previously known operation.

For the first time:

- the mechanism of action of the additive on the basis of geomodifier "KГMT-1", reduction of viscosity of composite oil in near-surface layers and increase of efficiency of its shift that essentially reduces operation of working surfaces in conjugations of details and provides necessary level of durability of power units of the transport machines working in the mode "start-stop" are suggested;

- it is theoretically substantiated and experimentally proved that when adding a composite additive based on "KГMT-1" geomodifier to the working oil, its state, internal energy of parts coupling and system entropy depending on the content of additive components and mechanical impurities during operation change, which allows to improve indicators and properties of motor and transmission oils, increase their service life and replacement period.

Improved:

- system-oriented and synergistic approach to the modification of working oil with a composite additive based on geomodifier "KГMT-1", which allows you to control the composition and particle size of its components in accordance with the operating conditions of transport vehicles.

Received further development:

- regularities of change of operational indicators and properties of modified working oils of power units of transport machines with operating time that gives the ability to control a technical condition of conjugations of details in nonstationary conditions of operation: both in a continuous mode and in a start-stop mode.

The practical significance of the results.

On the basis of theoretical and experimental researches methods of diagnosing a condition of motor and transmission oils and increase of durability of power units of transport vehicles with addition of composite additives are developed. It is shown that composite additives based on geomodifier "KГMT-1" improve the performance and operational properties of motor and transmission oils, prolongs their service life and

increases the life of power units by 1.3...1.5 times. Recommendations of transport vehicles operation services at the enterprises on increase of their resource by reduction of wear of conjugations of details of power units during start-up, a way of express diagnostics of systems of greasing, changes of rationing of transport vehicles' maintenance in connection with prolongation of service life of motor oil are developed. This is confirmed by the received patents of Ukraine for utility model: 74249, 74645, 74646, 74656.

The results of the work are accepted for implementation in technical operation of transport vehicles at the enterprises of PJSC "Кіровоградграніт", LLC "Хутірське", LLC "Агрофірма колос", and are also used in the educational process of CUNTU in the study of disciplines 274 "Road transport", 275 "Transport technologies (on motor transport) "and 208" Agroengineering": "Repair of cars", "Cars", "Technical operation of cars", "Diagnostics of cars", "Operation and repair of internal combustion engines", "Reliability of cars", "Reliability of agricultural machinery", "Information technologies on motor transport".

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

LIST OF PUBLISHED PAPERS ON THE TOPIC OF THE DISSERTATION

In professional publications

1. Aulin V.V., Slon V.V., Kuzyk O.V. Change of physical and chemical parameters of motor oil of diesel dump trucks during operation. *Sat. Science. Proceedings of Kirovograd National Technical University / engineering in agricultural production, branch engineering, automation*. 2012. Issue. 25., Part 1. Pp. 98-103.
2. Aulin V.V., Slon V.V., Lysenko S.V. Express assessment of the influence of motor oils and additives on them on the wear characteristics of the working surfaces of truck engine parts. *Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine*. 2013. №2. Pp. 166-170.
3. Aulin V.V., Slon V.V., Lysenko S.V. The nature of changes in the tribotechnical characteristics of diesel couplings during their operation in different modes. *Problems of tribology*. 2013. №3. P.89-96.
4. Aulin V.V., Slon V.V., Golub D.V. Regularities of changes in the

concentration of chemical elements in the engine oil of cars operating in non-stationary operating conditions with the addition of additives. *Road transport*. 2014. Issue. 34. P.22-27.

5. Aulin V.V., Slon V.V., Golub D.V. Influence of additives to motor oils on the characteristics of diesels operating in non-stationary operating conditions. *Collection of scientific works of the Ukrainian State Academy of Railway Transport*. 2014. issue. 148. P.18-25.

6. Slon V.V. Modifying effect of additives on the term of engine oil replacement in non-stationary operating conditions. *National interdepartmental scientific and technical collection of KNTU. Design, manufacture and operation of agricultural machinery*. 2015. Issue 45. pp. 308-313.

7. Aulin V.V., Lysenko S.V., Grinkiv A.V., Slon V.V. etc. Influence of the processes occurring in the mobile couplings of transport machine parts under the action of geomodifier components on the efficiency of tribotechnologies of running-in and restoration. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical sciences*. 2020. Issue 3 (34). S.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*. Issue 26. No 1/99-2021. 51-58.

In foreign publications

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. Aulin V.V., Slon V.V. Regularities of change of indicators of quality of motor oil of the cars working in nonstationary conditions of operation. *Problems of the road complex of Russia: Operation and development of road transport: materials X International. correspondence scientific and technical conf.* November 21, 2013. Penza: PGUAS, 2013.S. 22-29.

Proceedings and abstracts of conferences

11. Aulin V.V., Lysenko S.V., Onolov M.V., Panchul S.O., Slon V.V.

Automatic control of the process of wear of internal combustion engine parts by the implementation of the process of self-organization: *Youth and agricultural machinery in the XXI century*. Proceedings of the V International Youth Forum. Kharkov: KhNTUSH, 2009. P. 6-7.

12. Aulin V.V., Slon V.V. Express method of studying the effect of additives on the friction surface of parts. *Improving the reliability of machinery and equipment: Abstracts of reports of students, undergraduates, graduate students and teachers at V All-Ukrainian. scientific-practical conf. April 6-8, 2011*. Kirovograd: KNTU, 2011. P. 19-21.

13. Aulin V.V., Slon V.V. Start-up of tribo combinations of parts in the "start-stop" mode. *Olvia Forum 2012: Strategy of Ukraine in the geopolitical space: coll. abstracts of the international scientific-practical conference. June 6-10, 2012, Yalta., Vol. 12*. P.73-74.

14. Aulin V.V., Slon V.V. Ways to increase the wear resistance of the main couplings of diesel parts in the "start-stop" mode. *Actual problems of engineering mechanics: materials of the II international scientific and technical conference, October 22-24, 2012*. Mykolaiv: NUS, 2012. pp. 74-76.

15. Aulin V.V., Slon V.V., Lysenko S.V. Influence of geomodifying additives on physicochemical parameters of motor oil. *Improving the reliability of machinery and equipment.: collection of abstracts of the VII All-Ukrainian scientific-practical conference of students and graduate students., Kirovograd: KNTU, 2013*. P. 213-215.

16. Aulin V.V., Slon V.V., Lysenko S.V. Improvement of quarry transportation by extending the term of replacement of motor oil of quarry dump trucks. *Problems of development of transport systems and logistics: materials of the IV International scientific and practical conference, Evpatoria, May 14-16, 2013*, Lugansk: SNU. W. Dahl, 2013. pp. 191-193.

17. Aulin V.V., Slon V.V., Lysenko S.V. Influence of composite engine oil on change of structure of friction surfaces of diesel details. *Olvia Forum 2013: Strategy of the Black Sea region in the geopolitical space: coll. abstracts of materials international. scientific-practical conf. June 7-8, 2013, Mykolaiv-Yalta: BSU Publishing House. Petra Mogili, 2013*. P.81-83.

18. Aulin V.V., Slon V.V., Golovaty A.O. Improving the efficiency of maintenance by extending the period of replacement of motor oil of vehicles. *Problems and prospects for the development of the automotive industry: Proceedings of the II All-Ukrainian scientific-practical conference of young scientists and students (Donetsk, September 18-19, 2013).*, Donetsk: LANDON-XXI, 2013. P. 50-52.

19. Aulin V.V., Slon V.V., Lysenko V.M. The quality of working motor oil as an indicator of the technical condition of quarry dump trucks. *Problems of development of road-transport and construction complexes: collection of articles and theses of the international. scientific-practical conf. October 3-05, 2013, Kirovograd, PE "Exclusive-System", 2013. P. 216-219.*

20. Aulin V.V., Slon V.V., Lysenko V.V. Influence of engine oil modifying additives on external speed characteristics of diesels. *Improving the reliability of machinery and equipment: Coll. abstracts of reports of the VII All-Ukrainian scientific-practical conference. students and graduate students. Kirovograd: KNTU, 2014 S. 210-212.*

21. Aulin V.V., Slon V.V. Influence of modified engine oil on change of diesel power. *Improving the reliability of machinery and equipment: Coll. abstracts of reports of the IX All-Ukrainian scientific-practical. conferences of students, graduate students and young scientists. Kirovograd: KNTU, 2015. P.66-68.*

22. Aulin V.V., Slon V.V. Estimation of influence of additives on term of change of motor oil in non-stationary conditions of operation of vehicles. *Modern technologies and prospects for the development of road transport: materials VIII int. scientific-practical Conf., October 19-21, 2015, Vinnytsia: VNTU, 2015. P. 29-32.*

23. Aulin V.V., Slon V.V., Lysenko S.V. Influence of modified engine oil with additives on the change of concentration of mechanical impurities in the oil system of ATT diesels in SGV. *Problems of design, production and operation of agriculture techniques: materials X International. scientific-practical conference. Kirovograd: KNTU, 2015. P.149-151.*

24. Aulin V.V., Lysenko S.V., Chernay A.E., Slon V.V., Lukashuk A.P. Innovative technology of working of conjugations of details of transport cars and mobile agricultural machinery. *Kramarov readings: collection. abstracts of the VIII International Scientific and Technical Conference, February 25-26. 2021, Kyiv,*

NULES. - Kyiv: NULES Publishing Center of Ukraine, 2021. P. 32-36.

25. Aulin V.V., Slon V.V., Livitsky O.M., Hrynkiv A.V., Artyukh E.G. Improvement of methods and means of diagnosing systems of lubrication of power units of vehicles. *Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems*: materials of the III International scientific-practical conference, April 14-16, 2021. Kropyvnytskyi: CNTU, 2021.S.169-174.

Patents

26. Method of controlling internal combustion engine: Pat. 50669 Ukraine: IPC (2009) F02B 1/00. №u200911039; declared 02.11.2009; publ. 25.06.2010; Bull.№ 12.

27. Running lubricating composition: Pat. 69657 Ukraine. IPC C10M 125/04 U. №u201112124; application. 17.10.2011; publ. 10.05.2012, Bull. № 9.

28. Internal combustion engine lubrication system: Pat. 74645 Ukraine: IPC (2012.01) F01M 1/00. №u201203311; declared 20.03.2012; publ. 12.11.2012; Bull.№21.

29. Electronic control system for car internal combustion engine and oil characteristics: Pat. 74646 Ukraine: IPC (2012.01) F02D 41/00. №u201203313; declared 20.03.2012; publ. 12.11.2012; Bull. № 21.

30. Running lubricating composition: Pat. 81598 Ukraine: IPC (2013) C10M 125/04. №u201213907; declared 06.12.2012; publ. 10.07.13, Bull. № 13.

31. Method of reducing wear of tribo combinations of internal combustion engine parts during its start-up: Pat. 74656 Ukraine: IPC (2012.01) F01M 1/00 U. 201u201203533; declared 26.03.2012; publ. 12.11.2012, Bull. № 21.

32. Internal combustion engine lubrication system: Pat. 89246 Ukraine: IPC (2014.01) F01M 1/00 201u201313928; declared 02.12.2013; publ. 10.04.2014; Bull. № 7.

33. The method of diagnosing the technical condition of the diesel lubrication system: Pat. 98561 Ukraine: IPC (2015.01) F01M 1/00 U. №u201413616; declared 18.12.2014; publ. 27.04.2015, Bull.№ 8.

34. The method of determining the moment of friction of tribocouples on a friction machine: Pat. 98562 Ukraine: IPC (2015.01) G01N 19/00 U. №u201413617; declared 18.12.2014; publ. 04/27/2015, Bull. № 8.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ І ПОЗНАЧЕНЬ.....	26
ВСТУП.....	27
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ЖОРСТКИХ НЕСТАЦІОНАРНИХ УМОВ І РЕЖИМІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН, МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ І РЕСУРСУ ЇХ РОБОЧИХ ОЛИВ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ СИЛОВИХ АГРЕГАТІВ.....	34
1.1 Характеристика жорстких, нестационарних умов експлуатації транспортних машин у кар'єрах та сільськогосподарському виробництві.....	34
1.2 Аналіз показників стану і властивостей моторної і трансмісійної олив транспортних машин та основні вимоги до них.....	42
1.2.1 Основна функція та показники стану моторних і трансмісійних олив.....	42
1.2.2 Вплив режиму роботи силових агрегатів ТМ на зміну показників якості	48
1.2.3 Показники бракувань олив силових агрегатів транспортних машин, що експлуатуються в умовах кар'єрів та сільськогосподарського виробництва.....	50
1.3 Аналіз присадок та добавок, що покращують властивості і показники робочих олив транспортних машин.....	52
1.4 Шляхи підвищення довговічності рухомих спряжень деталей силових агрегатів, що працюють в оливному середовищі.....	58
Висновки до першого розділу. Мета та основні завдання.....	62
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПЛИВУ КОМПОЗИЦІЙНОЇ ПРИСАДКИ НА ОСНОВІ ГЕОМОДИФІКАТОРА НА ДОВГОВІЧНІСТЬ РУХОМИХ СПРЯЖЕНЬ ДЕТАЛЕЙ СИЛОВИХ АГРЕГАТІВ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН.....	65
2.1 Фізична модель дії композиційної присадки на основі геомодифікатора, внесеної в оливу, на робочі поверхні рухомих спряжень деталей.....	65
2.2 Зміна режимів тертя у рухомих спряженнях деталей силових агрегатів з композиційним мастильним матеріалом.....	74
2.3 Теоретичне обґрунтування закономірності зміни діагностичних параметрів оливи силових агрегатів з напрацюванням.....	78

	23
2.3.1. Зміна стану приповерхневих шарів композиційної моторної і трансмісійної олів.....	78
2.3.2. Швидкість надходження продуктів зношування деталей спряжень силових агрегатів до олів з напрацюванням.....	80
2.3.3. Спрацювання присадок, внесених до моторних і трансмісійних олів, з напрацюванням силових агрегатів транспортних машин.....	83
2.4 Підвищення довговічності силових агрегатів транспортних машин покращенням властивостей моторної та трансмісійної олів.....	87
2.5 Підвищення зносостійкості рухомих спряжень деталей силових агрегатів транспортних машин.....	91
Висновки до розділу 2.....	93
РОЗДІЛ 3 МЕТОДИ І МЕТОДИКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	97
3.1 Програма та основні завдання експериментальних досліджень.....	97
3.2 Матеріали та методика отримання композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1 та модифікування присадками моторної і трансмісійної олів.....	101
3.3 Методика дослідження властивостей моторних і трансмісійних олів на машині тертя ЧМТ-1.....	106
3.4 Оптимізація вмісту компонентів композиційної оливи на основі геомодифікатора КГМТ-1 в робочій оліві силового агрегату транспортних машин.....	109
3.5 Методики визначення фізико-хімічних показників та експлуатаційних властивостей робочих трансмісійної і моторної олів.....	112
3.6 Методики визначення властивостей поверхонь зразків деталей рухомих спряжень у середовищі модифікованої оливи.....	120
3.6.1 Методика визначення моменту тертя.....	120
3.6.2 Методика оцінки якості поверхонь тертя зразків.....	122
3.7 Методика стендових та експлуатаційних випробувань силових агрегатів транспортних машин.....	123
3.7.1 Методика дослідження зовнішньої швидкісної характеристики дизелів в процесі стендових випробувань.....	123

3.7.2	Методика визначення швидкості надходження продуктів зносу в моторну та трансмісійні оливи.....	125
3.7.3	Методика експлуатаційних випробувань.....	128
	Висновки до розділу 3.....	132
	РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ СИЛОВИХ АГРЕГАТИВ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН, ЩО ПРАЦЮЮТЬ В ЖОРСТКИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДОДАВАННЯМ В РОБОЧУ ОЛИВУ КОМПОЗИЦІЙНОЇ ПРИСАДКИ НА ОСНОВІ ГЕОМОДИФІКАТОРА.....	134
4.1	Визначення раціонального та оптимального складів композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1.....	134
4.2	Порівняльний аналіз результатів лабораторних випробувань модифікованих олив на чотирикульковій машин тертя ЧМТ-1.....	141
4.3	Оцінка силових характеристик рухомих спряжень зразків деталей з мастильним середовищем модифікованому присадками та якості їх робочих поверхонь в нестационарних лабораторних умовах.....	144
4.3.1	Оцінка силових характеристик рухомих спряжень зразків деталей з мастильним середовищем методом вимірювання моменту сили тертя в безперервному режимі та режимі "пуск-зупинка" в лабораторних умовах.....	144
4.3.2	Оцінка якості робочих поверхонь спряжень зразків деталей при використанні модифікуючих оливу присадок.....	152
4.4	Результати стендових випробувань впливу модифікування оливи композиційними присадками на показники зовнішньої швидкісної характеристики силового агрегату транспортних машин.....	155
4.5	Результати експлуатаційних випробувань показників та властивостей модифікованої робочої оливи у силових агрегатах транспортних машин.....	157
4.6	Зміна концентрації і швидкості надходження металевих продуктів зношування в моторну та трансмісійну оливи в процесі експлуатації.....	166
4.6.1	Зміна концентрації і швидкості надходження заліза в оливу.....	166
4.6.2	Зміна концентрації хімічних елементів металевих продуктів зношування у модифікованій присадками оливі силових агрегатів ТМ.....	168

4.7 Оцінка ресурсу силових агрегатів транспортних машин з використанням модифікованих олив.....	170
4.8 Техніко-економічне обґрунтування доцільності використання композиційної присадки геомодифікатора КГМТ-1 для модифікування робочих олив силових агрегатів транспортних машин.....	171
4.9 Рекомендації підприємствам, що використовують транспортні машин у жорстких умовах експлуатації.....	173
4.9.1 Загальні рекомендації експлуатаційним службам по підвищенню довговічності силових агрегатів транспортних машин.....	173
4.9.2 Підвищення ресурсу ТМ зменшенням зносу трибоспряжень деталей силових агрегатів під час його пуску.....	174
4.9.3 Експрес-метод діагностування технічного стану системи змащення силового агрегату ТМ.....	175
4.9.4 Зміна нормування технічного обслуговування автомобілів в зв'язку з подовженням ресурсу модифікованої оливи присадкою на основі геомодифікатора КГМТ-1.....	176
Висновки до розділу 4.....	178
ВИСНОВКИ.....	184
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	188
ДОДАТКИ.....	206
Додаток А. Перелік опублікованих робіт за темою дисертаційної роботи.....	206
Додаток Б. Акти про проведені дослідження і впровадження результатів дослідження.....	211
Додаток В. Результати регресійного та дисперсійного аналізів.....	217
Додаток Г. Патенти на корисну модель.....	220

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ І ПОЗНАЧЕНЬ

- АПВ – агропромислове виробництво;
АФП – антифрикційні присадки;
ГМТ – геомодифікатор тертя;
ЕБК – електронний блок керування;
ІП – інактивні присадки;
МП – металоплакуючі присадки;
МС – мастильне середовище;
ПАП – поверхнево-активні присадки;
ПАР – поверхнево-активні речовини;
ПК – персональний комп'ютер;
ТМ – транспортна машина;
ТО – технічне обслуговування;
УДП – ультрадисперсні присадки;
ФП – фазові перетворення;
ХАП – хімічно-активні присадки;
ЦПГ – циліндро-поршнева група.

ВСТУП

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 нестаціонарних умовах, особливо в режимі "пуск-зупинка", запиленості, при великих навантаженнях і малій швидкості руху по автомобільних дорогах складного профілю. Надважкі нестаціонарні 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 2011-2020pp., 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 олив 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 олив та режимів роботи рухомих спряжень деталей при модифікуванні олив 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 олив;
- теоретично обґрунтувати вплив композиційних присадок на основі геомодифікаторів на показники і властивості робочих олив 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 олив 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 олив 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 олив 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 олив 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 оливи 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 оливи, 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 нестационарних умовах експлуатації [4]; експериментальні дослідження впливу модифікованих присадок на термін заміни оливи в нестационарних 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 нестационарних умовах експлуатації [9]; виявлені закономірності зміни якості робочих олив в нестационарних 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.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЖОРСТКИХ НЕСТАЦІОНАРНИХ УМОВ І РЕЖИМІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН, МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ І РЕСУРСУ ЇХ РОБОЧИХ ОЛИВ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ СИЛОВИХ АГРЕГАТІВ

1.1 Характеристика жорстких, нестационарних умов експлуатації транспортних машин у кар'єрах та сільськогосподарському виробництві

В жорстких нестационарних умовах та режимах експлуатуються транспортні машини (ТМ) при обслуговуванні аеропортів. Класифікація характеристик таких умов і режимів експлуатації наведена на рис. 1.1. До нестационарних умов слід віднести передусім умови навколишнього середовища, що визначаються факторами: запиленість, забрудненість, вологість; дорожні умови із факторами: кути підйому, опір коченню, кількість поворотів, кути повороту, стан дорожнього покриття; гірничо-технічні умови: міцність порід, глибина кар'єру, щільність порід; кліматичні умови: мінімальна та максимальна, середньорічна температури та кількість днів з температурою нижче та вище нуля, жорсткість клімату. До нестационарних режимів роботи ТМ відносяться режими: безперервний, знакозмінного навантаження, "пуск-зупинка", "розгін-накат" [1].

Особливостями використання ТМ в умовах відкритого способу роботи в кар'єрах є:

- безперервний нестационарний режим роботи;
- складний профіль під'їзних доріг (спуски і підйоми з великими подовжніми ухилами, з кутом ухилу порядку 6%, при наявності серпантинів та затяжних поворотів);
- переважає в реалізації напрям руху з вантажем на підйом;

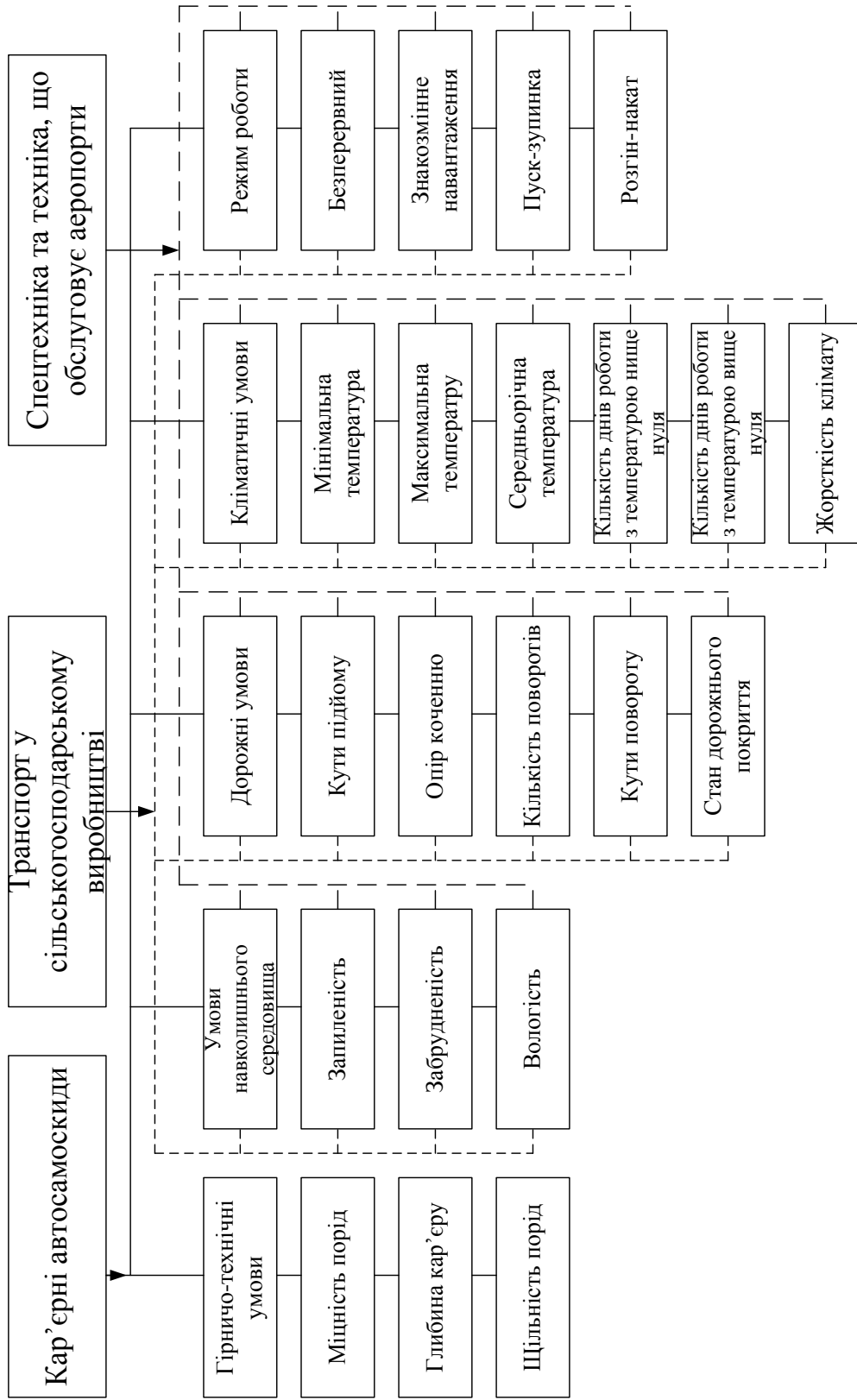


Рис. 1.1.1. Класифікація жорстких нестационарних умов та режимів експлуатації

- тимчасові дороги з щебеним покриттям (до 85...90%) та неякісний їх стан;
- експлуатація ТМ в умовах сильної запиленості та переважно між верхньою та нижніми відмітками кар'єру;
- складні умови руху на під'їзних шляхах (вузькі проїзди, круті повороти з малими радіусами кривизни до 20...25 м, значні ухили до 8...10%, необхідність частішої подачі автомобілів під вантаження-розвантаження заднім ходом і т. д.);
- важкі дорожні умови, що викликають підвищений знос ТМ (термін служби їх в кар'єрах не перевищує 5, 6 років) [2].

При роботі у відкритих кар'єрах схема руху автомобілів-самоскидів може бути зустрічною, тупиковою або кільцем, вибір якої залежить від дальності перевезення, ширини робочих майданчиків і схеми установки екскаваторів в забої, інтенсивності і безпеки руху, величини витрати на будівництво і вміст автомобільних доріг (рис. 1.2).



а



б



в



г



д



е



ж

з

Рис.1.2. Характер дорожніх умов роботи кар'єрних автосамоскидів: а – вид зверху; б – серпантиніві дороги; в – нахил головної дороги; г – стан дорожнього покриття; д – місце завантаження; є – стан дорожнього покриття при завантаженні; ж – дорога на підйом; з – виїзд

Умови експлуатації кар'єрних автосамоскидів можливо умовно поділити на п'ять категорій: I – легкі; II – середні; III – важкі; IV – надважкі; V – екстремальні.

Результати аналізу роботи ТМ у Новопавлівському кар'єрі "Кіровоградграніт" Крупському Кіровоградського району та Капустянському Новоукраїнського району Кіровоградської області свідчать, що умови, в яких працюють дизелі кар'єрних самоскидів, можливо віднести до надважких умов. Зазначене не може не вплинути на роботу трибоспрямих деталей силових агрегатів та зниження фізико-хімічних показників та властивостей моторної та трансмісійної оливи.

Однією з основних проблем, що виникають при перевезенні вантажів в кар'єрах є наявність простоїв транспорту при очікуванні навантаження і розвантаження, і, як наслідок, недостатня ефективність використання вантажних засобів і самоскидів [3]. Це пов'язано, передусім з жорсткими нестационарними умовами їх експлуатації

Технологічні дороги на гранітних кар'єрах мають свої особливості відносяться в основному до III категорії. Вони мають щебеневе покриття, влаштоване за методом заклинки. Стан і рівність дорожнього полотна істотно залежать від пори року. Оскільки тривалість періоду з середніми добовими температурами вище 0°C становить 150 діб, то більшу частину року (з травня

по жовтень) дороги мають кращі показники по рівності та міцності дорожнього полотна. Лютий і березень є найбільш нестабільними місяцями. З настанням позитивних середньодобових температур починається відтаювання порід, і на дорогах утворюються ями і вибоїни. Подібна картина спостерігається і в період дощів у жовтні.

Кар'єрні автосамоскиди працюють у важких умовах і, переважно, нестационарному режимі з великими навантаженнями та низькими швидкостями руху, істотної запиленості, складної траєкторії руху. Це обумовлює ряд негативних наслідків: зростання механічних витрат в спраженнях деталей, зростання витрат пального та оливи на вигар; підвищення прориву газів в картер; зменшення терміну експлуатації робочих олив та надійності кар'єрних автосамоскидів в цілому [4]. Закономірним є і інтерес провідних фірм світу до випробувань своєї продукції в надважких умовах гранітних кар'єрів Кіровоградщини, особливо технологічного автотранспорту: "БелАЗ" (Республіка Білорусь), "Komatsu" (Японія), які експлуатуються на окремих гірничорудних кар'єрах, де через підвищену запиленість не виключено абразивний знос і забрудненість олив силових агрегатів, що впливають на процес її старіння.

ТМ у агропромисловому виробництві (АПВ) працюють в складних умовах знакозмінного циклічного та динамічного навантаження, підвищеної запиленості, взаємодії з активними та агресивними робочими (технологічними) середовищами, а тому не виробляють запланованого ресурсу і 80...90% обсягу їх відмов спричиняють процеси тертя та зношування. В АПВ Україні використовуються переважно ТМ з дизелями. При зростанні напрацювання їх деталей, спражень, систем та агрегатів безперервно відбувається зміна технічного стану, яка пов'язана із процесами тертя та зношування. Через необоротний характер процесів знижується або втрачається працездатність ТМ в [5].

Напруженість роботи силових агрегатів ТМ у АПВ відносно велика, особливо при реалізації технологічних операцій, відображених на рис.1.3.



а



б



в

Рис.1.3. Деякі характерні технологічні операції участі транспортних машин у сільськогосподарському виробництві: а- посівні роботи; б – збирання врожаю; в – збирання врожаю у садівництві та виноградарстві

Це обумовлює до підвищення питомого тиску в спряженнях деталей, ударні навантаження, підвищений знос деталей та ін. За час виконання технологічних операцій характер навантаження є непостійним, а умови реалізації нестаціонарні. Виявлено, що енерговитрати на подолання опору переміщенню ТМ змінюються в часі. Для досягнення високої безвідмовності і довговічності силових агрегатів ТМ слід враховувати особливості їх роботи та втрати потужності на подолання процесів тертя та зношування і зменшення терміну експлуатації моторної та трансмісійної оливи [6].

Нестационарні режими роботи спостерігаються і у спецтехніки, що обслуговує аеропорти. Це передусім ТМ при реалізації операцій: доставка вантажів і пасажирів; автозаправка; використання тягачів; прибирання поля летовища; робота пожежних машин та ін. (рис.1.4).



а



б



в

Рис.1.4. Умови роботи спецтехніки, при реалізації деяких операцій при її роботі в аеропортах: а – доставка пасажирів і вантажів до літаків; б – автомийка поля летовища; в – прибирання снігу

Практично всі вони працюють у нестационарному безперервному режимі та режимах "пуск-зупинка", для яких є характерним знакозмінне циклічне навантаження на спряженні деталі й інтенсивне їх зношування на початку циклів. Жорсткі, нестационарні умови експлуатації ТМ в безперервному режимі та режимі "пуск-зупинка" приводять до того що, ресурс їх силових агрегатів складає 26...47% [7], а знос деталей збільшується в 2,0...5,0 разів у порівнянні з використанням ТМ в звичайних умовах експлуатації [8, 9]. При цьому спостерігається одночасна дія різних видів спрацювання спряжень деталей, співвідношення яких залежать від конструкції, технології виготовлення деталей, якості використовуваних мастильних матеріалів та навантаження тертям [9]. При розгляді процесів зношування вважають, що їх швидкість протікання визначається режимом мащення та напрацюванням (пробігом). В той час щоб запобігати втратам працездатності деталей спряжень силових агрегатів ТМ, необхідно знати спектр закономірностей розвитку та деградації процесів і станів.

Застосування високоякісних моторних і трансмісійних олив та примусових систем охолодження можливо полегшити умови роботи спряжень деталей силових агрегатів ТМ [10]. По оцінках експертів тільки в результаті поліпшення якості робочих олив є можливість підвищити в 1,5 рази ресурс силових агрегатів ТМ без істотної зміни їхньої конструкції [11]. Однак наявні ситуації, які не можуть захистити робочі поверхні спряжених деталей від зношування: недостатня кількість оливи в зоні тертя у моменти холодних пусків дизеля; забруднення оливних каналів та при змиві оливного шару паливом; локальне перегрівання оливи в окремих спряженнях деталей через підвищене тепловиділення або погіршений тепловідвід та ін.

Ударний характер взаємодії, вібрації поверхонь тертя поршня, пальця, кілець і гільзи циліндра, які збільшуються в залежності від зносу спряжень, ускладнюють умови роботи силових агрегатів ТМ [2, 3]. В області ВМТ спостерігається руйнування оливної плівки. В області підвищених швидкостей ковзання поршня несуча спроможність оливної плівки

підвищується і може реалізуватися режими напіврідинного тертя. При малих обертах зона напівсухого тертя розповсюджується на більшу частину циліндра, ніж при високих обертах. З підвищенням тиску на поршневі кільця температура робочих поверхонь спряжених деталей "гільза циліндра-поршневе кільце" при сухому терті збільшується. Зазначене свідчить, що є потреба в підвищенні мастильної здатності моторної та трансмісійної олів, управління режимами в спряженнях деталей й розробці заходів підвищення їх зносостійкості і забезпечення належного рівня довговічності [12].

Виявлені фактори, що впливають на формування нестационарних умов експлуатації ТМ, можна поділити на дві групи ті, що мають істотний вплив на транспортний процес; ті, що практично не впливають на процес перевезення вантажів, включаючи елемент випадковості. При цьому при експлуатації ТМ, їх специфічних особливостей, що впливають на показники моторних олів.

Зміна фізико-хімічних показників та властивостей робочих олів модифікуванням речовиною (присадками) дає можливість продовжити ресурс та підвищити зносостійкість спряжень, а в деяких випадках – відновити робочі поверхні деталей формуванням антифрикційних покриттів, але ці питання недостатньо дослідженні. Доцільним в цьому напрямку є розробка підходів керованої зміни фізико-хімічних показників та властивостей олів модифікуванням присадками та визначення раціональних режимів експлуатації в основних спряженнях силових агрегатів та покращення якості їх робочих поверхонь [13].

В зв'язку з цим, до силових агрегатів ТМ висувуються наступні вимоги:

- зменшення тривалості часу та витрат на стендову і, особливо, на експлуатаційну обкатку;
- зменшення інтенсивності спрацювання робочих поверхонь спряжених деталей після обкатки силових агрегатів ТМ шляхом формування на них антифрикційної плівки або шару покриття;
- забезпечення прискореного формування оптимальної мікрогеометрії та комплексу експлуатаційних властивостей поверхонь тертя під час

стендової та експлуатаційної обкаток;

– підвищення якості робочих моторних та трансмісійних олиव.

Зазначене дає підстави для розробки нових перспективних методів підвищення довговічності силових агрегатів ТМ, особливо це стосується використання спеціальних композиційних присадок, які додаються у моторні і трансмісійні оливи в процесі експлуатації та під час їх обкатки.

1.2 Аналіз показників стану і властивостей моторної і трансмісійної оливи транспортних машин та основні вимоги до них

1.2.1 Основна функція та показники стану моторних і трансмісійних олив

Моторні і трансмісійні оливи при роботі ТМ в жорстких умовах експлуатації піддаються комплексній дії високої температури, знакозмінного навантаження, кисню та запиленості повітря, продуктів згорання палива і зношування деталей основних спряжень деталей [14] та вмісту сторонніх домішок, частинок зносу (рис.1.5). При цьому погіршується якість оливи, змінюється фізико-хімічні характеристики та властивості, зменшується термін їх експлуатації.

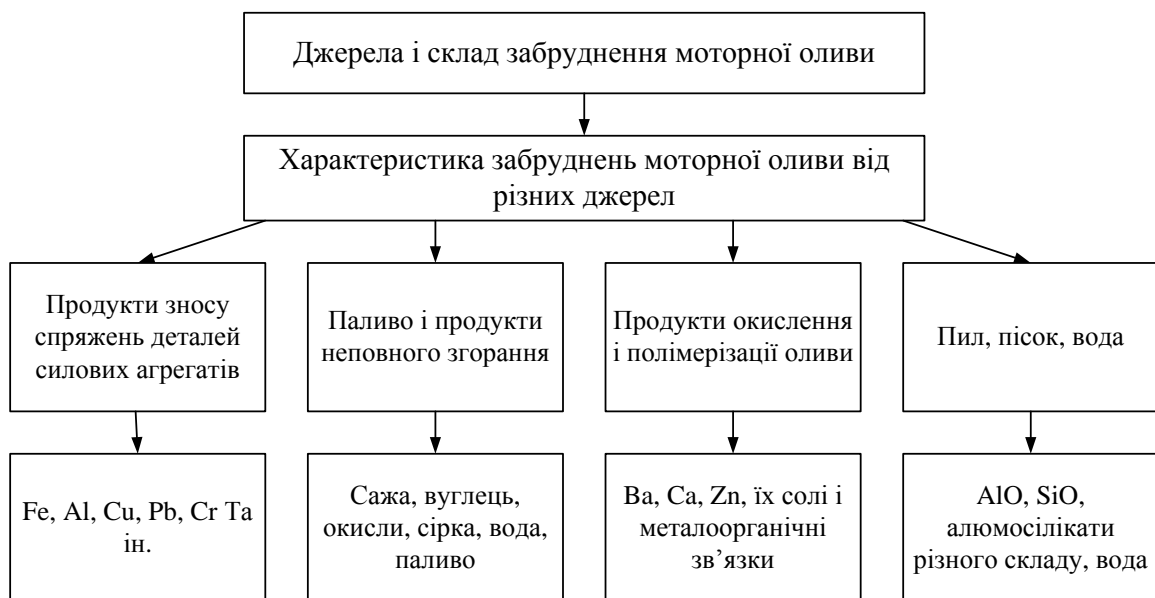


Рис.1.5. Джерела і склад забруднення моторної оливи в жорстких умовах експлуатації ТМ

Основна функція, яку виконують моторні та трансмісійні оливи – це зниження тертя і зносу спряжень деталей силових агрегатів за рахунок створення на їх поверхні оливної плівки. Одночасно з цим оливи силових агрегатів ТМ повинні забезпечувати у спряженнях деталей [15]:

- ущільнення зазорів, в першу чергу, деталей ЦПГ;
- ефективно 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 та трансмісійної олив.

Виконання зазначених функцій оливами можливо тільки у випадку, якщо їх експлуатаційні властивості і показники будуть задовольняти ряду експлуатаційних вимог [16]:

- 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 і трансмісії;
- 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 [12, 13].

Моторні та трансмісійні оливи мають набір фізико-хімічних

властивостей, які характеризують їх експлуатаційне призначення. Наприклад, в'язкісно-температурні властивості мають в експлуатації багатостороннє значення. В'язкість оливи значною мірою визначають режими змащення, відведення тепла від робочих поверхонь і ущільнення зазорів, енергетичних втрат в двигуні і трансмісії, їх експлуатаційні якості, швидкість запуску двигуна, прокачування оливи в системі змащення, охолодження деталей [17]. Мийно-диспергуючі властивості оливи визначають її здатність забезпечувати необхідну якість деталей силових агрегатів, утримувати продукти окислення і забруднення у зваженому стані, щоб вони не відклалися на робочих поверхнях. Чим вище ці властивості, тим більше нерозчинних речовин (продуктів старіння) може утримуватися в робочій моторній та трансмісійній оливах без випадання в осад [18].

Відомо [19, 20], що антиокислювальні властивості оливи в значній мірі визначають їх стійкість до старіння. Запобігти процесу окислення моторних оливи через жорсткі умови повністю не представляється можливим. Відповідно є необхідність очищення оливи 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 оливи зростає їх в'язкість та корозійна здатність, до утворення відкладень, забруднення фільтрів.

Протизносні властивості моторної та трансмісійної оливи сприяють перешкоджанню зносу спряжень деталей, утворення на робочих поверхнях антифрикційної плівки, яка виключає фактичний контакт деталей [21]. Протизносні властивості оливи залежать від їх в'язкості і в'язкісно-температурної характеристики, здатності змащення, чистоти оливи.

Антикорозійні властивості оливи силових агрегатів ТМ залежать від складу компонентів, концентрації антикорозійних, антиокисних присадок, а також металів деактиваторів. Визначено, що у процесі старіння корозійність оливи 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 [18, 22].

Виходячи із зазначеного моторні і трансмісійні 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). Деякі результати дослідження складу забруднень відпрацьованих олив наведені в роботах [23, 25].

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, окисикислоти, 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 і трансмісійних олив залежить від цілого ряду факторів, основними з яких є: вихідні властивості оливи; конструктивні особливості силового агрегату ТМ, його технічний стан і режим роботи; властивостей оливи, використовуваної для доливання, технологія технічного обслуговування і умови роботи ТМ [26].

При функціонуванні силових агрегатів ТМ неодмінно відбувається зміна показників якості моторної та трансмісійної оливи, причому завжди в гіршу сторону [27]. Працездатність оливи зазвичай оцінюють по одному або декількох показниках граничного стану [28], 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 [29, 30] 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 [31-33]. 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 олив по фактичному їх стану і, таким чином, суттєво скорочувати потребу в свіжих оливах, виявляти несправності силових агрегатів ТМ і попереджати підвищений знос спряжень їх деталей [34].

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

Таблиця 1.3

Термін заміни моторних олив 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 [35, 36], результати яких зводяться до наступного: зміна більшості показників якості оливи відбувається в перші години роботи

двигуна та трансмісії, після чого значення цих показників стабілізуються, при чому стабілізація показників простежується навіть при значному збільшенні терміну служби оливи. В роботі [37] 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 [38]. Стабілізація цих показників ускладнює використання їх для встановлення обґрунтованих строків служби оливи в експлуатації ТМ. У більшості випадків основною причиною їх зміни є порушення технічного стану двигуна або трансмісії. Істотний вплив на зміну цих показників здійснює також режим роботи силових агрегатів ТМ.

1.2.2 Вплив режиму роботи силових агрегатів ТМ на зміну показників якості .

Режим роботи силових агрегатів залежить від умов експлуатації ТМ. 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 ТМ сприяє високотемпературному окисненню, забрудненню оливи та накопиченню в ній корозійно-агресивних продуктів зносу, що може призвести до таких небажаних пошкоджень, як пригорання поршневих кілець [39, 40]. 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 [41].

В свою чергу, ступінь старіння моторних олив не пропорційно температурі. Якщо при 293 К процеси їх окислення після 2 год. роботи установки практично непомітні [42], то в інтервалі 393...473 К значно зростає кислотне число, в'язкість, зниження лужного числа (рис. 1.6, 1.7).

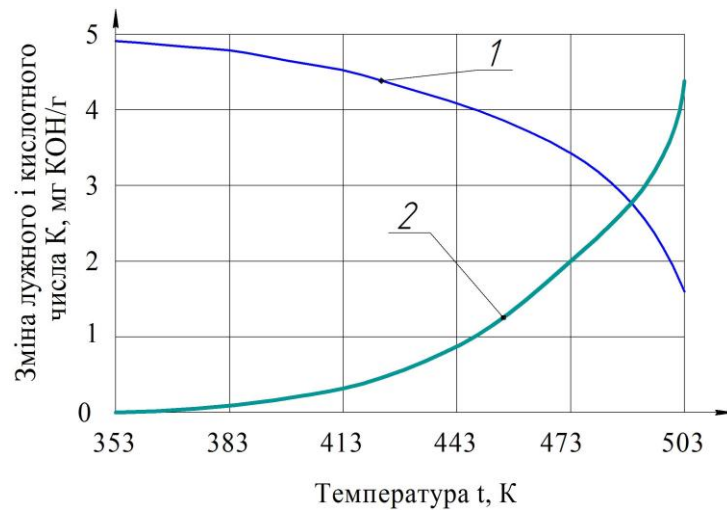


Рис.1.5. Зміна лужного і кислотного чисел оливи М-10Г₂к залежно від температури: 1 – лужне число; 2 – кислотне число

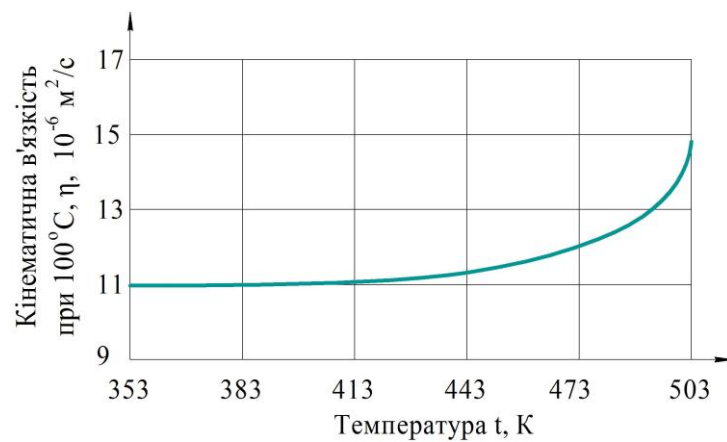


Рис.1.6. Зміна кінематичної в'язкості оливи М-10Г₂к залежно від температури

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 [42, 43]: 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 (рис. 1.7) [44].

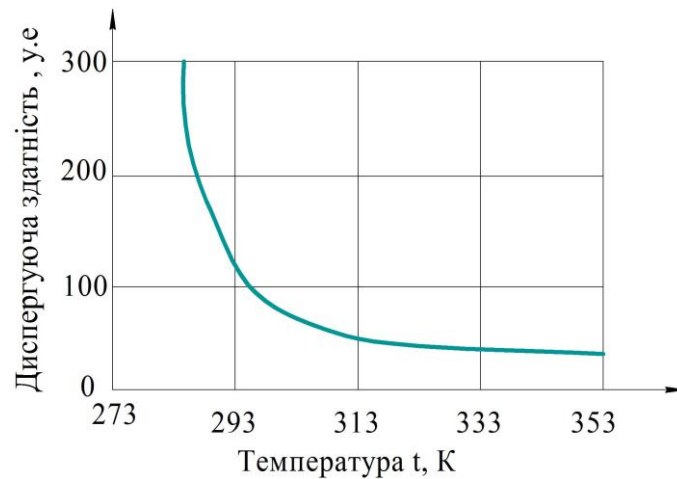


Рис.1.7. Вплив температури охолоджуючої рідини на диспергуючу здатність

Попередження утворення шламу можливо тільки при високих диспергуючих властивостях оливи. При температурі нижче критичної різко підвищується темп зносу деталей в процесі інтенсифікації рідинної корозії [45]. 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 і трансмісійних олив при знижених температурах навколишнього повітря (зимовий період) дещо зменшується у порівнянні з інтенсивністю зміни в умовах підвищених температур [46-48]. Це пояснюється тим, що при низьких температурах практично відсутнє забруднення оливи частками дорожнього пилу.

1.2.3 Показники бракувань олив силових агрегатів транспортних машин, що експлуатуються в умовах кар'єрів та сільськогосподарського виробництва.

Під показником бракування розуміють значення експлуатаційних показників робочої моторної та трансмісійної оливи, досягши який вони більше не забезпечують надійну роботу силового агрегату і необхідно проводити заміну робочої оливи в ньому [49]. 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 олив, різні автори [50-52] віддають перевагу різним критеріям придатності олив для роботи в силових агрегатах ТМ. Немає єдиної думки відносно самих показників бракувань і їх критичних значень. В якості показників для бракування оливи пропонуються [53-55] 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 [46, 56, 57]. 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 [62].

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 оливо при їх експлуатації, хоча і приймаються, як правило, одні і ті ж показники властивостей оливо: 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 ТМ і дозволяє мати інформацію про його зношуваність. Отже, питання старіння моторних і трансмісійних оливо є нагальним для різних умов їх експлуатації, в силових агрегатах підвищеної потужності ТМ, незважаючи на те що удосконалюються і самі силові агрегати і призначені для них оливи.

1.3 Аналіз присадок та добавок, що покращують властивості і показники робочих оливо транспортних машин

Моторна і трансмісійна оливи в силовому агрегаті ТМ призначені для утворення стійкої мастильної плівки на робочих поверхнях спряжень деталей, для утворення умов мінімального тертя і запобігання їх зношування. Щоб покращити експлуатаційні властивості і показників оливо використовуються різні присадки [58-62]. Вони поділяються на наступні типи: в'язкісні, що покращують в'язкісно-температурні властивості оливо; 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" перетвореннями.

Протизношувальні та протизадиркові присадки (табл. 1.6) створюють на поверхнях тертя адсорбційні, хемосорбційні плівки, а також композиційні плівки хімічних сполук присадок з металом [63-65].

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 присадки містять композиційні сполуки, які одночасно містять *S* і *Cl* [58, 63], а протизношувальні присадки – композиції з хімічних елементів *P, S, Cl* [66, 67]. При цьому вони 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; з композиції металів та елементоорганічних сполук. За своєю дією на поверхні тертя [68] 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. Найбільшим поширеною є присадка ЛЗ-301 [69]. 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 [70], 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) [71, 72].

На увагу заслуговують три основних класи антифрикційних присадок (АФП) [18, 25, 73, 74]: модифікатори тертя; реметалізанти; кондиціонери металу. Перший клас є найбільш поширеним і представлений препаратами: Аспект-модифікатор (Росія), РТФЕ (США), 8Х747 (США), Фриктол (Україна), Молитранс (Росія), Motorola (США), Хадо (Україна) STP з ХЕР₂ (США), VP-357 (Німеччина) та ін. Позитивний вплив цих присадок пов'язують з антифрикційними і протизносними властивостями моторної

оливи. При попаданні найдрібніших частинок цих продуктів в спряження деталей обумовлює утворення захисного шару, що перешкоджає безпосередньому контакту поверхонь тертя [75-77]. Зовсім інший механізм дії закладено в присадках на основі оливоорозчинних сполук молібдену (Фриктол, Молитранс, Молиприз та ін.).

На практиці використовують оливоорозчинні беззольні антифрикційні присадки, що мають сірку, фосфор, азот. Вони утворюють міцні адсорбційні шари на поверхні тертя з полярною будовою і "хвостовою" частиною молекул присадки [67]. В якості антифрикційної присадки застосовують графіт спільно з дисульфідом молібдену [78, 79]. Ряд моторних оливо Marly (Бельгія) і присадок до них, містять у своєму складі цю композицію.

У важких умовах експлуатації спряжень деталей при додаванні присадок в моторну та трансмісійну оливи можуть спостерігатися ефект самоорганізації [80, 81]. Він регулює процеси зносу і регенерації поверхонь тертя вибірконим переносом без технічного обслуговування. Відомі присадки [70, 82, 83] 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 [63]. 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 острівці. Частинки присадки формують на поверхні трибоконтакту нові зносостійкі дрібнодисперсні структури. Вони які сприяють встановленню оптимального зазору в спряженнях деталей двигуна і трансмісії при визначеному режимі функціонування, мінімізації сил і

моментів тертя, зменшенню зносу [84]

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 ТМ.

На увагу заслуговують препарати ER (США), MILITEC - 1 (США) і FENOM (Росія). Кондиціонери металів, як складні органічні термоактивуючі препарат в зоні тертя формують захисну плівку (близько 25 нм) з хімічно чистого заліза (ER) і фаз вуглецю в алмазоподібному стані (RENOM) [85, 86]. 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% [87-89].

Геомодифікатори тертя (ГМТ) по характеру впливу на поверхню деталей спряжень силових агрегатів ТМ. ГМТ подібні до природних мінералів ультраосновних порід [90, 91]. Виробниками продуктів даного класу є НПО "РЦС Промремонт" (Росія) і 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 [92]. 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-залізного силікату (серпентину $Mg_6[(Si_4O_{10})(OH)_8]$, олівінів, кінцевими фазами якого є форстерит (Mg_2SiO_4) і фаяліт (Fe_2SiO_4), а також, в невеликих кількостях, кремнезему SiO_2 і доломіту $CaMg(CO_3)_2$ [93, 94]. 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 автори в роботах [95, 96] 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 трибокатої карбонізації, графітізації 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 $Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$ [93].

Виявлено, що в основі фрикційних геомодифікаторів лежить велика група мінералів, які мають аналогічний хімічний склад, де магній може бути замінено залізом та нікелем [97, 98]. 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 роботах [93-95] дано рекомендації ефективного їх використання при розробці триботехнологій відновлення.

Хімічна складова утворення металокерамічного шару з геомодифікаторів в певній мірі розроблена в роботі [96], 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.

1.4 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 ТМ. 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 та трансмісійних олив, відомі випадки, коли одні присадки погіршують дію інших [97-99], а взаємопосилююча 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 ТМ [100].

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 в'язкісно-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 [101].

Питання про термін служби моторних і трансмісійних олив актуальне і викликає суперечки серед дослідників. Насьогодні немає єдиної думки про оптимальні терміни служби моторних і трансмісійних 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 та трансмісійної олив і, отже, на швидкість зношування деталей силових агрегатів ТМ [102].

Більшість дослідників [103-105] 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 ТМ 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 ТМ, 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 [96, 106-107]. Щоб зменшити тертя і зношування спряжень

деталей силових агрегатів ТМ використовуються оливи з хорошими в'язкісно-температурними властивостями, що забезпечують нормальний пуск і надійну роботу силового агрегату в подальший період.

Для нейтралізації корозійно-агресивних продуктів, що нагромаджуються в оливі в процесі її роботи, в ній варіюється вміст детергента. При цьому враховуються умови роботи оливи, особливості конструкції силового агрегату ТМ і специфіки його експлуатації. Концентрація миючих присадок не повинна бути дуже великою. Інакше може виникнути підвищене абразивне зношування через високу зольність оливи [108, 109].

Для підвищення надійності роботи силового агрегату ТМ використовуються також і інші способи, що приводять до зниження зносу [110-112]. 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 і трансмісійних олив в силових агрегатах ТМ [34, 105]. 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 робіт [105, 113] вказує на те, що зменшення вмісту миючих присадок в оливі 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 і трансмісійних 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 та трансмісійних 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, запобігаючі спінюванню оливи; миючі-диспергуючі присадки, що перешкоджають відкладенню продуктів окиснення на деталях силових агрегатів.

За аналізом даних робіт [32, 35, 105, 114] встановлено, що існує два способи підвищення експлуатаційної надійності силових агрегатів ТМ, працюючих без розбирання в процесі експлуатації. Це такі як вплив присадками на роботу моторних і трансмісійних олив у спряженнях деталей та зменшення зносу при нестационарних режимах роботи "пуск-зупинка" методом подачі оливи перед початком пуску силового агрегату [56, 115]. У процесі експлуатації ТМ моторна і трансмісійна оливи в їх силових агрегатах зазнає постійних змін, характер і величина яких залежить від умов експлуатації ТМ і властивостей самих олив [40, 44, 116].

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 свіжого оливи і чим далі зайшов процес старіння, тим більші затрати енергії потрібні для її відновлення [117-120]. 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 та основні завдання

Аналіз умов роботи ТМ, які працюють в жорстких нестационарних умовах відкритих кар'єрів та агропромислового виробництва, силових агрегатів та моторних і трансмісійних олив, методів підвищення довговічності та терміну заміни, дозволив зробити наступні висновки:

1. Аналіз умов роботи ТМ, зроблений на базі кар'єрів та підприємств СГВ Кіровоградської обл., дозволяє стверджувати, що вони працюють в безперервному нестационарному режимі роботи та режимі "пуск-зупинка" при великих навантаженнях і малій швидкості руху, рух при складному профілю автомобільних доріг, русі з вантажем на підйом, експлуатація в умовах запиленості між верхньою і нижніми відмітками кар'єру, що характеризує як надважкі умови експлуатації, які негативно впливає на ресурс трансмісійної та моторної оливи.

2. Виявлено що трансмісійні і моторні оливи при роботі силових агрегатів ТМ піддаються комплексній дії високої температури, знакозмінному навантаженню, кисню повітря, продуктів згоряння палива, зношування деталей основних спряжень двигуна і трансмісії і сторонніх домішок, що потрапляють через впускний колектор. Зазначене сприяє погіршення якості оливи, яке полягає у зміні фізико-хімічних показників та експлуатаційних властивостей, що зменшує термін її використання.

3. Значення фізико-хімічних показників якості працюючої оливи являє собою комплексну інформацію про знос спряжень деталей силових агрегатів ТМ та термін заміни оливи, а отже і експлуатаційної надійності в цілому.

4. Виявлено, що моторні і трансмісійні оливи в силовому агрегаті ТМ

утворюють на робочих поверхнях деталей мастильні плівки, що забезпечують мінімальне тертя і запобігають зношуванню. Експлуатаційні властивості та показники робочих олів істотно покращують різні типи присадок. Наведено їх впливи на оливу і робочі поверхні деталей. Особливу увагу впливу на ресурс олів і силового агрегату ТМ приділено синтезу композиційних присадок на основі геомодифікаторів, визначено їх комплексність дії, економічності та перспективності. Показано, що недостатньо досліджено механізм дії таких присадок як між компонентами, так і на робочу поверхню деталей та при формуванні антифрикційних покриттів або плівок, а також приповерхневих шарів оливи з особливими властивостями.

Зазначено гранично-допустимі значення фізико-хімічних показників робочих олів та їх експлуатаційні властивості, термін заміни олів. Показано, що режими експлуатації силових агрегатів впливають на зміну показників якості олів.

У відповідності до наведених висновків метою роботи є підвищення довговічності силових агрегатів транспортних машин, що працюють в жорстких умовах експлуатації, на основі закономірностей зміни показників, властивостей робочих олів та режимів роботи рухомих спряжень деталей при модифікуванні олів 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, при використанні геомодифікаторів, на показники і властивості робочих олів та довговічність рухомих спряжень деталей силових агрегатів транспортних машин;

- запропонувати синтез ефективної композиційної присадки на основі геомодифікатора, внесення якої в моторну та трансмісійну оливу, надасть їм

необхідного комплексу експлуатаційних характеристик та властивостей й підвищить довговічність силових агрегатів транспортних машин;

- в лабораторних та стендових умовах провести дослідження показників та властивостей модифікованих робочих олив силових агрегатів;

- провести експлуатаційні дослідження впливу запропонованої композиційної присадки на характеристики та властивості робочих поверхонь спряжень деталей й оцінити ресурс силових агрегатів транспортних машин;

- дати техніко-економічне обґрунтування доцільності використання композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1 та розробити рекомендації експлуатаційним службам підприємств по підвищенню довговічності силових агрегатів транспортних машин.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПЛИВУ КОМПОЗИЦІЙНОЇ ПРИСАДКИ НА ОСНОВІ ГЕОМОДИФІКАТОРА НА ДОВГОВІЧНІСТЬ РУХОМИХ СПРЯЖЕНЬ ДЕТАЛЕЙ СИЛОВИХ АГРЕГАТИВ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН

2.1 Фізична модель дії композиційної присадки на основі геомодифікатора, внесеної в оливу, на робочі поверхні рухомих спряжень деталей

Мастильні властивості олив покращують раціональними величинами концентрації поверхнево-активних речовин (ПАР) функціональних присадок, які на робочих поверхнях деталей формують міцні полімолекулярні шари, запобігаючи інтенсивному зношуванню в широкому діапазоні навантажень, швидкостей і температур в спряженнях деталей ТМ [35, 96, 121]. 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 [122, 123]. 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 [97, 124]. 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).

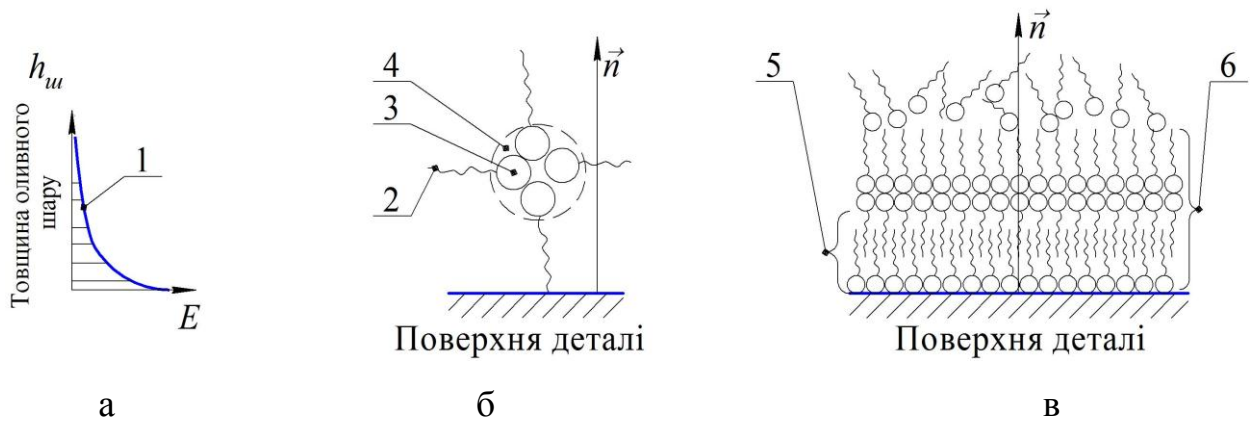


Рис.2.1. Характер зміни кривої силового поля робочої поверхні деталі (а) та схеми взаємодії молекулярної структури компонент композиційної присадки з поверхнею тертя (б) і формування полімолекулярного шару (в): 1 – крива силового поля поверхні тертя; 2, 3 – вуглеводневий радикал та полярно-активна частина 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 і трансмісійних олив виявлено, що концентрації присадок в них перевищують порогові значення [33], 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 [105].

Дослідження показали [78], 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 [124, 125]. 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. Виявлення цієї властивості можливе використанням непрямих методів оцінки характеристик та властивостей олив [126]. 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).

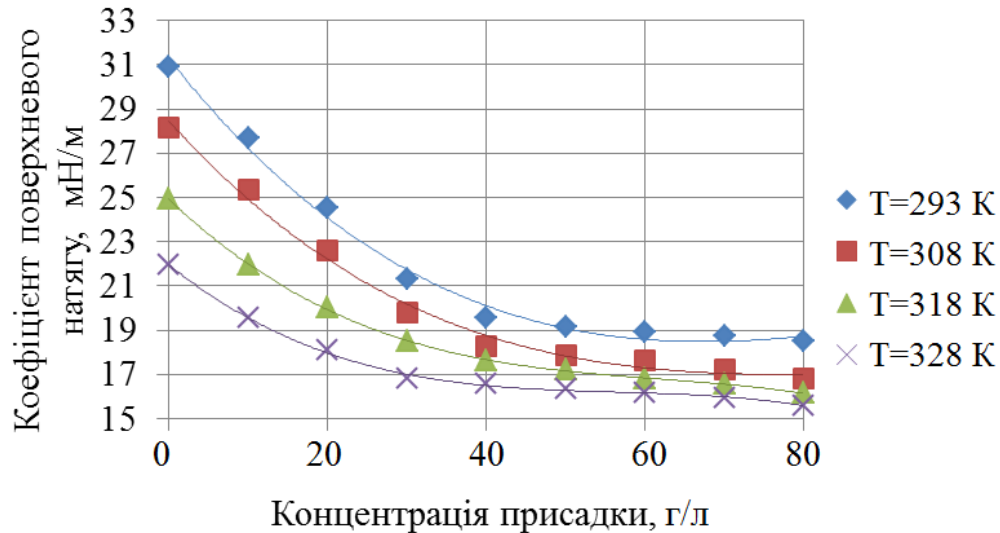


Рис. 2.2. Ізотерми коефіцієнта поверхневого натягу моторної оливи М-10Г₂к з додаванням композиційної на основі присадки геомодифікатора КГМТ-1

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. Немонотний 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 [127]. Поверхневу активність композиційної оливи по Гіббсу $d\sigma_n/dC_v$ можна апроксимувати лінійною залежністю:

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

де $\sigma_{он}$, 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 [35, 37]. 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 [82] під час їх адсорбції на робочих поверхнях деталей (рис. 2.3).

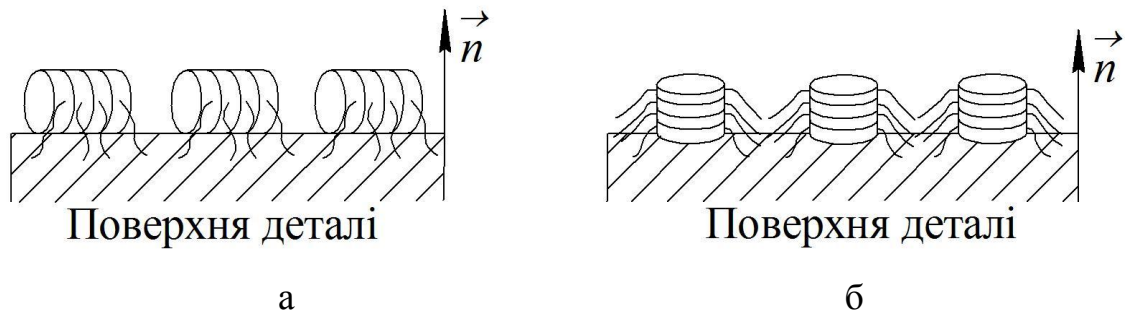


Рис. 2.3. Схеми розташування асоціатів молекул композиційної оливи на поверхні тертя деталей спряжень: а – асоціати орієнтуються паралельно робочій поверхні деталі; б – асоціати орієнтуються у напрямку перпендикулярному до робочої поверхні деталі

Схема зображена на рис. 2.3, а переважно реалізується при концентраціях присадки гліцерату міді $C_v = (C_{v\min}; C_{vopt})$, а на рис. 2.3, б- $C_v = (C_{vopt}; C_{v\max})$. 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 [78]. Ефективність дії композиційних олив на поверхню деталі залежить від їх фізико-хімічних характеристик та властивостей [57]. Експериментальні дослідження коефіцієнта тертя [41, 42] 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. При подальшому збільшенні концентрації присадки довгі осі молекул орієнтуються перпендикулярно робочих поверхонь деталей, збільшуючи коефіцієнт тертя, тобто формується тенденція до реалізації стану облітерації в спряженнях деталей [124].

В'язкість композиційної оливи монотонно зростає із зростанням концентрації присадки C_v [53], 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 [91, 95, 97] і пояснюється особливостями структуризації та асоціації компонентів композиційної присадки на основі геомодифікатора [9]. 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 [128]. Такий стан композиційної оливи можна описати моделлю Шведова-Бінгама.

У деяких композиційних олив структурний каркас в області переходу до встановленої межі плинності руйнується так інтенсивно, що напруження зсуву не підвищується, а знижується, при збільшенні швидкості зсуву.

Зазначене свідчить, що основний вплив на стабільність композиційних олив, здійснює не величина концентрації присадок, а міра їх надмолекулярної асоціації.

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 [43, 95]. 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 [107, 129]. 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 [130, 131]. 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 [132]. Такий стан є нестійким і швидко релаксує, переходячи до початкового стану, поетапно створюючи реакційноздатні сполуки, що мають радикальну, іонорадикальну або іонну структуру [102, 110], а також вторинних структур.

Зазначені процеси супроводжуються емісією електронів з поверхні тертя в композиційну оливу [99]. 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 приповерхневий шар в результаті золь-гель фазових перетворень (рис. 2.4).

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 [77, 100], 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.

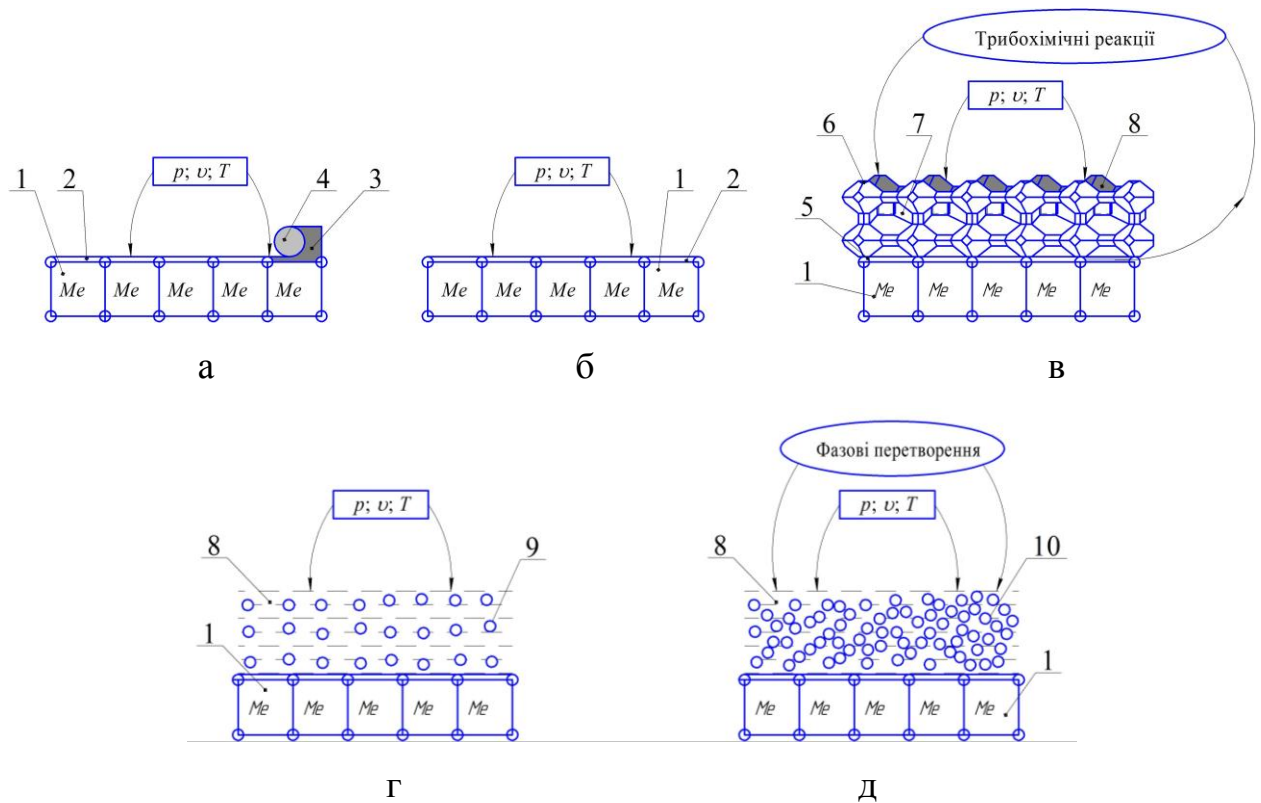


Рис.2.4. Схема зміни станів поверхневого шару матеріалу деталей рухомих спряжень в умовах, що визначаються параметрами p , v , T (тиск, швидкість руху, температура): підготовчий (а); з ювенільною поверхнею (б); з добудовою кристалічних ґраток основи деталей ґратками антифрикційної плівки матеріалу (в); 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

Зазначимо, що під захисною антифрикційною плівкою формується перенасичений дислокаціями поверхневий шар матеріалу деталі внаслідок дії груп молекул складових активних компонентів присадки [63]. 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 [6].

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

Зниження тертя під дією композиційних присадок, внесених в моторну та трансмісійні оливи, можна пояснити з позицій теорії дискретного тертя [21, 59, 60] та зміни його режиму змащення (рис. 2.5).

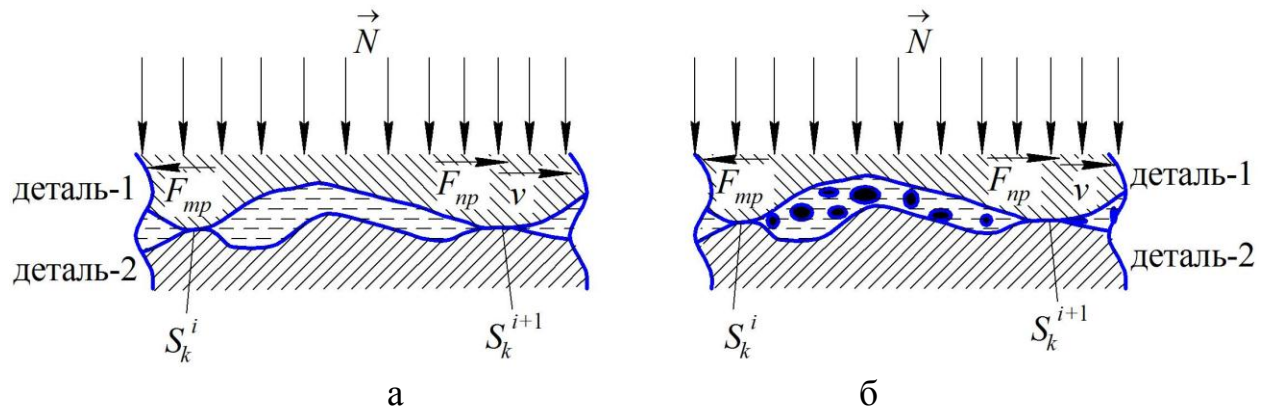


Рис.2.5. Схема переходу режиму змащення в рухомих спряженні деталей із змішаного (а) в граничний (б) з присутністю композиційної присадки на основі геомодифікатора: \vec{F}_{mp} – сила тертя; \vec{F}_{np} – сила проорювання поверхні тертя; N – нормальне навантаження; v – швидкість ковзання; S_k^i , S_k^{ii}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

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

$$F_{mp} = S_k (\alpha_k \sigma_k^{mg} + (1 - \alpha_k) \sigma_k^{zp}) + F_{np}, \quad (2.6)$$

де α_k – частка площі, на якій здійснюється контакт рухомих деталей; σ_k^{zp} – міцність контакту на зріз; S_k – 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 [64];

– 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:

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

де α_{κ}^p , α_{κ}^{me} , α_{κ}^{nl} – частки площ рідинного, твердого адгезійного і твердого, покритого плівкою з речовини присадки, контактів:

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

Коефіцієнт тертя для рухомих спряжень деталей з композиційною оливою дорівнює:

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

де f_p , f_{me} , f_{nl} – складові коефіцієнтів тертя для рідинного, твердого адгезійного і твердозмащувального 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 твердозмащувальному контактах, то переважаюча роль в зниженні загального коефіцієнта тертя відводиться змащувальному механізму, а тому композиційна присадка повинна мати компоненти, що взаємно підсилюють дію одна одної, згідно синергетичної концепції [65].

Оскільки циліндро-поршнева група (ЦПГ) силових агрегатів ТМ 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 [96, 102], згідно принципу

Деламбера, можна описати системою диференціальних рівнянь гідродинаміки. Такі рівняння гідродинаміки існують у формі Лагранжа, Нав'є-Стокса і Ламе [91, 116]. При розгляді режимів змащення їх інтегрування бажано проводити у формі Рейнольдса:

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

де p – тиск, v – швидкість відносного переміщення, x, h_{uu} – 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:

$$p = \frac{6\eta v x}{h_{uu}^2}. \quad (2.11)$$

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 [44, 46, 51].

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

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

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

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 [128]:

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

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

$$h_{ui} = \sqrt{\eta v b_k / \bar{p}_{k-z}} = b_k \sqrt{S_0}. \quad (2.15)$$

Товщину шару оливи можна оцінити і за її електропровідністю:

$$h_{ui} = \chi \cdot S_{\sigma} / G_{el}, \quad (2.16)$$

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

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

$$R_{el} = b_k \cdot \sqrt{S_0} / \chi \cdot S_{\sigma}. \quad (2.17, a)$$

При цьому коефіцієнт тертя дорівнює:

$$f_{mp} = \eta \cdot v / \bar{p}_{k-z} \cdot b_k \cdot \sqrt{S_0}. \quad (2.17, б)$$

Для аналізу режимів змащення [102], 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:

$$S_0 = \left(\frac{D}{2\Delta} \right)^2 \cdot \left(\frac{\eta \cdot \omega}{2\pi} / p \right) = \frac{D^2 \eta \omega}{8\pi \Delta^2 p}, \quad (2.18)$$

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

Формула (2.18) дає можливість управляти режимами змащування в системах рухомих спряжень деталей силових агрегатів, модифікуванням композиційної присадки на основі геомодифікатора, змінюючи в'язкість моторної та трансмісійної олив.

Динамічна в'язкість дисперсних систем якими, є моторна і трансмісійна олива, що містять частинки компонентів композиційної присадки та частинки зносу збільшується із зростанням вмісту такої дисперсної фази [96].

Цей зв'язок виражається законом Ейнштейна:

$$\frac{(\eta_{np} - \eta_{zn})}{\eta_0} = k_{F_1} \cdot \varphi_1 + k_{F_2} \cdot \varphi_2 = \frac{k_1 V_{np} + k_2 V_{zn}}{V_0}, \quad (2.19)$$

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:

$$\frac{\eta_{np} - \eta_{zn}}{\eta_0} = \frac{k_1 V_{np} + k_2 V_{zn}}{V_0}. \quad (2.20)$$

Для сферичних частинок присадки і зносу $k_{F_1} = k_{F_2} = 2,5$ [89], маємо:

$$\eta_{np} = \eta_0(1 + 2,5\varphi_1); \quad \eta_{zn} = \eta_0(1 + 2,5\varphi_2). \quad (2.21)$$

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 Теоретичне обґрунтування закономірності зміни діагностичних параметрів оливи силових агрегатів з напрацюванням

2.3.1. Зміна стану приповерхневих шарів композиційної моторної і трансмісійної оливи.

Розглядаючи працюючі моторну або трансмісійну оливи, як

композиційну, можна вважати, що в процесі експлуатації вони знаходяться в стані нестійкої рівноваги, внаслідок надлишку сил поверхневого натягу на межі "олива-частинки компонентів присадки". При цьому величина надлишкових сил пропорційна площі поверхні поділу і має тенденцію до зростання зі зменшенням середнього розміру частинок компонент композиційної присадки.

Будь-які процеси, що протікають в моторній або трансмісійній оливі можливо охарактеризувати набором їх одиничних діагностичних показників та експлуатаційних властивостей. В процесі експлуатації в оливах утворюються кислі, лужні, в'язкі продукти та тверді продукти зносу деталей спряжень двигуна та трансмісії ТМ, які потрапляють в оливу [107]. Одночасно в оливі відбувається спрацьовування компонент композиційних присадок або витрачання ними природних ПАР, що перешкоджає протіканню термохімічним та фазовим перетворенням (наприклад, "золь-гель").

Внутрішня енергія моторних і трансмісійних олив, в основному, змінюється в результаті попадання в них твердих частинок [133] компонентів композиційної присадки та зносу робочих поверхонь рухомих спряжень деталей:

$$dU = dU_{np} + dU_{zn} = w_{np} dS_{np} + w_{zn} dS_{zn}, \quad (2.22)$$

де w_{np} , w_{zn} – щільність поверхневої енергії на межі поділу рідкої і твердої фаз, Дж/м², частинок присадки і частинок зносу деталей; S_{np} , S_{zn} – величина поверхні поділу "частинка присадки-олива" і "частинка зносу-олива", м².

Повні поверхні цих поділів можна оцінити за формулами:

$$dS_{np} = 0,25\bar{d}_{np}^2 \cdot dN_{np}; \quad dS_{zn} = 0,25\bar{d}_{zn}^2 \cdot dN_{zn}, \quad (2.23)$$

де \bar{d}_{np} , \bar{d}_{zn} – усереднені діаметри частинки присадки і частинки зносу в оливі, м; N_{np} , N_{zn} – кількість твердих частинок присадки і зносу, од.

Зміни станів, що відбуваються, в моторній і трансмісійній оливах

можуть бути виражені у відсотковому співвідношенні, змін внутрішньої енергії зазначених процесів, або зміни ентропії системи в часі пропорційно інтенсивності фізичних перетворень.

Загальна зміна внутрішньої енергії при врахуванні динамічних процесів має вигляд:

$$dU_{\Sigma} = 0,25w_{np}\bar{d}_{np}^2 dN_{np} + 0,25w_{zn}\bar{d}_{zn}^2 dN_{zn} + f_{mp}(dU_{zn} - dU_{np} + dU_{\kappa}), \quad (2.24,a)$$

де f_{mp} – коефіцієнт тертя.

При досягненні межі працездатності, очевидно, матиме місце рівновага:

$$dU_{np} = dU_{zn} + dU_{\kappa}. \quad (2.24,b)$$

Отже, незалежно від підходу, об'єктивне уявлення про стан моторної та трансмісійних олив можна отримати на підставі оцінки ступеня термохімічних та фазових перетворень або ж здатності оливи запобігати їм [43]. Інтенсивність зміни станів та показників якості моторної та трансмісійної олив знаходиться в прямій залежності від терміну служби силового агрегату ТМ: різко змінюється в перший період припрацювання з оливою, стабілізується в другому і поступово змінюється в третьому періоді. При цьому встановлюються допустимі величини швидкості витрат оливи і значення параметрів її якості, особливо діагностичних параметрів, що обмежують можливість подальшого використання моторної або трансмісійної олив.

2.3.2. Швидкість надходження продуктів зношування деталей спряжень силових агрегатів до олив з напрацюванням

Вміст продуктів зношування (нерозчинні домішки) у моторну (трансмісійну) оливу визначається виразом:

$$C_{zn} = \frac{m_{zn}}{m_0} \cdot 100\%. \quad (2.25)$$

Закономірність зміни вмісту продуктів зношування в моторній (трансмісійній) оливі в часі апроксимуються експоненціальною залежністю:

$$C_{zn} = C_{zn0} \exp(k_p T / V_p), \quad (2.26)$$

де C_{zn0} – початкова концентрація продуктів зношування, од/м³ ($C_{zn0} = const$); k_p – константа швидкості реакції утворення продуктів зношування, м³/год.; T – напрацювання, год; V_p – робочий об'єм оливи в системі змащення двигунів, м³.

Початкова забрудненість моторної оливи C_{zn0} виникає при транспортуванні, зберіганні та заправці за рахунок зовнішніх забруднень, що потрапляють при роботі силового агрегату ТМ через негерметичні з'єднання [134].

Вміст продуктів зношування змінюється залежно від ступеня фільтрації $C_{znф}$, витрачання моторної оливи на чад $C_{znч}$ і доливання свіжої оливи $C_{znдо}$. Якщо доливання свіжої оливи відбуваються через рівні проміжки часу (напрацювання), а швидкість витоків $v_ч$ постійна, то ступінь відновлення робочого об'єму $V_г$ за напрацювання T складе:

$$C_{он} = v_д T / V_p = k_{он} T, \quad (2.27)$$

де $v_д = v_г$ – швидкість доливу (витоків) моторних олив, м³/год; $k_{он} = v_д / V_p$ – коефіцієнт інтенсивності оновлення робочого об'єму, год⁻¹.

Якщо прийняти, що в реальних умовах експлуатації частина домішок продуктів зношування $C_{он}$ виноситься разом з витокami моторної оливи, а деяка частина видаляється засобами очищення $C_{znф}$, то баланс сумарної кількості частинок домішок в робочому об'ємі V_p після напрацювання T описується рівнянням:

$$C_{zn} = C_{zn0} \exp(k_{zn} T / V) - C_{znч} k_ч T - C_{znф} k_ф T \exp(k_{zn} T / V) + C_{znдо} k_{до} T, \quad (2.28)$$

де C_{zn} – поточна концентрація частинок спрацювання робочих поверхонь деталей, од/м⁻¹; $C_{znч}$ – концентрація частинок домішок витрачаються при чаді моторної оливи, од/м⁻¹; $C_{znф}$ – кількість частинок, що видаляються фільтрами з одиниці робочого об'єму, од/м³; $C_{znдо}$ – концентрація частинок домішок потрапляють при доливі моторної оливи, од/м³.

Вважаючи, що концентрація продуктів зношування в робочому об'ємі V_p моторної оливи характеризується обсягом твердої фази, то величину початкового вмісту частинок зносу $C_{зн0}$ в рівнянні (2.28) можна виразити через об'єм продуктів зношування $V_{зпp}$:

$$V_{зн} = V_{зн0} \exp(k_p T / V) - V_{зпч} k_ч T - V_{зпф} k_ф T \exp(k T / V) + V_{зпдо} k_{до} T. \quad (2.29)$$

Величини коефіцієнтів фільтрації $k_ф$ і ступеня доливу $k_{до}$ залежать від коефіцієнта інтенсивності чаду $k_ч$ моторної оливи і, отже, можуть бути охарактеризовані коефіцієнтом інтенсивності оновлення робочого об'єму $k_{он}$. При цьому приймаємо, що значення коефіцієнтів $k_ф = k_ч = k_{до} = k_{он}$.

Перетворюючи вираз (2.29), отримаємо величину зміни продуктів зношування в робочому об'ємі оливної системи за період її експлуатації:

$$\exp\left(\frac{k_p T}{V}\right) = \frac{V_{зн} + (V_{зпч} k_ч - V_{зпдо} k_{до}) T}{V_{зн0} - V_{зпф} k_ф T}. \quad (2.30)$$

Час, за який концентрація продуктів зношування досягне свого максимального значення визначається з виразів (2.28) і (2.30). Для цього необхідно прологарифмувати праву і ліву частини рівняння (2.30) і знехтувати процесами витрат на чад і фільтрацію, оскільки їх питома вага незначна:

$$T = \frac{V_p}{k_p} \ln\left(\frac{V_{зн}}{V_{зн0}(1 - S_g)}\right), \quad (2.31)$$

де S_g – ймовірність інших процесів, що впливають на процес надходження продуктів спрацювання поверхонь деталей силових агрегатів ТМ.

У виразі (2.31) коефіцієнт k_p характеризує закономірність зміни якості робочої моторної оливи в залежності від показника інтенсивності накопичення продуктів зношування деталей при експлуатації [135]. Його величина залежить від максимальної вмісту частинок зносу, за наявності якого моторна або трансмісійна олива вибраковується. У процесі експлуатації кількість домішок збільшується. Це відбувається з різною

швидкістю їх надходження до оливи, що залежить від таких факторів як ефективність роботи фільтрів, кількості доливної оливи, навантаженнями в двигуні і т.п. Коефіцієнт k_p в цьому випадку можна представити у вигляді:

$$k_p = \frac{V_\phi}{V_{\max}} \quad (2.32)$$

Аналізуючи вирази (2.31) і (2.32), зазначимо, що основними впливовими експлуатаційними чинниками є початковий рівень забруднення, ступінь оновлення робочого об'єму оливи і ефективність системи фільтрації [136]. Виявлено, що в реальних умовах експлуатації поточна концентрація механічних домішок від спрацювання деталей в моторній оливі значно менше теоретично очікуваної без урахування доливу, а ступінь оновлення залежить від інтенсивності чаду моторної оливи в силовому агрегаті. При стабілізації процесу утворення нових частинок зносу при додаванні в оливу композиційної, робоча концентрація може навіть знижуватися завдяки оновленню робочого об'єму оливи при доливах.

2.3.3. Спрацювання присадок, внесених до моторних і трансмісійних олив, з напрацюванням силових агрегатів транспортних машин.

Поряд з накопиченням продуктів зношування під час експлуатації в моторних і трансмісійних оливах знижується вміст присадок. Спрацювання присадок відбувається інтенсивно в перший, неусталений період експлуатації, завдяки підвищеній окиснюваності свіжої оливи з подальшою стабілізацією процесу, коли в оливі руйнуються найменш стабільні структури [137]. Потреба в антиокислювальній і миючій присадках при цьому значно знижується. Тому зниження вмісту присадок не завжди є необхідною умовою заміни оливи.

Залежність спрацювання присадок (без урахування долива) можна описати рівнянням:

$$C_{np} = C_{np0} \exp(-k_{np} T / V), \quad (2.33)$$

де C_{np0} – початковий вміст присадки; k_{np} – константа швидкості

спрацьовування, кг/год.

Зміна поточного значення вмісту присадки з напрацюванням T та урахуванням витрати на чад, витоків оливи і її доливу відбувається за закономірністю:

$$C_{np} = C_{np0} \exp(-kT/V_p) + C_{np0}k_{oo}T - C_{np0}k_uT - C_{np0}k_\phi T \exp(-k_\phi T/V_p), \quad (2.34)$$

де $k_{oo} = \frac{v}{V_p}$ – коефіцієнт частоти доливу моторної оливи в систему змащення, год⁻¹.

Величини коефіцієнтів фільтрації k_ϕ і ступеня доливу k_{oo} залежать від коефіцієнта інтенсивності чаду k_u моторної оливи і, отже, можуть бути охарактеризовані коефіцієнтом інтенсивності оновлення робочого об'єму k_o . При цьому приймаємо, що значення коефіцієнтів $k_\phi = k_u = k_{oo} = k_{on}$.

Перетворюючи вираз (2.34), отримаємо величину зміни концентрації присадок в робочому об'ємі системи за період експлуатації T :

$$\frac{C_{np}}{C_{np0}(1+k_{on}T)} = \exp\left(-\frac{k_p t}{V_p}\right). \quad (2.35)$$

Теоретичні залежності спрацьовування присадок моторних і трансмісійних олив отримані при наступних припущеннях:

- коефіцієнт оновлення робочого об'єму оливи залишається постійним при всій тривалості його роботи ($k_{on} = const$);
- доливання свіжої оливи зберігають працездатність на всьому досліджуваному проміжку часу;
- витоків в оливній системі не допускаються.

Це спостерігається при разовому або невеликій кількості доливу значних за обсягом порцій свіжого оливи з початковою концентрацією композиційної присадки [138]. У реальних умовах експлуатації долив проводиться систематично, невеликими порціями, а це вносить певні корективи в процес оновлення моторної та трансмісійної оливи.

З урахуванням систематичного доливу з інтервалом Δt порції $S_{oo} = k_{on}t$,

мінімальне стає значення, до якого прагне вміст присадок при тривалій роботі оливи, дорівнює:

$$\frac{C_{np}}{C_{np0}(1+S_{\partial o})} = \exp\left(-\frac{k_p t}{V_p}\right). \quad (2.36)$$

Час, за який вміст присадок досягне свого мінімального значення, визначається з виразу (2.36)

$$t = t_0 - \frac{V_p}{k_p} \ln\left(\frac{C_{np}}{C_{np0}(1-S)}\right). \quad (2.37)$$

Вважаючи, що вміст присадок в моторній оливі характеризується об'ємною часткою, вираз (2.36), можна виразити через поточний об'єм присадок V_{np} :

$$\frac{V_{np}}{V_{np0}(1+S_{\partial o})} = \exp\left(-\frac{k_p t}{V_p}\right). \quad (2.38)$$

Час, за який вміст присадок досягне свого мінімального значення, можна визначити з виразу:

$$T = T_0 - \frac{V_p}{k_p} \ln\left(\frac{V_{np}}{V_{np0}(1-S_{\partial o})}\right). \quad (2.39)$$

У виразі (2.35)-(2.39) коефіцієнт k_p характеризує залежність зміни якості оливи силових агрегатів ТМ від показника інтенсивності спрацьовування присадок при експлуатації. У процесі експлуатації концентрація присадок зменшується [139]. Це відбувається з різною швидкістю наростання і залежить від таких факторів як кількості доливаної оливи, навантаженням в двигуні, робота фільтрів. Коефіцієнт k_p в цьому випадку можна представити у вигляді:

$$k_p = \frac{V_{\phi}}{V_0}. \quad (2.40)$$

Отримані вирази дозволяють встановити, що в реальних умовах застосування моторної оливи концентрація присадки в ньому не зменшується нижче деякого значення, обумовленого величиною і частотою доливу свіжої оливи.

Для випадків, коли вміст присадки в оливі знижується при їх спрацюванні в процесі експлуатації силових агрегатів ТМ їх поточний вміст присадок C_{np} визначається виразом:

$$C_{np} = \left\{ 1 - \left[(v_{np} - v_{zn}) T / m_0 \right]^{v_{np} / (v_{np} - v_{zn})} (100 - C_{np0}) / 100 \right\} \cdot 100\%, \quad (2.41)$$

де C_{np0} – первісна концентрація присадок; v_{zn} , v_{np} – швидкості надходження продуктів зношування і спрацювання присадки.

Повне спрацювання присадок $C_{np}=0$ відбудеться за період експлуатації силового агрегату ТМ через T годин напрацювання:

$$T = \left[1 - \left(1 - \frac{C_{np}}{100} \right)^{\frac{v_{np} - v_{zn}}{v_{np}}} \right] \left(\frac{m_0}{v_{np} - v_{zn}} \right). \quad (2.42)$$

Час повного спрацювання присадок буде тим більше, чим вище величина початкової кількості оливи m_0 і чим менше величини швидкостей спрацювання присадки v_{np} , та накопичення частинок зносу v_{zn} [88].

У процесі експлуатації композиційна присадка спрацюється і в певний момент часу $T_{кр}$ її вміст стає рівною вмісту механічних домішок від зношування поверхневих спряжень деталей. При подальшій експлуатації вміст присадки знижується, а вміст продуктів зносу зростає (рис.2.6).

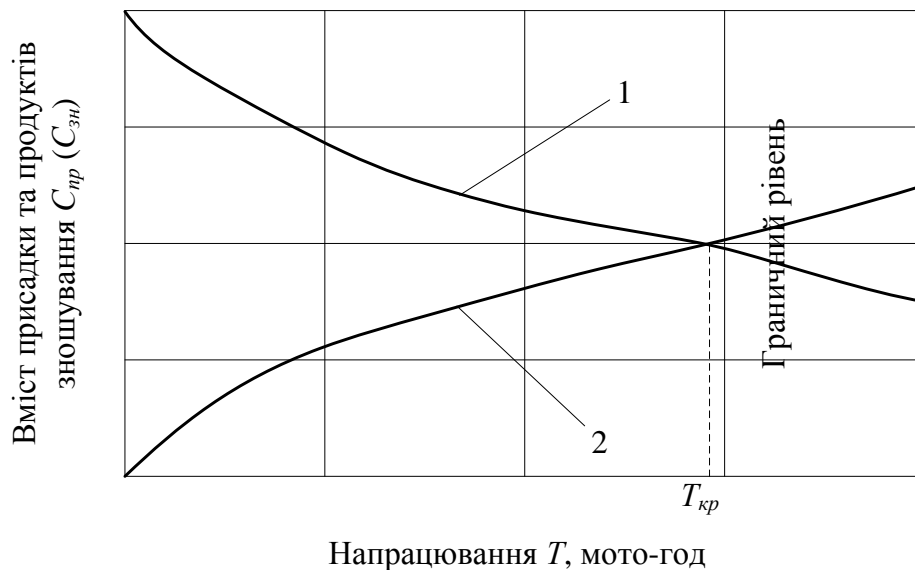


Рис.2.6. Вплив тривалості роботи моторної оливи на зміну вмісту:

1 – присадок; 2 – продуктів зношування [132]

Основними причинами стабілізації процесу старіння моторної та трансмісійної оливи є робота системи їх очищення та доливу свіжої оливи під час експлуатації. Враховуючи вищевикладене, можна стверджувати, що в певний момент експлуатації в моторній та трансмісійній оливах вміст продуктів зношування і вміст присадок змінюються до такого стану, що подальша експлуатація силових агрегатів на цій оливі неприпустима через високу ймовірність виникнення відмови.

2.4 Підвищення довговічності силових агрегатів транспортних машин покращенням властивостей моторної та трансмісійної оливи

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 і трансмісійній оливах, 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 $T \geq 0$ [12]:

$$f(T) = \lambda_T \exp(-\lambda_T T), \quad (2.43)$$

де λ_T – параметр інтенсивності спрацювання моторної та трансмісійної оливи за вектором діагностичних параметрів T їх стану.

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

Зміну властивостей моторних і трансмісійних оливи 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:

$$k_{зан} = 1 - k_{зн} k_{нр}. \quad (2.44)$$

Використовуючи отримані вирази зміни величини в'язкості (2.20, 2.39, 2.46) динаміки зміни концентрації механічних домішок, як продуктів зношування, спрацювання присадок та визначимо величину напрацювання до заміни оливи:

$$T = T_{нл} (1 - k_{зан}) \ln \left[\frac{(\eta - \eta_0) V_p}{2,5 \eta_0 (V_{мр0} + V_{нр0})} \right], \quad (2.45)$$

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

Формула (2.45) забезпечує моніторинг якості моторної оливи і дозволяє коригувати нормативне напрацювання дизеля ТМ 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, спрацювання присадок і накопичення механічних домішок.

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

$$V_{нр} = V_{нр0} (П_{лч} / П_{лч0}), \text{ або } V_{нр} = V_{нр0} (П_{кч0} / П_{кч}), \quad (2.46)$$

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

$$П_{лч} = П_{лч0} \exp(-b_{лч} t); \quad П_{кч} = П_{кч0} \exp(-b_{кч} t). \quad (2.47)$$

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

$$V_{zn} = V_{zn0} (C_{zn} / C_{zn0}), \quad (2.48)$$

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:

$$P_{оптц} = V_{zn} + V_{np} = V_p (C_{\phi} / C_{zn0}), \quad (2.49)$$

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

З урахуванням виразів (2.47) і (2.49) напрацювання дизеля ТМ до чергової зміни моторної оливи визначається за формулою:

$$T = T_{nl} - T_{nl} k_{зам} \ln \left[\frac{(\eta - \eta_0) V_p}{2,5 \eta_0 P_{оптц} \cdot 10^4} \right]. \quad (2.50)$$

Працездатність моторної оливи визначається стабільністю дисперсного її стану, що відображається формулою (2.46), 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 [4, 31].

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 центральний 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 [137].

Класична схема оливної системи володіє істотним недоліком – періодично в двигун надходить неочищена моторної олива 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 ТМ. 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 ТМ.

2.5 Підвищення зносостійкості рухомих спряжень деталей силових агрегатів транспортних машин

Усереднена величина зносу рухомих спряжень деталей силових агрегатів ТМ з модифікованою присадками оливою при напрацюванні t дорівнює:

$$\bar{u}(t) = \bar{u}_1(t) + \bar{u}_2(t), \quad (2.51)$$

де $\bar{u}_1(t)$, $\bar{u}_2(t)$ – знос спряження деталей в базовій та модифікованій оливах:

$$\bar{u}(t) = \bar{u}_1(t) + \bar{u}_2(t) = \delta_{1-2}, \quad (2.52)$$

де δ_{1-2} – зазор між спряженими деталями, який при напрацюванні зростає.

Використаємо найбільш поширений вид функції зв'язку зносу деталей та їх спряжень з напрацювання (пробігом) транспортних машин [140, 141]:

$$u = K_p \cdot t^{\alpha_{I_u}}, \quad (2.53)$$

де K_p – коефіцієнт, що залежить від режиму роботи спряження; α_{I_u} – показник зміни інтенсивності його зношування. При цьому швидкість зносу дорівнює:

$$du(t)/dt = \alpha_{I_u} \cdot K_p t^{\alpha_{I_u}-1} - K_p m_{np}(t), \quad (2.54)$$

де перший доданок характеризує швидкість зносу спряження деталей в базовій моторній оливі, а другий – при додаванні присадки. При цьому зміна маси присадки в оливі з напрацюванням становить:

$$m_{np}(t) = m_{np0} \exp((-I_u/V_M \rho_M) \cdot t), \quad (2.55)$$

де m_{np0} – початкова маса присадки; V_M – об'єм мастильного матеріалу; ρ_M – густина мастильного матеріалу; I_u – інтенсивність зношування деталей.

Враховуючи (2.55) в рівнянні (2.54), маємо:

$$u(t) = \int_0^t \alpha_I K_p t^{\alpha_I - 1} dt - \int_0^t K_p m_0 \exp\left(-\frac{I_u}{V_M \rho_M} t\right) dt = K_p t^{\alpha_I} - \frac{K_p m_0 \rho_M V_M}{I_u} \exp\left(-\frac{I_u}{V_M \rho_M} t\right). \quad (2.56)$$

Отриманий вираз являє собою математичну модель зносу спряження деталей силових агрегатів при використанні композиційних присадок до моторних і трансмісійних олив з активними компонентами. Виявлено [29], що зносостійкість деталей підвищується за рахунок сприятливої зміни діагностичних параметрів і властивостей моторної та трансмісійної оливи та періодичного формування на їх робочих поверхнях антифрикційної плівки, або формування приповерхневого мастильного шару з гель-зольним фазовим перетворенням [60].

Результати стендових та експлуатаційних випробувань силових агрегатів ТМ на досліджуваних композиційних оливі [130, 135] дають можливість, розв'язуючи рівняння (2.56), визначити їх ресурс. Для цього формулу швидкості зношування спряжень деталей подаємо у вигляді:

$$v_u(t) = v_{u0}(t) - v_{u1}(t) - v_{u2}(t), \quad (2.57)$$

де $v_{u0}(t)$, $v_{u1}(t)$, $v_{u2}(t)$ – швидкості зношування в оливі, до і після додавання присадки і формуванні антифрикційної плівки. Зміна швидкості зношування в таких умовах дорівнює:

$$v_{u1}(t) = a_1 \exp(-b_1 t), \quad v_{u2}(t) = a_2 \exp(-b_2 t), \quad (2.58)$$

де a_1 , a_2 – параметри ступінчастої зміни швидкості зношування: $a_1 = v_{u0} - v_{u1}$, $a_2 = v_{u0} - v_{u2}$; b_1 , b_2 – параметри, що характеризують тривалість збереження нанесеної антифрикційної плівки і зміни характеристик і властивостей базової оливи.

Враховуючи (2.58), вираз (2.57) набуває вигляду:

$$v_u(t) = v_{u0}(t) - a_1 \exp(-b_1 t) - a_2 \exp(-b_2 t). \quad (2.59)$$

Позначивши через $\varepsilon_1 = v_{u1}/v_{u0}$, $\varepsilon_2 = v_{u2}/v_{u0}$ – коефіцієнти, що характеризують відносну зміну швидкості зношування після модифікування оливи присадкою і враховуючи те, що $v_u(t) = du(t)/dt = \alpha K_p t^{\alpha-1} = k t^{\alpha-1}$, маємо:

$$v_u(t) = v_{u0} [K_p t^{\alpha-1} - (1 - \varepsilon_1) \exp(-b_1 t)] - (1 - \varepsilon_2) \exp(-b_2 t). \quad (2.60)$$

Приймаючи до уваги те, що під залишковим ресурсом спряження деталей t_R розуміють його напрацювання до досягнення граничного зносу, отримаємо:

$$v_{u_{zp}} = v_{u0} [K_p t_R^{\alpha-1} - (1 - \varepsilon_1) \exp(-b_1 t_R) - (1 - \varepsilon_2) \exp(-b_2 t_R)]. \quad (2.61)$$

Останнє рівняння дає можливість теоретично чисельними або графічними методами оцінити залишковий ресурс. Контролювати залишковий ресурс можливо здійснювати за швидкістю надходження частинок зносу в оливу та за зміною її діелектричної проникненості:

$$t_R = \frac{\Delta m_{\text{спан. Fe}}}{v_{Fe}} - t_0, \quad (2.62)$$

де t_0 – напрацювання до моменту дослідження; v_{Fe} – швидкість надходження заліза з частинками зносу в оливну систему силового агрегату:

$$v_{Fe} = d(\Delta m_{Fe}(t))/dt \approx (\Delta m_{Fe2} - \Delta m_{Fe1})/(t_2 - t_1), \quad (2.63)$$

де Δm_{Fe1} , Δm_{Fe2} – вміст заліза в моторній (трансмісійній) оливі при напрацюванні t_1 і t_2 .

Враховуючи дані вимірювання діелектричної проникності оливи, залишковий ресурс можна оцінити за формулою:

$$t_R = (\varepsilon_{zp} - \varepsilon) / I_{\varepsilon 0}, \quad (2.64)$$

де ε , ε_{zp} – граничне значення діелектричної проникності оливи; $I_{\varepsilon 0}$ – вимірювана інтенсивність зміни діелектричної проникності за попередній період.

Висновки до розділу 2

1. Запропонована фізична модель впливу композиційної присадки, в складі якої наявний геомодифікатор, внесеної в робочу оливу на поверхні рухомих спряжень деталей силових агрегатів транспортних машин. Виявлено, що компоненти присадки молекулами ПАР, взаємодіючи між

собою, утворюють різні за будовою і формою надмолекулярні структури, залежно від концентрації активних молекул та їх дипольного моменту. Основним чинником, що визначає процес адсорбції молекул композиційної присадки на поверхні тертя є асоціації активних молекул в об'ємі мастильного середовища.

2. Виявлено, що поблизу робочої поверхні деталей композиційні оливи проявляють властивості неньютонівської рідини і відповідно мають меншу кінематичну в'язкість та підвищується ефективна швидкість зсуву її шарів. Наведено відповідне диференціальне рівняння та його розв'язок, які свідчать, що в основі руху і теплообміну таких олив лежать пружно-пластичні деформації і реологічні властивості.

3. З'ясовано, що через структурні ускладнення шарів оливи з композиційною присадкою спостерігається схильність до поверхневого мезоморфізму. Цю властивість можливо виявити непрямыми методами оцінки характеристик та властивостей олив, наприклад за ізотермами коефіцієнту поверхневого натягу зі зміною концентрації композитної присадки. Показано, що поверхневу активність композиційної оливи по Гіббсу можливо апроксимувати лінійною залежністю і при оптимальних концентраціях асоціати орієнтуються паралельно робочій поверхні деталі.

4. В'язкість композиційної оливи монотонно зростає із зростанням концентрації присадки, це не суперечить лінійній залежності запропонованій А. Ейнштейном. Обґрунтовано стан композиційної оливи, який можна описати моделлю Шведова-Бінгана за допомогою структурного каркасу, який деформується при збільшенні швидкості зсуву. Показано, що на стабільність композиційних олив істотно впливає міра надмолекулярної асоціації й утворення антифрикційної плівки та реалізації фазового переходу "золь-гель" в приповерхневому шарі композиційної оливи.

5. Обґрунтовано зміну режимів тертя у рухомих спряженнях деталей з композиційним мастильним матеріалом. Формування плівки оливи на робочих поверхнях рухомих спряжень деталей, згідно принципу Делаμβера,

описано системою диференціальних рівнянь гідродинаміки у формі Рейнольдса. Використано гідродинамічну теорію М.П. Петрова та критерій Зоммерфельда. Отримано цей критерій для ресурсовизначальних спряжень двигуна. Він дає можливість управляти режимами змащення у рухомих спряженнях деталей силових агрегатів, модифікуванням композиційної присадки на основі геомодифікатора, змінюючи в'язкість моторної та трансмісійної оливи.

6. Обґрунтовано зміну стану приповерхневих шарів композиційної моторної і трансмісійних оливи. Показано, що в оливах протікають процеси які можливо описати сукупністю одиничних діагностичних параметрів та експлуатаційних показників їх властивостей. Це передусім утворення кислих, лужних, в'язких продуктів, продуктів зносу деталей спряжень та спрацювання присадки. Завдяки цим процесам змінюється внутрішня енергія оливи. Показано її зміну за допомогою зміни частинок присадки і зносу. Отримана умова рівноваги.

7. Встановлена закономірність швидкості надходження продуктів зношування деталей спряжень силових агрегатів до оливи з напрацюванням, а також спрацювання внесеної присадки. Показано, що ці закономірності мають експоненціальний, але зворотній характер. Графічне відображення цих закономірностей дає можливість оцінити напрацювання, при якому олива має граничний рівень.

8. Обґрунтовано, що термін використання моторної і трансмісійної оливи можливо комплексно враховуючи такі їх діагностичні параметри, як швидкість надходження продуктів зношування робочих поверхонь спряжень деталей силових агрегатів, швидкість спрацювання присадки, зміну лужного і кислотного чисел та в'язкість оливи. Запропоновано результуючий критерій у вигляді коефіцієнту запасу працездатності оливи та отримано формулу для оцінки терміну заміни оливи з урахуванням процесів долив свіжої оливи та фільтрації оливи.

9. Використовуючи закономірність зношування робочих поверхонь

деталей спряжень і спрацювання присадки отримано залежність величини зносу від напрацювання рухомих спряжень силових агрегатів транспортних машин. Враховані швидкості зношування деталей до додавання і після додавання композиційної присадки на основі геомодифікатора. Показано, що залишковий ресурс спряжень деталей можливо оцінити за швидкістю надходження заліза в оливу та її діелектричної проникності.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИ І МЕТОДИКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Програма та основні завдання експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження ґрунтуються на проведенні лабораторних, стендових та експлуатаційних випробувань показників і властивостей моторної та трансмісійної оливи, а також впливу композиційних присадок на основі геомодифікатора на довговічність силових агрегатів ТМ.

Для реалізації мети і розв'язання, сформульованих в даній дисертаційній роботі завдань розроблено схему їх вирішення (рис.3.1) та програму досліджень, яка включає наступні етапи:

1. Проведення аналізу технічного стану ТМ, що працюють в жорстких нестаціонарних умовах, їх вплив на роботу спряжень деталей силових агрегатів, спрацювання трансмісійної і моторної оливи. З'ясування змін фізико-хімічних показників і властивостей моторних та трансмісійних оливи з напрацюванням.

2. Теоретичне обґрунтування впливу жорстких нестаціонарних режимів роботи на показники і властивості оливи силових агрегатів ТМ, при їх модифікуванні присадками. Отримання діагностичної інформації про технічний стан силових агрегатів за моторною і трансмісійними оливами. Оцінка підвищення довговічності силового агрегату ТМ при використанні композиційних присадок на основі геомодифікатора в трансмісійній і моторній оливах.

3. Обґрунтування та вибір методів і методик експериментальних досліджень впливу композиційної присадки на основі геомодифікатора на показники і властивості моторної і трансмісійної оливи. Методи та методики дослідження поверхні рухомих спряжень зразків деталей, визначення площі плями контакту поверхні зразків в середовищі оливи модифікованої різними присадками. Вибір методів лабораторних досліджень моторної та

трансмiсiйної оливи з рiзними типами присадок на чотирикульковiй машинi тертя ЧМТ-1 та машинi тертя СМЦ-2 з електронним блоком визначення моменту тертя. Методика стендових випробувань силових агрегатiв на обкаточно-гальмiвному стендi КС-276-032. Методика експлуатацiйних випробувань на дослiджуваних пiдприємствах.

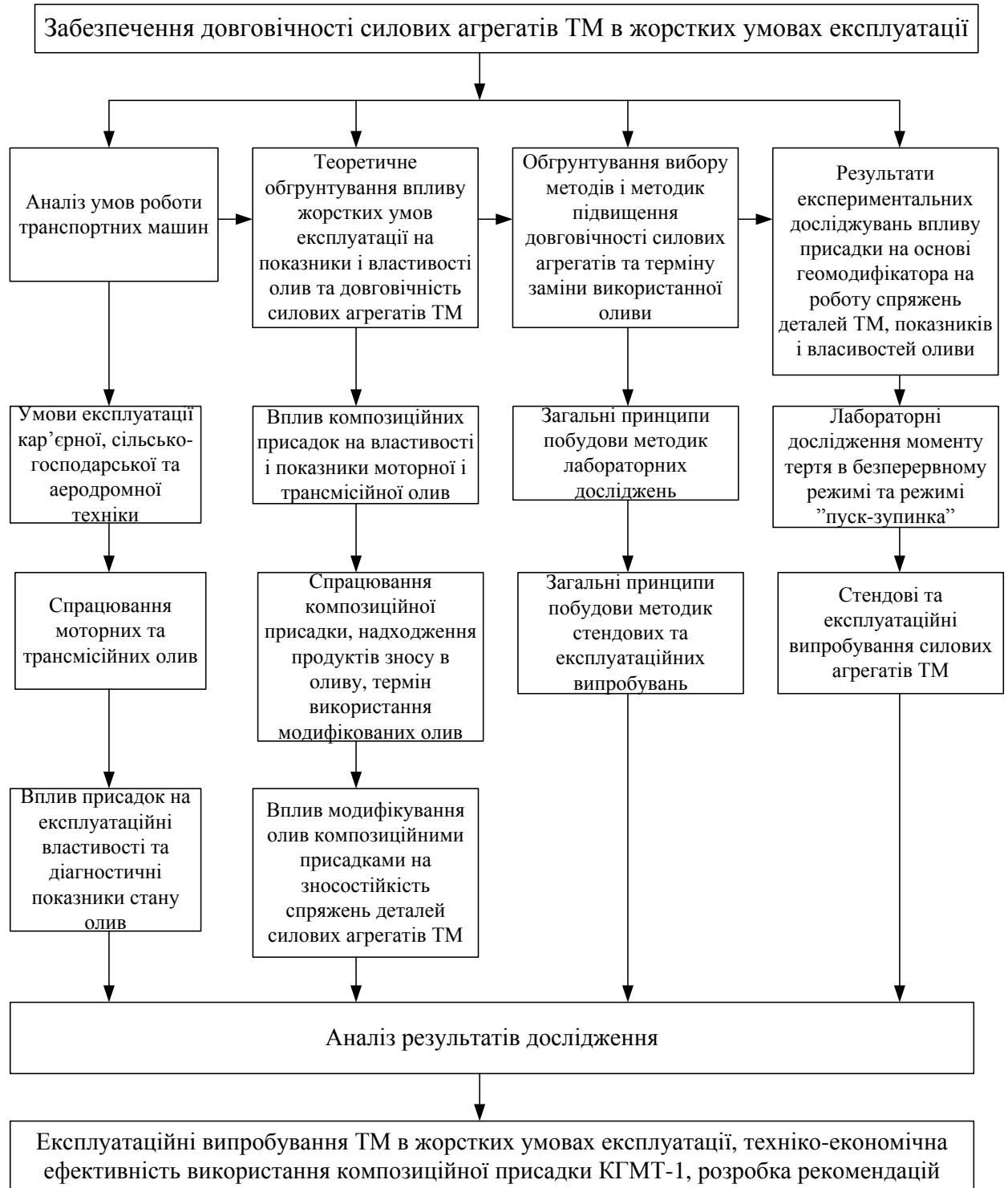


Рис. 3.1. Схема вирiшення завдань забезпечення експлуатацiйної надiйностi силових агрегатiв транспортних машин

4. Експериментальні дослідження впливу модифікованої моторної оливи на момент тертя спряжень зразків деталей силових агрегатів в безперервному режимі та режимі "пуск-зупинка".

5. Проведення експлуатаційних випробувань силових агрегатів ТМ, працюючих в нестаціонарних умовах, виявлення впливу присадок на термін заміни моторної оливи та на підвищення довговічності силових агрегатів ТМ.

6. Техніко-економічне обґрунтування використання композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1 для підвищення довговічності силових агрегатів ТМ. Розробка рекомендацій для відділу експлуатації та технічного сервісу підприємств, що експлуатують ТМ у жорстких умовах.

Програма експериментальних досліджень експлуатаційних властивостей та показників якості оливи і поверхонь тертя (рис.3.2) передбачала виконання наступних завдань:

- загальний аналіз показників, властивостей та процесів спрацювання модифікованих моторних і трансмісійних оливи композиційними присадками на основі геомодифікатора;

- підбір компонентів та оптимального складу композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1 для ефективної роботи моторної і трансмісійної оливи з подовженням терміну її заміни;

- визначення зносу за площею плями контакту та за зміною навантаження і часу випробування на чотирьохкульковій машині тертя ЧМТ-1;

- металографічні дослідження поверхні зразків деталей на оптичному та електронному мікроскопах;

- випробування композиційних присадок до моторної та трансмісійної оливи на машині тертя СМЦ-2 з електронним блоком визначення моменту тертя та на обкаточно-гальмівному стенді КС-276-032;

- визначення концентрації хімічних елементів у робочих оливах, модифікованих композиційної присадки КГМТ-1;

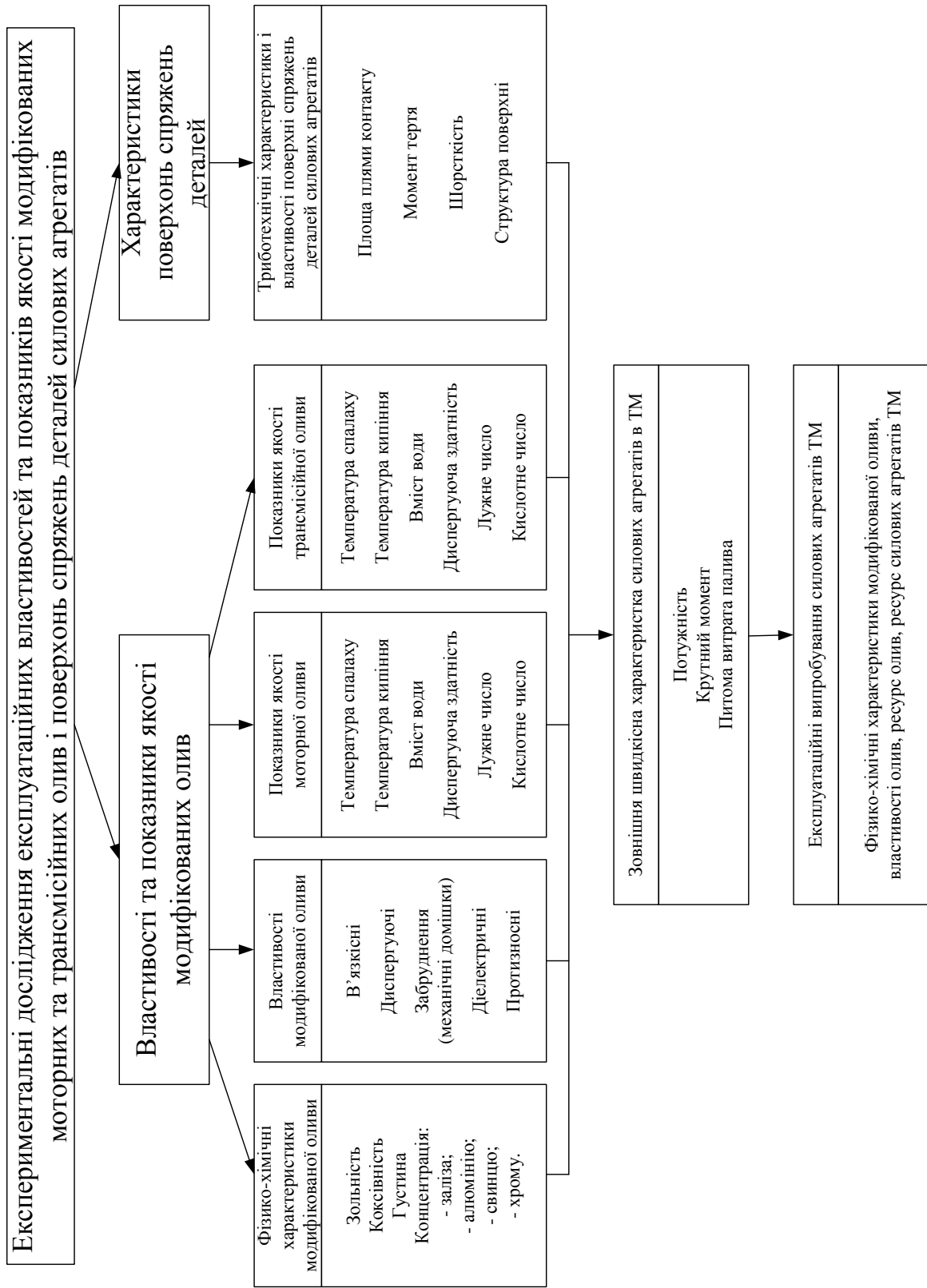


Рис. 3.2. Програма експериментальних досліджень

- визначення впливу досліджуваних присадок на роботу моторних і трансмісійних олив та термін їх заміни;
- проведення експлуатаційних випробувань з дослідженням терміну заміни моторної оливи на двигунах ЯМЗ – 240 і COMATSU SAA6D140E-3;
- обробка результатів лабораторних, стендових і експлуатаційних досліджень на ПК з використанням прикладних програм;
- проведення досліджень техніко-економічних показників силових агрегатів та характеристик подовження терміну заміни моторної оливи різними присадками на стенді КС-276-032.

Зазначимо, що збір статистичних даних про пробіг (км), час роботи (год), напрацювання (мото-год) і термін заміни моторної оливи (мото-год) дизелів ТМ, що працюють в нестационарних умовах.

Для реалізації зменшення зносу трибоспряжень деталей ЦПГ дизелів і збільшення терміну заміни моторної оливи для дизелів ТМ, що працюють в нестационарних умовах в даній роботі використовували модифіковану моторну оливу композиційною присадкою на основі геомодифікатора КГМТ-1.

3.2 Матеріали та методика отримання композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1 та модифікування присадками моторної і трансмісійної олив

Для дослідження були обрані моторна олива М-10Г₂к (ГОСТ 8581-78) трансмісійна олива ТМ-3-18к (ГОСТ 17479.2-2015), синтезована композиційна присадка на основі геомодифікатора КГМТ-1, а також порівняльні присадки НИОД-5, Roil Gold.

Моторну олива М-10Г₂к використовують в сучасних ТМ, що працюють в жорстких нестационарних 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 d155ax-3; екскаватори: РС 750-7).

З практичної точки зору встановлено, що збільшення якості оливи силових агрегатів ТМ можливе за рахунок формування в ній функціональних присадок. 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 [142].

В якості базової трансмісійної оливи використовували оливу ТМ-3-18к (API GL-3), яка призначена для всесезонної експлуатації трансмісійних агрегатів вантажних автомобілів. Олива ТНК Транс ТМ-3-18к виробляється на основі суміші високоякісних базових олив глибокого очищення і залишкового базового компонента високої в'язкості.

Високий ступінь модифікування композиційними присадками 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 дистилатів 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 присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1 використано присадки НИОД-5 та Roil Gold.

НИОД-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. НИОД (спрямована іонна дифузія) дозволяє провести спеціальну відновну, протизносну, антифрикційну, зміцнювальну обробку поверхонь тертя в режимі експлуатаційного навантаження.

В свіжу моторну оливу НИОД-5 добавляють у розрахунку 5...7 г на літр оливи, а в свіжу трансмісійну оливу – 8...10 г на 1 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 [143]. Напрацьований шар складає декілька мікрометрів. Теплове навантаження при цьому не зменшується. Під час обробки згладжуються дрібні подряпини і задири. Створюється процес замкненого циклу "зносу-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. В свіжу трансмісійну оливу добавляють 25 мл Roil Gold на 1000 мл оливи.

Аналіз основних компонентів композиційної присадки 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 під час 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 під час 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 HG-15A рис. 3.3.



Рис. 3.3. Гомогенізатор HG-15A (Південа Корея)

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. 3.4). Подрібнення виконується на протязі 35 хв. для кожної порції порошку.



Рис. 3.4. Відцентровий млин FM100 (Білорусія)

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. 3.5).



Рис. 3.5. Сито GB/T6003.1-2012 з коміркою 74мкм (Китай)

Після просіювання фракції порошкового матеріалу проходить етап формування композиційної присадки. Зважування кожного компоненту присадки виконували на вагах ТВЕ-0.21-0.001, другий клас точності ДСТУ EN 45501 рис. 3.6.



Рис. 3.6. Лабораторні ваги ТВЕ-0.21-0.001 (Україна)

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 ТМ.

Оскільки при роботі трансмісії збільшуються контактні навантаження, що обумовлено конструктивними характеристиками зубчастого спряження, то було прийнято рішення, для трансмісійної оливи використати присадку в 2 рази більшої концентрації, тобто 140 г/л, але склад і співвідношення між компонентами залишалась аналогічним моторній оливі.

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

Протизносні і протизадирні властивості моторних і трансмісійних 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. 3.7).



Рис. 3.7. 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 роботі [144] показано застосування машини тертя. Для отримання інформативних і більше наближених до практики результатів випробування застосовується методика, заснована на класичному принципі зняття і зіставлення діаграм Штрибек.

Моторну та трансмісійні оливи розглядали як конструктивний елемент. Трибологічні (змащувальні) властивості олив виконують значний вплив на зміну показників безвідмовності і довговічності силових агрегатів ТМ. Контроль трибологічних властивостей олив здійснювали шляхом випробувань на реальних силових агрегатів ТМ [137]. З метою скорочення часових і матеріальних витрат на такі дослідження використовували раціональний цикл випробувань (ГОСТ 30480, DIN 50 322).

Точковий контакт зразків в ЧМТ-1 служить надійним інструментом для визначення мастильної здатності базових олив та їх композицій, ефективності присадок та добавок до мастильних матеріалів. В ЧМТ-1 трибоспряження в піраміді з чотирьох кульок, із яких три нижні кульки закріплені нерухомо в чашці, куди заливається випробувальна олива, а верхня кулька обертається у вертикальному шпинделі. Цю схему зразків використовували і для дослідження мастильної здатності композиційних мастильних матеріалів. 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 однотипних 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 ($D_{гп} = 0,15$) 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 мастильному 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 і трансмісійних олив.

3.4 Оптимізація вмісту компонентів композиційної оливи на основі геомодифікатора КГМТ-1 в робочій оливі силового агрегату транспортних машин

Для виявлення раціонального та оптимального вмісту компонентів композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1 в моторній і трансмісійній оливах силових агрегатів ТМ використовували метод математичного планування експерименту на чотирикульковій машині тертя ЧМТ-1.

В процесі експерименту досліджували вплив складу композиційної присадки 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 факторів та їх рівнів представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Формування факторів та їх рівнів для 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

Було прийнято досліджувати чотири фактори та їх два рівні. При цьому кількість експериментів, 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 експериментів 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). Обробка результатів експерименту починали з регресійного аналізу, тобто будували модель та визначали невідомі коефіцієнти регресійного рівняння:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot (X1)^2 + b_2 \cdot (X2)^2 + b_3 \cdot (X3)^2 + b_4 \cdot (X4)^2 + b_5 \cdot X1 \cdot X2 + b_6 \cdot X1 \cdot X3 + b_7 \cdot X1 \cdot X4 + b_8 \cdot X2 \cdot X3 + b_9 \cdot X2 \cdot X4 + b_{10} \cdot X3 \cdot X4 \quad (3.2)$$

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:

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

де $\sigma_{z,l}^2$, 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:

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

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:

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

де $b_{j'}$ – 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:

$$\Delta_{j'} = t_{\alpha, f, tb} \cdot S_{b_{j'}}. \quad (3.7)$$

Визначення довірчого інтервалу для кожного коефіцієнту регресії проводили згідно нерівності:

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

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 [82]. Даний метод має корисні властивості безперервність, монотонність та гладкість. 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.

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 багатofакторної 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.

3.5 Методики визначення фізико-хімічних показників та експлуатаційних властивостей робочих трансмісійної і моторної оливи

Ефективність використанням моторної і трансмісійних оливи, що підлягали модифікуванню присадки при випробовуваннях силових агрегатів ТМ оцінювали за наступними фізико-хімічними показниками: вміст нерозчинного осаду, кислотне та лужне число, в'язкість оливи, вміст продуктів зношування, термоокислювальна стабільність, спектральний аналіз оливи та ін.

Мастильну здатність базових та композиційних трансмісійних і моторних олив оцінювали за характером зміни їх фізико-хімічних властивостей аналізом проб олив по закінченні кожного циклу випробувань. Обсяг проби 500 мл. Після добору проби оливу доливали до верхньої мітки оливомірного щупу.

У основу визначення характеристик і властивостей олив в першу чергу покладено принцип первинного аналізу найважливіших показників їх старіння. Це передусім вміст нерозчинного осаду, який характеризує наявність в оливі смол, асфальтенів, продуктів термічного розкладання присадок і основи оливи, сажі, що утворюється при згоранні палива, карбенів і карбоїдів [145, 146]. По інформаційній важливості та ресурсній зношуваності другим показником є кислотне число, а третім – лужне число оливи, зменшення якого побічно свідчить про спрацьовування основних антиокислювальних, миюче-диспергуючих і протизносних присадок, що сприяють сповільненню процесів старіння оливи.

Для оцінки накопичення продуктів старіння оливи так само важливо знати в'язкість оливи, яка збільшується з їх зростанням. Термоокислювальна стабільність – показник, що характеризує властивості оливи протистояти окисленню.

На рисунку 3.8 представлені загальний вид устаткування, яке було використане при визначенні показників та властивостей оливи.



а



б



В



Г

Рис. 3.8. Устаткування для визначення: кислотного і лужного числа оливи РН-метр (а); температури спалаху в закритому тиглі (б); визначення в'язкості оливи (в); термоокислювальної стабільності оливи апарат "Тек" (г)

В ході проведення досліджень визначали фізико-хімічні показники проб свіжої оливи, робочої оливи різної міри забрудненості з часом напрацювання.

Фізико-хімічні показники оливи визначали методами встановленими в ДСТУ: кінематична в'язкість – ГОСТ 332003; кислотне число та лужне число – ДСТУ 5094:2008; колір нафтопродуктів – ГОСТ 2070-82; вміст механічних домішок – ГОСТ 6370-83; термоокислювальна стабільність – ГОСТ 18136-72; вміст нерозчинного осаду – ГОСТ 18136-72.

При визначенні показників та властивостей робочих моторної і трансмісійної оливи, їх значення порівнювали з гранично-допустимими значеннями. Окрім оцінки фізико-хімічних показників, згідно ДСТУ, проводився їх експрес-аналіз з використанням мікроскопу "Біолам Р-11" і мікрофотозйомки зразків проб в умовах хімічної лабораторії.

Кінематичну в'язкість визначали за допомогою віскозиметра ВУ (ГОСТ 33-82). Кислотно-лужні властивості оливи характеризуються числами нейтралізації: кислотним числом, що показує кількість кислих продуктів у оливі, і лужним числом, що показує кількість продуктів лужного характеру

(деякі компоненти антиокисної і миючої присадки, органічні та неорганічні підстави, мила). Визначення кислотності і лужності олив проводили потенціометричним титруванням спирто-бензольного розчину оливи або із застосуванням індикаторів. При визначенні кислотного числа спирто-бензольний розчин оливи титрують 0,1 н розчином КОН, а при визначенні лужності – 0,1 н розчином НСІ. Числа нейтралізації виражаються в кількості мг КОН на 1 г оливи. Лужне число характеризує кількість присадки в оливі.

Температуру спалаху визначали згідно з ГОСТ 4333-87 на апараті для визначення температури спалаху у відкритому тиглі ТВО (рис. 3.9).



Рис. 3.9. Апарат для визначення температури спалаху у відкритому тиглі ГОСТ 4333 (ISO 2592)

Суть методу полягає в нагріванні проби моторної оливи у відкритому тиглі з встановленою швидкістю до тих пір, поки не відбудеться спалах парів нагрітої оливи над його поверхнею від запального пристрою. Методика випробування складалася з наступних етапів:

- апарат встановлюється на горизонтальному столі в такому місці, де немає помітного руху повітря і спалах добре видно;
- у тигель поміщається термометр у строго вертикальному положенні так, щоб нижній кінець термометра знаходився на відстані 6 мм від дна тигля і на рівній відстані від центру і від стінок тигля;
- проба оливи ретельно і обережно переміщується.
- тигель заповнюється оливою так, щоб верхній меніск точно збігався з

міткою. При наповненні тигля вище мітки надлишок оливи видаляється піпеткою або іншим пристосуванням. Видаляються бульбашки повітря з поверхні проби. Не допускається змочування стінок тигля вище рівня рідини.

– тигель з пробюю нагрівается при за допомогою електрообігріву спочатку зі швидкістю 14...17 °С в хвилину. Коли температура проби буде приблизно на 56 °С нижче передбачуваної температури спалаху, швидкість підігріву регулюється так, щоб останні 28 °С перед температурою спалаху олива нагрівалосся зі швидкістю 5...6° в хвилину;

– починаючи з температури не менше ніж на 28 °С нижче температури спалаху, щоразу застосовується запалювальний пристрій при підвищенні температури проби на 2 °С. Полум'я запального пристрою перемішається в горизонтальному напрямку, не зупиняючись над краєм тигля, і проводиться їм над центром тигля в одному напрямку протягом 1 с. При наступному підвищенні температури переміщається полум'я запалювання в зворотному напрямку.

– за температуру спалаху приймається температура, яке показує термометр при появі першого синього полум'я над частиною або над всією поверхнею випробуваного оливи.

Стандартний спосіб кількісного контролю води по ГОСТ 2477-65 трудомісткий (0,5...1,5 год), а тому в роботі скористалися експрес-методом визначення води в оливі [31].

Механічно-емульсійна вода виявлялась за помутнінням свіжої оливи, вспінюванню, утворенню бульбашок і кипінню нагріваючої у відкритому тиглі оливи вже від 85 °С.

Забрудненість оливи визначали за "механічними домішками". До складу механічних домішок входять органічні і неорганічні компоненти. Забрудненість оливи в експлуатації визначали по елементному складу механічних домішок спектральним методом.

Визначення забруднення оливи із застосуванням емісійного спектрального аналізу на фотоелектричному спектрометрі МФС-7 (рис.3.10)

дає можливість оцінити тільки негорючу частина домішок, цим методом можна визначити хімічний склад негорючих домішок, хімічних елементів та їх концентрацію в оливі.



Рис. 3.10. Загальний вид фотоелектричного спектрометра МФС-7

Властивості і склад забруднення олив оцінювали цілим рядом показників, з яких слід зазначити такі кількісні, як концентрацію і дисперсний склад забруднень. Дисперсним складом забруднень визначали розміри частинок забруднень, ефективність видалення забруднень та характер процесу коагуляції. Кількісну концентрацію забруднень проводили методом мікроскопії, заснованому на підрахунку кількості частинок, що випали на дно кювети із заздалегідь визначеним об'ємом оливи.

За цією методикою підраховували частинки, що наявні в оливі, розміром від 0,1 до 5 мкм. З метою спрощення підрахунку великих частинок забруднень і скорочення часу визначення чисельної концентрації забруднень у фіксованому об'ємі досліджуваних моторних і трансмісійних олив був застосований метод, з використанням аналізатора механічних домішок фотометричного рахункового типу ФС-151 (рис.3.11).

Аналізатор містить проточну скляну кювету і джерело світла, що створює в центрі кювети яскраво освітлену зону. У режимі виміру під час проходження оливи із зваженими в ньому частками забруднень через кювету, частинки, проходячи через освітлену зону викликають зменшення потоку світла на величину, пропорційну площі перерізу частинки в площині,

перпендикулярній оптичній осі. Під час дослідження частинок неправильної геометричної форми їх розміри приймаються як розміри сферичних частинок з однаковою площею перерізу.



Рис. 3.11. Загальний вид аналізатора механічних домішок фотометричного рахункового типу ФС-151

Після підрахунку результати про розподіл розмірів і зміст частинок виводяться на екран пристрою. Дослідження концентрації часток забруднень виконується на рівнях дискримінації: нижньому – 0,1, верхньому – 0,99, що відповідає діапазону частинок за розмірами від 5 до 500 мкм.

Визначення дисперсного складу робочої моторної і трансмісійної оливи, також здійснювали і за допомогою ПК з використанням цифрових фотографій, зроблених за допомогою мікроскопу. Робоча олива з часом темнішає за рахунок утворення дрібно дисперсних та інших забруднюючих включень. Визначити відсоток даних включень можливо за допомогою використання прикладних програм графічних редакторів та обробки і аналізу цифрових фотографій. За допомогою даних програм можливо у їхньому середовищі досліджувати відсоткове співвідношення включень, які затемнюють колір оливи, після того як відібрані проби і проведено їх цифрова фіксація [147]. Додаємо дану цифрову інформацію у середовище графічних редакторів, що підтримують функцію гістограмного розподілу кольорів. Додану інформацію необхідно переконвертувати у чорно-білу гаму і відібрати розподіл від 0...132 гамами кольорів, і на даному інтервалі отримуємо значення відсоткового включення, кількості забруднюючих та

спрацьовуючих частинок в моторній і трансмісійній оливах.

Основною діелектричною характеристикою робочих олив є їх діелектрична проникність, яку визначали за допомогою аналізатора ПММ АК-3, оперативного контролю фізико-хімічних параметрів олив. Загальний вид аналізатора наведено на рис. 3.12.



Рис.3.12. Вимірювач діелектричної проникності паливо-мастильних матеріалів АК-3

Прилад складається з первинного перетворювача, вимірювальної частини та датчика температури. Принцип дії аналізатора заснований на методі ємнісного вимірювання діелектричної проникності і тангенса кута втрат моторних олив. Перед початком вимірювання аналізатор прогрівали протягом 30 хв. Усі кнопки на передній панелі знаходяться у віджатому положенні. При переведенні приладу в робочий стан натискали кнопку "СЕТЬ" і встановлювали потенціометром "УСТ 1" показник індикатора "1.000", кнопкою $\epsilon\text{tg}\delta$ – "УСТ 0" і відповідно показник індикатора "0.000", далі натискали кнопку "УСТ $\text{tg}\delta$ ".

Простір між електродами первинного перетворювача заповнювали досліджуваною оливою до верхнього краю зовнішнього електроду. Натисканням кнопки $\epsilon\text{tg}\delta$ по індикатору знімали відлік значення відносної діелектричної проникності оливи. Вимірювання діелектричної проникності оливи проводили не менше трьох разів та визначали середнє значення. Після кожного вимірювання електроди первинного перетворювача ретельно протирали серветкою. Вимірювання проводили на пробах базової і модифікованої трансмісійної і моторної оливи.

3.6 Методики визначення властивостей поверхонь зразків деталей рухомих спряжень у середовищі модифікованої оливи

3.6.1 Методика визначення моменту тертя.

Момент тертя спряжень зразків деталей визначали на модернізованій машині тертя СМЦ-2, в якій введено електронний блок вимірювання моменту тертя [патент], а удосконалено пристрій навантаження і змащення. Загальний вид вимірювального комплексу наведено на рис. 3.13, а схему вимірювання моменту тертя – на рис. 3.14.



Рис. 3.13. Машина тертя СМЦ-2, модернізована електронним блоком для визначення моменту тертя

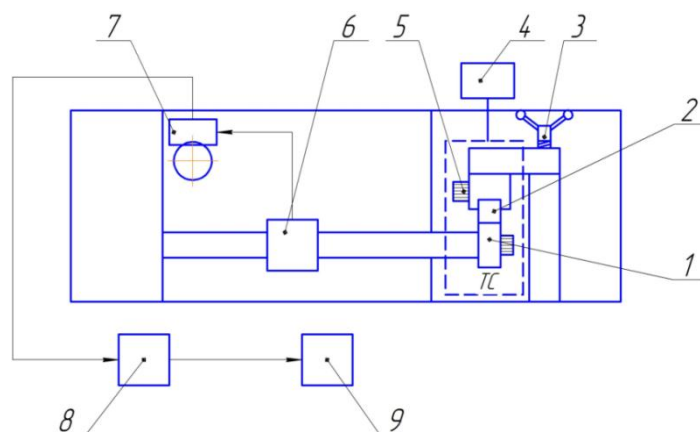


Рис. 3.14. Схема модернізованої машини тертя СМЦ-2 з електронним блоком для вимірювання моменту тертя у спряженні зразка деталей: 1 – ролик; 2 – колодочка з пристроєм для вимірювання температури; 3 – пристрій навантаження; 4 – пристрій для змащення робочих поверхонь; 5 – фіксуючий пристрій; 6 – датчик моменту тертя; 7 – мікросхема з датчиком обертів для обробки і передачі електричних величин; 8 – електронний блок для визначення моменту тертя; 9 – персональний комп'ютер (ПК) [142]

Електронний блок складається з датчика моменту тертя електронної плати для перетворення механічних величин в електричні та передачі даних на пристрій для визначення моменту тертя, який в свою чергу складається з клавіатури, монітора (виводиться меню та вибір режиму роботи машини), контролера в який через програматор записана програма інтерфейсу. Обробка і виведення інформації на монітор ПК здійснюється через RS-232 порт з урахуванням часу і режимів роботи машини тертя.

Для запуску програми побудови графіків відкривали меню "СОМ ПОРТ" і відкривали комірку "открыть". Далі за допомогою клавіатури на електронному блоці, в його меню, вибирали метод випробування "По времени" і запускали машину. Тим часом на екрані ПК будувався графік моменту від навантаження і часу випробування.

Дослідженню підлягала як свіжа, так і робоча моторна М-10Г₂к та трансмісійна ТМ-3-18к оливи з додаванням присадок НИОД-5, Roil Gold і композиційної на основі геомодифікатора КГМТ-1. В зону тертя базова і композиційна оливи подавались пристроєм для змащення. В якості порівняння випробування на вимірювальному комплексі проводили дослідження і в умовах сухого тертя [148]. Колодочку закріплювали фіксуєчим пристроєм, а ролик встановлювали на нижній вал машини тертя. До і після кожного випробування зразки знежирювали і протирали спиртом. Досліджували спряження зразків у двох режимах: безперервному і "пуск-зупинка".

За допомогою пристрою навантаження змінювали зусилля в межах 20...80 Н. Досліджування проводили в умовах фіксованого, наростаючого та спадаючого навантажень.

За допомогою клавіатури в меню вводили інтервал випробувань від 50 с до 3600 с, фіксували тривалість паузи у режимі "пуск-зупинка". Частота обертання ролика в різних режимах випробувань залишалася сталою: $n = 2,5 \text{ с}^{-1}$. Інформація накопичувалась і оброблялась в електронному блоці визначення моменту тертя і виводилась у вигляді графіків на монітор ПК.

Зовнішній діаметр ролика 30 мм. Ролик і колодочка виготовлені із алюмінію та матеріалу що застосовується у основних спряженнях деталей ТМ: ЯМЗ – 240 і COMATSU SAA6D140E-3. Подачу оливи також здійснювали самозахватом за рахунок того що ролик був занурений у ванну з оливою. Розміри ролика зовнішній діаметр 50 мм, внутрішній діаметр 15 мм, товщина ролика 15 мм, маса 200 г.

Випробуваннями на машині тертя СМЦ-2 досліджували залежність впливу композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1 на роботу свіжої і робочої моторної та трансмісійної оливи для дослідження зносу спряжень зразків та деталей в безперервному режимі та режимі "пуск зупинка".

Вимірювали час роботи кількість зупинок і вплив режимів роботи на знос спряжень зразків і деталей.

3.6.2 Методика оцінки якості поверхонь тертя зразків.

Оцінка якості поверхонь тертя зразків проводилась за їх структурою, вимірювання шорсткості і твердості. Структуру поверхонь тертя визначали за допомогою електронного мікроскопу Selmi РЭМ-106И.

Для дослідження структури випробуваних зразків проводили травлення їх поверхні п'яти відсотковим розчином азотної кислоти та попередньо оглядали структуру на мікроскопах ПМТ-3 та МИМ-8. Шорсткість вимірювали згідно ГОСТ 2786-73 (ДСТУ 2413-94) використовували профілографи-профілометри "Тамсэрф-5" англійської фірми "Тэйлор Хобсон" та заводу "Калібр" (м. Москва) модель 21.

Процес формування оптимальної шорсткості поверхонь тертя досліджували в різних середовищах моторної і трансмісійної оливи з додаванням присадок НИОД-5; Roil Gold і КГМТ-1.

Твердість поверхні тертя визначали за шкалою Бринеля 2109ТБ (ГОСТ 23677-79) та шкалою Роквелла на приладі ТК-2М (ГОСТ 13407-67).

Мікротвердість на поверхні в зоні тертя і поза нею, а також по глибині

нанесеного шару на робочу поверхню зразків деталей вимірювали на металографічних шліфах за допомогою приладу ПМТ-3М при збільшенні $\times 487$ у відповідності до ГОСТ 9450-76. Навантаження на інденторі складало 0,49...0,98 Н.

Обробку результатів вимірювань зазначених характеристик проводили методами математичної статистики з використанням пакетів прикладних програм на ПК. Похибка у визначенні мікротвердості не перевищувала 8%.

3.7 Методика стендових та експлуатаційних випробувань силових агрегатів транспортних машин

3.7.1 Методика дослідження зовнішньої швидкісної характеристики дизелів в процесі стендових випробувань

Випробування двигунів серії ЯМЗ і COMATSU та дослідження їх зовнішньої швидкісної характеристик та властивостей робочих олів проводили на стенді КИ-1363В на кафедрі "Експлуатації та ремонту машин" Центральноукраїнського національного технічного університету (рис. 3.15).



Рис.3.15. Загальний вид обкаточно-гальмівного стенду КИ-1363В

Обкаточно-гальмівний стенд має наступні технічні характеристики: діапазон тиску оливи – до 1,0 МПа; температура охолоджуючої рідини – 293...383 К; частота обертання колінчастого вала – 1000...3250 об/хв. і вимірювання здійснюється цифровим тахометром та контролюється цифровим індикатором; максимальний навантажувальний момент – до 1850 Н·м; та ін. Стенд дозволяє проводити припрацювання і випробування дизелів в режимах: в холодному, в гарячому без навантаження, в гарячому з навантаженням.

Стендове випробування на свіжій моторній оливі М-10Г₂к здійснювали відповідно до режимів, наведених в технічних вимогах для дизелів ЯМЗ-240, а модифікованій присадками Roil Gold і КГМТ-1 – в режимах роботи кар'єрних автосамоскидів та мобільних сільськогосподарських машин.

Тривалість стендових випробувань становила 150 годин. В процесі випробувань задавали максимальну потужність дизеля, вимірювали частоту обертання колінчастого валу ω_i та обчислювали такі характеристики як потужність, крутний момент і питому витрату палива за формулами:

– потужність N , кВт:

$$N(\omega_i) = N_{\max} \cdot \left(\frac{\omega_i}{\omega_{\max}} \right) \cdot \left[a + b \cdot \left(\frac{\omega_i}{\omega_{\max}} \right) - \left(\frac{\omega_i}{\omega_{\max}} \right)^2 \right] \cdot 1000, \quad (3.12)$$

де ω_i – швидкість обертання колінчастого валу, об/хв.; ω_{\max} – максимальна швидкість обертання колінчастого валу, об/хв.; N_{\max} – максимальна потужність дизеля, кВт; a , b – емпіричні коефіцієнти.

– крутний момент M_k , Н·м:

$$M_k(\omega_i) = 1000 \cdot \frac{N(\omega_i)}{\omega_i}, \quad (3.13)$$

$N(\omega_i)$ – функція зміни потужності дизеля.

– питома витрата палива $g(\omega_i)$, г/кВт·год, визначалась з формулою:

$$g(\omega_i) = g_n \cdot \left(a - b \cdot \left(\frac{\omega_i}{\omega_{\max}} \right) + c \cdot \left(\frac{\omega_i}{\omega_{\max}} \right)^2 \right), \quad (3.14)$$

g_n – максимальна питома витрата палива, г/кВт·год; a , b , c – емпіричні коефіцієнти.

При стендових випробуваннях була використана вимірювальна апаратура: тахометри для вимірювання частоти обертання колінчатого валу (ГОСТ 13082-71); ваги для визначення витрат палива і оливи; манометри для вимірювання тиску у системі мащення, живлення і охолодження (ГОСТ 9933-81); психрометри для визначення вологості повітря (ГОСТ 6353-82); механічний секундомір для визначення тривалості прокручування колінчатого вала в момент пуску двигуна – тривалості витрат контрольних доз рідини і повітря (ГОСТ 5072-72).

При стендових випробуваннях параметри двигунів реєструвалися згідно ГОСТ 18509-88. Відбір проб проводили по ГОСТ 2517-85 і також досліджували фізико-хімічні показники та властивості робочих олив як модифікованих, так і немодифікованих присадками.

3.7.2 Методика визначення швидкості надходження продуктів зносу в моторну та трансмісійні оливи.

Виробники ТМ, після введення машини в експлуатацію, обов'язково вказують режими експлуатації в період обкатки, а в книжці сервісного обслуговування періодичність технічного обслуговування і заміну олив в дизелях на період гарантійного обслуговування. Діагностуючи моторну оливу при заміні після обкатки, можна отримати об'єктивну інформацію про процес зміни основних показників якості оливи, інтенсивності зношування спряжень деталей дизелів і роботі його систем в подальшій експлуатації [149]. Виробники автомобілів дають свої рекомендації по навантажено-швидкісному режиму руху в початковий період експлуатації і встановлюють граничні швидкості (80...90 км/год) або граничні значення частоти обертання колінчастого валу (не більше 4000 хв⁻¹), які не рекомендується перевищувати на зазначеному інтервалі пробігу.

При визначенні ефективності запропонованої композиції присадки на

основі геомодифікатора КГМТ-1, швидкість надходження продуктів зносу в оливу є узагальнюючим показником, який характеризує якість застосовуваних олив, вихідний технічний стан трансмісії і двигуна, а також навантажено-швидкісні режими роботи та експлуатаційні умови [135, 136].

Швидкість надходження продуктів зносу в оливу оцінювали за формулою:

$$v_{zn} = C_{zn} \cdot V_m \cdot \rho_m / L_m, \quad (3.15)$$

де C_{zn} – концентрація продуктів зносу в оливі, г/т; V_m – об'єм системи змащення агрегату, м³; ρ_m – густина оливи, т/м³; L_m – термін заміни оливи в агрегаті, км (год).

Методикою передбачалося три етапи проведення експериментальних досліджень. Перший етап складався з експериментального підтвердження кореляційного зв'язку діагностичного параметра "концентрація продуктів зносу в оливі" і показниками якості моторної оливи, виявлення характеру зміни діагностичного параметра "концентрація продуктів зносу в оливі" від умов та режимів експлуатації. На другому етапі виявляли характер зміни швидкості надходження продуктів зносу в моторну (трансмісійну) оливу.

На третьому етапі визначалася точність методу прогнозування терміну зміни моторної оливи від кількості контрольних вимірів і ступеня зміни властивостей і показників якості моторної оливи в дизелях при експлуатації ТМ.

Загальний вигляд обладнання та установки для досліджень швидкості надходження продуктів зносу в моторну та трансмісійну оливу показано на рис. 3.16-3.17.

Швидкість надходження продуктів зносу в моторну оливу визначають за методикою, розробленою на кафедрі технічної експлуатації та сервісу автомобілів ХНАДУ (ГОСТ 20759-75, РД 37.001.004-82). При проведенні досліджень фільтруюча апаратура на двигуні відключалася.

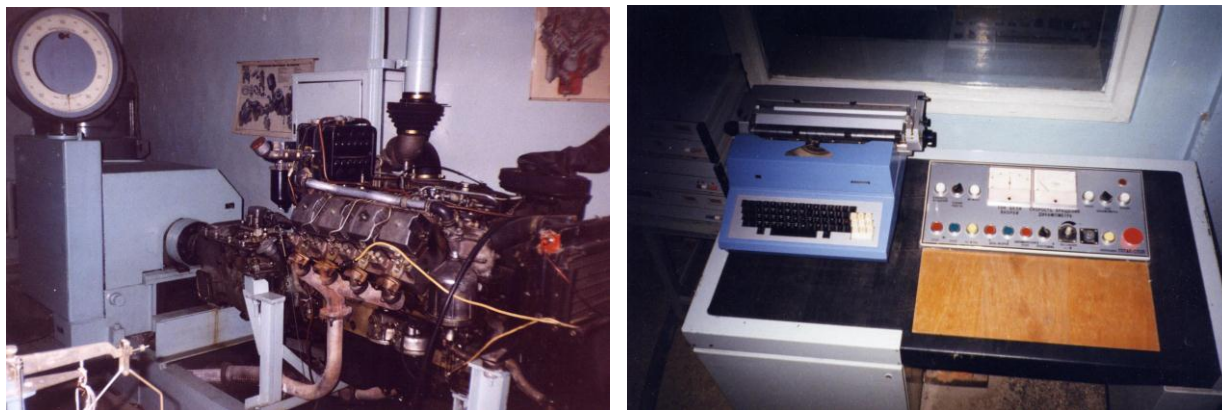


Рис. 3.16. Загальний вигляд і пульт управління установки дослідження швидкості надходження продуктів зносу в оливу двигуна і КП ТМ

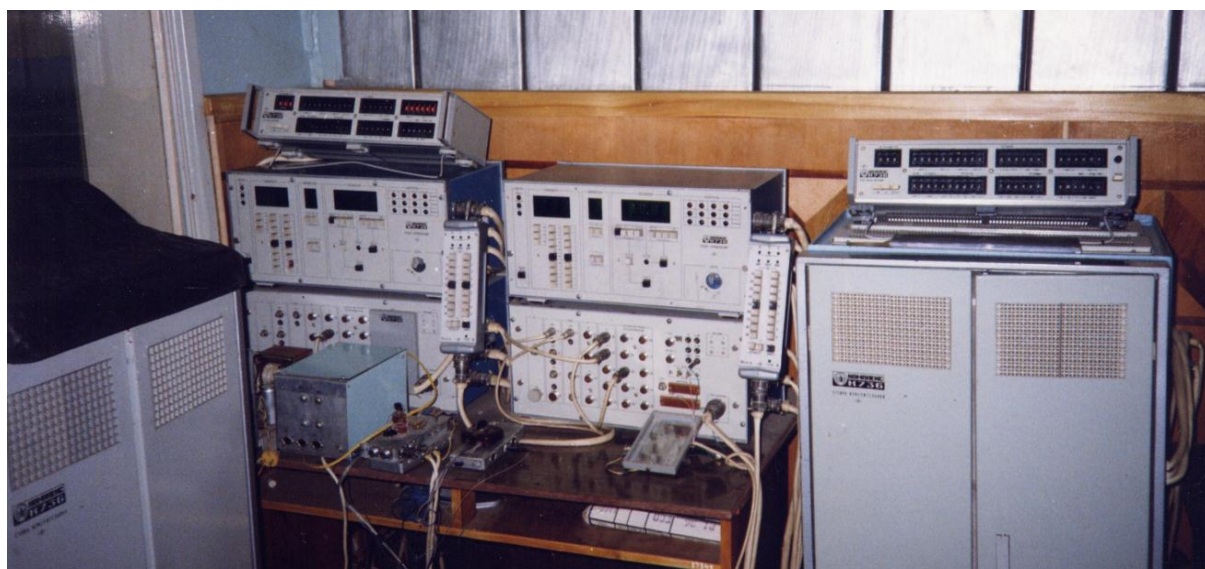


Рис.3.17. Загальний вигляд контрольно-вимірювального комплексу К-736

Відбір проб оливи проводився з двигуна і коробки передач через 30 хвилин на початку роботи агрегатів і в кінці циклу випробувань, за допомогою спеціального пристрою для відбирання проб встановлюється замість покажчика рівня оливи в картері двигуна. Кількість продуктів зносу, що потрапили в оливу під час роботи агрегату, було прийнято між відборами проб постійним, а також швидкість надходження продуктів зносу в оливу і витрата оливи між доливу [150].

Перед проведенням аналізу відібрані проби оливи перемішувалися протягом 1 години. Потім проводився аналіз проби на установці МФС-7.

Кількість продуктів зносу, що надійшли в оливу, підраховували за формулою [3, 90, 99, 100]:

$$G_i = Q_i \cdot K_i + Q_y \cdot \frac{K_{i-1} + K_i}{2} - Q_{i-1} \cdot K_{i-1}, \quad (3.16)$$

де Q_{i-1} , Q_i – відповідно кількість оливи, що знаходиться в агрегаті на початку і в кінці даного циклу, г; Q_y – витрата оливи за даний цикл, г; K_{i-1} , K_i – відповідно концентрація металу на початку і в кінці даного циклу, г/т.

Швидкість надходження продуктів зносу в оливу за цикл при заданому навантажено-швидкісному режимі в г/хв. визначали за формулою:

$$v_{зш} = \frac{G_i}{t}, \quad (3.17)$$

де t – час роботи двигуна за даний цикл, хв.

Під час випробувань контролювали показники: температура охолоджуючої води у верхньому бачку радіатора, К; температура оливи в картері силового агрегату, К; температура оточуючого повітря, К; тиск оливи в оливній магістралі, кПа; швидкість обертання колінчастого вала двигуна і коробки передач, хв^{-1} ; покази вагового механізму гальмівного стенду, Н м.

В кінці кожного циклу реєструвалося кількість витраченого палива і тривалість роботи двигуна.

3.7.3 Методика експлуатаційних випробувань.

Порівняльні експлуатаційні випробування дизелів кар'єрних самоскидів на Новопавлівському кар'єрі ПАТ "Кіровоградграніт" Кіровоградського району Кіровоградської області (табл. 3.2) проводили в два етапи.

На першому етапі двигуни працювали в звичайному режимі, а на другому – в умовах, коли в оливну систему додавали присадку Roil Gold та композиційну присадку на основі геомодифікатора КГМТ-1. На обох етапах спостереження здійснювали з періодичністю, рівною 25 мото-год. Були

відібрані проби працюючої оливи на аналіз. Тривалість напрацювання склала 300 мото-год.

Дослідження проводили на кар'єрних самоскидів, що працюють в Новопавлівському кар'єрі ПАТ "Кіровоградграніт" Кіровоградського району Кіровоградської області та мобільній сільськогосподарській техніці, що експлуатується в СТОВ "Хутірське" та ТОВ "Агрофірма Колос" Маловисківського району Кіровоградської області. Відбір проб моторної та трансмісійної оливи здійснювали з дизелів автомобілів БелАЗ-75800, Comatsu HD 405-6 та тракторів ХТЗ-17021.

Таблиця 3.2

Експлуатаційні випробування дизелів ЯМЗ і COMATSU

№	Господарство	Моторна Олива	Початок експлуатації	Кінець експлуатації	Середня тривалість експлуатації, місяць
БелАЗ-75471					
1	ПАТ "Кіровоградграніт"	М-10Г ₂ к	Травень 2012	Вересень 2015	3
2	ПАТ "Кіровоградграніт"	М-10Г ₂ к + Roil Gold	Травень 2012	Вересень 2015	3
3	ПАТ "Кіровоградграніт"	Модифікована КГМТ-1	Травень 2012	Вересень 2015	3
Comatsu HD 405-6					
4	ПАТ "Кіровоградграніт"	М-10Г ₂ к	Травень 2015	Вересень 2017	3
5	ПАТ "Кіровоградграніт"	М-10Г ₂ к + Roil Gold	Травень 2015	Вересень 2017	3
6	ПАТ "Кіровоградграніт"	Модифікована КГМТ-1	Травень 2015	Вересень 2017	3
ХТЗ-17021					
7	СТОВ "Хутірське"	М-10Г ₂ к	Жовтень 2017	Жовтень 2019	3
8	СТОВ "Хутірське"	М-10Г ₂ к + Roil Gold	Жовтень 2017	Жовтень 2019	3
9	СТОВ "Хутірське"	Модифікована КГМТ-1	Жовтень 2017	Жовтень 2019	3
ХТЗ-17021					
10	ТОВ "Агрофірма Колос"	М-10Г ₂ к	Жовтень 2016	Листопад 2018	3
11	ТОВ "Агрофірма Колос"	М-10Г ₂ к + Roil Gold	Жовтень 2016	Листопад 2018	3
12	ТОВ "Агрофірма Колос"	Модифікована КГМТ-1	Жовтень 2016	Листопад 2018	3

Досліджуваний парк машин на підприємствах було поділено на три частини: в яких досліджувалась свіжа олива, олива з присадкою Roil Gold та з композиційною присадкою КГМТ-1.

Метою експлуатаційних досліджень було дослідити інтенсивності зміни діагностичного параметра "концентрація заліза в оливі" і швидкості надходження заліза в оливу, а також властивостей і показників якості моторної і трансмісійної олив.

У процесі досліджень проводили систематичні спостереження і фіксувалися показники, що характеризують зовнішні умови експлуатації. Інтервали між вимірами були кратні періодичності проведення ТО.

Періодичність проб оливи для аналізу визначали за напрацювання (пробігом) ТМ:

$$\Delta L = L_{\text{ТО}} \frac{k_1}{n}, \quad (3.18)$$

де $L_{\text{ТО}}$ – періодичність ТО; k_1 – коефіцієнт коректування пробігу автосамоскида (мобільної сільськогосподарської техніки) до ТО; n – кількість відборів проб оливи.

Підставивши в формулу (3.18) $L_{\text{ТО}} = 250$ мото-год., $k_1 = 1,2$, $n = 12$ отримуємо, періодичність відбору проб моторної оливи становить 25 мото-год. Кількість хімічних елементів визначали спектрографом МФС-7.

Число вимірів діагностичного параметра "концентрація заліза в оливі", швидкість надходження заліза в оливу і бракувальних показників якості оливи коливалося від трьох до п'яти. Аналіз якості оливи проводили по бракувальним показникам [151]. В якості бракувальних показників оливи застосовували в'язкість, ν ; лужне число, ЛЧ; кислотне число, КЧ; температура спалаху, ТС; коксівність; вміст води; диспергуючі властивості, ДЗ; діелектрична проникність, ДП.

В процесі експлуатаційних випробувань проводили аналіз порівняння терміну заміни моторної оливи і модифікованих присадками "Roil Gold" та КГМТ-1 моторної та трансмісійної олив присадками та можливості

збільшення терміну заміни спрацьованої моторної оливи композиційною присадкою на основі геомодифікатора КГМТ-1. Визначали динаміку зміни основних показників модифікованої оливи та її спектральний аналіз. За вмістом заліза в оливі оцінювали залишковий ресурс двигуна.

Досліджували зв'язок між властивостями та показниками якості моторної та трансмісійної оливи [89], ступінь впливу їх на ресурс дизелів самоскидів, автомобілів, тракторів, що працюють в нестационарних режимах.

Статистична обробка, отриманих при вимірюваннях показників, характер їх зміни з напрацюванням силових агрегатів ТМ дала можливість представити у вигляді однофакторних математичних моделей [152] експоненціальної залежності:

$$P = P_0 \cdot \exp(b \cdot t), \quad (3.19)$$

де P , P_0 – фізико-хімічні показники якості оливи; b – постійна, що характерна для кожного показника якості; t – напрацювання дизеля в мото-год. Постійні a і b моделей визначали, використовуючи статистичні дані показників на інтервалі напрацювання від t_1 до t_2 :

$$\begin{cases} P = P_0 \cdot \exp(b \cdot t_1); \\ P = P_0 \cdot \exp(b \cdot t_2). \end{cases} \quad (3.20)$$

Розв'язавши систему рівнянь (3.20) відносно b , отримували:

$$b = \frac{\ln(P_1 / P_2)}{t_2 - t_1}; \quad P_0 = \frac{P_1}{\exp b \cdot t_2}. \quad (3.21)$$

Відповідно отримані рівняння зміни кожного фізико-хімічного показника для базових та модифікованих присадками моторних і трансмісійних оливи з напрацюванням силових агрегатів ТМ. Кожному регресійному рівнянню дано графічні інтерпретації. При представленні результатів статистичної обробки даних досліджень взяли такі позначення:

– фізико-хімічні показники: $P_{T.C}$ – температура спалаху; $P_{T.K}$ – температура кипіння; P_G – густина; $P_{K.C}$ – кислотне число; $P_{D.3}$ – диспергируюча здатність; $P_{K.B}$ – кінематична в'язкість.

– базова олива і олива з присадками: 1 – базова олива М-10Г₂к; 2 –

присадка Roil Gold; 3 – присадка КГМТ-1; 4 – присадка дисульфід молібдена.

Акти експлуатаційних випробувань досліджуваних парків машин на підприємствах та акти прийняття до впровадження запропонованих заходів на основі теоретичних та експериментальних досліджень наведені в додатку Б.

Висновки до розділу 3

1. Розроблена програма досліджень, показано етапи її реалізації та сформульовані основні завдання лабораторних, стендових та експлуатаційних досліджень.

2. Визначено вибір моторної і трансмісійної олив силових агрегатів ТМ, що працюють в жорстких умовах експлуатації. Запропоновано комплекс присадок для їх модифікування, сукупність компонентів композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1, вибір устаткування для отримання композиційної присадки та дослідження фізико-хімічних показників і властивостей модифікованих і немодифікованих робочих олив.

3. Розглянуто методику математичного планування при дослідженні раціонального та оптимального вмісту компонентів композиційної присадки в оливі на чотирикульковій машині тертя ЧМТ-1. В якості оптимізуючих ознак обрані: параметр зносу кульок та усереднене критичне навантаження. Наведені методики реалізації регресійного та дисперсійного аналізів з використанням функції бажаності.

4. Розглянуті методи і методики визначення фізико-хімічних показників і властивостей моторної і трансмісійної олив, які є стандартизованими.

5. Розроблені методики дослідження якості поверхонь рухомих спряжень зразків деталей у середовищі модифікованих присадками і немодифікованих моторної і трансмісійної олив; визначення силових характеристик (моменту тертя) спряжень зразків деталей в безперервному

режимі та режимі "пуск-зупинка"; наведено підходи до оцінки якості поверхонь тертя, шорсткості.

6. Наведена методика зовнішньо-швидкісної характеристики дизелів в процесі стендових випробувань із визначенням потужності, крутного моменту та питомої витрати палива. Розглянута методика вимірювання швидкості надходжень продуктів зносу в оливу.

7. Розроблені методик експлуатаційних досліджень зміни фізико-хімічних показників та властивостей робочої оливи та ресурсні показники довговічності силових агрегатів ТМ на підприємствах, на яких вона використовується в жорстких нестационарних умовах.

РОЗДІЛ 4

**РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ СИЛОВИХ
АГРЕГАТІВ ТРАНСПОРТНИХ МАШИН, ЩО ПРАЦЮЮТЬ В
ЖОРСТКИХ УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДОДАВАННЯМ В РОБОЧУ
ОЛИВУ КОМПОЗИЦІЙНОЇ ПРИСАДКИ НА ОСНОВІ
ГЕОМОДИФІКАТОРА**

**4.1 Визначення раціонального та оптимального складів
композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1**

На основі проведених трибологічних досліджень на чотирикульковій машині тертя ЧМТ-1 свіжої моторної і трансмісійної олив з додаванням композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1, згідно методики наведеної у п.п. 3.2-3.4, сформовано наступну експериментальну базу даних (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

**Експериментальна база даних математичного планування експерименту
по визначенню раціонального та оптимального складу запропонованої
присадки для трансмісійної оливи ТМ-3-18к**

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) у п.3.4. Регресійний аналіз експериментальних результатів відображено в таблицях В.1 і В.2, додатку В. Незначимі коефіцієнти в них не записували. Дано значення коефіцієнтів регресії b_0, b_1, \dots, b_{10} для оптимізуючих ознак Y_1 – параметр зношування кульок машини ЧМТ-1 і Y_2 – критичного навантаження.

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 таблиць В1, В2, додатку В, 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 (п.3.3). Підставляючи дані таблиць В.1 і В.2 у загальний вигляд регресійних рівнянь (3.2), п.3.4, отримуємо наступні рівняння регресії для трансмісійної оливи ТМ-3-18к:

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

$$Y_1 = 0.53 - 5.67 \cdot 10^{-5} \cdot (X1)^2 - 9.45 \cdot 10^{-5} \cdot (X2)^2 - 8.51 \cdot 10^{-5} \cdot (X3)^2 - 9.09 \cdot 10^{-5} \cdot (X4)^2 + 9.22 \cdot 10^{-9} \cdot X1 \cdot X2 + 3.67 \cdot 10^{-9} \cdot X1 \cdot X3 + 2.39 \cdot 10^{-8} \cdot X1 \cdot X4 + 2.1 \cdot 10^{-8} \cdot X2 \cdot X3 + 4.03 \cdot 10^{-8} \cdot X2 \cdot X4 + 2.86 \cdot 10^{-8} \cdot X3 \cdot X4 ; \quad (4.1)$$

– для критичного навантаження:

$$Y_2 = 675.60 + 0.04 \cdot (X1)^2 + 0.13 \cdot (X2)^2 + 0.09 \cdot (X3)^2 + 0.06 \cdot (X4)^2 - 1.9 \cdot 10^{-5} \cdot X1 \cdot X2 + 9.89 \cdot 10^{-6} \cdot X1 \cdot X3 - 7.22 \cdot 10^{-6} \cdot X1 \cdot X4 - 2.43 \cdot 10^{-5} \cdot X2 \cdot X3 - 2.28 \cdot 10^{-5} \cdot X2 \cdot X4 - 3.92 \cdot 10^{-5} \cdot X3 \cdot X4 . \quad (4.2)$$

Оцінку адекватності моделей проводили за допомогою дисперсійного аналізу експериментальних даних, за формулами (3.9), наведеними в п.3.4 і визначали критерій Фішера F . Реалізація дисперсійного аналізу відображена в таблицях В.3, В.4, додатку В. Дані таблиць В.3 і В.4, 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.

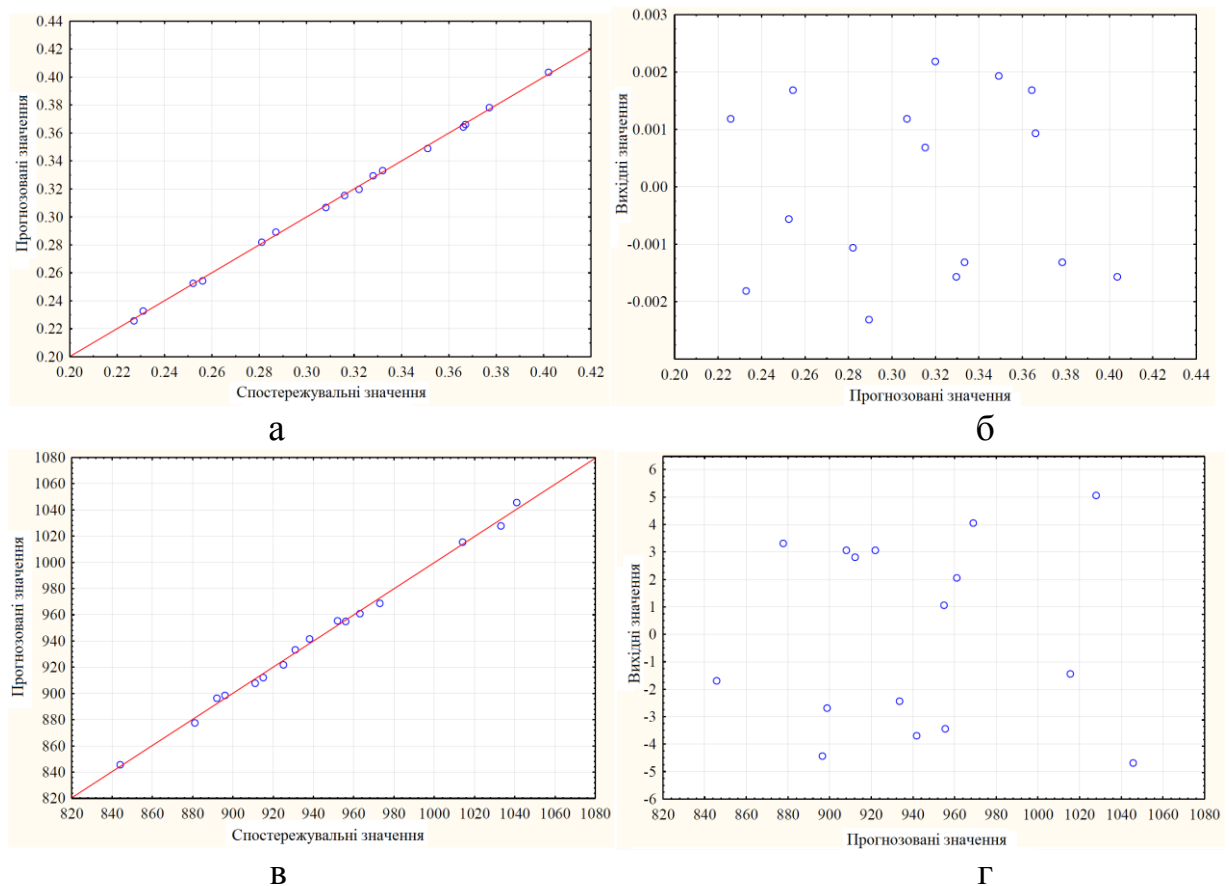


Рис. 4.1. Графік прогнозованих та спостережуваних залишків, а також оцінка їхнього розмаху: а, б – для функції величини зношування; в, г – для функції величини критичного навантажування

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 композиційною присадкою 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.

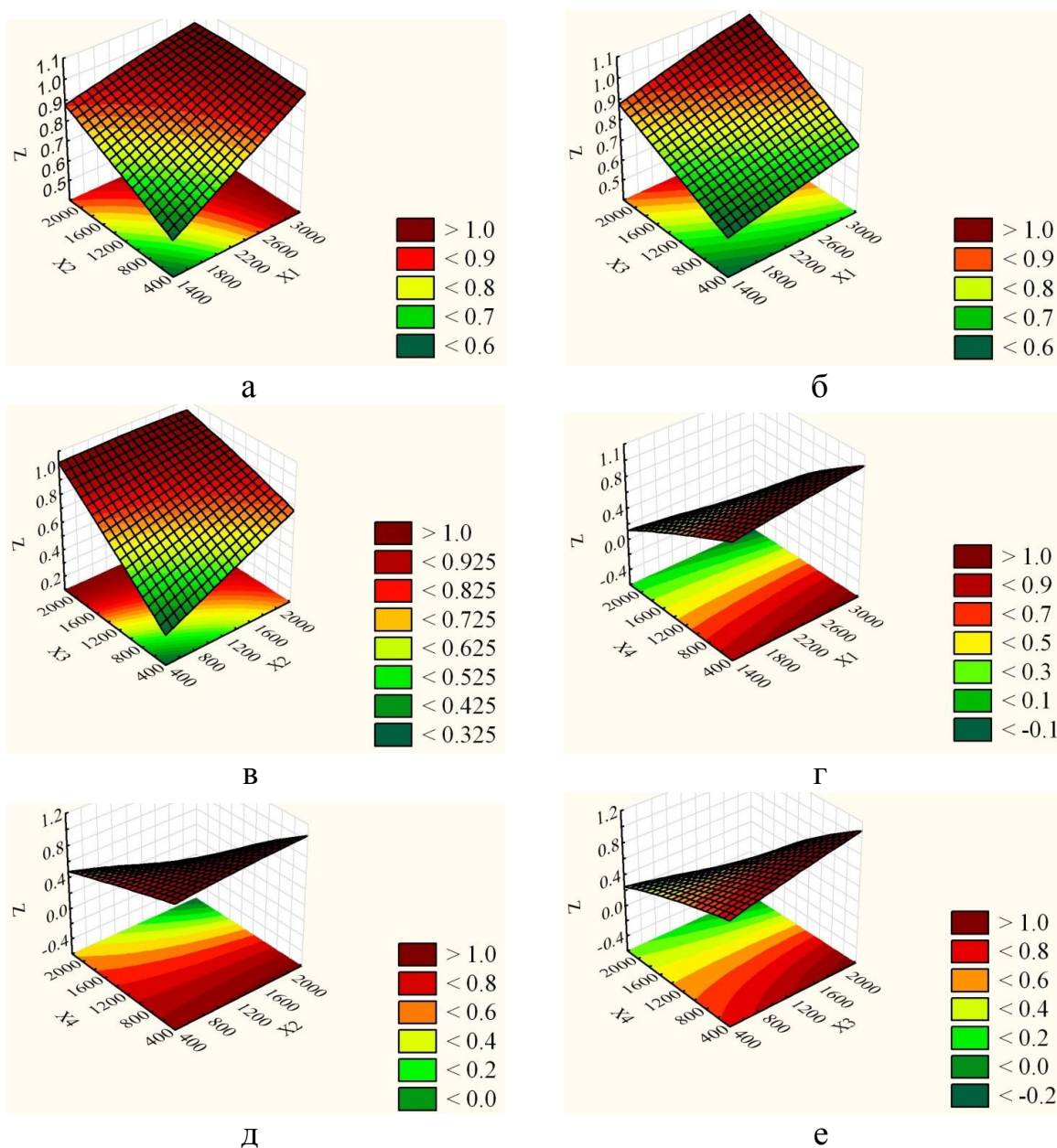


Рис. 4.2. Графічне відображення поверхонь відгуку за шкалою бажаності запропонованої композиційної присадки: а – залежність Z від X_2 та X_1 ; б – залежність Z від X_3 та X_1 ; в – залежність Z від X_3 та X_2 ; г – залежність Z від X_4 та X_1 ; д – залежність Z від X_4 та X_2 ; е – залежність Z від X_4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

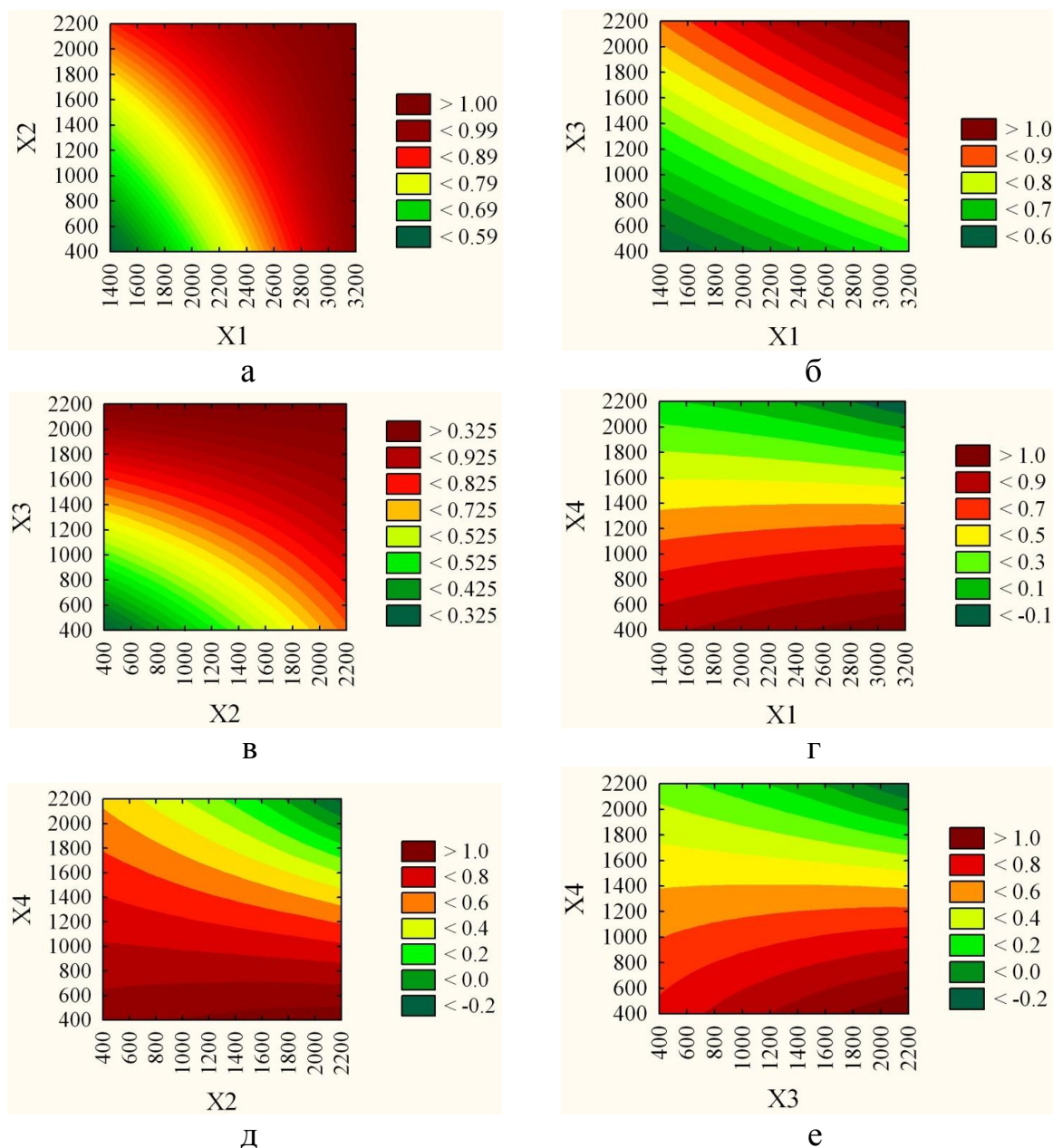


Рис. 4.3. Графічне відображення рівнів відгуку за шкалою бажаності запропонованої композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1: а – залежність Z від X2 та X1; б – залежність Z від X3 та X1; в – залежність Z від X3 та X2; г – залежність Z від X4 та X1; д – залежність Z від X4 та X2; е – залежність Z від X4 та X3

Аналізуючи дані графіків (рис.4.2 і рис.4.3), можливо однозначно зазначити, що раціональний та оптимальний склад композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1, як трибологічної добавки, присутні, в досліджуваних діапазонах значень факторів X1, X2, X3 X4, X5. Реалізація оптимізації складу композиційної присадки 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. Розбивка 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 присадки 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 (3.10) та формування багатofакторної її оптимізації (3.11). Проаналізуємо кожний фактор та кожну функцію відгуку. Реалізацію процедури визначення оптимізації складу композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1 представлено на рисунку 4.4.

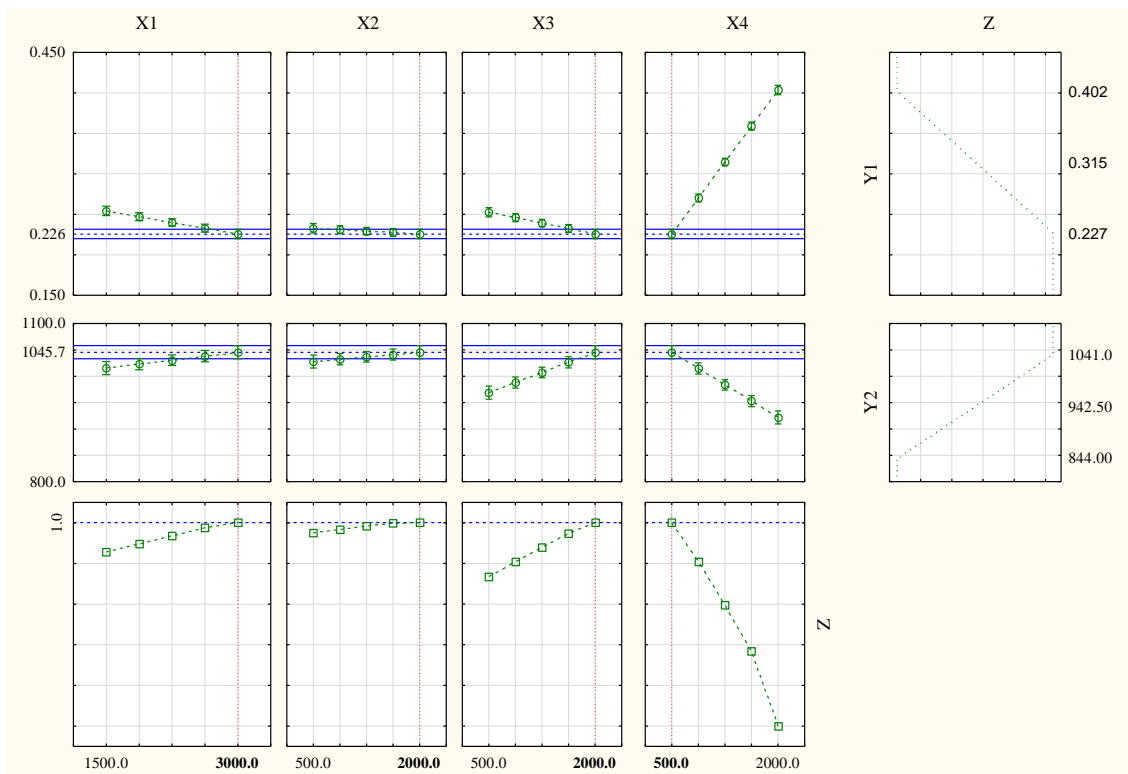


Рис. 4.4. Графічне відображення процедури знаходження оптимального складу композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1 за профілем функції бажаності

З рисунку 4.4 можна бачити, що оптимальний варіант компонентів композиційної присадки 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 присадки 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 трансмісійної оливи (табл. 4.2). Аналогічний вміст компонентів присадки задовольняє і трибологічні характеристики моторної оливи М-10Г₂к. Відповідні результати наведені в табл.4.3.

Таблиця 4.2

**Усереднені результати випробувань на чотирикульковій машині тертя
ЧМТ-1 у трансмісійному мастильному середовищі**

Усереднені показники	Базова олива ТМ-3-18к	Базова олива ТМ-3-18к + + запропонована присадка
Показник зносу, мм	0,351±0,02	0,2247±0,02
Критичне навантаження, Н	889±4,0	1053±5,0
Навантаження зварювання, Н	2252±12,0	2416±11,0

Таблиця 4.3

**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 присадка
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 присадка на основі геомодифікатора КГМТ-1 дає можливість збільшити якість як моторної, так і трансмісійної оливи. Це підтверджують дані таблиць 4.2 і 4.3. 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 присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1 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%.

Для приготування композиційної присадки в оливу досягнення максимальних значень функцій відгуку при процесі тертя, необхідно забезпечити раціональний склад компонентів присадки, при якому функція відгуку має область максимуму за функцією бажаності [3].

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 олів та робочих поверхонь трибоспряжень зразків і деталей. Запропонована композиційна присадка моторної і трансмісійних олів може бути використана для підвищення довговічності силових агрегатів ТМ в процесі експлуатації.

4.2 Порівняльний аналіз результатів лабораторних випробувань модифікованих олів на чотирикульковій машині тертя ЧМТ-1

Оптимізований склад композиційної присадки 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 нової композиційної присадки 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.4.5-4.7.

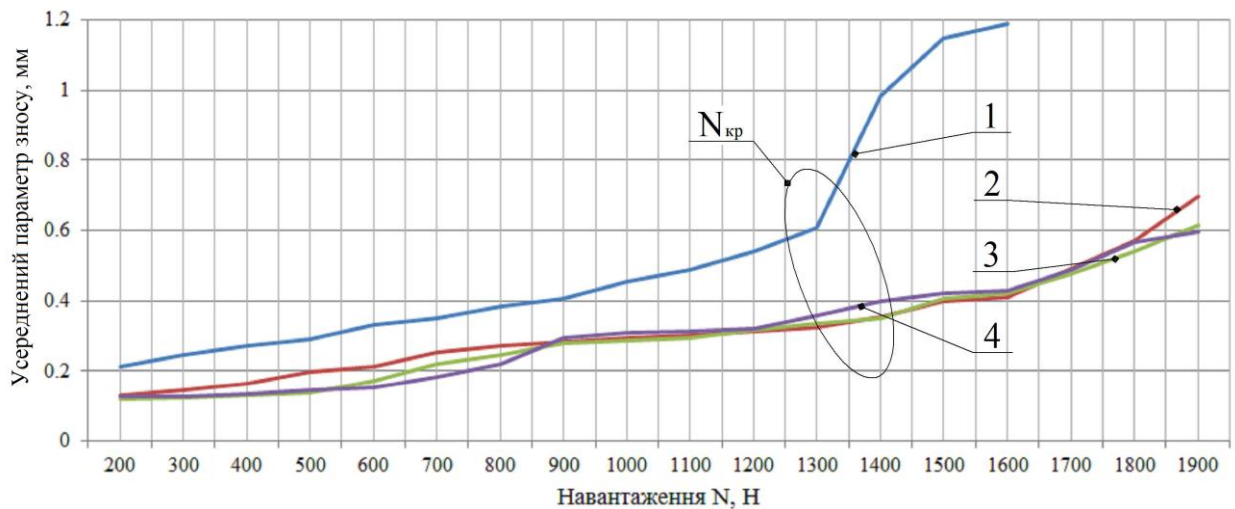


Рис. 4.5. Залежність усередненого параметру зносу від навантаження: 1 – базова олива М-10Г₂к, 2 – М-10Г₂к+НИОД-5; 3 – М-10Г₂к+Roil Gold; 4–М-10Г₂к + "КГМТ-1"

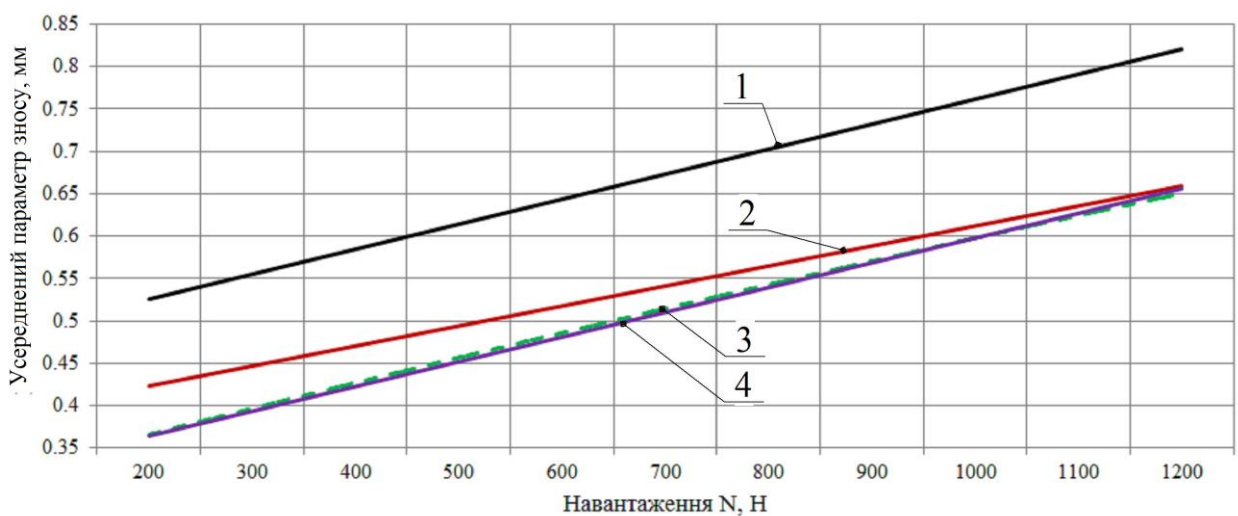


Рис. 4.6. Залежність усередненого параметру зносу від початкового навантаження: 1 – базова олива М-10Г₂к, 2 – М-10Г₂к+НИОД-5; 3–М-10Г₂к+Roil Gold; 4 – М-10Г₂к + "КГМТ-1"

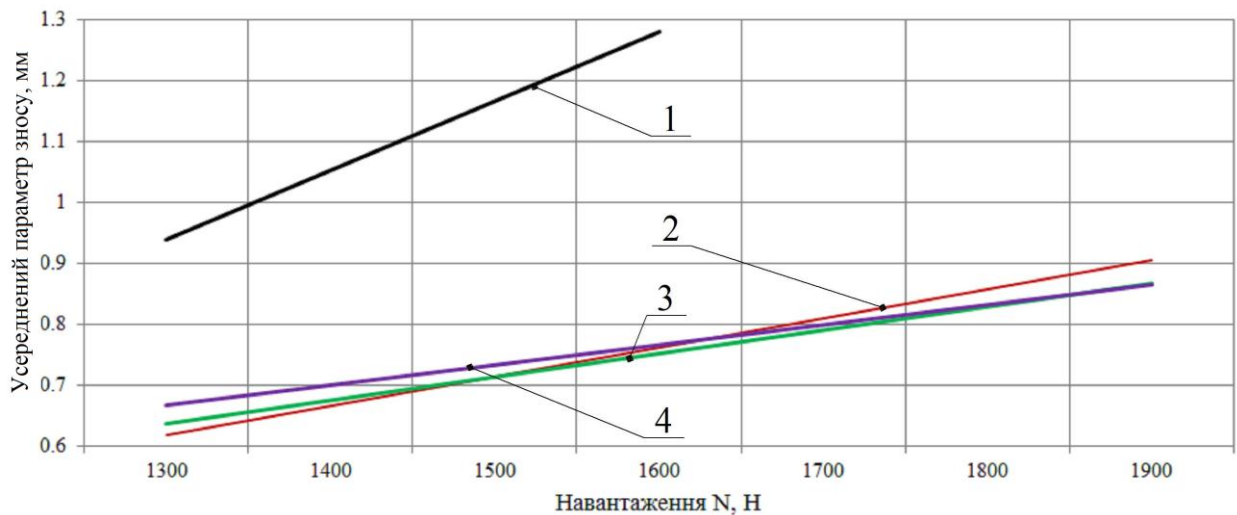


Рис. 4.7. Залежність усередненого параметру зносу від кінцевого навантаження: 1 – базова олива М-10Г_{2к}, 2 – М-10Г_{2к}+НИОД-5; 3 – М-10Г_{2к}+Roil Gold; 4 – М-10Г_{2к} + "КГМТ-1"

Порівняння отриманих результатів здійснювали з результатом на базовому мастильному середовищі – моторна олива М-10Г_{2к}, (крива 1, рис. 4.5), мастильному середовищі М-10Г_{2к} з додаванням присадок: НИОД-5 (крива 2, рис.4.5) та Roil Gold (крива 3, рис.4.5). Результати лабораторних випробувань запропонованої присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1 відображає крива 4, рис.4.5.

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 присадки 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 присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1 і про збільшення діапазону роботи протизносних присадок.

В цілому розроблена композиційна присадка 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.4.6), які характеризують протизносні (ліва частина графіків) і протизадирні властивості (рис.4.7) (права частина графіків) мастильного матеріалу, які визначаються з геометричних міркувань.

Тангенси кутів α і β є ваговими коефіцієнтами, що характеризують швидкість зміни протизносних властивостей і працездатності присадок. 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 [38]. 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.4.7), що характеризує роботу присадок при високих температурах і навантаженнях, змінюється від 0,384 до 1,04.

Проведені лабораторні дослідження моторної і трансмісійної олив свідчить, що конкурентну спроможність запропонованій композиційній присадці, в основному, здійснює присадка Roil Gold, а тому при стендових та експлуатаційних випробуваннях модифікування олив цією присадкою залишено, а модифікування присадкою НИОД-5 знято з випробувань.

4.3 Оцінка силових характеристик рухомих спряжень зразків деталей з мастильним середовищем модифікованому присадками та якості їх робочих поверхонь в нестационарних лабораторних умовах

4.3.1 Оцінка силових характеристик рухомих спряжень зразків деталей з мастильним середовищем методом вимірювання моменту сили тертя в безперервному режимі та режимі "пуск-зупинка" в лабораторних умовах.

Для оцінки ефективності застосування композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1 в моторну оливу, збільшення терміну її

заміни і оцінки зміни якості робочих поверхонь тертя зразків рухомих спряжень деталей проводили дослідження впливу модифікованої робочої моторної та трансмісійної олив на машині тертя СМЦ-2 з електронним блоком керування (ЕБК). Зазначимо, що методика дослідження силових характеристик (моменту тертя) рухомих спряжень відображена в п.3.6. Дослідження проводили на базовій свіжій і робочій оливах та при їх модифікуванні присадками НИОД-5, Roil Gold і КГМТ-1.

Оскільки дизелі ТМ працюють в нестационарних умовах, то дослідження базової свіжої, робочої та модифікованих моторної і трансмісійної олив різними присадками проводили імітуванням як стаціонарних, так і нестационарних умов на модернізованій машині тертя СМЦ-2 (рис.3.13, рис. 3.14).

Тривалість припрацювання поверхонь трибоспряжень зразків на машині тертя СМЦ-2 експериментально фіксували за стабілізацією моменту сили тертя і температури в зоні тертя [89].

Динаміка зміни моменту сили тертя трибоспряжень зразків, в умовах сухого тертя і мащення свіжою моторною оливою М-10Г₂к, при фіксованому навантаженні в режимах безперервному і "пуск-зупинка", наведена на рис. 4.8.

Визначено, що при сухому терті в безперервному режимі роботи спряження зразків деталей (рис. 4.8, а) максимальний момент тертя практично не змінюється. В той час зі збільшенням напрацювання спостерігають тенденцію його збільшення. В режимі "пуск-зупинка" при сухому терті (рис. 4.8, б) максимальний початковий момент тертя знижується на 10...15 %. В подальших інтервалах випробувань. Виявлено, що рівень моментів тертя на інтервалах часу в режимі "пуск-зупинка" не менший від їх рівня в безперервному режимі.

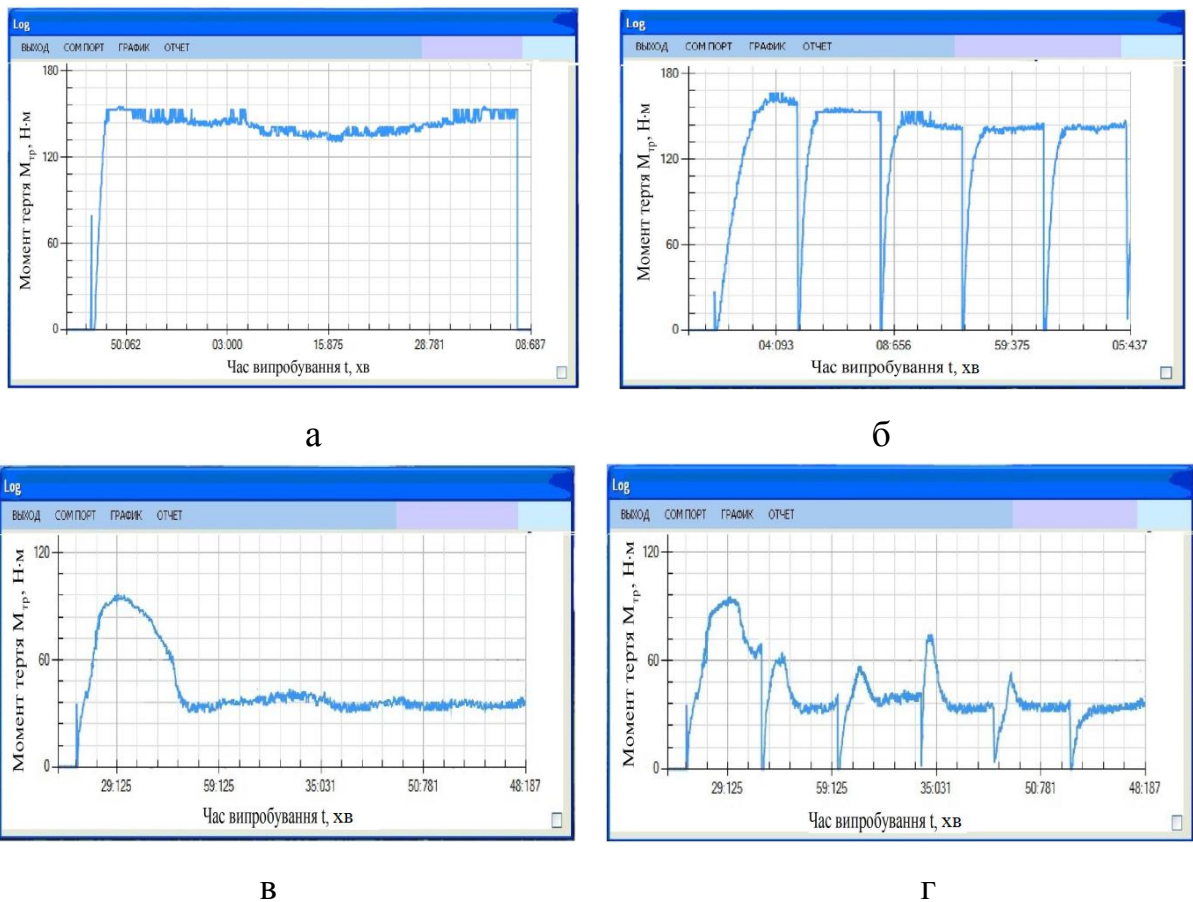
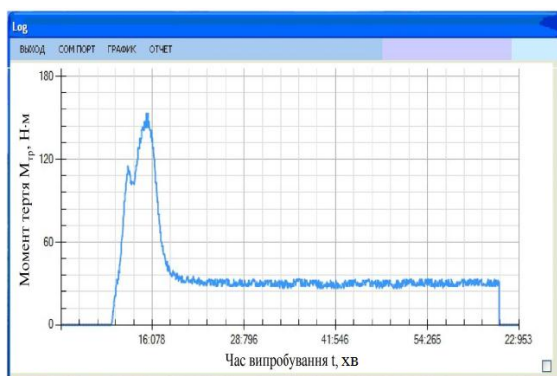


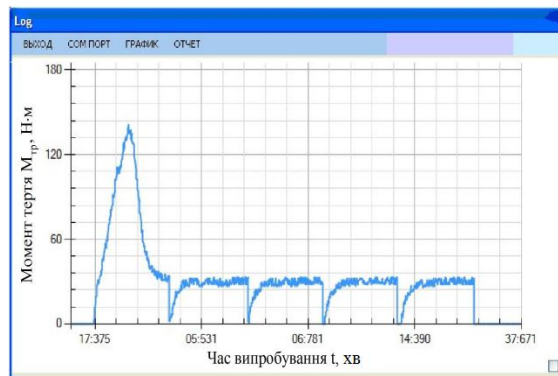
Рис. 4.8. Залежність зміни моменту тертя при фіксованому навантаженні 20 Н для сухого тертя (а, б), із мащення базовою свіжою моторною оливою М-10Г₂к (в, г), в безперервному режимі (а, в) та режимі "пуск-зупинка" (б, г) з напрацюванням

При змащенні свіжою оливою в безперервному режимі (рис. 4.8, в) початковий максимальний момент тертя зменшується в 1,3...1,7 рази, а при припрацюванні – в 3,5...5,0 разів. При таких умовах в режимі "пуск-зупинка" (рис. 4.8, г) на кожному з інтервалів випробувань початковий момент зменшується і через декілька періодів пік моменту тертя зникає. Характерним є і те, що мінімальний рівень моменту тертя в досліджених режимах випробувань практично однаковий.

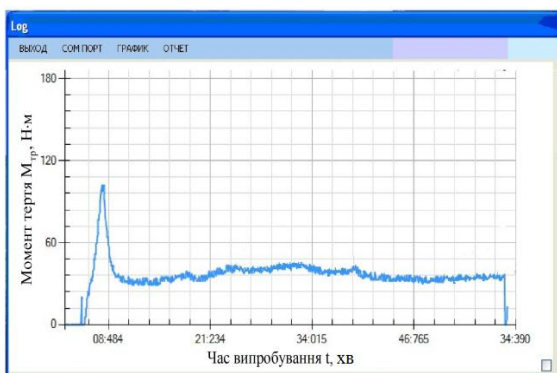
Результати досліджень закономірностей зміни моменту тертя спряжень зразків "колодочка-ролик" при змащенні оливою М-10Г₂к з додаванням присадок НИОД-5, Roil Gold та розробленої присадки КГМТ-1 в безперервному режимі та режимі "пуск-зупинка" наведені на рис. 4.9.



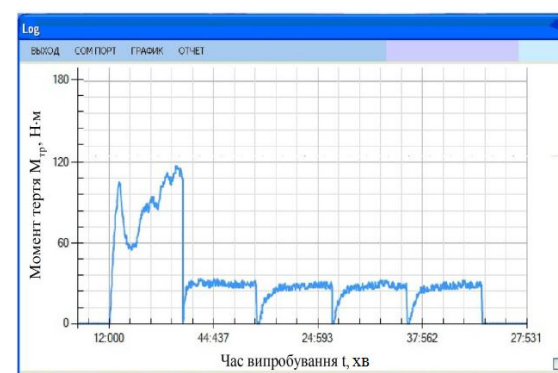
а



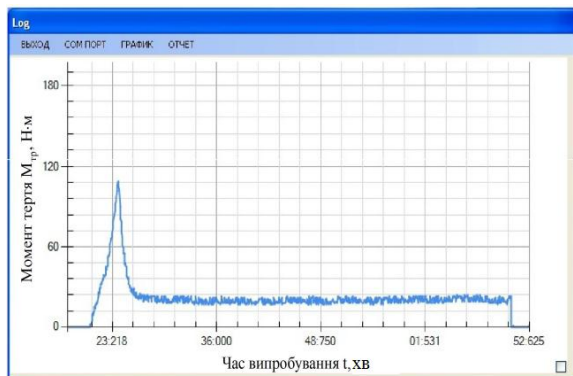
б



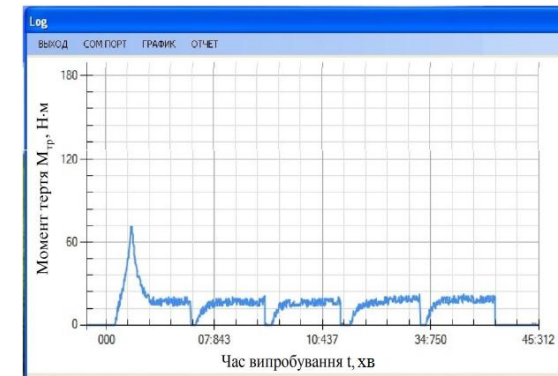
в



г



д



е

Рис. 4.9. Характерні криві зміни моменту тертя в трибоспряженні зразків з напрацюванням при фіксованому навантаженні 20 Н, на модернізованій машині тертя СМЦ-2 при змащенні модифікованою моторною оливою на основі присадки НИОД-5 (а, б), Roil Gold (в, г), КГМТ-1 (д, е), в безперервному (а, в, д) та "пуск-зупинка" (б, г, е) режимах випробувань

Виявлено, що початкові моменти тертя на модифікованій оливі з досліджуваними присадками менші за величиною і за шириною. Зафіксовано

позитивний ефект від присадок вже на початковій стадії припрацювання і про його прискореність у порівнянні з результатами досліджень отриманими на базовій моторній оливі [143].

Отримано закономірності змін моменту тертя спряжень зразків деталей при фіксованому навантаженні, що працюють на композиційній оливі при безперервному режимі і режимі "пуск-зупинка". Виявлено, що на досліджуваних присадках в різних режимах випробувань існує початковий пік моменту тертя (рис. 4.9, б, г, е) і відсутність піків в наступні періоди.

За величиною і шириною початкові піки моменту тертя відрізняються у відповідності до режимів випробувань, вмісту і типу присадок. Відмітним є ефективність дії досліджування присадок у безперервному режимі (рис. 4.9, а, в, д), так і у режимі "пуск-зупинка" (рис. 4.9, б, в, е). В останньому режимі дещо зменшується рівень величини моменту тертя при припрацюванні.

Результати порівняння максимальних моментів тертя в умовах сухого тертя і змащення базовою та модифікованою моторною оливою присадками в режимі "пуск-зупинка" наведено на рис. 4.10.

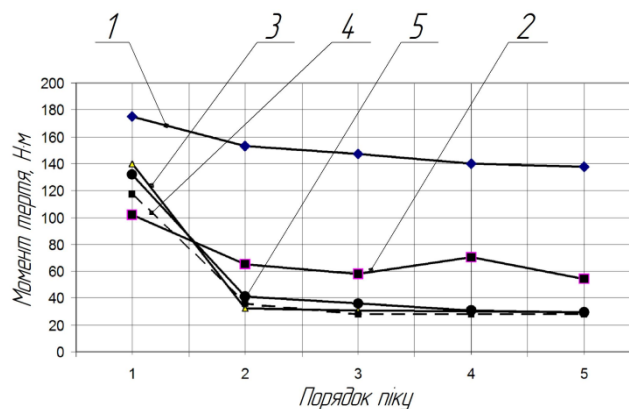
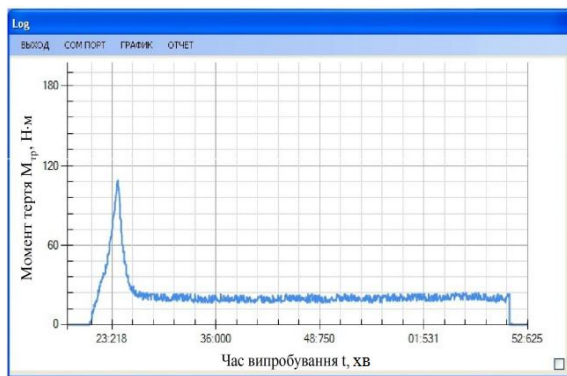


Рис. 4.10. Зміна величини пікового моменту тертя на інтервалах випробувань в режимі "пуск-зупинка": 1 – сухе тертя; 2 – моторна олива М-10Г₂к; 3 – М-10Г₂к+НИОД-5; 4 – М-10Г₂к+Roil Gold; 5 – М-10Г₂к+КГМТ-1

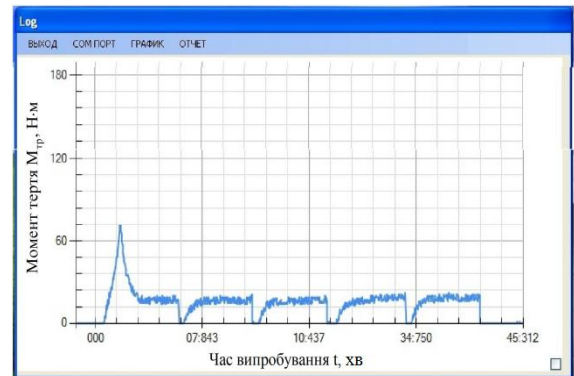
Зображені криві свідчать про відмінність моменту тертя при сухому терті (рис. 4.10, крива 1), змащенні свіжою моторною оливою (рис. 4.10, крива 2) та оливою модифікованою присадками, (рис. 4.10, криві 3-5). Видно,

що момент тертя з робочою моторною оливою при пуску на першому інтервалі досягає меншого значення (102 Н·м) ніж з присадками НИОД-5 – 140 Н·м, Roil Gold – 117 Н·м, КГМТ-1 – 132 Н·м, але на другому, третьому, четвертому та п'ятому інтервалах істотно вище у порівнянні з ними. Слід зауважити, що запропонована дешева композиційна присадка на основі геомодифікатора КГМТ-1 за виявленими триботехнічними характеристиками не поступається таким присадкам як НИОД-5 і Roil Gold.

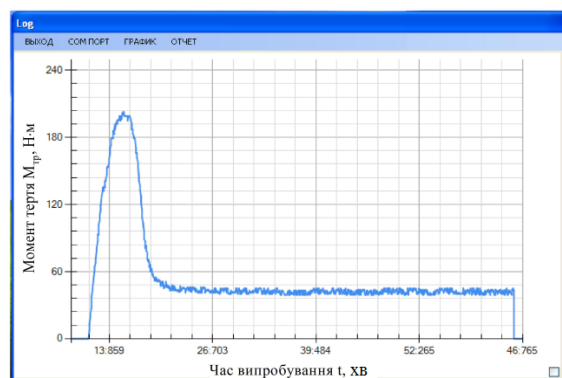
Закономірності зміни моменту тертя з напрацюванням, при різних фіксованих навантаженнях, для композиційної оливи з присадкою КГМТ-1 наведено на рис. 4.11.



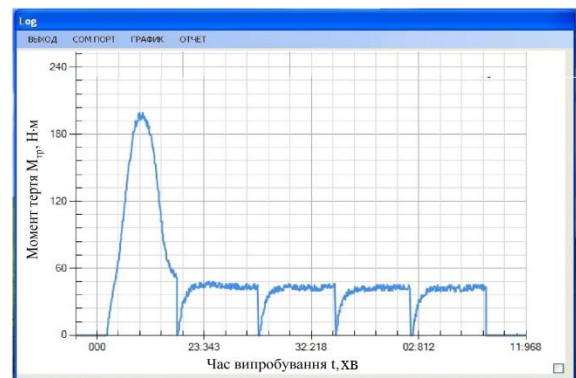
а



б



в



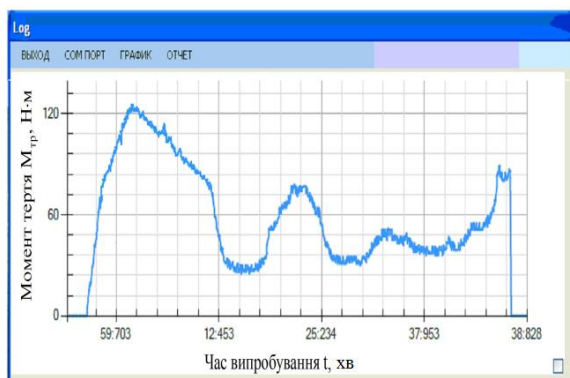
г

Рис. 4.11. Залежність моменту тертя трибоспрямих зразків від напрацювання на композиційній оливі з присадкою КГМТ-1 в безперервному (а, в) та режимі "пуск-зупинка" (б, г) при різних навантаженнях: 20 Н (а, б); 40 Н (в, г)

Результати досліджень показують, що при постійній концентрації присадки КГМТ-1 в моторній та трансмісійній оливах зі збільшенням навантаження в 2 рази (рис.4.11, а,в) та (рис. 4.11, б,г) в 1,4...1,7 разів збільшується величина початкового піку моменту тертя та зменшується його ширина, що свідчить про прискорення припрацювання спряжених поверхонь зразків. Незначно збільшується рівень моменту тертя в умовах припрацювання в різних режимах лабораторних випробувань.

Спостережуваний характер зміни моменту сил тертя можна пояснити дією присадки на спряжені зразки деталей та формуванням приповерхневого шару композиційної оливи [142].

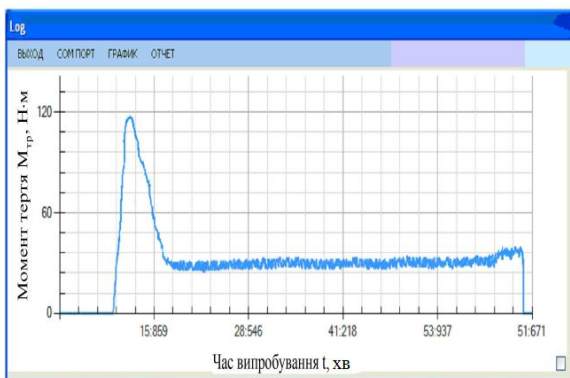
Результати дослідження на робочій оливі без додавання присадок і з додаванням досліджуваних присадок в різних режимах випробувань наведено на рис. 4.12.



а



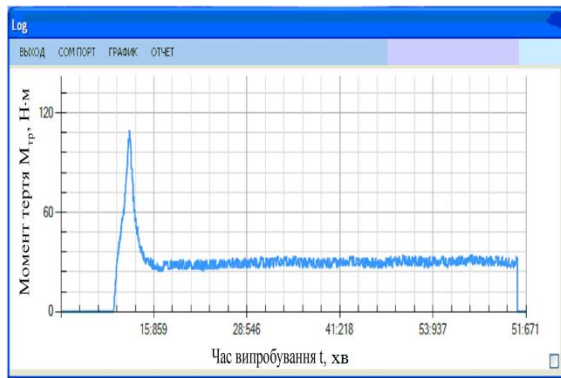
б



в



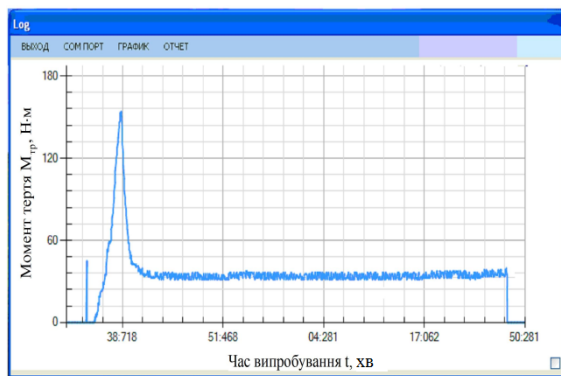
г



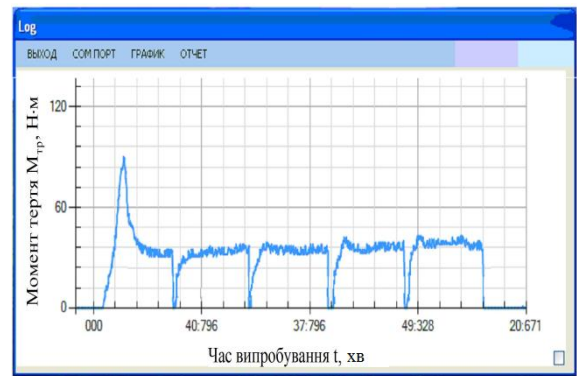
Д



е



Ж



З

Рис. 4.12. Залежність моменту тертя спряжених зразків на робочій оливі без додавання присадок (а, б) та з додаванням присадок (в, г, д, е) в безперервному режимі випробування (а, в, д) і режимі "пуск зупинка" (б, г, е); (в, г) – моторна олива М-10Г₂к+НИОД-5; (д, е) – моторна олива М-10Г₂к+Roil Gold; (ж, з) – моторна олива М-10Г₂к+КГМТ-1

Характер дії робочої оливи (рис. 4.12, а, б) від свіжої базової (рис. 4.12, в, г) за моментом сил тертя істотно відрізняються і внаслідок дії на поверхню тертя наявних в робочій оливі частинок зносу.

Також можна бачити, що при додаванні присадки в робочу оливу її властивості відновлюються, оскільки така триботехнічна характеристика як момент тертя зменшується, але за різною закономірністю в безперервному режимі (рис. 4.12, в, д) та режимі "пуск-зупинка" (рис. 4.12, г, е). В останньому режимі є невеликі проміжні піки моменту тертя, а при додаванні присадки КГМТ-1 – їх відсутність. Більший рівень величини моменту тертя у порівнянні з безперервним режимом обумовлені діями частинок зносу у

робочій оливі. Аналогічні результати лабораторних випробувань на машині тертя СМЦ-2 отримані і для трансмісійної оливи ТМ-3-18к.

4.3.2 Оцінка якості робочих поверхонь спряжень зразків деталей при використанні модифікуючих оливу присадок.

За допомогою електронного мікроскопу Selmi РЭМ-106И досліджено якість поверхонь зон тертя зразків, випробуваних в лабораторних умовах на машині СМЦ-2 (рис. 4.13).

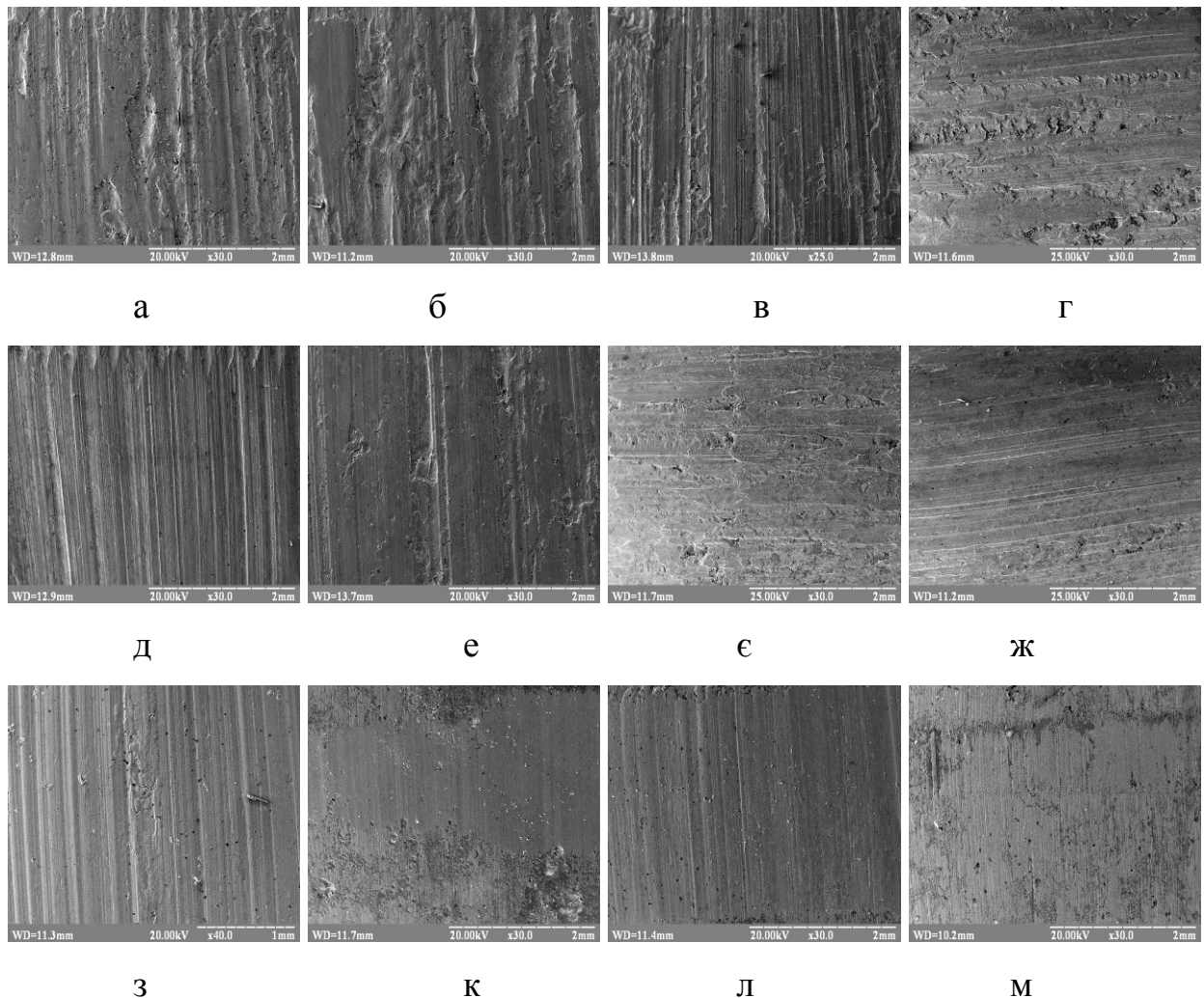


Рис. 4.13. Якість поверхонь тертя випробуваних зразків на модернізованій машині тертя СМЦ-2 при фіксованому навантаженні – 20 Н для сухого тертя (а, б) і змащення базовою свіжою моторною оливою М-10Г₂к (в, г) та з присадки "НИОД-5" (д, е), "Roil Gold" (є, ж), "КГМТ-1" (з, к, л, м), в безперервному режимі (а, в, д, є, з, л) та режимі "пуск-зупинка" (б, г, е, ж, к, м) з напрацюванням

Аналіз робочих поверхонь зразків спряжень деталей свідчить про різну якість зон тертя у безперервному режимі і режимі "пуск-зупинка". У першому випадку (рис. 4.13, а, в, д, є, з, л) прослідковуються практично паралельні лінії подряпин, а у другому (рис. 4.13, б, г, е, ж, к, м) – є сліди схоплювання і розмитості ліній подряпин. Зазначене залежить від різних умов прояву і величини моменту сил тертя.

Сліди подряпин є найбільш глибокими при сухому терті (рис. 4.13,а,б). При наявності змащення в зоні тертя деякі лінії подряпин зникають. Використання композиційної оливи, у випадках модифікування свіжої оливи присадками, зводять нанівець лінії подряпин.

Отримана різна якість робочих поверхонь рухомих спряжень деталей при додаванні в оливу присадки підтверджує реалізацію в зоні контакту деталей режимів сухого, граничного, змішаного, а при рясному змащенні – гідродинамічного тертя [130]. Процеси, що відбуваються на поверхнях тертя зразків деталей свідчать також і про протікання трибофізичних реакцій та фазових перетворень під впливом роботи сил тертя, які сприяють розвитку процесів самоорганізації в поверхневих шарах матеріалів зразків і деталей при взаємодії з композиційними оливами.

Дослідження в лабораторних умовах також показали, що під час припрацювання шорсткість поверхонь змінюється, набуваючи врівноваженого стану, а інтенсивність зношування при цьому набуває мінімального значення. Результати досліджень шорсткості на поверхнях тертя наведені на рис. 4.14.

Отримані дані свідчать, що змінюючи шорсткість поверхонь тертя можна управляти процесами зношування спряжень деталей силового агрегату ТМ, зосереджуючи деформації зсуву в приповерхневому шарі модифікованої оливи композиційною присадкою на основі геомодифікатора КГМТ-1.

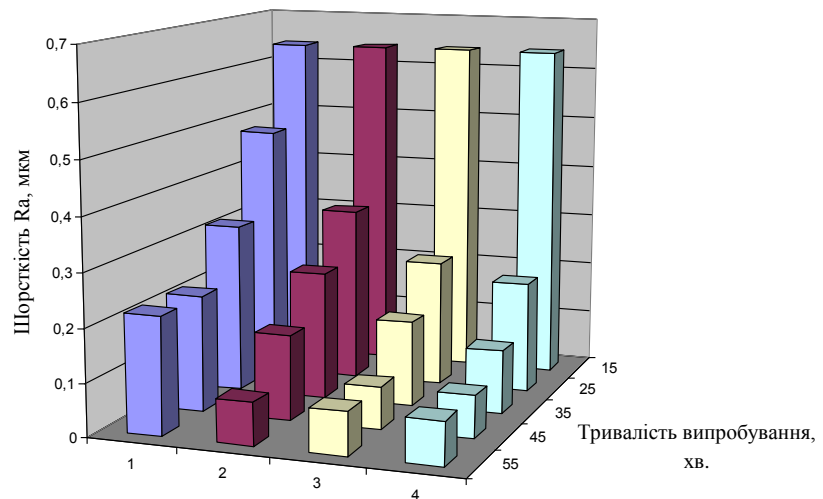


Рис. 4.14. Динаміка зміни шорсткості поверхні тертя при припрацюванні зразків ($P=8$ МПа; $v=1$ м/с) в різних середовищах: 1 – мащення базовою моторною оливою М-10Г₂к; 2 – присадки НИОД-5; 3 – Roil Gold; 4 – КГМТ-1

Крім цього виявлено, що компоненти композиційної присадки володіють поверхнево-активними властивостями й можливістю цілеспрямовано формувати на поверхні тертя ефект трибоелектричного відштовхування, між спряженими робочими поверхнями деталей, особливо при значних навантаженнях, істотно також прискорюється процес досягнення врівноваженої шорсткості поверхонь тертя і, відповідно, зниження величини їх початкового зносу через процеси самоорганізації [89].

Результати лабораторних досліджень показали, що зі збільшенням питомого навантаження величина шорсткості поверхонь тертя в середовищі працюючої моторної оливи підвищується. При випробуванні в середовищі модифікованої композиційної оливи, що містить геомодифікатор КГМТ-1, шорсткість поверхні зменшується. Це можна пояснити тим, що активовані молекули компонент композиційної присадки вступають у взаємодію з пластично-деформованими поверхнями зразків деталей і приводить до ефекту трибоелектричного відштовхування, а останнє сприяє згладжуванню мікронерівностей і прискореному формуванню врівноваженої шорсткості робочої поверхні ($R_a = 0,08$ мкм).

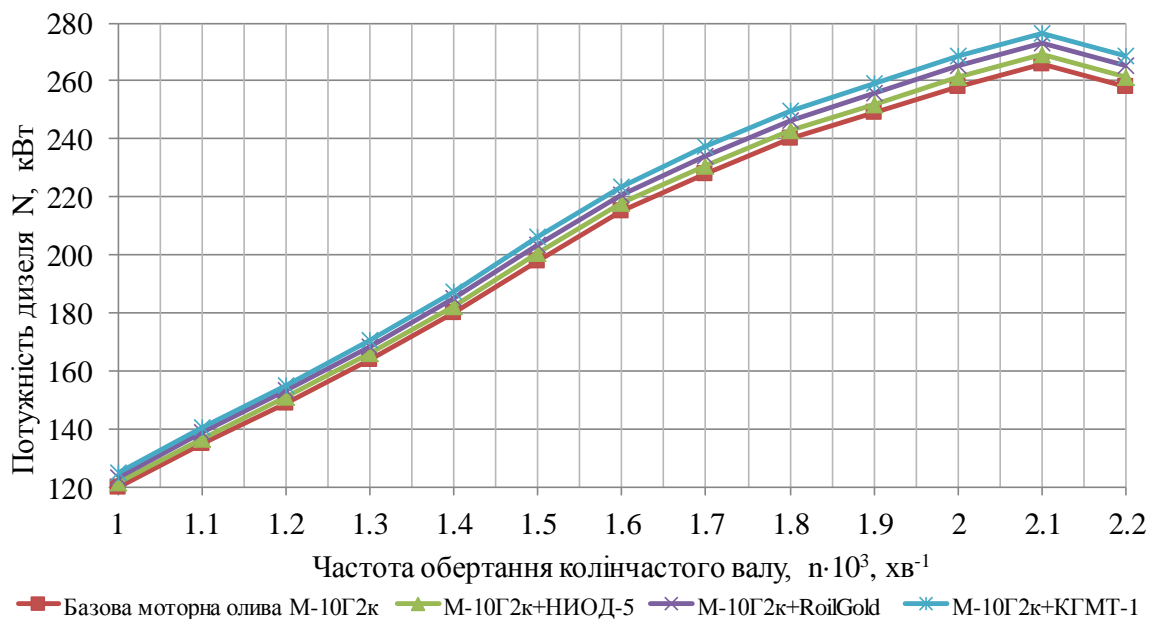
Таким чином, застосування модифікування моторної і трансмісійної олив забезпечує зниження початкового зносу деталей в процесі

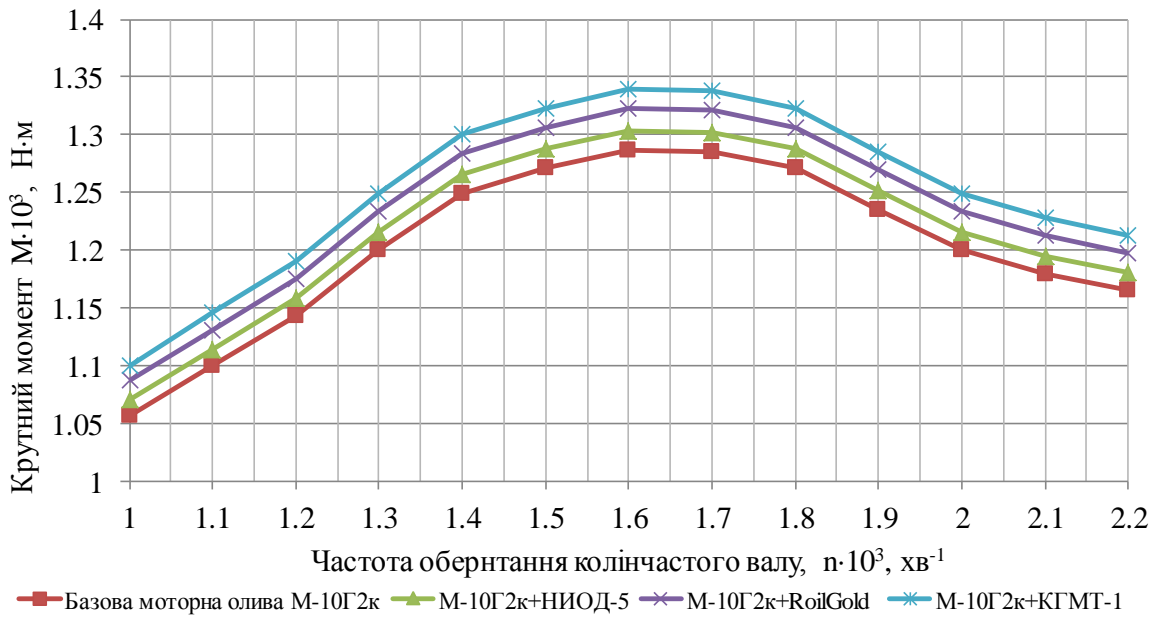
припрацювання їх спряжень і прискорює формування рівноважної мікрогеометрії поверхонь тертя як за рахунок зміни показників модифікованої оливи композиційною присадкою, так і за рахунок утворення на них тонкого шару антифрикційного матеріалу та активного приповерхневого шару з можливістю протікання фазового перетворень "гель-золь".

4.4 Результати стендових випробувань впливу модифікування оливи композиційними присадками на показники зовнішньої швидкісної характеристики силового агрегату транспортних машин

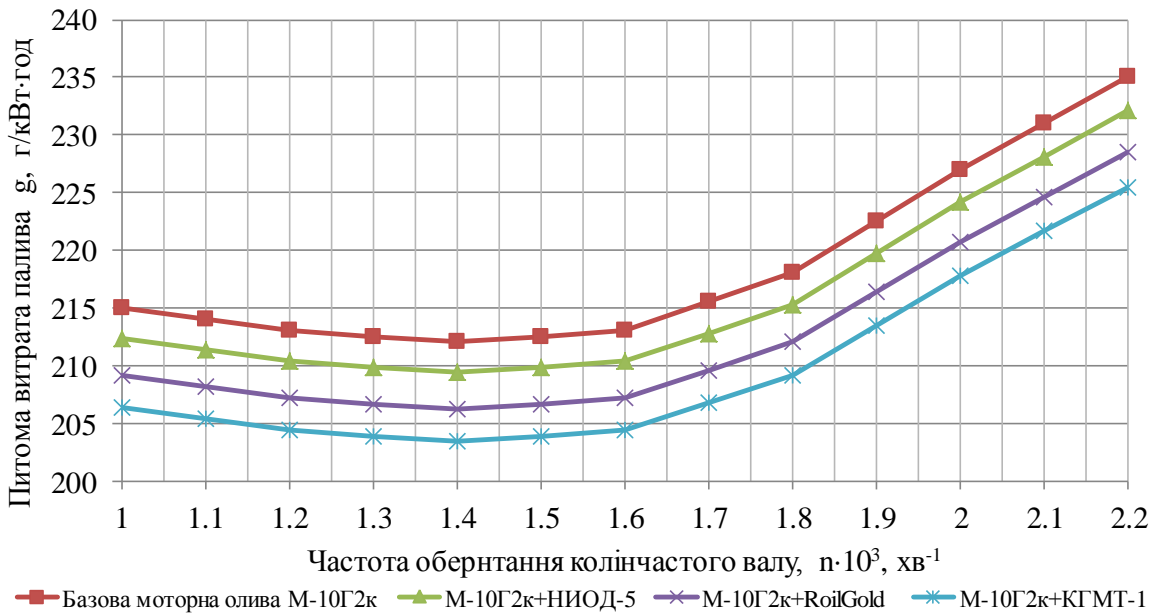
При стендових випробуваннях дизелів серії COMATSU і ЯМЗ проводили на стенді КИ-1363В, знімали їх зовнішню швидкісну характеристику (п.3.7). Потужність, крутний момент і питому витрату палива оцінювали за формулами (3.12)-(3.14). Проби моторної базової та модифікованою КГМТ-1, олів брали згідно методики, 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 присадками НИОД-5, Roil Gold і КГМТ-1 (рис.4.15).





б



в

Рис. 4.15. 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

Аналіз зовнішньої швидкісної характеристики свідчить, що додавання композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1 в моторну оливу і інших присадок 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.

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%.

Отримані дані по присадкам свідчать, що в експлуатаційні випробування достатньо досліджувати присадки 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 присадки.

4.5 Результати експлуатаційних випробувань показників та властивостей модифікованої робочої оливи у силових агрегатах транспортних машин

Згідно методики наведеної в п. 3.5, досліджували 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 та густина. В дослідженнях використовували лабораторні прилади ТЛ-ПХП (ГОСТ 19932), аерометр (ГОСТ 3900-85) (п.3.5).

Зазначені показники є впливовими на термін експлуатації оливи. Аналіз їх значень проводили орієнтуючись на досягнення граничного рівня з

напрацюванням. Концентрації присадок вибирали згідно їх найбільш ефективного впливу на досліджувану моторну оливу.

Залежність зольності модифікованої і свіжої моторних олив від напрацювання наведено на рис. 4.16.

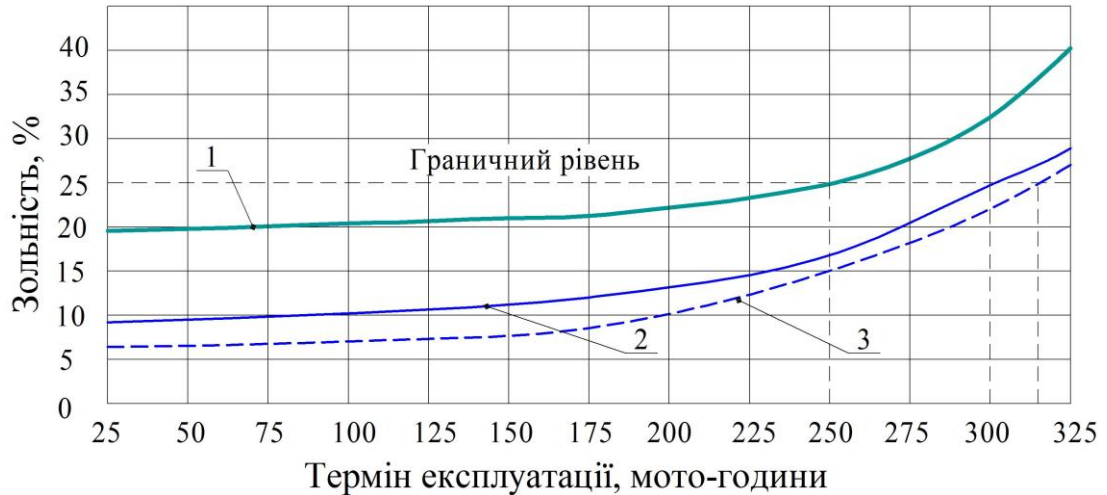


Рис. 4.16. Зміна зольності від напрацювання: 1 – свіжа моторна олива М-10Г₂к; 2 – М-10Г₂к+Roil Gold; 3 – М-10Г₂к+КГМТ-1

Аналіз відображених залежностей зольності від напрацювання свідчить, що зольність в моторній оливі М-10Г₂к набуває граничного значення при терміні експлуатації 250 мото-годин (рис. 4.16, крива 1), а при додаванні в моторну оливу присадок Roil Gold і КГМТ-1 граничний рівень показника досягається при терміні експлуатації 300 і 310 мото-годин (рис. 4.16, криві 2-4). Характерним є те, що присадки по різному реагують на моторну оливу, оскільки маємо різне зростання зольності з напрацюванням композиційної оливи [136]. Найбільший рівень зольності фіксували у працюючій оливі з додаванням композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1.

Зміна коксівності базової та модифікованих присадками моторних олив від напрацювання показана на рис. 4.17.

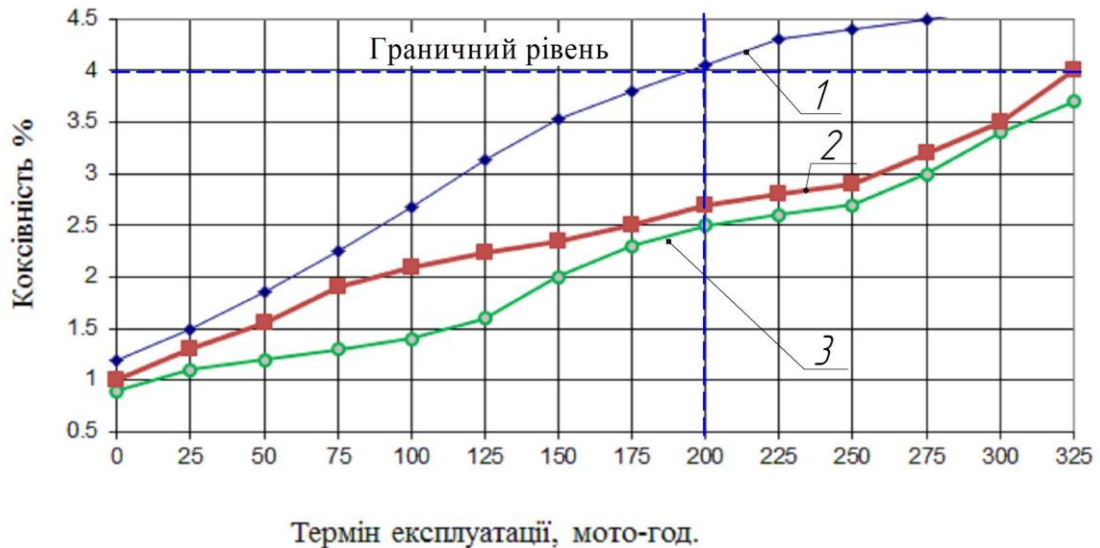


Рис. 4.17. Зміна коксівності оливи від напрацювання силових агрегатів ТМ: 1 – свіжа моторна олива М-10Г₂к; 2 – М-10Г₂к+Roil Gold; 3 – М-10Г₂к + КГМТ-1

Можна бачити, що коксівність базової свіжої моторної оливи (крива 1, рис. 4.17) збільшується і при напрацюванні 200 мото-годин досягає гранично допустимого значення, рівного 4 %. Отриманий результат зміни коксівності моторної оливи М-10Г₂к можна пояснити накопиченням продуктів окислення та продуктів спрацьовування добавок і присадок до неї, надходженням в оливу частинок продуктів зносу деталей і від запиленості, а також наявністю частинок сажі, які є продуктами неповного згорання палива.

Додавання досліджуваних присадок до оливи (рис. 4.17, криві 2-3) обумовлює ефект їх дії на показники коксівності моторної оливи М-10Г₂к: композиційні оливи з різних присадок не досягають критичного рівня коксівності навіть при напрацюванні 300 мото-годин.

Основними причинами погіршення якості оливи є забрудненість та вміст води, палива, механічних домішок, обумовленої несправностями в роботі різних систем двигуна та умовами експлуатації [138]. При роботі на обводненій оливі відбувається коагуляція диспергуючих вуглецевих частинок, що підвищує осадоутворення в оливі, збільшує швидкість її забруднення, і як наслідок, зростання показника коксівності.

Виявлено, що в процесі експлуатації густина моторної оливи може

збільшуватися, а може і зменшуватися. Збільшення щільності працюючої оливи відбувається за рахунок процесу окислення базової оливи і накопичення в ній різних видів експлуатаційних забруднень. На зменшення густини оливи впливає наявність палива в оливі, яке має густину дещо нижчу, від моторної оливи. Експериментальна база даних підлягала статистичній обробці й одержанню рівняння регресії.

Рівняння, які характеризують зміни густини базової та модифікованої моторних оливи, представлені в системі (4.3), а їх графічна інтерпретація – на рис. 4.18.

$$\begin{cases} \Pi_{\rho_1}(t) = 0,87 \cdot \exp(0,00012 \cdot t); \\ \Pi_{\rho_2}(t) = 0,85 \cdot \exp(0,00014 \cdot t); \\ \Pi_{\rho_3}(t) = 0,845 \cdot \exp(0,00017 \cdot t). \end{cases} \quad (4.3)$$

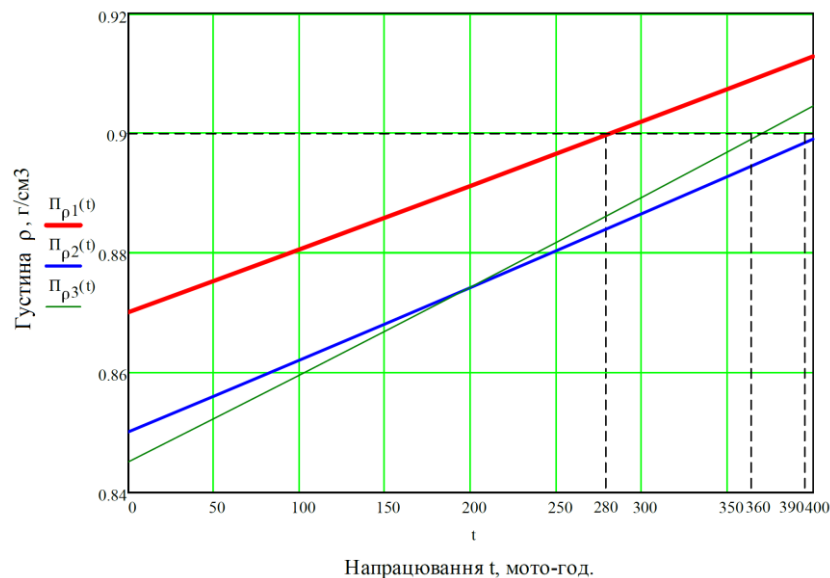


Рис. 4.18. Зміна густини моторної оливи з напрацюванням силового агрегату ТМ: $\Pi_{\rho_1}(t)$ – моторна олива М-10Г₂к; $\Pi_{\rho_2}(t)$ – М-10Г₂к+Roil Gold; $\Pi_{\rho_3}(t)$ – М-10Г₂к +КГМТ-1

Крива зміни густини базової свіжої оливи перетинає лінію граничного значення 0,9 г/см³ при напрацюванні 280 мото-год, а в разі її модифікування присадками – 360-390 мото-год.

При терміні експлуатації рівному 210 мото-годин величина густини працюючої оливи рівна 0,900 г/см³. Саме це напрацювання рекомендують, як

гранично допустиму для густини моторної оливи, після досягнення якої здійснюють заміну оливи.

На основі результатів експлуатаційних випробувань запропоновані регресійні рівняння, які характеризують зміну температури спалаху базової та модифікованої моторної оливи, представлені в системі (4.4).

$$\begin{cases} \Pi_{T.C1}(t) = 501,7 \cdot \exp(-0,00017 \cdot t); \\ \Pi_{T.C2}(t) = 506,7 \cdot \exp(-0,00018 \cdot t); \\ \Pi_{T.C3}(t) = 504,4 \cdot \exp(-0,00015 \cdot t). \end{cases} \quad (4.4)$$

Графічна інтерпретація цих рівнянь відображена на рис. 4.19.

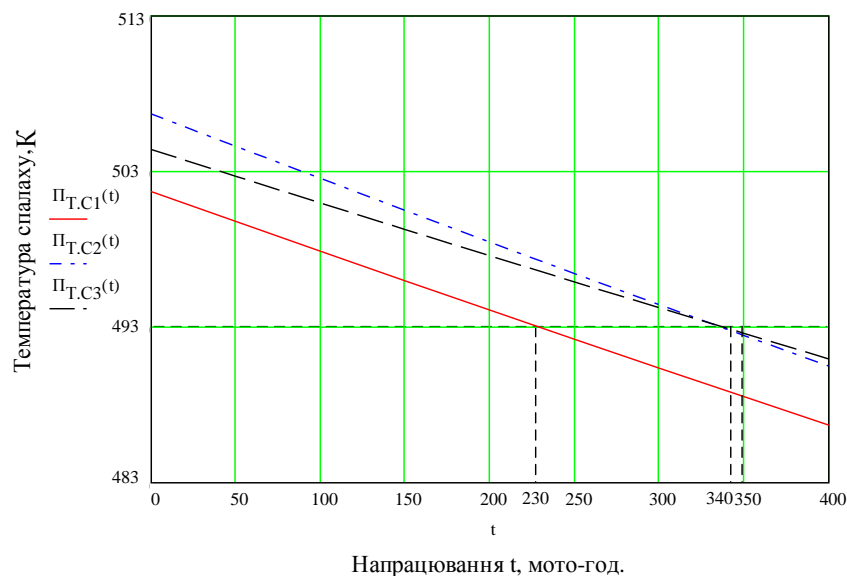


Рис. 4.19. Зміна температури спалаху оливи силового агрегату ТМ: $\Pi_{T.C1}(t)$ – моторна олива М-10Г₂к; $\Pi_{T.C2}(t)$ – М-10Г₂к+Roil Gold; $\Pi_{T.C3}(t)$ – М-10Г₂к+КГМТ-1

На графіках (рис.4.19) зафіксовано позитивний ефект від модифікування присадками моторної оливи, оскільки крива зміни показника свіжої моторної оливи $\Pi_{T.C1}(t)$, перетинає лінію граничної температури спалаху 493 К при напрацюванні 230 мото-год, а при її модифікуванні присадками, кривими $\Pi_{T.C2}(t)$, $\Pi_{T.C3}(t)$ – 340 і 350 мото-год.

Рівняння, які характеризують зміну лужного числа свіжої та модифікованої моторної оливи, представлені в системі (4.5), а їх графічна інтерпретація – на рис. 4.20.

$$\begin{cases} P_{Л.ч1}(t) = 7 \cdot \exp(-0,00063 \cdot t); \\ P_{Л.ч2}(t) = 8,1 \cdot \exp(-0,0009 \cdot t); \\ P_{Л.ч3}(t) = 8,2 \cdot \exp(-0,00082 \cdot t). \end{cases} \quad (4.5)$$

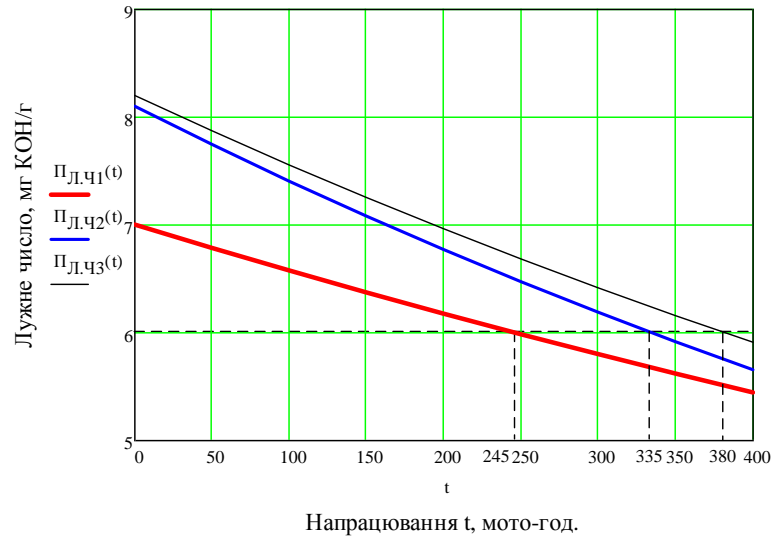


Рис. 4.20. Зміна лужного числа моторної оливи з напрацюванням силового агрегату ТМ: $P_{Л.ч1}$ – моторна олива М-10Г₂к; $P_{Л.ч2}$ – М-10Г₂к+Roil Gold;

$P_{Л.ч3}$ – М-10Г₂к +КГМТ-1

З графіка (рис.4.20) випливає, що крива зміни лужного числа свіжої базової моторної оливи перетинає лінію граничного рівня 6 мг КОН/г при напрацюванні 245 мото-год, а криві модифікованої оливи – 335 і 380 мото-год.

Рівняння, які характеризують зміну диспергируючої здатності свіжої та модифікованих присадкою моторних олив, представлені в системі (4.6), а їх графічна інтерпретація – на рис. 4.21.

$$\begin{cases} P_{Д.31}(t) = 0,93 \cdot \exp(-0,000358 \cdot t); \\ P_{Д.32}(t) = 0,945 \cdot \exp(-0,00037 \cdot t); \\ P_{Д.33}(t) = 0,95 \cdot \exp(-0,00039 \cdot t). \end{cases} \quad (4.6)$$

Можна бачити, що крива диспергируючої здатності свіжої базової моторної оливи перетинає лінію граничного рівня 0,85 у.о. при напрацюванні 250 мото-год, а при додаванні в оливу присадок Roil Gold і КГМТ-1 – 280 та 310 мото-год.

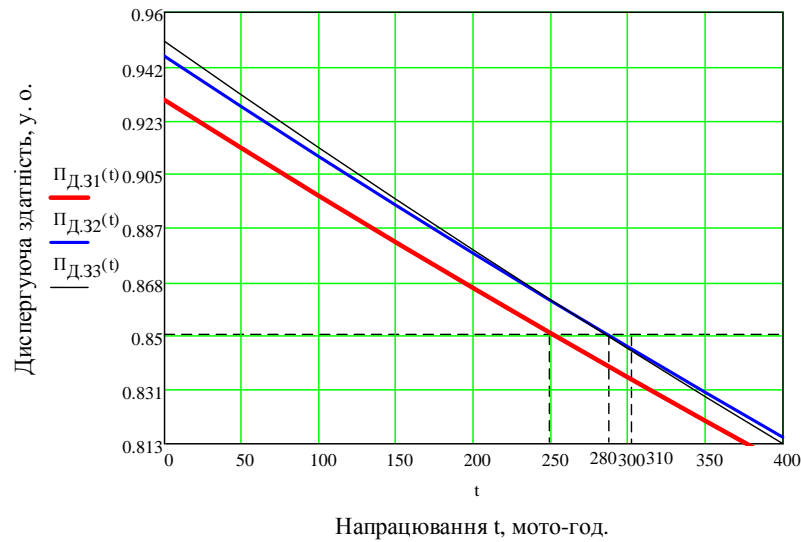


Рис. 4.21. Залежності диспергуючої здатності моторної оливи з напрацюванням силового агрегату ТМ: $P_{Д.31}(t)$ – моторна олива М-10Г₂к; $P_{Д.32}(t)$ – М-10Г₂к+Roil Gold; $P_{Д.33}(t)$ – М-10Г₂к +КГМТ-1

Рівняння, які характеризують зміну кінематичної в'язкості базової та модифікованої присадкою моторних оливок, представлені в системі (4.7), а їх графічна інтерпретація – на рис. 4.22.

$$\begin{cases} P_{К.В1}(t) = 14,3 \cdot \exp(-0,00031 \cdot t); \\ P_{К.В2}(t) = 14,45 \cdot \exp(-0,0003 \cdot t); \\ P_{К.В3}(t) = 14,43 \cdot \exp(-0,00028 \cdot t). \end{cases} \quad (4.7)$$

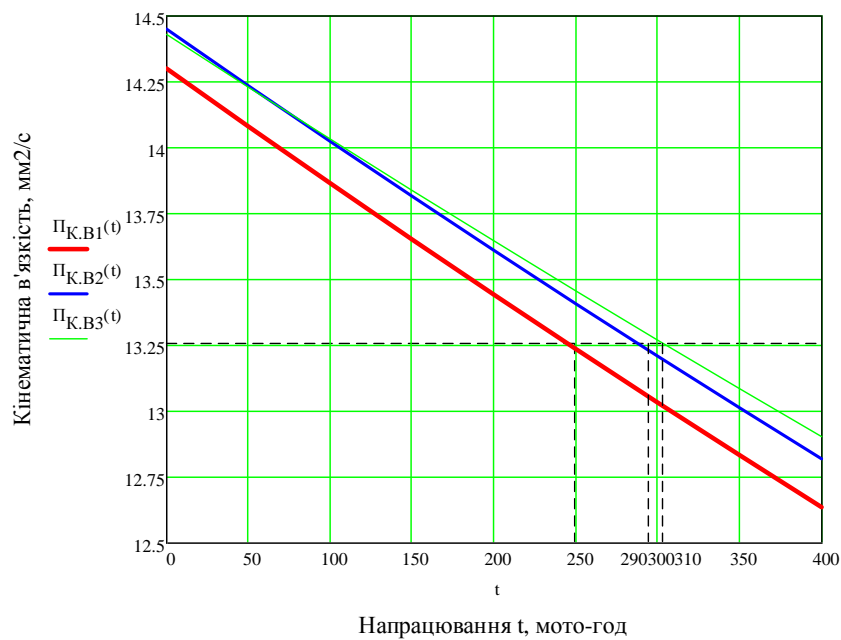


Рис. 4.22. Залежності кінематичної в'язкості моторної оливи ТМ від напрацювання: $P_{К.В1}$ – моторна олива М-10Г₂к; $P_{К.В2}$ – М-10Г₂к+Roil Gold; $P_{К.В3}$ – М-10Г₂к +КГМТ-1

Визначено, що кінематична в'язкість свіжої моторної оливи досягає свого граничного значення на 250 мото-год, а при модифікуванні присадками Roil Gold і КГМТ-1 – 290 і 310 мото-год.

Якість оливи і термін її заміни при експлуатації ТМ можна визначити використовуючи залежність діелектричної проникності ϵ моторної оливи від концентрації заліза C_{Fe} [129]. Теоретично обґрунтовано, що одним із ефективних способів підвищення якості моторної оливи і збільшення терміну її заміни є модифікування її присадками [130]. Разом з тим недостатньо досліджено вплив різного типу присадок на термін заміни моторної оливи при роботі ТМ в нестационарних умовах експлуатації. В даній роботі моторну оливу модифікували додаванням присадок Roil Gold та КГМТ-1 з оптимальними концентраціями.

Виявлено, що для моторної і трансмісійної оливи існує зв'язок між зміною концентрації заліза в ній і діелектричною проникністю (рис.4.23).

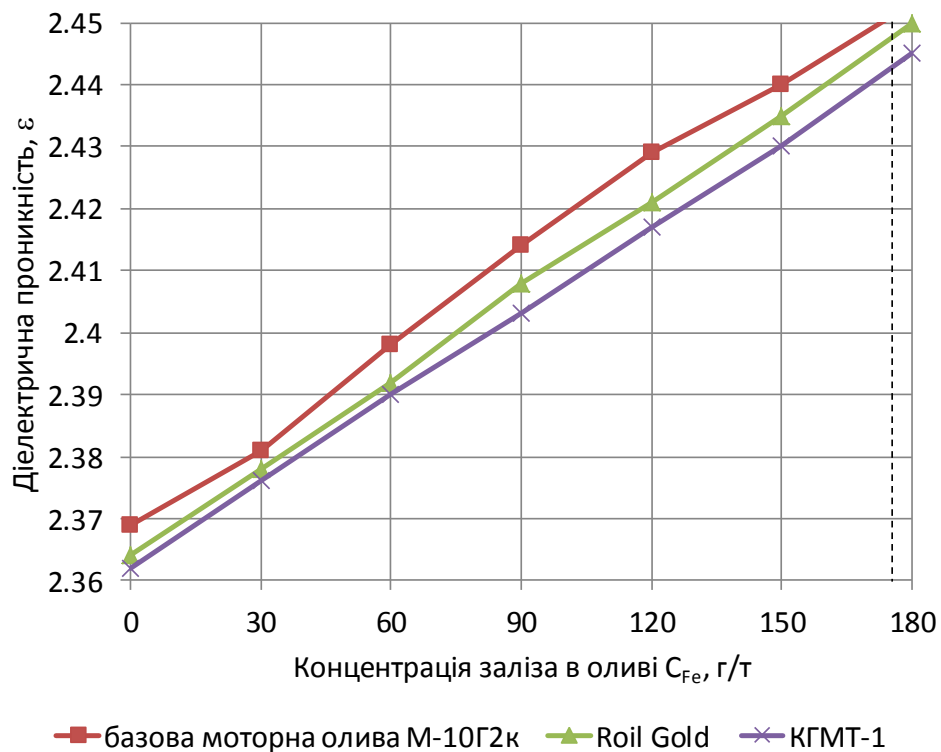


Рис. 4.23. Зміна діелектричної проникності від концентрації заліза в моторній оливі з додаванням присадок

Встановлено, що ця залежність є лінійною. Діагностуючи моторну

оливу за діелектричною проникністю з великою достовірністю можна стверджувати про її фактичний стан і термін напрацювання [132]. Виявлено, що із додаванням присадок діелектрична проникність зменшується: Roil Gold – на 2,2...3,5 %, КГМТ-1 – 3,7...5,6%. Характер зменшення діелектричної проникності оливи залежить від типу присадки.

Вплив присадок на зменшення зносу поверхонь спряжень деталей, обумовлює зменшення потрапляння заліза в оливу і відповідно спостерігається збільшення терміну заміни моторної оливи. Можна бачити, що найбільш сприйнятливими в цій залежності є запропонована композиційна присадка на основі геомодифікатора КГМТ-1.

Залежність діелектричної проникності від напрацювання ТМ є нелінійною (рис.4.24).

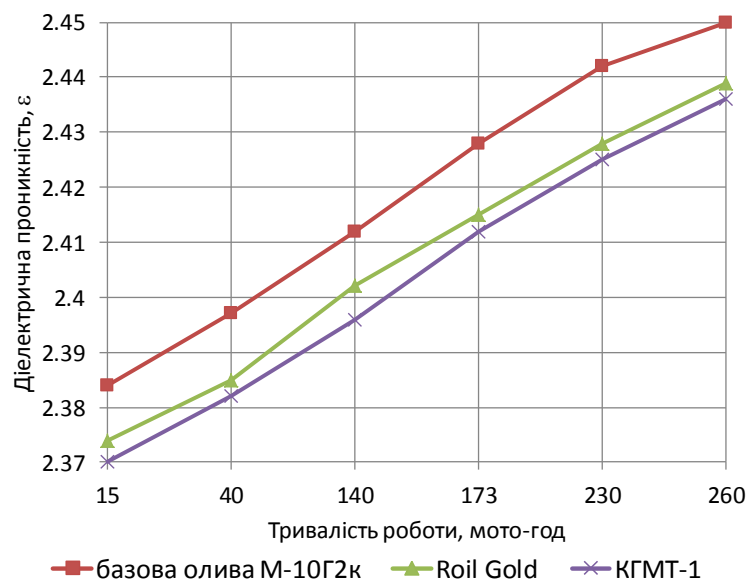


Рис. 4.24. Зміна діелектричної проникності оливи від тривалості її роботи

Можна бачити, що швидкість збільшення значень діелектричної проникності спостерігається для оливи без присадок, а 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 оливи.

Отримані результати досліджень дозволили розробити методологію оцінки якості та заміни оливи в дизелях ТМ за результатами діагностики з урахуванням нестаціонарності умов експлуатації, індивідуальних особливостей кожного дизеля, їх технічного стану та фірми виробника.

При нормальній експлуатації ТМ обслуговування дизелів заміна оливи проводиться у відповідності з нормативним документом "Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту" або рекомендаціями по сервісному обслуговуванню заводу виробника. Для нестационарних умов експлуатації ТМ цю технологію слід трансформувати.

Таким чином, експериментальні дослідження показали, що закономірності зміни з напрацюванням таких показників як температура спалаху, щільність, лужне число, диспергуюча здатність, кінематична в'язкість, діелектрична проникність базової та модифікованих присадками Roil Gold, КГМТ-1 моторної оливи М-10Г₂к можна описати математичними моделями експоненціальної залежності і додавання в моторну і трансмісійну оливи композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1 дає більший відсоток покращення зазначених показників ніж при додаванні присадки Roil Goold, про що свідчать отримані закономірності їх зміни з напрацюванням: математичні моделі (4.3)-(4.7), рис.4.16-4.22.

4.6 Зміна концентрації і швидкості надходження металевих продуктів зношування в моторну та трансмісійну оливи в процесі експлуатації

4.6.1 Зміна концентрації і швидкості надходження заліза в оливу

Зміну концентрації та швидкості надходження заліза в базову та модифіковану моторну оливи, а також ступінь впливу їх на термін заміни моторної оливи і ресурс дизелів ТМ, що працюють в нестационарних умовах, експериментально обґрунтовано і визначено за методикою, зазначеною в п.п.2.3.2, п.п.2.4.4., п.п.3.7.2.

В процесі роботи в нестационарних умовах на ТМ були відібрані проби базової та модифікованої моторної оливи, модифікованої вказаними присадками з напрацюванням і проведено їх аналіз. Результати аналізу концентрації (табл. 4.4) і розрахунку швидкості надходження заліза в моторну оливу за аналітичним методом [129] наведені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.4

Результати зміни концентрації надходження заліза з напрацюванням трактора ХТЗ-17021

Напрацювання, мото-год	Моторна олива М-10Г ₂ к	М-10Г ₂ к +Roil Gold	М-10Г ₂ к +КГМТ-1
	Концентрація заліза, г/т		
0	0	0	0
25	9	6	7
50	15	11	11
75	20	16	18
100	25	20	19
125	28	22	20
150	30	24	23
175	32	26	25
200	33	28	28
225	35	32	30
250	40	34	32
275	47	36	34
300	55	39	36

Таблиця 4.5

Результати зміни швидкості надходження заліза з напрацюванням трактора ХТЗ-17021

Напрацювання, мото-год	Моторна олива М-10Г ₂ к	М-10Г ₂ к +Roil Gold	М-10Г ₂ к +КГМТ-1
	Швидкість надходження заліза в оливу, мг/мото-год		
0	0	0	0
25	0,018	0,014	0,012
50	0,065	0,059	0,057
75	0,060	0,053	0,055
100	0,058	0,050	0,052
125	0,052	0,049	0,048
150	0,050	0,046	0,045
175	0,049	0,043	0,040
200	0,048	0,040	0,038
225	0,045	0,039	0,037
250	0,043	0,036	0,035
275	0,041	0,035	0,035
300	0,039	0,034	0,034

Аналіз отриманих результатів показав, що граничні значення зазначених показників, за період експлуатації базової моторної оливи М-10Г₂к в нестационарних умовах, було досягнуто при напрацюванні 225...250 мото-год. Додаванням присадок Roil Gold і КГМТ-1 в моторну і трансмісійні оливи виявлено, зменшення концентрації заліза в оливі, що свідчить про позитивний ефект дії присадок, в першу чергу, на таку характеристику як диспергуюча здатність моторної і трансмісійної оливи і

відповідно на швидкість надходження заліза та інших хімічних елементів металевих продуктів зносу.

4.6.2 Зміна концентрації хімічних елементів металевих продуктів зношування у модифікованій присадками оливі силових агрегатів ТМ.

Оскільки модифікування проводили різними присадками, то спостерігали різну зміну концентрації хімічних елементів Al, Pb, Cr та Fe в моторній і трансмісійній оливах. Результати визначення дали можливість побудувати діаграми зміни концентрації хімічних елементів від тривалості роботи самоскидів (рис.4.25).

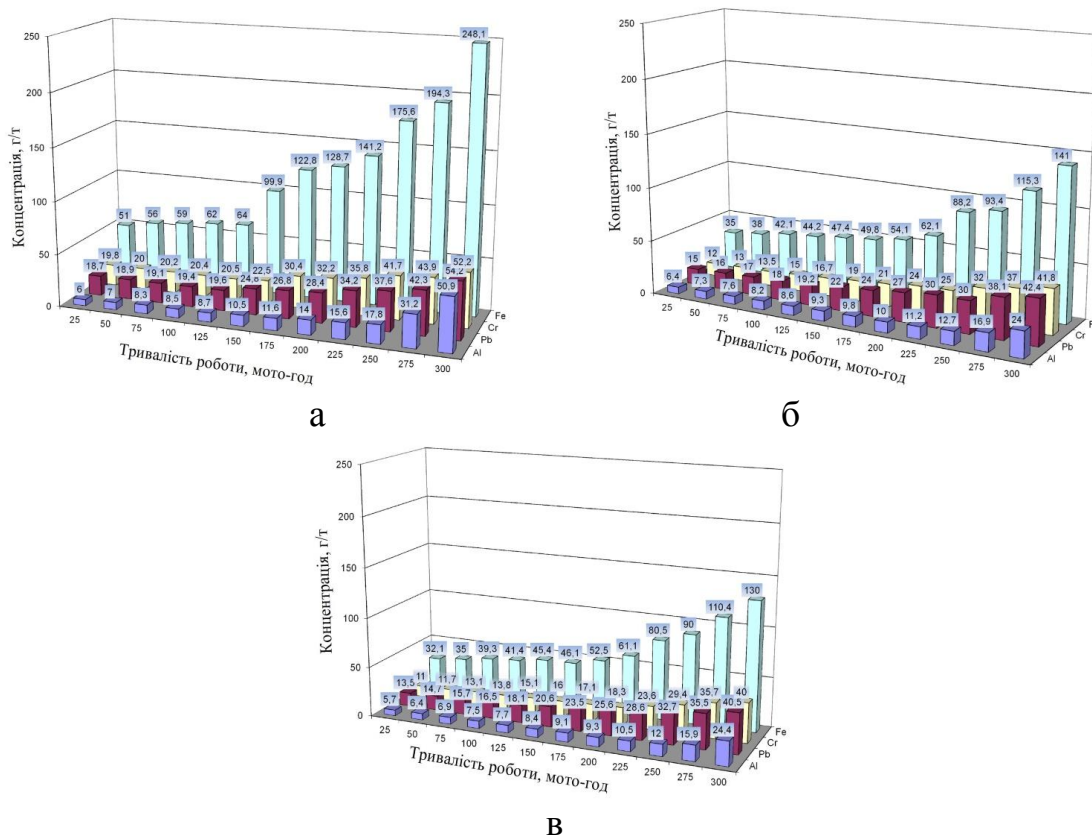


Рис. 4.25. Характеристика зміни концентрації основних хімічних елементів з збільшенням тривалості роботи: а – моторної оливи М-10Г₂К; б – М-10Г₂К + Roil Gold; в – М-10Г₂К+КГМТ-1, граничні значення елементів: Al-17 г/т, Pb-37 г/т, Cr-40 г/т, Fe-175 г/т.

Результати спектрографії свідчать, що основні хімічні елементи продуктів зношування, які потрапляють в моторну оливу, 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).

Можна бачити, що присадки, внесені у моторну оливу, по-різному стримують надходження продуктів зносу в неї. Найбільше зменшується концентрація заліза в оливі при додаванні запропонованої у даній дисертаційній роботі композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1. Концентрацію Cr та Pb в оливі з напрацюванням ефективно зменшують використання присадок КГМТ-1, а Al – Roil Gold та КГМТ-1.

Статистична обробка результатів спектрального аналізу свіжої базової та модифікованих присадками Roil Gold та КГМТ-1 олив дала можливість побудувати щільність розподілу концентрацій заліза, хрому та алюмінію і визначити тенденцію зміни їх середньої величини в процесі модифікування оливи. Результати наведені на рис.В.1, додаток В.

У порівнянні з свіжою моторною оливою М-10Г₂к виявлено різний характер розподілу величин наявних хімічних елементів при модифікуванні оливи досліджуваними присадками.

Слід зазначити, що максимум функції щільності розподілу зміщується в бік зменшення наявної концентрації хімічних елементів в оливі. Це свідчить про те, що при модифікуванні оливи процеси зношування робочих поверхонь деталей двигуна стають менш інтенсивними.

Побудовані розподіли концентрацій хімічних елементів продуктів зношування, наявних в моторній оливі, дають можливість визначити тенденцію зменшення середньої їх величини при додаванні присадок [130]. Порівняльний аналіз цих величин у свіжій базовій і модифікованій присадками моторній оливі стверджує що граничного значення концентрації хімічних елементів досягнуть при більшому напрацюванні, тобто подовжується термін використання моторної та трансмісійної олив модифікованими присадками у силових агрегатах ТМ, що працюють в жорстких нестаціонарних умовах відкритих кар'єрів та підприємств агропромислового виробництва.

Водночас збільшення заліза в моторній оливі свідчить про інтенсивний

знос деталей двигуна (гільз, кілець, кулачків штовхачів і ін.), зростання вмісту хрому – про попадання в моторну оливу охолоджуючої рідини з інгібітором корозії, що містить хром, або про знос поршневих хромованих кілець. Зростання вмісту алюмінію та свинцю – про знос підшипників, до складу яких входять Al та Pb.

4.7 Оцінка ресурсу силових агрегатів транспортних машин з використанням модифікованих олив

Ресурсна оцінка проводилась при експлуатаційних випробуваннях ТМ в досліджуваних підприємствах (п.п.3.7.3).

Порівняння середньомісячних напрацювань дизелів ТМ показало, що при їх експлуатації на базовій оливі становить 101 мото-годину, а з використанням оливи, модифікованої КГМТ-1, – 132 мото-годин, що на 30 % вище.

Дані про міжремонтний ресурс досліджуваних дизелів, що працювали на базовій свіжій оливі М-10Г₂к і модифікованій присадками Roil Gold і КГМТ-1 наведено в табл. 4.6.

Таблиця 4.6

Міжремонтний ресурс дизелів ЯМЗ-240, що працювали на базовій і модифікованій оливах

№ дизеля	Напрацювання дизеля, мото-годин з використанням		
	М-10Г ₂ к	Олива М-10Г ₂ к + Roil Gold	Олива М-10Г ₂ к + КГМТ-1
1	7035	8560	8800
2	7240	8580	8890
3	7250	8620	9010
4	7285	8710	9090
5	7425	8750	9165
6	7505	8780	9280
7	7690	8790	9295
8	7610	8760	9370
9	7745	8680	9425
10	7830	8760	9485
11	7870	8790	9560
12	7900	8810	9615
Середнє значення	7530	8716	9250

При цьому середнє напрацювання на оливі М-10Г₂ склало 7530 мото-год, середнє квадратичне відхилення – 283 мото-год, на оливі модифікованій присадкою Roil Gold – відповідно 8716 і 2252 мото-год, на оливі модифікованій КГМТ-1 – відповідно 9250 і 249 мото-год.

Можна бачити, що за рахунок дії присадки Roil Gold міжремонтний ресурс збільшився на 16%, а при модифікуванні оливи композиційною присадкою на основі геомодифікатора КГМТ-1 на 23%, у порівнянні з свіжою базовою оливою.

Відповідно до отриманих результатів виявлено, що розсіювання міжремонтного ресурсу дизелів ЯМЗ-240, що експлуатуються на базовій оливі і з використанням оливи модифікованої КГМТ-1, підкоряються закону Вейбулла-Гнеденка. Довірчу імовірність приймали рівною 0,95.

4.8 Техніко-економічне обґрунтування доцільності використання композиційної присадки геомодифікатора КГМТ-1 для модифікування робочих олив силових агрегатів транспортних машин

При вирішенні доцільності збільшення терміну заміни моторної оливи силового агрегату ТМ та способу зменшення зносу трибоспряжень деталей дизеля під час його пуску за рахунок використання композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1 був проведений економічний розрахунок. Вихідні дані для порівняльного розрахунку економічної доцільності подовження терміну заміни моторної оливи, а отже і зміни періодичності ТО у розрахунку на 2020 рік (табл.4.7).

Таблиця 4.7

Базові дані для порівняльного розрахунку економічної доцільності використання композиційної присадки КГМТ-1 у моторній оливі

Показник	Вимірювання
Ціна М-10Г ₂ к грн./л	65,80
Об'єм системи мащення, л	52
Вартість заміни моторної оливи, грн.	3421,6
ТО-2, грн.	3077,5 3754
Капітальні вкладення, грн.	- 108136,7

Оскільки, при дослідженнях процесу модифікування моторної оливи композиційною присадкою на основі геомодифікатора КГМТ-1 було встановлено, що термін заміни моторної оливи подовжується і збільшується інтервал між ТО, а їх кількість за робочий сезон зменшується (табл.4.8).

Таблиця 4.8

Вплив використання запропонованої присадки на економічну доцільність подовження терміну заміни моторної оливи М-10Г2к за робочий сезон

Показник	Свіжа олива М-10Г2к	Свіжа олива М-10Г2к+КГМТ-1
	ТО із встановленим терміном заміни оливи	ТО з подовженням терміну заміни оливи
Кількість ТО заміни оливи	15	11
Вартість заміни моторної оливи,грн	51324	37637,6

Економічний ефект оцінювали при проведенні ТО за весь цикл експлуатації ТМ за робочий сезон. Економічну ефективність для однієї одиниці техніки визначали за формулою [164]:

$$E_{ТО} = C_{ТО} - C_{ТОн} \quad (4.8)$$

де $C_{ТО}$ – витрати на ТО при свіжій базовій моторній оливі на один автомобіль; $C_{ТОн}$ – витрати на ТО при модифікованій оливі на основі геомодифікатора КГМТ-1 на одну одиницю ТМ;

$$E_{ТО} = 51324 - 37637,6 = 13686,4 \text{ грн.} \quad (4.9)$$

Встановлено, що напрацювання агрегатів ТМ до КР підвищується на 23...30%. Це слід також враховувати в загальному економічному ефекті, що припадає на одну одиницю техніки.

Сумарний економічний ефект за рахунок зменшення кількості проведених ТО та підвищення ресурсу для однієї одиниці ТМ визначаємо за формулою [132]:

$$E = E_{ТО} \cdot n. \quad (4.10)$$

де n – кількість автомобілів, працюючих в нестационарних умовах експлуатації;

$$E = 13686,4 \cdot 6 = 82118,4 \text{ грн.} \quad (4.11)$$

Тобто, при застосуванні певних технічних дій можна досягти економічного ефекту не менше 82118,4 грн. При річній програмі проведення технічних дій з терміну заміни моторної оливи обсягом в 20 одиниць техніки, можливий річний економічний ефект на таку програму складе відповідно 273728,00 грн. В даній економічній ситуації, яка склалася в Україні це дає поштовх до економічного розвитку підприємства, що використовують ТМ в жорстких нестаціонарних умовах експлуатації.

4.9 Рекомендації підприємствам, що використовують транспортні машин у жорстких умовах експлуатації

4.9.1 Загальні рекомендації експлуатаційним службам по підвищенню довговічності силових агрегатів транспортних машин.

Виходячи з теоретичних та експериментальних досліджень, обґрунтовано, що будь-яка технічна система протягом терміну свого існування експлуатується в різних умовах і режимах. Знаючи реальний термін заміни моторної оливи, можна керувати термінами ТО та визначати ймовірність знаходження і необхідності проведення технічних дій при подовженні терміну заміни оливи, особливо це є необхідним при використанні ТМ в умовах жорсткої нестаціонарної експлуатації.

Отримані результати проведених досліджень дають можливість сформулювати ряд узагальнених наступних рекомендацій:

1. При визначенні терміну заміни моторної та трансмісійної оливи та ТО ТМ, слід враховувати умови і режими їх експлуатації.

2. На етапі припрацювання, краще зробити обкатку дизелів ТМ, що працюють в нестаціонарних умовах і режимах композиційною присадкою на основі геомодифікатора КГМТ-1.

3. При модифікуванні оливи силових агрегатів композиційною присадкою на основі геомодифікатора КГМТ-1 можна виконувати її заміну з

періодичністю 275...350 мото-год.

4. Модифікування моторної і трансмісійної оливи запропонованою композиційною присадкою істотно зменшує концентрацію шкідливих хімічних елементів у продуктах зносу.

Дані рекомендації дають можливість скласти більш економічно обґрунтовану заміну моторної оливи для дизелів ТМ, що працюють в нестационарних умовах.

4.9.2 Підвищення ресурсу ТМ зменшенням зносу трибоспряжень деталей силових агрегатів під час його пуску.

Спосіб зменшення зносу трибоспряжень деталей силових агрегатів під час пуску полягає у тому, що у системі змащення додатково створюється тиск перед початком пуску двигуна (рис. 4.26).

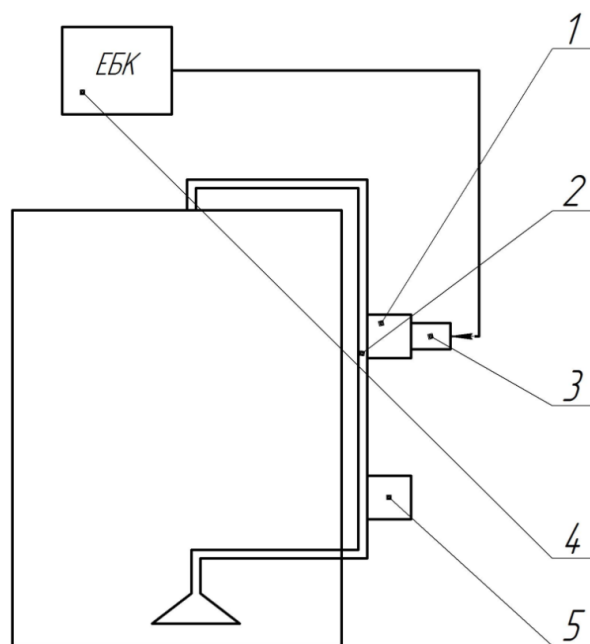


Рис. 4.26. Схема способу зменшення зносу спряжень деталей силових агрегатів ТМ під час їх пуску (патент №74656): 1 – додатковий насос; 2 – система мащення; 3 – електропривід; 4 – електронний блок керування (ЕБК); 5 – оливний насос

Спосіб реалізується наступним чином: додатковий насос (1) створює тиск в системі мащення (2) перед початком пуску двигуна. Додатковий насос

(1) вмикається і керується електроприводом (3), на який подає команду ЕБК (4) і який вимикається після того, як починає працювати оливний насос (5) системи мащення. За допомогою реалізації цього способу спряження деталей дизеля ТМ будуть завжди розділені плівкою оливи.

Таким чином, запропонований спосіб зменшує знос спряжень деталей силових агрегатів ТМ завдяки додатковому насосу, який створює тиск в системі змащення перед початком пуску дизеля. Спосіб ефективно працює в режимі роботи "пуск-зупинка", завдяки якому знос спряжень деталей значно зменшується. Режим роботи "пуск-зупинка" в даних умовах дає можливість економити паливно-мастильні матеріали до 15% та збільшувати термін заміни моторної оливи.

Оскільки, виходячи з досліджень, визначено, що термін заміни оливи можна подовжувати на 25...40%, то можна визначити кількість ТО з подовженням терміну заміни моторної оливи і порівняти з номінальною кількістю ТО.

4.9.3 Експрес-метод діагностування технічного стану системи змащення силового агрегату ТМ.

Результати досліджень дають можливість запропонувати спосіб діагностування технічного стану системи змащення дизеля, відповідно до якого в попередньо промиту систему змащення заправляють оливу, показники якої відповідають технічним умовам, очищають ротор мастильного відцентрового фільтра, прогрівають оливу в системі до заданого значення температури [134]. Встановлюють частоту обертання колінчастого вала, відповідну режиму номінальної потужності двигуна, та вимірюють тиск оливи в головній магістралі, а результат порівнюють з нормативними значеннями, встановлюють мінімально стійку частоту обертання і різко вмикають повну подачу палива, вимірюють та фіксують значення тиску оливи в інтервалі тривалості розгону від мінімально стійкої до максимальної частоти обертання, тривалість зростання тиску до моменту

стабілізації та діагностують систему змащення ТМ.

Характер зміни тиску від потужності в процесі діагностування технічного стану системи змащення, наведено на рис. 4.27.

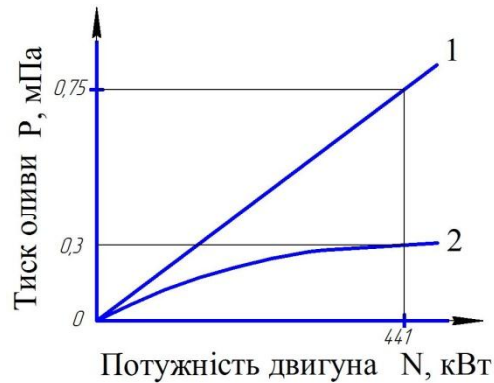


Рис. 4.27. Характер залежності тиску від потужності для системи змащення силового агрегату ТМ для визначення його працездатності (патент №98561):

1 – працездатна; 2 – непрацездатна

Визначено, що технічний стан системи змащення можливо характеризувати залежністю тиску оливи від потужності дизеля ТМ. При умові, якщо при збільшенні потужності дизеля різко зростає тиск в системі змащення (рис. 4.27, крива 1), то це свідчить про її працездатність. При умові, якщо тиск в системі змащення зі збільшенням потужності зростає повільно, або не зростає (рис. 4.27, крива 2), то система змащення спрацьована або непрацездатна. Зазначимо, що діагностика проводилась при справному масляному насосі на двигуні ЯМЗ-240.

4.9.4 Зміна нормування технічного обслуговування автомобілів в зв'язку з подовженням ресурсу модифікованої оливи присадкою на основі геомодифікатора КГМТ-1.



Експлуатаційні випробування проведені у ПАТ "Кіровоградграніт", СТОВ "Хутірське", ТОВ "Агрофірма Колос" (додаток Б) показали покращення фізико-хімічних показників та властивостей моторної і трансмісійної оливи після модифікування присадкою КГМТ-1 й подовженням терміну їх використання.

З досліджень визначено, що термін заміни моторної оливи можливо подовжувати на 25...40%, то відповідно можна визначити кількість ТО у зв'язку з подовженням ресурсу моторної і трансмісійної оливи і порівняти з номінальною кількістю ТО (табл. 4.9), тобто є необхідність коректування термінів ТО ТМ, що працюють в жорстких умовах експлуатації.

Таблиця 4.8

Коректування термінів ТО ТМ термінів заміни моторної оливи

Робочі місяці	Дні в місяцях														ТО		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	ТО	ТО	
Травень										ТО			ТО		1	1	
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28			
						ТО						ТО			1	1	
Червень	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
		ТО									ТО	ТО			2	1	
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25			
Липень																	
				ТО					ТО				ТО		2	1	
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23			
Серпень																	
						ТО	ТО								1	1	
Вересень																	
						ТО			ТО						1	1	
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17			
Сумарна кількість ТО																	
				ТО	ТО									ТО	2	1	
	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30				
		ТО								ТО				1	1		
Сумарна кількість ТО																15	11

* ,  – Терміни ТО, що стосуються заміни свіжої базової та модифікованої на основі геомодифікатора КГМТ- 1 моторної оливи.

З таблиці випливає, що за робочий сезон кількість ТО ТМ, пов'язаних із заміною моторної оливи зменшується на 4.

Застосування присадок та способу зменшення зносу трибоспряжень деталей силових агрегатів ТМ під час його пуску двигунів для подовження

терміну заміни моторної оливи в ТМ, що працюють в нестационарних умовах відкритих кар'єрів і підприємств агропромислового виробництва Кіровоградської області дозволяють говорити про збільшення інтервалів ТО, з метою раціональної організації проведення вчасних технічних дій для відповідних ТМ щоб забезпечити прийнятні показники довговічності їх силових агрегатів, а також економічної доцільності запропонованих заходів.

Висновки до розділу 4

1. На основі математичного планування лабораторного експерименту на чотирикульковій машині тертя ЧМТ-1 за отриманими регресійними математичними моделями побудовані поверхні відгуку зі школою бажаності, визначено раціональний склад композиційної присадки до моторних і трансмісійних олив на основі геомодифікатора КГМТ-1: геомодифікатор КГМТ-1 – 1500...3000 мг/50 мл; олеат натрію – 500...2000 мг/50 мл; сульфат міді – 500...2000 мг/50 мл; люмінофор ТАТ 33 – 500...2000 мг/50 мл. Склад присадки: геомодифікатор КГМТ-1 – 3000 мг/50 мл; олеат натрію – 2000 мг/50 мл; сульфат міді – 2000 мг/50 мл; люмінофор ТАТ 33 – 500 мг/50 мл. є оптимальним.

2. Ефективність запропонованої присадки визначається тим, що при додаванні її в моторну оливу М-10Г₂к показник зносу на машині ЧМТ-1 зменшується на 23,5 %, критичне навантаження збільшується на 29,6 %, а навантаження зварюванням збільшується на 27,4 %. При додаванні присадки у трансмісійну оливу ТМ-3-18к показник зносу зменшився на 36,2 %, критичне навантаження збільшується на 18,4 %, а навантаження зварювання – 7,3 %.

3. Порівняльним лабораторним випробуванням на машині ЧМТ-1 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 композиційна присадка на основі геомодифікатора КГМТ-1.

4. Оцінку силових характеристик рухомих спряжень зразків деталей з свіжим та робочим мастильним середовищем проводили вимірювання моменту сил тертя в безперервному режимі та режимі "пуск-зупинка" в лабораторних умовах на модернізованій машині тертя СМЦ-2 з електронним блоком керування. При змащенні базовою свіжою оливою в безперервному режимі у порівнянні з сухим тертям початкове максимальне значення моменту тертя зменшується в 1,3...1,7 рази, а при припрацюванні – в 3,5...5,0 разів. В режимі "пуск-зупинка" зі змащенням на кожному з інтервалів лабораторних випробувань величина початкового моменту тертя зменшується і через декілька періодів пік моменту тертя зникає.

При додаванні в оливу присадок НИОД-5, Roil Gold та запропонованої на основі геомодифікатора КГМТ-1 пікові моменти тертя зменшуються як за величиною, так і за шириною, що свідчить про позитивний ефект від присадок на початковій стадії, а також спостерігається прискореність процесу припрацювання.

Визначено, що запропонована дешева композиційна присадка на основі геомодифікатора за силовими характеристиками не поступається поширеним в техніці присадками НИОД-5 і Roil Gold. При постійній концентрації присадки КГМТ-1 в моторній та трансмісійній оливах зі збільшенням навантаження в два рази в 1,4...1,7 разів збільшується величина початкового піку моменту тертя та зменшується його ширина, що свідчить про прискорення припрацювання в різних режимах лабораторних випробувань.

Спостерігається характер зміни моменту сил тертя можна пояснити дією присадки на спряжені зразки деталей, а також формування приповерхневого шару композиційної оливи.

5. З'ясовано, що за силовими характеристиками рухомих спряжень зразків деталей, характер дії робочої оливи на поверхню тертя істотно відрізняється внаслідок наявних в робочій оливі частинок зносу. Зафіксовано, що при додаванні присадки в робочу оливу її властивості відновлюються, оскільки момент тертя зменшується, але за різною закономірністю в

безперервному режимі та режими "пуск-зупинка". В останньому режимі є невеликі проміжні піки моменту тертя, а при додаванні присадки КГМТ-1 – їх відсутність. Більший рівень величини моменту тертя у порівнянні з безперервним режимом, обумовлені діями частинок зносу у робочій оливі.

6. Виявлено покращення якості робочих поверхонь рухомих спряжень деталей у безперервному режимі і режимі "пуск-зупинка". У першому випадку прослідковуються практично паралельні лінії подряпин, а у другому – є сліди схоплювання і розмитості ліній подряпин, що залежить як від умов і режимів функціонування та характеру силового навантаження. Різна якість робочих поверхонь рухомих спряжень деталей свідчить про реалізацію в зоні їх контакту режимів сухого, граничного, змішаного та гідродинамічного тертя. При додаванні в оливу присадок протікають трибофізичні реакції та фазові перетворення під впливом роботи сил тертя, які сприяють розвитку процесів самоорганізації в поверхневих шарах матеріалів зразків і деталей при взаємодії з композиційними оливами.

Визначено, що під час припрацювання шорсткість поверхонь змінюється, набуваючи врівноваженого стану, а інтенсивність зношування при цьому набуває мінімального значення. З'ясовано, що процесами зношування спряжень деталей силового агрегату ТМ можна управляти, зосередивши деформацію зсуву в приповерхневому шарі модифікуванням оливи композиційними присадками на основі КГМТ-1.

7. Випробування дизелів серії COMATSU і ЯМЗ відбувались на стенді КИ-1363В, побудовано їх зовнішні швидкісні характеристики при додаванні присадок НИОД-5, Roil Gold і КГМТ-1. Встановлено, що додавання композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1 і інших присадок в моторну оливу забезпечує стійке підвищення потужності дизелів в усьому діапазоні швидкісного режиму. 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. 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%.

8. В експлуатаційних випробуваннях показників та властивостей модифікованої робочої оливи у силових агрегатів ТМ досліджували зольність, коксівність, густину, температуру спалаху, диспергуючу здатність, кінематичну в'язкість, концентрацію хімічних елементів Fe, Cr, Pb, Al. Зазначені показники є впливовими на термін експлуатації оливи. Визначено, що зольність в моторній оливі М-10Г₂к набуває граничного значення при терміні експлуатації 250 мото-год, а при додаванні присадок Roil Gold і КГМТ-1 – 300 і 310 мото-год. Коксівність базової свіжої оливи досягає граничного значення при 200 мото-год, а при додаванні зазначених присадок не досягає при 300 мото-год за отриманими даними експлуатаційних випробувань густини, температури спалаху, лужного числа, диспергуючої здатності, кінематичної в'язкості базової та модифікованої оливи. Побудовані математичні моделі залежності значень показників від напрацювання ТМ, які дають можливість визначити напрацювання при досягненні їх граничних значень, а також проводити прогнозування.

Визначено, що для свіжої оливи густина набуває граничного значення при 280 мото-год, температура спалаху – 230 мото-год, лужне число – 245 мото-год, диспергуюча здатність – 250 мото-год, кінематична в'язкість – 250 мото-год. При додаванні до оливи присадок Roil Gold і КГМТ-1 граничні значення показники набувають при більшому напрацюванні: густина – 360 і 390 мото-год; температура спалаху – 340 і 350 мото-год; лужного числа – 335 і 380 мото-год; диспергуюча здатність – 280 і 310; кінематична в'язкість – 290 і 310 мото-год.

9. Якість оливи і можливий термін її заміни визначали також за її

діелектричної проникності. Встановлено, лінійну залежність діелектричної проникності від концентрації заліза в оливі. При додаванні присадок значення діелектричної проникності зменшується: Roil Gold – на 23,5%, КГМТ-1 – 3,7...5,6%. При збільшенні напрацювання спостерігається нелінійний характер збільшення діелектричної проникності оливи. Спостерігається найбільша швидкість зростання значень діелектричної проникності для базової оливи, на 2,1...3,5% менше для оливо з присадкою Roil Gold і на 3,6...6,4% менше для оливо з присадкою КГМТ-1 ніж базової оливи.

10. На пробах моторних та трансмісійних оливо ТМ, що знаходились в жорстких нестационарних умовах експлуатації трактора ХТЗ-17021 дослідили зміну концентрації та швидкості надходження заліза в оливу. Дослідженню підлягали свіжа базова та модифікована оливи присадками Roil Gold і КГМТ-1. Граничні значення концентрації заліза в моторній і трансмісійній оливах було досягнуто при напрацюванні 225...250 мото-год, а при додаванні присадок – 290...330 мото-год. Дані експлуатаційних випробувань свідчать про позитивний ефект дії присадок, особливо на диспергуючу здатність і на швидкість надходження заліза та інших хімічних елементів. Спостерігаючи різну концентрацію хімічних елементів Al, Pb, Cr, та Fe в моторній і трансмісійних оливах. Найбільше зменшується концентрація Fe в оливі при додаванні композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1. Концентрацію Cr та Pb в оливі з напрацюванням ефективно зменшують використання присадок КГМТ-1, а Al – Roil Gold та КГМТ-1.

Визначено, що основні хімічні елементи продуктів зношування, які потрапляють в моторну оливу, 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).

11. 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 оливі М-10Г₂ склало 7530 мото-год, середнє квадратичне відхилення – 283 мото-год, на оливі модифікованій присадкою Roil Gold – відповідно 8716 і 2252 мото-год, на оливі модифікованій КГМТ-1 – відповідно 9250 і 249 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 економічний ефект за рахунок зменшення кількості проведених ТО та підвищення ресурсу, внаслідок використання запропонованої присадки, для однієї одиниці транспортної машини становить 13686,4 грн.

12. Результати проведених теоретичних, лабораторних, стендових та експлуатаційних досліджень дали можливість сформулювати ряд узагальнених рекомендацій, що стосуються підвищення довговічності силових агрегатів ТМ із урахуванням умов експлуатації ТМ та характеристик присадок для модифікування оливи. Крім цього розроблено схему способу зменшення зносу спряжень деталей силових агрегатів ТМ під час пуску та проведено реалізацію способу на досліджуваних підприємствах. Запропоновано експрес-метод діагностування технічного стану змащення силового агрегату ТМ за залежністю тиску в оливній системі від потужності двигуна. Визначено, якщо тиск зі збільшенням потужності різко зростає, то система працездатна, якщо повільно – то непрацездатна. Запропоновано таблицю коректування термінів заміни моторної оливи. Враховано, що за робочий сезон кількість ТО ТМ, пов'язане із заміною моторної оливи зменшується на 4.

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 оливо 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 оливо. Отримані результати дозволили розробити методологію оцінки якості та термін заміни оливи в силових агрегатів 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 олив 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 нестационарних 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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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. Вып. 39. С. 48-51.
2. 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.
3. 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. Вып. 100. С. 127-133.
4. Рассохин М.А., Сащенко В.Н., Пушкарев А.Г., Пастухов К.В. Определение износов деталей двигателя внутреннего сгорания методом безразборного контроля. *Надежность и долговечность машин и механизмов*. 2019. С. 156-160.
5. Singh, Y. Tribological behavior as lubricant additive and physiochemical characterization of Jatropha oil blends. *Friction*, 2015. Vol 3(4). P. 320-332.
6. 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. Вып. 74. С. 100-106
7. Vzura, P. Influence of Lubricating Oil Improvers on Performance of Crankshaft Seals. *Polish Maritime Research*, 2018. 25 (s1), pp. 172-177.

8. Григоров А.Б., Наглюк И.С., Карножицкий П.В. Браковочные показатели моторных масел и диэлектрическая проницаемость. *Транспорт, экология – стійкий розвиток: матеріали XIV міжнар. наук.-техн. конф.*, 8–10 травня 2008р. – Варна: Вид-во техн. ун-та, 2008. С. 362-369.
9. Al-Quraan, T.M.A. Influence evaluation of the rvs friction geomodifier on tribotechnical parameters of the contact in non-stationary working conditions. *Tribology in Industry*, 2020. 42 (1), pp. 121-130.
10. Kontou, A., Taylor, R.I., Spikes, H.A. Effects of Dispersant and ZDDP Additives on Fretting Wear. *Tribology Letters*, 69 (1), 201. art. no. 6.
11. Аулін В.В., Жулай О.Ю. Підвищення експлуатаційної надійності МСГТ на основні діагностичної інформації про технічний стан силового агрегату. *Підвищення надійності машин і обладнання: всеукраїнська конференція*, 19 квітня 2007 р. Кіровоград: КНТУ. С. 86-87.
12. Ahmadi H., Mollazade K. An oil condition monitoring technique to determine the optimal oil type and maintenance schedule. *Structural Health Monitoring*. 2009. Вип. 8 (4). С. 331-339.
13. Singh H., Bhowmick H. Lubricated tribology of hybrid АММС–steel sliding contact: A comparative investigation between fully formulated commercial engine oils and surfactant functionalized MWCNT–base oil formulation. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*. 2021. Vol. 235 (2). P. 315-328.
14. Cyriac, F., Yi, T.X., Poornachary, S.K., Chow, P.S. Effect of temperature on tribological performance of organic friction modifier and anti-wear additive: Insights from friction, surface (ToF-SIMS and EDX) and wear analysis. *Tribology International*, 2021. 157, art. no. 106896.
15. Бойченко С.В., Иванов С.В., Бурлака В.Г. Моторные топлива и масла для современной техники. К.: НАУ, 2005. 216 с.

16. Liu S., Jing Y., Zhang T., Zhang J. et al. Excellent tribological and anti-corrosion performances enabled by novel hollow graphite carbon nanosphere with controlled release of corrosion inhibitor. *Chemical Engineering Journal*, 2021. 412, art. no. 128648.
17. Gulzar, M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A. et. al. Tribological performance of nanoparticles as lubricating oil additives. *Journal of Nanoparticle Research*. 2016. Vol. 18 (8). P. 1-25.
18. Borda, F. L. G., de Oliveira, S. J. R., Lazaro, L. M. S. M., Leiróz, A. J. K. Experimental investigation of the tribological behavior of lubricants with additive containing copper nanoparticles. *Tribology International*. 2018. Vol. 117. P. 52-58.
19. Faujdar, E., Singh, R.K. Methyl oleate derived multifunctional additive for polyol based lubricants. *Wear*, 2021. 466-467, art. no. 203550.
20. Wu W., Liu J., Li Z., Zhao X. et. al. Surface-functionalized nano MOFs in oil for friction and wear reduction and antioxidation. *Chemical Engineering Journal*, 2021. 410, art. no. 128306.
21. Kohlhauser B., Vladu C.I., Gachot C., Mayrhofer P.H., Rodríguez Ripoll M. Reactive in-situ formation and self-assembly of MoS₂ nanoflakes in carbon tribofilms for low friction. *Materials and Design*. 2021. 199, art. no. 109427.
22. Yu H.L., Yi X.U., Shi P.J. Xu B.S. et al. Tribological properties and lubricating mechanisms of Cu nanoparticles in lubricant. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 2008. Vol. 18 (3). P. 636-641.
23. Аулін В.В., Жулай О.Ю. Інформаційне забезпечення зміни технічного стану дизелів засобів транспорту. *Вісник інженерної академії України*. 2011. №1. С. 166-172.
24. Чудиновских, А. Л., & Лашхи, В. Л. Особенности построения химмотологии. *Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт*. 2014. Вып 11. С. 36-38.

25. Luo, T., Wei, X., Huang, X., Huang, L. Tribological properties of Al₂O₃ nanoparticles as lubricating oil additives. *Ceramics International*. 2014. Vol. 40(5). P. 7143-7149.
26. Wang K., Wu H., Wang H., Liu, Y. et al. Tribological properties of novel palygorskite nanoplatelets used as oil-based lubricant additives. *Friction*, 2021. 9 (2). pp. 332-343.
27. Григоров А.Б., Наглюк И.С. Диэлектрические свойства моторных масел. *Автомобільний транспорт: сб. науч. трудов. X.*, 2009. № 25. С. 167-170.
28. ДСТУ 4454:2005. Нафта і нафтопродукти. Маркування, пакування, транспортування та зберігання. [Чинний від 2005-09-16]. К.: Держспоживстандарт України, 2006. - IV, 32 с.
29. Леванов, И. Г., Задорожная, Е. А. Экспериментальные исследования реологических свойств всесезонных моторных масел. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение*. 2011. Вып. 11 (228). С. 70-77.
30. ДСТУ ГОСТ 33-2003 Нафтопродукти. Прозорі і непрозорі рідини. Визначення кінематичної в'язкості і розрахунк динамічної в'язкості (ГОСТ 33-2000 (ИСО 3104-94), IDT).
31. Гурьянов Ю.А. Экспресс-методы и средства диагностирования агрегатов машин по параметрам масла: автореф. дис. на соискание ученой степени доктора техн. наук: 05.20.03. Челябинск, 2007. 39 с.
32. Чечулин К.Н., Бреки А.Д., Молоков, И.Е., Гвоздев А. и др. Влияние диагностики моторного масла М10Г2К в двигателе внутреннего сгорания КАМАЗ-740 автомобиля КАМАЗ на циклы его поставки в границах технического обеспечения. *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2018. Вып. 8. С. 79-93

33. Mang, T., Kirsten, B., and Thorsten B. Industrial tribology: Tribosystems, friction, wear and surface engineering, lubrication. *John Wiley & Sons*, 2011. P. 621.
34. Mo Y., Wang J., Hong Y., Yang X., Lv J. Study on the Influence of Low-Viscosity Engine Oil on Engine Friction and Vehicle Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle Fuel Economy. *SAE Technical Papers*, 2020. January.
35. Wong V.W., Tung S.C. Overview of automotive engine friction and reduction trends-Effects of surface, material, and lubricant-additive technologies. *Friction*, 2016. 4 (1). P. 58-69.
36. Голубев И.Г., Соловьев Р.Ю., Гительман Д.А., Ольховацкий А.К. Экспресс-метод выбора рационального триботехнического состава для безызысной эксплуатации двигателей внутреннего сгорания: Технологические рекомендации. М.: ФГБНУ ГОСНИТИ. 2015. 50 с.
37. Свирид М.Н., Кудрин А.П., Приймак Л.Б. Использование ХАДО-присадок при трибомагнитном восстановлении. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2011. №6. С. 122-125.
38. 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.
39. Öncü G., Durak E. Utilization of waste vegetable oil methyl esters as lubricant oil. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 2021.
40. Syundyukov I.S., Ivanov, E.K., Skotnikova M. A., Qian J. D. et al. Tribotechnical Diagnostics of an Internal Combustion Engine According to the Condition of the Oil. *In Key Engineering Materials*, 2019. Vol. 822, pp. 649-655.
41. Кириленко Н.Б. Автомобильные эксплуатационные материалы. Издательский центр Академия. М. 2007. 208 с.

42. Ковальский Б. И., Агровиченко Д. В., Сокольников А. Н., Балясников В. А. Результаты исследования доливов на показатели термоокислительной стабильности минерального моторного масла Лукойл стандарт 10W-40SF/CC. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2017. № 5. С. 168-174.

43. Il'in R.A., Chanchikov, V.A., Guzhvenko, I.N., Svekol'nikov, S.A. Development and use of antiwear additions to lubricating oil in order to increase wear resistance of internal combustion engine moving contacts. *Chemical and petroleum engineering*. 2017. Vol. 53(7). 464-468.

44. Hrynkiv, A. Operational evaluation of motor oils of trucks by their thermal oxidative stability. *Технологический аудит и резервы производства*. 2019. № 3 (1). С. 25-30.

45. Наглюк И.С. Скорость поступления продуктов износа в моторное и трансмиссионное масло при эксплуатации транспортных машин. *Вісник СевНТУ*. 2011. Вип. 121. С. 114-117.

46. Zolper T., Li Z., Chen C., Jungk M. et al. Lubrication properties of polyalphaolefin and polysiloxane lubricants: Molecular structure-tribology relationships. *Tribology Letters*, 2012. 48(3), 355-365.

47. Григоров А.Б., Коваленко А.В., Наглюк И.С. Диагностика качества работающих моторных масел по показателю загрязнённости. *Энергосбережение "Энергетика" Энергоаудит*. 2009. № 8 (66). С. 30–34.

48. Григоров А.Б., Наглюк И.С. Методологический подход к рациональному использованию моторных масел при эксплуатации автомобильного транспорта. *Энергосбережение «Энергетика» Энергоаудит*. 2009. № 12 (70). С. 9-15.

49. Yesbossynov K., Buyalich G., Sembayev N., Jailaubekov M. Mathematical Interpretation of Open-Pit Dump Trucks Diesel Engine Durability.

Innovations in Mining Machinery: Vth International Innovative Mining Symposium, 18 June 2020. Vol. 174. p. 03004.

50. Глущенко А.А., Замальдинов М.М., Салахутдинов И.Р. Влияние антифрикционных присадок в масле на температуру в трибоузле. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2015. № 2 (30). С. 157-161.

51. Бабич, А. Г. Исследование вязкости моторных и трансмиссионных масел. *Научная мысль*. 2017. Вып. 3. С. 19-22

52. Войтов В.А., Мазепа В.А. Системный подход для эксплуатации моторных масел по техническому состоянию. *Проблемы трибологии*. 2006. № 1. С. 108-117.

53. Dykha, A., Aulin, V., Makovkin, O., Posonskiy, S. Determining the characteristics of viscous friction in the sliding supports using the method of pendulum. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*, 2017. 3 (7-87), pp. 4-10.

54. Baskov V., Ignatov A., Polotnyanshikov V. Assessing the influence of operating factors on the properties of engine oil and the environmental safety of internal combustion engine. *Transportation Research Procedia*, 2020. 50, pp. 37-43.

55. Beheshti A., Huang Y., Ohno K., Blakey I., Stokes, J. R. Improving tribological properties of oil-based lubricants using hybrid colloidal additives. *Tribology International*. 2020. Vol. 144. P. 106-130.

56. Valis D., Zák L., Chaloupka, J. Prediction of vehicle further operation and fault based on tribo-diagnostic data. *In 2014 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management* (pp. 1166-1170).

57. Журавель Д.П. Эффективность использования восстановленных моторных масел в тракторных двигателях. *Труды ТГАТА*. 2001, Вып.1. т.18. С.24-28.

58. Liu, C., Tang, G., Su, F., Xu, X., Li, Z. Functionalised h-BN as an effective lubricant additive in PAO oil for MoN coating sliding against Si₃N₄ ball. *Lubrication Science*, 2021. 33 (2), pp. 33-42.

59. Radhika, P., Sobhan, C.B., Chakravorti, S. Improved tribological behavior of lubricating oil dispersed with hybrid nanoparticles of functionalized carbon spheres and graphene nano platelets. *Applied Surface Science*, 2021. 540, art. no. 148402.

60. Wu, P., Chen, X., Zhang, C., Zhang, J. et al. Modified graphene as novel lubricating additive with high dispersion stability in oil. *Friction*, 2021. 9 (1), pp. 143-154.

61. Ilie, F., Covaliu, C. Tribological properties of the lubricant containing titanium dioxide nanoparticles as an additive. *Lubricants*. 2016. Вып. 4 (2). С. 12-19.

62. Жировов Д.М., Лимаренко Н.В., Мирской К.О., Тринц Д.В. Параметры, характеризующие качество моторных масел двигателей внутреннего сгорания сельскохозяйственного транспорта в процессе их эксплуатации. *Молодой исследователь Дона*. 2019. Вып. 2 (17). С. 130-135.

63. Padgurskas, J., Rukuiza, R., Prosyčevs, I., Kreivaitis, R. Tribological properties of lubricant additives of Fe, Cu and Co nanoparticles. *Tribology International*. 2013. Vol. 60. P. 224-232.

64. Erdemir, A. Review of engineered tribological interfaces for improved boundary lubrication. *Tribology International*. 2005. Vol. 38(3). P. 249-256.

65. Liu, R., Wei, X., Tao, D., Zhao, Y. Study of preparation and tribological properties of rare earth nanoparticles in lubricating oil. *Tribology International*. 2010. Vol. 43(5-6). P. 1082-1086.

66. Faujdar E., Negi H., Bhonsle A., Atray N., Singh R.K. Efficiency of Dodecenylsuccinic Amide of n-Phenyl-p-Phenylenediammine as Novel Multifunctional Lubricant Additive for Deposit Control and Lubricity. *Journal of Surfactants and Detergents*, 2021. 24 (1), pp. 173-184.

67. Johnson B., Wu H., Desanker M., Pickens D. et al. Direct Formation of Lubricious and Wear-Protective Carbon Films from Phosphorus- and Sulfur-Free Oil-Soluble Additives. *Tribology Letters*. 2018. Вып. 66 (1), 2. P. 57-68

68. Kruchinina E.V., Morozova A.V., Mukutadze M.A., Opatskikh A.N. Simulation Model of a Journal Bearing with a Low-Melting and Porous Coating in the Structure on Different Contact Surfaces. *International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020*, art. no. 9271268.

69. Leont'ev L.B., Shapkin N.P., Leont'ev A.L. Effect of the Chemical Composition and Structural Characteristics of Vermiculite-Based Tribotechnical Materials on the Operating Ability of the Coatings Formed. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 2020. 49 (6), pp. 530-538.

70. Kotsyubynsky V., Shyyko L., Shihab T., Prysyazhnyuk P., Aulin V., Boichuk V. Multilayered MoS₂/C nanospheres as high performance additives to lubricating oils. *Materials Today: Proceedings*. 2021. Vol. 35. P. 538-541.

71. Abdullah M.I.H.C., Abdollah M.F.B., Amiruddin H., Tamaldin N., Nuri N.R.M. Optimization of Tribological Performance of hBN/AL₂O₃ Nanoparticles as Engine Oil Additives. *Procedia Engineering*, 2013. 68, 313-319.

72. Wang Q., Wang L., Zhao S.-L., Meng Z. Experimental study on the suspension stability and tribological properties of nano-copper in LCKD-320 lubricating oil. *Applied Nanoscience*, 2021. 11 (1), pp. 45-54.

73. Kashyap A., Harsha A. P. Tribological studies on chemically modified rapeseed oil with CuO and CeO₂ nanoparticles. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, *Journal of Engineering Tribology*. 2016. Vol. 230 (12). P. 1562-1571.

74. Zaporotskova, I.V., Bakhracheva, Y.S., Boroznin, S.V. Investigation of the antifriction properties of nano-modified engine oil. *AIP Conference Proceedings*, 2019. 2141, art. no. 020020.

75. Gu Y., Fei J., Zheng X., Li M. et al. Graft PEI ultra-antiwear nanolayer onto carbon spheres as lubricant additives for tribological enhancement. *Tribology International*, 2021. 153, art. no. 106652.

76. AkkuS H., Duzcukoglu H., Serin F. Experimental investigation of wear behavior of borax-added mineral oil at various temperatures. *Surface Review and Letters*, 2021. art. no. 2150010.

77. Haque, T., Morina, A., Neville, A., Kapadia, R., Arrowsmith, S. Non-ferrous coating/lubricant interactions in tribological contacts: assessment of tribofilms. *Tribology International*. 2007. Vol. 40 (10-12). P. 1603-1612.

78. Buyanovskii I.A., Levchenko V.A., Bol'shakov A.N., Samusenko V. D. A molybdenum-containing carbon coating for tribotechnical use and antifriction properties of oils under boundary lubrication. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 2019. 48(1), 73-78.

79. Zheng Y., Asif A., Amiri A., Polycarpou A.A. Graphene-based aqueous drilling muds as efficient, durable, and environmentally friendly alternatives for oil-based muds. *ACS Applied Nano Materials*, 2021.

80. He C., Yan H., Li X., Wang X. One-step rapid fabrication of high-purity onion-like carbons as efficient lubrication additives. *Journal of Materials Science*, 2021. 56 (2), pp. 1286-1297.

81. Зайков В.И., Берлявский Г.П. Эксплуатация горных машин и оборудования: 2006р. 257 с.

82. Журавель Д.П. Моделювання процесів зміни кількісних і якісних показників моторних масел при їх використанні. *Праці ТДАТА*, 2000. Вип.2. т.14. С.37-40.

83. Basu B., Tribology of Ceramics and Composites: Materials Science Perspective. *The American Ceramic Society*. 2011. pp: 522.

84. Мачехин, Н.Ю., Ширлин, И.И., Пашукевич, С.В. Особенности эксплуатации техники при использовании высококачественных моторных масел с увеличенными интервалами замены. *Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии*, 2019. Вип. 16 (4). С. 446-454.

85. J. Lin, L. Wang, and G. Chen. Modification of graphene platelets and their tribological properties as a lubricant additive. *Tribology Letters*. 2011. vol. 41, no. 1, P. 209-215.

86. Zhao J., Huang Y., He Y., Shi Y. Nanolubricant additives: A review. *Friction*. 2021. Vol. 9 (5). P. 891-917.

87. Васильков Д.В., Пустовой И.Ф., Пустовой Н.И. Анализ слоя, формируемого минеральным модификатором поверхности трения. М.: Труды ГОСНИИТИ, 2011.-Т.107,ч.2 - С. 11-13.

88. Zweiri Y.H., Whidborne J.F., Seneviratne L.D. Instantaneous friction components model for transient engine operation. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 2000. 214 (7), pp. 809-824.

89. Аулін В.В., Слонь В.В., Лисенко С.В. Експрес-оцінка впливу моторних олів і присадок до них на характеристики зносу робочих поверхонь деталей двигунів вантажних автомобілів. *Вісник інженерної академії України*. 2013. №2. С. 166-170.

90. Аулин В.В., Замота Т.Н., Лысенко С.В. Повышение эксплуатационной износостойкости деталей машин их триботехническим восстановлением и управлением процессами приработки. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2016. Vol. 18. № 2. P.89-96.

91. 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

92. Lutsak, D., Prysyzhnyuk, P., Burda, M., Aulin, V. Development of a method and an apparatus for tribotechnical tests of materials under loose abrasive friction. *EasternEuropean Journal of Enterprise Technologies*, 2016. 5 (7-83), pp. 19-26.

93. Yuansheng J., Shenghua L. Superlubricity of in situ generated protective layer on worn metal surfaces in presence of $Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8$. *Superlubricity*, 2007. pp. 445-469.
94. Peng D.-X., Kang Y. Wear Behavior of Ceramic Powder and Solid Lubricant Cladding on Carbon Steel Surface. *Tribology Transactions*, 2017. 58 (1), pp. 177-185.
95. Джус Р.Н. Реологические особенности автомобильных трибосистем при применении ревитализантов. *Автомобильный транспорт: Сб. науч. трудов*. 2004. Вып. 14. С. 52-55.
96. Jiang Z. Development of Low Viscosity Lubricant for Engine. *Auto Engineer*, 2015. 12, pp. 20-22.
97. Аулін В.В., Жулай О.Ю. Система діагностичного моніторингу технічного стану силових агрегатів. *Зб. Експрес – новини: наука, техніка, виробництво*. К.: УкрІНТЕІ, 2008. №12. С. 70.
98. Гальшев Ю. В., Шабанов А. Ю., Зайцев А. Б., Метелев А. А. Методика ускоренных испытаний моторных масел на изменение их свойств в течение срока эксплуатации. *Материаловедение. Энергетика*. Вып. 2-1 (147). С. 71-76.
99. Khan, A., Gusain, R., Sahai, M., Khatri, O. P. Fatty acids-derived protic ionic liquids as lubricant additive to synthetic lube base oil for enhancement of tribological properties. *Journal of Molecular Liquids*. 2019. Vol. 293. P. 345-352.
100. Доблер В.И. Повышение эксплуатационной надежности двигателей дорожных и строительных машин трибологическим контролем состояния и активацией моторных масел: дисс. ... канд техн наук: 05.05.04. Томск, 2005 153 с.
101. Алтунин В.А., Алтунин К.В., Алиев И.Н., Щиголев А.А., Платонов Е.Н. Разработка способов увеличения ресурса и надежности систем смазки двигателей внутреннего сгорания наземного транспорта. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. 2015. Вып. 10 (667). С. 47-58

102. Gupta H., Rai S.K., Satya Krishna N., Anand G. The effect of copper oxide nanoparticle additives on the rheological and tribological properties of engine oil. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 2021.

103. Кудреватых А. В., Ащеулов А. С., Ащеулова А. С. Методика определения технического состояния редукторов мотор-колеса автосамосвалов БелАЗ по параметрам масла. *Вестник Кузбасского государственного технического университета*. 2020. Вып. 1 (137). С. 49-55.

104. Григоров А.Б., Наглюк И.С. Диэлектрическая проницаемость трансмиссионных масел. *Автомобильный транспорт*. 2010. № .26. С.43-46.

105. Tung S.C., McMillan M.L. Automotive tribology overview of current advances and challenges for the future. *Tribology International*, 2004. 37 (7), pp. 517-536.

106. Джус Р.Н., Стадниченко В.Н., Стадниченко Н.Г., Трошин О.Н. Об образовании и функционировании МК покрытия, полученного с помощью ревитализантов. *Вест. науки и техн.* 2004. Вып. 1. С. 59-64.

107. Dounaev, A. Friction Surfaces Modification Using Tribo-Compounds. *World Applied Sciences Journal*. 2014. Vol. 31 (2). 272-276.

108. ДСТУ 4106-2002. Оливи мастильні. Номенклатура показників [Текст] / розроб. А. Мартинюк [та ін.]. Чинний від 2003.01.01. Офіц. вид. К.: Держстандарт України, 2002. III, 22 с.

109. Liu P., Fang J., Wang X., Wu J., Chen B. A novel boron-nitrogen modified castor oil as an ecofriendly and efficient lubricant additive. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 2021. 42 (2), pp. 180-189.

110. Li Y., Su Z., Luo Y., Wang Y. et al. Study on the friction and wear properties of magnetorheological fluids based on different lubricant formulas. *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, 2021.

111. Biresaw, G., Bantchev, G.B., Harry-O'Kuru, R.E. Phosphonates of Vegetable Oils-Characterization as Lubricants. *Journal of the American Oil Chemists*. 2021. 98 (1), pp. 89-102.

112. Shen M., Luo J., Wen S., Yao J. Nano-tribological properties and mechanisms of the liquid crystal as an additive. *Chinese Science Bulletin*. 2001. Vol. 46(14). P. 1227-1232.

113. Яковлев С. А. Результаты исследований износостойкости деталей после антифрикционной электромеханической обработки. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2011. Vol. 3 (15). С. 116-120.

114. Говорущенко Н.Я. Системотехника автомобильного транспорта (расчетные методы исследований): монография. Харьков: ХНАДУ, 2011. 292 с.

115. Raffai, P., Novotny, P., Marsalek, O. Numerical calculation of mechanical losses of the piston ring pack of internal combustion engines. *Journal of the Balkan Tribological Association*, 2015. 21 (4), pp. 796-809.

116. Kouremenos D.A., Rakopoulos C.D., Hountalas D.T., Zannis T.K. Development of a detailed friction model to predict mechanical losses at elevated maximum combustion pressures. *SAE Technical Papers, SAE 2001 World Congress; Detroit, MI; United States; 5 March 2001 through 8 March 2001; Code 90814*.

117. ДСТУ 4311:2004 Система розробляння та поставлення продукції на виробництво продукція нафтопереробки та нафтохімії. Основні положення.

118. Burbank J., Woydt M. Friction and wear reductions in slip-rolling steel contacts through pre-conditioned chemical tribofilms from bismuth compounds. *Wear*, 2016. pp. 29-37.

119. Carrion F.J., Aviles M.D., Nakano K., et al. Diprotic ammonium palmitate ionic liquid crystal and nanodiamonds in aqueous lubrication. Film thickness and influence of sliding speed. *Wear*. 2019. Vol. 418. P. 241-252.

120. Srinivas V., Thakur R.N., Jain A.K. Antiwear, Antifricition, and Extreme Pressure Properties of Motor Bike Engine Oil Dispersed with Molybdenum Disulfide Nanoparticles. *Tribology Transactions*, 2017. 60 (1), P. 12-19.

121. Masny, W. Powered support in dynamic load conditions - Numerical analysis. *Archives of Mining Sciences*, 2020. 65 (3), pp. 453-468.

122. Anderberg C., Dimkovski Z., Rosén B.-G., Thomas T.R. Low friction and emission cylinder liner surfaces and the influence of surface topography and scale. *Tribology International*, 2019. pp. 224-229.

123. Ерохин Я.С., Габдуллин Т.Р. К вопросу повышения износостойкости деталей машин. *Техника и технология транспорта*. 2019. Vol. 1 (10). P. 1-5.

124. Ebrahimi M., Shaeri M.H., Gode C., Armoon H., Shamsborhan M. The synergistic effect of dilute alloying and nanostructuring of copper on the improvement of mechanical and tribological response. *Composites Part B: Engineering*, 2019. 164, pp. 508-516.

125. Kuwahara T., Romero P.A., Makowski S., Weihnacht V. et al. Mechanochemical decomposition of organic modifiers with multiple reactive centres induces superlubricity of ta-C. *Nature Communications*, 2019. 10 (1), art. no. 151.

126. Григоров А.Б., Карножицкий П.В., Наглюк И.С. Влияние сажи на диэлектрическую проницаемость моторного масла. *Вестник Восточнoукраинского национального университета им. В. Даля*, 2007. № 6 (112). С. 117-121.

127. Войтов В.А., Мазепа В.А. Критериальный подход для оценки снижения служебных свойств моторных масел в процессе эксплуатации и определение сроков их смены. *Повышение надежности восстанавливаемых деталей машин*: Сб. научн. тр. 2003. Вып. 14. С. 104-112.

128. Аулін В.В., Замота Т.М. Развитие площади пятна контакта при макроприработке поверхностей трения. *Проблеми трибології*, 2012. №1. С.9-13.

129. Аулін В.В., Слонь В.В., Голуб Д.В. Закономірності зміни концентрації хімічних елементів в моторній оливі автомобілів, працюючих в

нестационарних умовах експлуатації при додаванні присадок. *Автомобильный транспорт*. 2014. Вып. 34. С.22-27.

130. 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.

131. Aulin V., Lysenko S., Hryniv A., Derkach O., Makarenko D., Zhylova I. Theoretical justification of the influence of change of dilaton and compression bonds of atoms of materials of machine parts on their tribological effect. *Problems of Tribology*. Vol. 26. No 2/100-2021. P. 71-78.

132. 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.

133. Варехов А. Г. Фотометрическое определение загрязненности моторных масел. *Технико-технологические проблемы сервиса*. 2013. № 2 (24). С. 19-22.

134. Спосіб діагностування технічного стану системи мащення дизеля: пат. 98561 Україна: МПК (2015.01) F01M 1/00 U. №u2014201413616; заявл. 18.12.2014; публ. 27.04.2015, Бюл.№ 8.

135. Aulin V., Lysenko S.V., Hryniv 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.

136. Слонь В.В. Модифікуючий вплив присадок на термін заміни моторної оливи в нестационарних умовах експлуатації. *Загальнодержавний міжвідомчий*

науково-технічний збірник КНТУ. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. 2015. Вип. 45. С. 308-313.

137. Aulin V., Slon V., Lysenko S., Golub D. 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.

138. Аулін В.В., Слонь В.В., Голуб Д.В. Вплив присадок до моторних олив на характеристики дизелів, що працюють в нестационарних умовах експлуатації. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2014. Вип. 148. С.18-25.

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

140. Hrynkiv A., Rogovskii I., Aulin V., Lysenko S., Titova L., Zagurskiy O., Kolosok I. Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters for a cylinder-piston group in the diesel engine during operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 3 (5-105). P. 19-29.

141. Музильов, Д. О., Карнаух, М. В. Оцінка надійності паливної системи дизельного двигуна на різних сумішевих складах біодизельного палива. *Автомобільний транспорт та інфраструктура: збірник тез доповідей III Міжнародної науково-практичної конференції 23-25 квітня 2020 р.* С. 109-111.

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

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

144. Аулин, В.В., Замота, Т.Н., Лысенко, С.В., Гринькив, А.В., Чернай А.Е. Трибологические переходы при приработке поверхностей трения сопряжений деталей. *Проблеми трибології*. 2017. Вип. 4. С. 87-96
145. ДСТУ ГОСТ 25371:2006. Нафтопродукти. Розрахунок індексу в'язкості за кінематичною в'язкістю. (ГОСТ 25371-97 (ИСО 2909-81), ІДТ).
146. ДСТУ 3868-99. Паливо дизельне. Технічні умови [Текст]. Топливо дизельное. Технические условия: стандарт. Офіц. вид. Введ. с 1999-09-01. К.: Держстандарт України, 1999. - III, 12 с.
147. Fernández-Silva S.D., García-Morales M., Ruffel C., Delgado M.A. Influence of the nanoclay concentration and oil viscosity on the rheological and tribological properties of nanoclay-based ecolubricants. *Lubricants*, 2021. 9 (1), art. no. 8, pp. 1-15.
148. Chen H., Xu C., Xiao G., Chen Z., Yi M. Ultralow friction between steel surfaces achieved by lubricating with liquid crystal after a running-in process with acetylacetone. *Tribology Letters*. 2018. Vol. 66(2). P. 1-12.
149. Білик А. П. Відновлення поверхонь тертя за допомогою триботехнічних регенеруючих сумішей: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.04. Хмельницький, 2009. 125 с.
150. Vekteris V., Mokshin V. Tribological research of industrial oil with liquid-crystal additives. *Materials Science*. 2008. Vol. 44(5). P. 730-739.
151. Bulgarevich S.B., Boiko M.V., Tarasova E.N., Feizova V.A. Kinetics of mechanoactivation of tribochemical processes. *Journal of Friction and Wear*, 2015. 33 (5), pp. 345-353.
152. Gürdür Broo, D., Boman, U., Törngren, M. Cyber-physical systems research and education in 2030: Scenarios and strategies. *Journal of Industrial Information Integration*, 2021. 21, art. no. 100192.

ДОДАТОК А

Перелік опублікованих робіт за темою дисертаційної роботи

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 нестационарних 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 нестационарних 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 нестационарних 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.:* материалы V-го международного форума молодежи. Харьков: 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.-практ. 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; заяв. 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

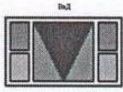
внутрішнього згорання під час його пуску: пат. 74656 Україна: МПК(2012.01) F01M 1/00 U. №u201203533; заявл. 26.03.2012; публ. 12.11.2012, Бюл. № 21.

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.

ДОДАТОК Б
АКТИ ПРО ПРОВЕДЕНІ ДОСЛІДЖЕННЯ І ВПРОВАДЖЕННЯ
РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ



ПРИВАТНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО
КІРОВОГРАДГРАНІТ

УКРАЇНА, 27641, Кіровоградська обл.
 Кропивницький р-н, с.Соколівське вул. Шосейна 50
 ЄДРПОУ 13744297
 тел. / факс 0522 - 55-31-04, 55-51-57
 E-Mail: Kirovogradgranit@ukr.net
 Р/р 26003180815001 КФ ЗАТ КБ „Приватбанк”
 МФО 323583
 І ПН 137442911086 СВ № 100337442

УКРАИНА, 27641, Кировоградская обл.
 Кропивницкий р-н, с.Соколовское ул. Шосейна 50
 ЕГРПОУ 13744297
 тел. / факс 0522 - 55-31-04, 55-51-57
 E-Mail: Kirovogradgranit@ukr.net
 р/с 26003180815001 КФ ЗАТ КБ „Приватбанк”
 МФО 323538
 И НН 137442911086 СВ №100337442

Акт

Про дослідження технічного стану кар'єрної техніки під час експлуатації

Комісія в складі представників ПАТ "Кіровоградграніт" голови: першого заступника генерального директора ПАТ "Кіровоградграніт" Кучкіна С.П., та членів комісії: головного бухгалтера Голованової О.А., головного механіка Парфеевця С.Л., з одного боку та представників Центральноукраїнського національного технічного університету: професора Ауліна В.В., доцента Лисенка С.В., здобувача Слоня В.В., з іншого боку склали даний акт про те, що на Новопавлівському кар'єрі "Кіровоградграніт" в період з 12.05.2012 по 17.10.2017 р. проведені експлуатаційні дослідження, які полягали у обстеженні технічного стану транспортних засобів кар'єру, їх систем і агрегатів, за фізико-хімічними показниками та експлуатаційними властивостями робочих та модифікованих присадками моторних та трансмісійних оливі, випробування ефективності композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1, визначення комплексу показників довговічності та технічного обслуговування і ремонту машин.

Отримані результати дослідження наведені у додатку до цього акту.

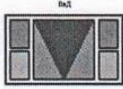
Представники ПАТ "Кіровоградграніт":

Представники ЦНТУ:

Перший заст. ген. директор С.П. Кучкін
 Гол. бухгалтер О.А. Голованова
 Гол. механік С.Л. Парфеевця

професор В.В. Аулін
 доцент С.В. Лисенко
 здобувач В.В. Слонь





ПРИВАТНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО
КІРОВОГРАДГРАНІТ

УКРАЇНА, 27641, Кіровоградська обл.
 Кропивницький р-н, с.Соколівське вул. Шосейна 50
 ЄДРПОУ 13744297
 тел. / факс 0522 - 55-31-04, 55-51-57
 E-Mail: Kirovogradgranit@ukr.net
 Р/р 26003180815001 КФ ЗАТ КБ „Приватбанк”
 МФО 323583
 ІПН 137442911086 СВ № 100337442

УКРАИНА, 27641, Кировоградская обл.
 Кропивницкий р-н, с.Соколовское ул. Шосейна 50
 ЕГРПОУ 13744297
 тел. / факс 0522 - 55-31-04, 55-51-57
 E-Mail: Kirovogradgranit@ukr.net
 р/с 26003180815001 КФ ЗАТ КБ „Приватбанк”
 МФО 323538
 И Н Н 137442911086 СВ №100337442

Акт

Впровадження результатів кандидатської дисертації

Слоня Віктора Вікторовича

Комісія в складі представників ПАТ "Кіровоградграніт" голови: першого заступника генерального директора ПАТ "Кіровоградграніт" Кучкіна С.П., та членів комісії: головного бухгалтера Голованової О.А., головного механіка Парфеевця С.Л., з одного боку та представників Центральноукраїнського національного технічного університету: професора Ауліна В.В., доцента Лисенка С.В., здобувача Слоня В.В., з іншого боку склали даний акт про те, що на Новопавліському кар'єрі "Кіровоградграніт" прийняті до впровадження результати кандидатської дисертаційної роботи здобувача Слоня В.В., виконаної під керівництвом професора Ауліна В.В. Це передусім технологія модифікування моторних і трансмісійних олив додаванням композиційної присадки на основі геомодифікатора "КГМТ-1" для покращення їх фізико-хімічних показників і експлуатаційних властивостей, а також подовження термін заміни олив на 15...25% і інтервалів технічного обслуговування силових агрегатів дизелів сімейства ЯМЗ – 8401 та COMATSU SAA6D140E-3 на 20...45%.

Представники ПАТ "Кіровоградграніт":

Перший заст. ген. директора
 С.П. Кучкін
 Гол. бухгалтер
 О.А. Голованова
 Гол. механік
 С.Л. Парфеевця



Представники ЦНТУ:

професор
 В.В. Аулін
 доцент
 С.В. Лисенко
 здобувач
 В.В. Слоня

«ТОВ «Агрофірма КОЛОС»

КОД ЄДРПОУ:30800125

26211, Україна, Кіровоградська обл., Маловисківський р-н., с.Леніна

Тел.(0522)35-40-66

Акт

Про дослідження технічного стану силових агрегатів транспортних машин під час експлуатації

Комісія в складі представників ТОВ "Агрофірма Колос": директора ТОВ "Агрофірма Колос" Кучеренка С.В., головного бухгалтера Краснікової А.П., гол. інженер Давиденка С.М., з одного боку та представників Центральноукраїнського національного технічного університету: професора Ауліна В.В., доцента Лисенка С.В., здобувача Слоня В.В., з іншого боку, склали даний акт про те, що у ТОВ "Агрофірма Колос" протягом періоду з 07 жовтня 2016 року по 04 грудня 2018 рік проведені дослідження технічного стану парку автотракторної техніки підприємства. Підприємством надано допуск до парку машин для проведення експлуатаційних досліджень без фінансових зобов'язань з обох сторін.

В процесі досліджень було з'ясовано:

- особливості експлуатації транспортної техніки в умовах агропромислового виробництва;
- зміну технічного стану силових агрегатів транспортної техніки, моторної та трансмісійної оливи під час експлуатації;
- перелік впливових діагностичних параметрів моторної та трансмісійної оливи на надійність силового агрегату транспортної техніки;
- поведінку композиційної присадки на основі геомодифікатора КГМТ-1, якою модифікували моторну та трансмісійну оливи;
- зміни показників та властивостей базових та модифікованих моторної і трансмісійної оливи;
- зміну показників експлуатаційної надійності силових агрегатів транспортних машин в залежності від їх напрацювання (пробігу);
- ряд заходів, які дають можливість підвищити якість моторних та трансмісійних оливи, подовження їх ресурсу та підвищення довговічності силових агрегатів транспортних машин на підприємстві.

Основні результати досліджень наведені у додатку до цього акту.

Представники ТОВ "Агрофірма Колос":
 Директор _____ Кучеренко С.В.
 Гол. бухгалтер _____ Краснікова А.П.
 Гол. інженер _____ Давиденко С.М.

Представники ЦНТУ:
 професор _____ В.В. Аулін
 доцент _____ С.В. Лисенко
 здобувач _____ В.В. Слонь



«ТОВ «Агрофірма КОЛОС»
КОД ЄДРПОУ:30800125
26211, Україна, Кіровоградська обл., Маловишківський р-н., с.Леніна
Тел.(0522)35-40-66

Акт

Прийняття до впровадження результатів дисертаційних досліджень
здобувача Слоня Віктора Вікторовича

Комісія в складі представників ТОВ "Агрофірма Колос": директора ТОВ "Агрофірма Колос" Кучеренка С.В., головного бухгалтера Краснікової А.П., гол. інженер Давиденка С.М., з одного боку та представників Центральноукраїнського національного технічного університету: професора Ауліна В.В., доц. Лисенка С.В., здобувача Слоня В.В. з іншого боку, склали даний акт про те, що у ТОВ "Агрофірма Колос" прийнято до впровадження результати досліджень та розроблення рекомендації здобувачем Слонем В.В.

Комісія стверджує, що впровадження результатів дослідження по дисертаційній роботі дає можливість підвищити довговічність транспортної техніки, покращити характеристики моторної та трансмісійної олив модифікуванням композиційною присадкою геомодифікатором КГМТ-1, подовження їх ресурсу і терміну заміни.

Розроблені заходи, методи та методики, які дозволять підвищити надійність силових агрегатів транспортних машин на основі закономірностей зміни їх станів та зміни показників і експлуатаційних властивостей робочих олив модифікуванням композиційною присадкою на основі геомодифікатора

КГМТ-1, прийняті підприємством до впровадження на безоплатній основі.

Представники ТОВ "Агрофірма Колос":

Директор _____ Кучеренко С.В.
Гол. бухгалтер _____ Краснікова А.П.
Гол. інженер _____ Давиденко С.М.



Представники ЦНТУ:

професор _____ В.В. Аулін
с.н.с. _____ А.В. Гриньків
здобувач _____ В.В.Слонь

**Сільськогосподарське товариство з обмеженою відповідальністю
"ХУТІРСЬКЕ"**

26212, с. Копанки Маловисківський р-н Кіровоградська обл.
Код ЄДРПОУ 30825212 р/р UA 3838080500000000260047731 в „Райффайзен банк
Аваль” м. Кіровоград
МФО 380805 № свід. 100200771 ПІН 308252111104
тел/факс: (05258)-44680
kopanki@ukr.net

Акт

Про дослідження технічного стану силових агрегатів транспортних машин під час експлуатації

Комісія в складі представників СТОВ "Хутірське": директора СТОВ "Хутірське" Бабенка О.В., головного бухгалтера Галбен В.Г., гол. інженер Бабенка Д.О., з одного боку та представників Центральноукраїнського національного технічного університету: професора Ауліна В.В., доцента Лисенка С.В., здобувача Слоня В.В., з іншого боку, склали даний акт про те, що у СТОВ "Хутірське" протягом періоду з 30 жовтня 2017 року по 22 листопада 2019 рік проведені дослідження технічного стану парку автотракторної техніки підприємства. Підприємством надано допуск до парку машин для проведення експлуатаційних досліджень без фінансових зобов'язань з обох сторін.

В процесі досліджень отримані наступні результати:

1. Виявлено особливості умов експлуатації транспортної техніки, яка використовується на підприємстві агропромислового виробництва.
2. Визначено технічний стан силових агрегатів транспортної техніки, моторної та трансмісійної оливи під час експлуатації, за допомогою сукупності діагностичних параметрів.
3. Виявлено перелік ресурсовизначальних діагностичних параметрів моторної та трансмісійної оливи, що суттєво впливають на надійність силового агрегату транспортної техніки.
4. Визначено перелік присадок, які додавалися в моторну та трансмісійну оливу для покращення їх фізико-хімічних показників та експлуатаційних властивостей.
5. Досліджено закономірності зміни діагностичних параметрів моторної і трансмісійної оливи та показників експлуатаційної надійності силових агрегатів транспортних машин в залежності від їх напрацювання (пробігу), а також їх взаємозв'язок.
6. На основі результатів досліджень розроблено систему заходів підвищення якості моторних та трансмісійних оливи та силових агрегатів транспортних машин на підприємстві.

Основні результати досліджень наведені у додатку до цього акту.



Представники СТОВ "Хутірське":
 Директор Бабенко О.В.
 Гол. бухгалтер Галбен В.Г.
 Гол. інженер Бабенко Д.О.

Представники ЦНТУ:
 професор Аулін В.В.
 доцент Лисенко С.В.
 здобувач Слонь В.В.

ДОДАТОК В

РЕЗУЛЬТАТИ РЕГРЕСІЙНОГО ТА ДИСПЕРСІЙНОГО АНАЛІЗІВ

Таблиця В.1

Регресійний аналіз експериментальних результатів для оптимізуючої ознаки Y_1 (величина зношування кульок) на чотирикульковій машині тертя

$R^2 = 0,9991$ – коефіцієнт детермінації регресійної моделі експериментальних даних						
Коефіцієнти регресії	Регресійні коефіцієнти (значення)	Стандартна помилка	Коефіцієнт Стьюдента	Рівень значимості p , ($p < 0,05$)	Довірчий інтервал - 95%	Довірчий інтервал - 95%
b_0	0,53	$7,32 \cdot 10^{-3}$	73,02	$9,12 \cdot 10^{-9}$	0,52	0,55
b_1	$-5,67 \cdot 10^{-5}$	$2,76 \cdot 10^{-6}$	20,53	$5,08 \cdot 10^{-6}$	$-6,38 \cdot 10^{-5}$	$-4,96 \cdot 10^{-5}$
b_2	$-9,45 \cdot 10^{-5}$	$3,67 \cdot 10^{-6}$	26,49	$1,43 \cdot 10^{-6}$	$-1,04 \cdot 10^{-4}$	$-8,53 \cdot 10^{-5}$
b_3	$-8,51 \cdot 10^{-5}$	$3,73 \cdot 10^{-6}$	23,86	$2,41 \cdot 10^{-6}$	$-9,43 \cdot 10^{-5}$	$-7,59 \cdot 10^{-5}$
b_4	$-9,09 \cdot 10^{-5}$	$3,57 \cdot 10^{-6}$	25,49	$1,73 \cdot 10^{-6}$	$-1 \cdot 10^{-4}$	$-8,18 \cdot 10^{-5}$
b_5	$9,22 \cdot 10^{-9}$	$1,39 \cdot 10^{-9}$	7,65	$6,09 \cdot 10^{-4}$	$6,12 \cdot 10^{-9}$	$1,23 \cdot 10^{-8}$
b_6	$3,67 \cdot 10^{-9}$	$1,48 \cdot 10^{-9}$	3,04	0,03	$5,67 \cdot 10^{-10}$	$6,77 \cdot 10^{-9}$
b_7	$2,39 \cdot 10^{-8}$	$1,65 \cdot 10^{-9}$	19,81	$6,06 \cdot 10^{-6}$	$2,08 \cdot 10^{-8}$	$2,7 \cdot 10^{-8}$
b_8	$2,1 \cdot 10^{-8}$	$1,85 \cdot 10^{-9}$	17,41	$1,14 \cdot 10^{-5}$	$1,79 \cdot 10^{-8}$	$2,41 \cdot 10^{-8}$
b_9	$4,03 \cdot 10^{-8}$	$1,23 \cdot 10^{-9}$	33,45	$4,49 \cdot 10^{-7}$	$3,72 \cdot 10^{-8}$	$4,34 \cdot 10^{-8}$
b_{10}	$2,86 \cdot 10^{-8}$	$1,94 \cdot 10^{-9}$	23,68	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$2,55 \cdot 10^{-8}$	$3,17 \cdot 10^{-8}$

Таблиця В.2

Регресійний аналіз експериментальних результатів для оптимізуючої ознаки Y_2 (критичне навантаження) на чотирикульковій машині тертя

$R^2 = 0,9962$ – коефіцієнт детермінації регресійної моделі експериментальних даних						
Коефіцієнти регресії	Регресійні коефіцієнти (значення)	Стандартна помилка	Коефіцієнт Стьюдента	Рівень значимості p , ($p < 0,05$)	Довірчий інтервал - 95%	Довірчий інтервал - 95%
b_0	675,60	15,75	42,90	$1,3 \cdot 10^{-7}$	635,12	716,08
b_1	0,04	$5,94 \cdot 10^{-3}$	7,07	$8,78 \cdot 10^{-4}$	0,03	0,06
b_2	0,13	$7,57 \cdot 10^{-3}$	16,80	$1,37 \cdot 10^{-5}$	0,11	0,15
b_3	0,09	$8,14 \cdot 10^{-3}$	11,70	$8,01 \cdot 10^{-5}$	0,07	0,11
b_4	0,06	$7,67 \cdot 10^{-3}$	8,23	$4,31 \cdot 10^{-4}$	0,04	0,08
b_5	$-1,9 \cdot 10^{-5}$	$2,57 \cdot 10^{-6}$	-7,32	$7,43 \cdot 10^{-4}$	$-2,57 \cdot 10^{-5}$	$-1,23 \cdot 10^{-5}$
b_6	$9,89 \cdot 10^{-6}$	$2,54 \cdot 10^{-6}$	3,81	0,01	$3,22 \cdot 10^{-6}$	$1,66 \cdot 10^{-5}$
b_7	$-7,22 \cdot 10^{-6}$	$2,69 \cdot 10^{-6}$	-2,78	0,04	$-1,39 \cdot 10^{-5}$	$-5,54 \cdot 10^{-7}$
b_8	$-2,43 \cdot 10^{-5}$	$2,12 \cdot 10^{-6}$	-9,38	$2,32 \cdot 10^{-4}$	$-3,1 \cdot 10^{-5}$	$-1,77 \cdot 10^{-5}$
b_9	$-2,28 \cdot 10^{-5}$	$3,01 \cdot 10^{-6}$	-8,78	$3,18 \cdot 10^{-4}$	$-2,94 \cdot 10^{-5}$	$-1,61 \cdot 10^{-5}$
b_{10}	$-3,92 \cdot 10^{-5}$	$4,19 \cdot 10^{-6}$	-15,12	$2,29 \cdot 10^{-5}$	$-4,59 \cdot 10^{-5}$	$-3,26 \cdot 10^{-5}$

Таблиця В.3

Дисперсійний аналіз експериментальних результатів для оптимізуючої ознаки Y_1

Коефіцієнти	Дисперсія	Критерій Фішера	Рівень значимості p , ($p < 0,05$)
b_1	$1,04 \cdot 10^{-3}$	141,27	$7,4 \cdot 10^{-5}$
b_2	$7,7 \cdot 10^{-5}$	10,39	$2,3 \cdot 10^{-2}$
b_3	$2,0 \cdot 10^{-3}$	271,99	$1,5 \cdot 10^{-5}$
b_4	$2,15 \cdot 10^{-2}$	2925,03	$1,02 \cdot 10^{-7}$
b_5	$4,3 \cdot 10^{-4}$	58,48	$6,09 \cdot 10^{-4}$
b_6	$6,8 \cdot 10^{-5}$	9,24	$2,8 \cdot 10^{-2}$
b_7	$2,89 \cdot 10^{-3}$	392,4	$6,0 \cdot 10^{-6}$
b_8	$2,23 \cdot 10^{-3}$	303,23	$1,1 \cdot 10^{-5}$
b_9	$8,2 \cdot 10^{-3}$	1118,58	$1,01 \cdot 10^{-7}$
b_{10}	$4,12 \cdot 10^{-3}$	560,69	$6,3 \cdot 10^{-6}$

Таблиця В.4

Дисперсійний аналіз експериментальних результатів для оптимізуючої ознаки Y_2

Коефіцієнти	Дисперсія	Критерій Фішера	Рівень значимості p , ($p < 0,05$)
b_1	4192,56	123,08	$1,04 \cdot 10^{-4}$
b_2	6683,06	196,20	$3,34 \cdot 10^{-5}$
b_3	9555,06	280,52	$1,39 \cdot 10^{-5}$
b_4	8418,06	247,14	$1,89 \cdot 10^{-5}$
b_5	1827,56	53,65	$7,43 \cdot 10^{-4}$
b_6	495,06	14,53	0,01
b_7	264,06	7,75	0,04
b_8	2997,56	88,00	$2,32 \cdot 10^{-4}$
b_9	2626,56	77,11	$3,18 \cdot 10^{-4}$
b_{10}	7788,06	228,64	$2,29 \cdot 10^{-5}$

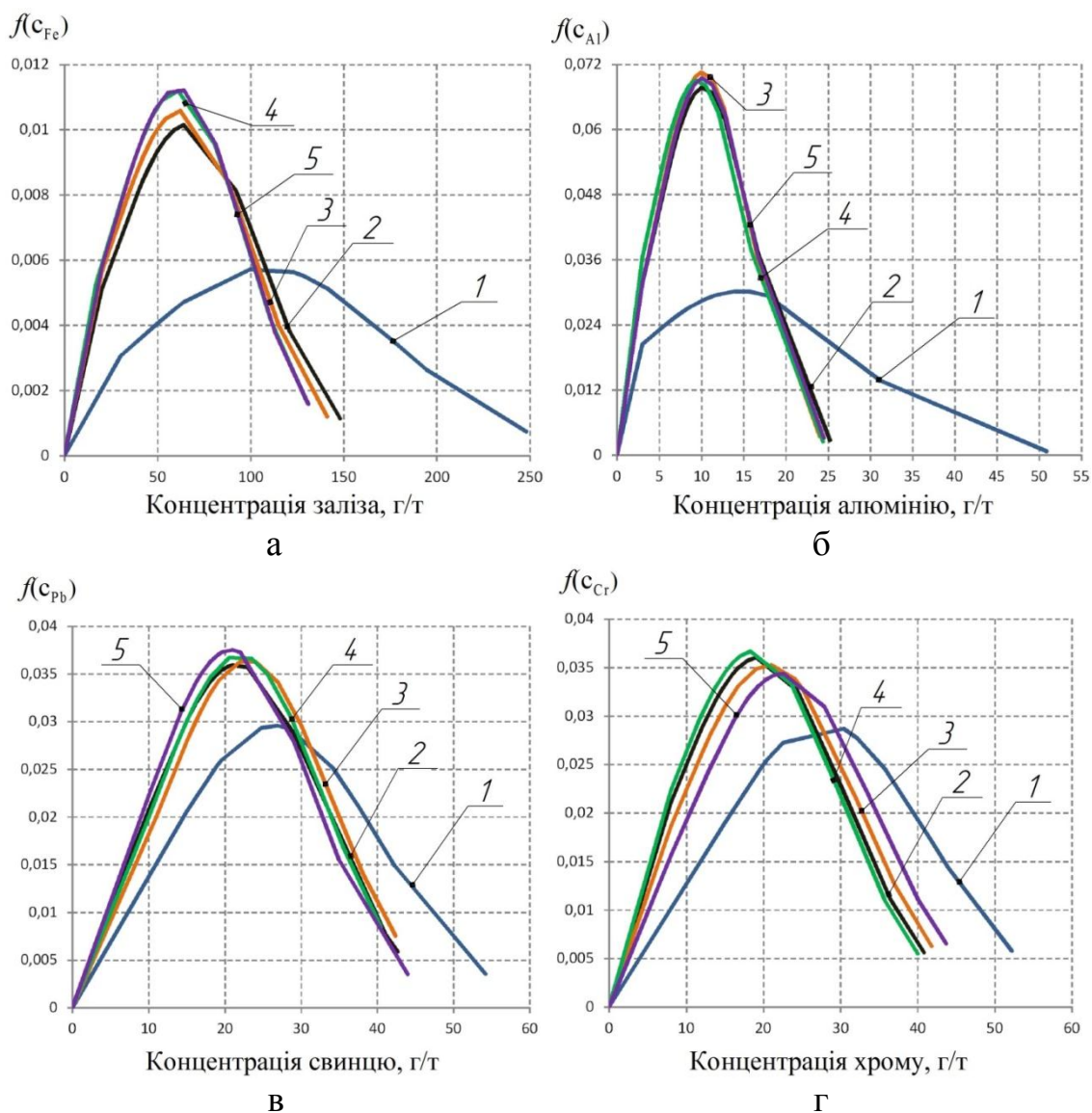


Рис. В.1 Диференціальні функції розподілу від концентрації заліза (а), алюмінію (б), свинцю (в) та хрому (г), криві: 1 – моторної оливи М-10Г₂к; 2 – М-10Г₂к + Ниод; 3 – М-10Г₂к + Roil Gold; 4 – М-10Г₂к + КГМТ-1 5 – М-10Г₂к + Дисульфід молібдена

ДОДАТОК Г
ПАТЕНТИ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ







УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ
№ 74646

**ЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ АВТОМОБІЛЬНИМ
 ДВИГУНОМ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ТА
 ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ОЛИВИ**

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі **12.11.2012.**

Голова Державної служби
 інтелектуальної власності України

— М.В. Ковіня



M. V. Koviya

УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ
№ 74656

СПОСІБ ЗМЕНШЕННЯ ЗНОСУ ТРИБОСПОЛУЧЕНЬ
ДЕТАЛЕЙ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ ПІД ЧАС
ЙОГО ПУСКУ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 12.11.2012.

Голова Державної служби
інтелектуальної власності України

— М.В. Ковіня



M. V. Kovinya









УКРАЇНА



ПАТЕНТ

НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

№ 98562

СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТУ ТЕРТЯ
ТРИБОСПРЯЖЕНЬ НА МАШИНІ ТЕРТЯ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на корисні моделі 27.04.2015.

Голова Державної служби
інтелектуальної власності України

А.Г. Жарінова А.Г. Жарінова

