Аулін В.В., Лисенко С.В., Кузик О.В., Гриньків А.В., Голуб Д.В.

ТРИБОФІЗИЧНІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ МОБІЛЬНОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТА АВТОТРАНСПОРТНОЇ ТЕХНІКИ ТЕХНОЛОГІЯМИ ТРИБОТЕХНІЧНОГО ВІДНОВЛЕННЯ

Монографія

За редакцією професора Ауліна В.В.

Кропивницький
Видавець Лисенко В.Ф.
2016

УДК 531.43:621.891
ББК 34.41
А93

Друкується згідно рішення вченої ради Кіровоградського національного технічного університету, протокол № 8 від 20.04.16 р.

Рецензенти:

Полянський О.С. – д.т.н., проф., проф. кафедри технології машинобудування і ремонту машин, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків

Мнацаканов Р.Г. – д.т.н., проф., завідувач кафедри організації авіаційних робіт і послуг, Національний авіаційний університет, м. Київ

Кузьмінський Р.Д. – д.т.н., проф., завідувач кафедри експлуатації та технічного сервісу машин ім. проф. Семковича О.Д., Львівського національного аграрного університету, м. Львів

А93 **Аулін В.В., Лисенко С.В., Кузик О.В., Гриньків А.В., Голуб Д.В.**

Трибофізичні основи підвищення надійності мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки технологіями триботехнічного відновлення: Монографія / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик та ін.; за ред. В.В.Ауліна. – Кіровоград: видавництво Лисенко В.Ф., 2016. – 303 с.

ISBN 978-617-7197-54-5

В монографії розроблено методологію розв'язання проблеми підвищення надійності систем і агрегатів мобільної сільськогосподарської і автотранспортної техніки технологіями триботехнічного відновлення. Наведені результати теоретичних і експериментальних досліджень процесів і станів основних спряжень деталей, дано трибофізичне обґрунтування їх особливостей та механізмів реалізації, наведені фізичні та математичні моделі. Основна увага зосереджена на зміні характеристик і властивостей мастильних середовищ при модифікуванні присадками та обробкою потоків енергії фізичних полів, з·ясовано їх вплив на триботехнічні характеристики і властивості робочих поверхонь деталей спряжень та режими тертя. Виявлені закономірності і шляхи удосконалення еволюції процесів і станів та підвищення надійності спряжень деталей систем і агрегатів мобільної та автотранспортної техніки на основі технологій триботехнічного відновлення.

Видання призначене науковим та інженерно-технічним співробітникам, які здійснюють дослідження питань проектування, експлуатації та керування триботехнічними системами, буде корисним викладачам, аспірантам, магістрам і студентам машинобудівельних, агротехнічних та транспортних ВНЗ.

ББК 34.41

ISBN 978-617-7197-54-5

© Аулін В.В., Лисенко С.В., Кузик О.В., Гриньків А.В., Голуб Д.В., 2016
© Кіровоградський національний технічний університет, 2016
© Видавник Лисенко В.Ф., 2016

ЗМІСТ

стор.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ..... 8
ВСТУП..... 9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ І АГРЕГАТІВ РЕСУРСОВИЗНАЧАЛЬНИХ СПРЯЖЕНЬ ДЕТАЛЕЙ МСГТ І АТТ..... 11
1.1 Механічні втрати в основних спряженнях деталей агрегатів і систем мобільної сільськогосподарської і автотранспортної техніки..... 11
1.2 Режими тертя та види зношування у спряженнях деталей дизеля..... 16
1.3 Зміна характеристик оливи в процесі експлуатації агрегатів і систем МСГТ і АТТ..... 25
1.4 Модифікування оливи додаванням присадок і обробкою фізичних полів..... 29
1.5 Методи підвищення надійності систем і агрегатів МСГТ і АТТ, що працюють у сільськогосподарському виробництві..... 35
1.6 Трибологічні методи, що використовуються для прискореного припрацювання деталей основних спряжень систем та агрегатів і розробці технологій їх триботехнічного відновлення..... 40
1.6.1 Використання ревіталізантів та спеціальних присадок до робочої рідини..... 41
1.6.2 Формування покриттів на поверхнях тертя..... 43
1.6.3 Трибохімічний метод..... 43
1.6.4 Пропускання електричного струму по спряженням деталей систем і агрегатів..... 44
1.6.5 Електрохіміко-механічне припрацювання..... 46
1.6.6 Трибоелектрохімічний метод підвищення ресурсу трибоспряжень..... 47
1.6.7 Метод використання магнітного поля при обробці мастильного середовища та робочих поверхонь спряжень деталей..... 49
Висновки по розділу 1..... 51
РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ І АГРЕГАТІВ МСГТ І АТТ ТЕХНОЛОГІЯМИ ТРИБОТЕХНІЧНОГО ВІДНОВЛЕННЯ..... 55
2.1 Основні концептуальні підходи дослідження природи, механізму і закономірностей процесів тертя та зношування в спряженнях деталей систем і агрегатів МСГТ і АТТ..... 55
2.2 Структура та методи теоретичних досліджень процесів і станів триботехнічних систем та розв'язання проблеми підвищення їх надійності і зносостійкості технологіями триботехнічного відновлення. 64
2.3 Структура, методи та методики експериментальних досліджень характеристик, властивостей і стану трибоспряжень деталей систем і агрегатів МСГТ і АТП з мастильним середовищем..... 67

2.4 Лабораторні установки для дослідження процесів тертя і зношування основних спряжень зразків і деталей систем і агрегатів МСГТ і АТТ..... 68
2.4.1 Модернізована машина тертя СМЦ-2..... 68
2.4.2 Установка для лабораторних випробувань спряження "гільза циліндра-поршневе кільце" на основі модернізованої машини тертя 77МТ-1..... 70
2.4.3 Експериментальна імітаційна фізична модель та методика дослідження роботи основних спряжень ЦПГ на випробувальному комплексі..... 73
2.4.4 Одноциліндрова установка для вивчення процесів тертя і зношування деталей ЦПГ..... 76
2.5 Методи та методики дослідження характеристик та властивостей моторної оливи..... 78
2.5.1 Обґрунтування вибору складу композиційної оливи та методика визначення їх характеристик і властивостей..... 78
2.5.2 Метод крапельної проби..... 80
2.5.3 Методика визначення концентрацій хімічних елементів в оливі.... 82
2.5.4 Методика визначення характеру взаємодії оливи з робочими поверхнями деталей за кутом змочування та коефіцієнтом поверхневого натягу..... 83
2.5.5 Методика визначення діелектричних та магнітних характеристик оливи..... 85
2.6 Методика дослідження триботехнічних характеристик поверхонь тертя спряжень зразків і деталей систем і агрегатів МСГТ і АТТ..... 87
2.6.1 Тривалість припрацювання спряжень зразків і деталей..... 87
2.6.2 Температура в зоні тертя спряжень зразків і деталей..... 87
2.6.3 Момент тертя спряжень зразків..... 87
2.6.4 Коефіцієнт тертя в спряженні зразків і деталей..... 89
2.6.5 Величина зносу зразків і деталей..... 89
2.7 Методика досліджень структури та фізико-механічних властивостей поверхонь тертя зразків і деталей..... 90
2.7.1 Методика визначення ступеню заповнення поверхні тертя зразків і деталей плакованим шаром міді..... 90
2.7.2 Структура та субструктура..... 92
2.7.3 Мікрогеометрія..... 94
2.7.4 Твердість та мікротвердість робочої поверхні..... 95
2.7.5 Міцність зчеплення нанесеного мідного шару з матеріалом деталі. 95
2.7.6. Випробування захисного шару міді на корозійну стійкість..... 96
2.7.7 Методика оцінки НДС зразків і деталей ЦПГ..... 96
2.8 Методика визначення режимів процесів тертя за зміною електричного опору оливи..... 97
2.9 Методика визначення характеристик спрацювання деталей основних спряжень систем і агрегатів..... 100

2.9.1 Лінійний знос..... 100
2.9.2 Кількість продуктів спрацювання у оливі..... 101
Висновки по розділу 2..... 102
РОЗДІЛ 3 ТРИБОФІЗИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ І ЗНОСОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ МСГТ ТА АТТ ТЕХНОЛОГІЯМИ ТРИБОТЕХНІЧНОГО ВІДНОВЛЕННЯ..... 104
3.1 Трибофізичне обґрунтування закономірностей взаємодії деталей в спряженнях систем та агрегатів МСГТ та АТТ в мастильному середовищі..... 104
3.1.1 Механізм змащувальної дії мастильного середовища на робочі поверхні спряжених деталей при їх взаємодії..... 104
3.1.2 Фізична модель еволюції структури мастильного середовища під час взаємодії спряжених поверхонь деталей..... 105
3.1.3 Трибофізичне обґрунтування поведінки молекул при формуванні шару мастильного середовища на робочих поверхнях спряжених деталей..... 111
3.1.4 Модель утворення структурованого пристінного шару мастильного середовища на робочих поверхнях спряжених деталей..... 113
3.2 Закономірності формування плівки оливи в зазорі спряжень деталей ЦПГ двигуна..... 115
3.3 Режими тертя в трибоспряженнях деталей при наявності мастильного матеріалу..... 118
3.4 Характер та величина зношування спряжень деталей ЦПГ при використанні присадок в оливі..... 123
3.5 Фізичні основи формування мікрогеометрії поверхонь тертя спряжень деталей ЦПГ в процесі їх взаємодії і модифікування оливи присадками..... 127
3.6 Зміна швидкості нарощування антифрикційного шару металу на поверхнях деталей в зоні тертя при накладанні зовнішнього електричного поля..... 135
3.7 Керування режимами тертя та характером зношування в спряженнях деталей ЦПГ..... 138
3.8 Зміна властивостей композиційних олив при їх обробці фізичним полем..... 142
3.8.1 Оцінка напруженості магнітного поля електричного струму для обробки оливи..... 142
3.8.2 Діелектрична проникність композиційної оливи, обробленої фізичним полем..... 143
3.8.3 Магнітна проникність при обробці фізичним полем базової та композиційної оливи..... 145
3.9 Теоретичне обґрунтування зміни структури та властивостей композиційної оливи при обробці її фізичним полем..... 148
3.10 Механічні втрати потужності на тертя в основних спряженнях дизеля МСГТ і АТТ..... 153

Висновки по розділу 3 155
РОЗДІЛ 4 ЗМІНА ХАРАКТЕРИСТИК І ВЛАСТИВОСТЕЙ МАСТИЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩ ПРИ ЇХ МОДИФІКУВАННІ ПРИСАДКАМИ ТА ОБРОБКОЮ ФІЗИЧНИХ ПОЛІВ..... 159
4.1 Вплив модифікування оливи присадками та обробкою фізичним полем на механізм структури та формування її шарів на поверхнях зразків і деталей..... 159
4.1.1 Механізм зміни структури оливи при додаванні присадок..... 159
4.1.2 Механізм формування мастильних шарів на поверхнях деталей при комбінованому модифікуванні оливи присадками і обробкою фізичних полів..... 160
4.2 Зміна показників та властивостей оливи при модифікуванні присадкою та обробкою фізичних полів..... 162
4.2.1 Характер зміни показників і властивостей оливи при додаванні присадок і добавок..... 162
4.2.2 Вплив модифікування оливи обробкою магнітного поля на її фізико-хімічні показники..... 165
4.2.3 Результати порівняльних експериментальних досліджень властивостей композиційної оливи при її модифікуванні електричним та магнітним полем..... 169
4.3 Змочувальна здатність модифікованої оливи..... 173
4.4 Діелектричні та магнітні характеристики олив..... 175
4.5 Зміна електричного опору шару оливи в спряженнях зразків та деталей ЦПГ..... 179
4.6 Трибофізичне обґрунтування зміни режимів тертя в спряженнях деталей при комбінованому модифікуванні оливи..... 182
4.7 Зміна потужності тертя в спряжених зразків та деталей з використанням модифікованої оливи..... 187
Висновки по розділу 4..... 192
РОЗДІЛ 5 ЗМІНА ХАРАКТЕРИСТИК І ВЛАСТИВОСТЕЙ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ СПРЯЖЕНЬ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ОЛИВ, МОДИФІКОВАНИХ ПРИСАДКАМИ І ОБРОБКОЮ ФІЗИЧНИМИ ПОЛЯМИ..... 195
5.1 Формування шару антифрикційного матеріалу ТТВ на поверхнях тертя зразків і деталей в процесі їх припрацювання..... 195
5.2 Залежність швидкості нарощування шару міді від режимів електротрибохімічного процесу..... 197
5.3 Фізичні та фізико-механічні властивості шару антифрикційного матеріалу на робочих поверхнях зразків і деталей сформованого ТТВ.. 203
5.4 Мікрогеометрія робочих поверхонь спряжених зразків і деталей, підлеглих впливу ТТВ..... 211
5.5 Зміна площі та структур контакту зразків з використанням оливи, модифікованої присадками..... 216

5.6 Вплив комбінованого модифікування оливи присадками і обробкою фізичних полів на тривалість припрацювання..... 217
5.7 Зміна триботехнічних характеристик поверхонь тертя зразків і деталей ЦПГ при використанні модифікованої оливи різними присадками..... 222
5.8 Трибофізичне обґрунтування дії металовмісних присадок на поверхню деталей трибоспряжень з мастильним середовищем..... 239
5.9 Поле напружень та зносний стан зразків та деталей ЦПГ, виявлені методом кінцевих елементів та вимірюванням коерцитивної сили..... 243
5.10 Вплив фізико-хімічного модифікування оливи на властивості поверхонь тертя спряжень деталей компресора..... 247
5.10.1 Зміна показників та властивостей модифікованої оливи..... 247
5.10.2 Зміна триботехнічних характеристик робочих поверхонь деталей в середовищі модифікованої оливи в модельній фізичній установці (компресорі)..... 249
Висновки по розділу 5..... 251
Список використаних джерел..... 255

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

АТТ – автотранспортна техніка
ВМТ – верхня мертва точка
ВП – вибіркове перенесення
ВС – вторинні структури
ГМТ – геомодифікатор тертя
ГПШ – гранично-поверхневий шар
ГРМ – газорозподільний механізм
ДВЗ – двигун внутрішнього згорання
ДН – діапазон нормалізації
ЕП – електричне поле
ЕРК – епітропно-рідкий кристал
ЕТХП – електротрибохімічний процес
ЕХМП(Д) – електрохіміко-механічне припрацювання (доведення)
ІП – інактивні присадки
ККД – коефіцієнт корисної дії
КФП – кінетичний фазовий перехід
КШМ – кривошипно-шатунний механізм
МП – магнітне поле
МРО – магніторідинна олива
МС – мастильне середовище
МСГТ – мобільна сільськогосподарська техніка
НМТ – нижня мертва точка
ПАП – поверхнево-активні присадки
ПАР – поверхнево-активна речовина
ПК – персональний комп'ютер
ПММ – паливно-мастильний матеріал
ПШ – поверхневий шар
РН – рівень нормалізації
РС – рухомий склад
СГВ – сільськогосподарське виробництво
СГТ – сільськогосподарська техніка
ТЕ – трибоелемент
ТТВ – технологія триботехнічного відновлення
ТТС – триботехнічна система
ТХП – трибохімічний процес
УДП – ультрадисперсний порошок
УЗК – ультразвукові коливання
ХАП – хімічно-активні присадки
ЦПГ – циліндро-поршнева група

ВСТУП

Проблема підвищення надійності мобільної сільськогосподарської (МСГТ) та автотранспортної (АТТ) техніки подовженням ресурсу спряжень деталей їх систем і агрегатів з часом не тільки не знижується, а навпаки неухильно зростає. Основні спряження деталей дизелів МСГТ та АТТ працюють в умовах сільськогосподарського виробництва при підвищеному знакозмінному навантаженні, високій запиленості, що приводять до суттєвих механічних втрат на тертя і їх системи і агрегати не виробляють запланованого ресурсу через інтенсивне зношування робочих поверхонь деталей трибоспряжень. Найбільш вагомими у загальному балансі є механічні втрати дизелів МСГТ і АТТ на тертя (45...50%), що приходяться на деталі ЦПГ. В результаті чого зростають витрати пального та оливи на вигар, підвищується прорив газів в картер та зменшується ресурс спряжень деталей систем і агрегатів МСГТ і АТТ. Слід також зазначити, що у багатьох випадках відсутні методи обґрунтованого вибору змащувальних матеріалів та режимів експлуатації дизелів через ускладнення мастильних композицій, отриманих додаванням присадок різноманітної функціональної дії. Олива – це важливий трибоелемент і елемент конструкції спряжень деталей систем і агрегатів, який може тривало і надійно виконувати свої функції, забезпечуючи їх заданий ресурс, тільки при точній відповідності її властивостей тим термічним, механічним і хімічним діям, яким піддається олива в процесі експлуатації. Взаємна відповідність конструкцій систем і агрегатів та умов їх експлуатації і властивостей оливи – одна з найважливіших умов досягнення високої надійності МСГТ і АТТ.

В монографії при розв'язанні проблеми зменшення механічних втрат на тертя і підвищення надійності систем і агрегатів МСГТ і АТТ зосереджено увагу на дослідженні властивостей, фізико-хімічних показниках моторних олив та режимів тертя в ресурсовизначальних спряженнях, які змінюються в процесі експлуатації, а також розробку комплексу заходів по керуванню комплексом властивостей робочих поверхонь деталей цих спряжень.

Показано, що зміна фізико-хімічних показників та властивостей олив модифікуванням речовиною (присадками) та її обробкою фізичними полями (електричним, магнітним, електромагнітним та ін.) дає можливість подовжити ресурс та підвищити зносостійкість спряжень і в деяких випадках відновити зношені робочі поверхні деталей формуванням антифрикційних покриттів при використанні технологій триботехнічного відновлення (ТТВ).

Виявлено, що існуючі методи підвищення надійності систем і агрегатів МСГТ і АТТ з використанням присадок мають окремі недоліки:

– протизношувальні та протизадиркові присадки не довговічні, та обмежені за температурним фактором і питомим тиском у зоні тертя;

– поверхнево-активні присадки обмежені за температурним фактором;

– інактивні присадки випадають в осад при тривалому зберіганні;

– присадка до дизельного палива АЛП-2 погіршує роботу форсунок,

порушує процес згоряння палива і зменшує потужність двигуна.

Доведено, що для покращення триботехнічних характеристик поверхонь тертя деталей основних спряжень систем і агрегатів МСГТ і АТТ, формування антифрикційного шару металу, підвищення змочуваних характеристик оливи найкраще використовувати хімічні методи модифікування моторної оливи металовмісними, металоплакуючими і пластично-деформуючими присадками.

Разом з тим, останнім часом все більша увага приділяється фізичним методам модифікування оливи, тобто обробкою потоком енергії певного фізичного поля. Оскільки олива являє собою діелектрик, то ефективний модифікуючий вплив слід очікувати від обробки таких полів як електричні, магнітні та електромагнітні. За своєю природою ці поля здійснюють орієнтуючий вплив на оливу, структуруючи її. Показано ефективність комплексного впливу мідьвмісних присадок і дії електричних та магнітних полів на властивості і показники оливи, режим тертя, триботехнічні характеристики поверхонь тертя деталей спряжень систем і агрегатів МСГТ і АТТ. Розкрито і розв'язано ряд питань теоретичних і експериментальних досліджень, створення нових більш ефективних методів, методології та трибофізичних основ підвищення надійності МСГТ і АТТ технологіями триботехнічного відновлення.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ І АГРЕГАТІВ РЕСУРСОВИЗНАЧАЛЬНИХ СПРЯЖЕНЬ ДЕТАЛЕЙ МСГТ І АТТ

1.1 Механічні втрати в основних спряженнях деталей агрегатів і систем мобільної сільськогосподарської і автотранспортної техніки

В агропромисловому комплексі Україні використовуються переважно мобільна сільськогосподарська (МСГТ) і автотранспортна техніка (АТТ) з дизелями. При зростанні напрацювання їх деталей, спряжень, систем та агрегатів безперервно відбувається зміна технічного стану, передусім пов'язана із процесами тертя та зношування [1-4]. Через необоротний характер цих процесів знижується або втрачається працездатність МСГТ в результаті відмов і несправностей [3, 5-7]. Діаграми розподілу відмов систем дизелів МСГТ при їх припрацюванні та експлуатації наведено на рис. 1.1.

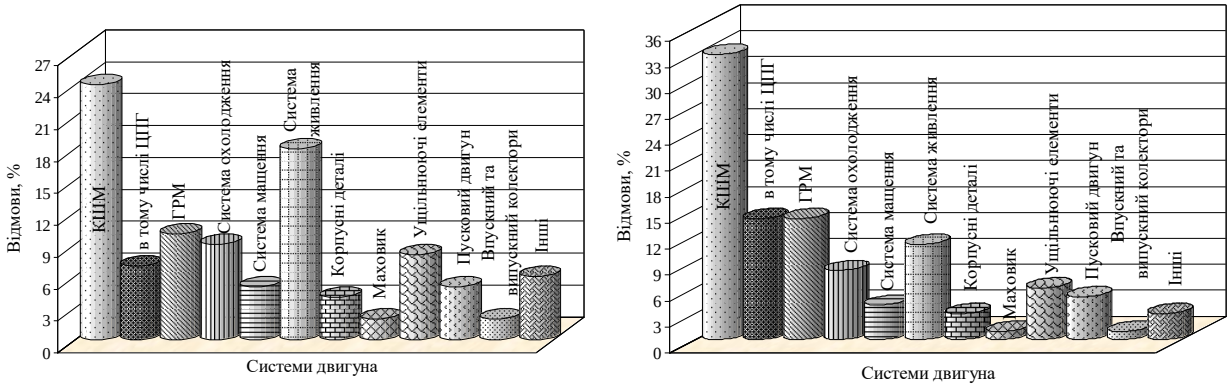


Рисунок 1.1 – Розподіл відмов систем дизелів МСГТ у період припрацювання (а) та експлуатації до першого капітального ремонту (б)

В початковий період експлуатації найбільший відсоток відмов мають деталі кривошипно-шатунного механізму (КШМ) (23...29%) (в тому числі ЦПГ (7...11%)), системи живлення (18...23%), газорозподільного механізму (ГРМ) (10...14%), система охолодження (9...11%). В процесі експлуатації до капітального ремонту картина виглядає наступним чином: КШМ (33...39%) (в тому числі (ЦПГ (14...15%)), ГРМ (14...16%), системи живлення (11...14%), система охолодження (8...10%). Можна бачити, що частка відмов КШМ з ЦПГ і ГРМ є суттєвою протягом усіх періодів експлуатації. По показникам відмов елементи КШМ (з ЦПГ) мають найбільші значення і відносяться до найбільш навантажених і відповідальних деталей дизеля МСГТ і АТТ, ресурс яких у першу чергу визначається надійною роботою та зносостійкістю його основних трибоспряжень деталей [8].

Жорсткі умови експлуатації МСГТ і АТТ приводять до того що, ресурс їх дизелів складає 26...47% [9], а знос деталей збільшується в 2,0...5,0 разів у порівнянні з використанням АТТ в звичайних умовах експлуатації [2, 10, 11]. Величини швидкостей зносу основних деталей дизелів МСГТ при повільній та швидкій зміни їх стану подано в таблиці 1.1 [12].

Таблиця 1.1 – Швидкість зносу основних деталей дизелів АТТ при їх різній швидкості зміни стану

Деталь	Швидкість зносу v_u, мм/1000 год.		Середня зміна швидкості зносу $\bar{v}_u$, $\frac{\text{мм/с}}{\text{год}}$	
	Характер зміни стану			
	повільний	швидкий	повільний	швидкий
Гільза циліндра	0,01...0,1	0,5...1,0	0,001	0,025
Канавки першого поршневого кільця Перше хромоване кільце Наступні поршневі кільця	0,002...0,01 0,15...0,30 0,03...0,05	0,03...1,0 0,30...0,90 0,30...0,90	0,002 0,001 0,001	0,01 0,015 0,02
Напрямні втулки впускних клапанів Напрямні втулки випускних клапанів	0,03...0,05 0,05...0,06	0,06...0,10 0,08...0,10	0,003	0,02
Вкладиші шатунних та корінних підшипників	0,005...0,020	0,01...0,05	0,008	0,015
Шийка колінчастого вала	0,002...0,008	0,02...0,04	0,009	0,020

В таких умовах експлуатації характерним є одночасна дія різних видів зношування, співвідношення яких залежать від конструкції, технології виготовлення деталей, якості використовуваних мастильних матеріалів та навантаження тертям [13, 14]. При описі процесів зношування зазвичай вважають, що швидкість зносу деталей залежить, в основному, від режиму мащення та тривалості напрацювання, але щоб адекватно протистояти втраті працездатності спряжень деталей систем і агрегатів МСГТ і АТТ, необхідно знати увесь спектр закономірностей розвитку та деградації протікаючих процесів та станів.

Застосування високоякісних моторних олив і примусової системи охолодження дозволяє значно полегшити умови роботи трибоспряжень дизеля МСГТ і АТТ [11, 15, 16]. По оцінках експертів тільки в результаті поліпшення якості моторних олив є можливість підвищити в 1,5 рази ресурс дизелів МСГТ без істотної зміни їхньої конструкції [5-7, 17, 18]. Однак у будь-якому силовому агрегаті неминучі ситуації, які не можуть захистити трибоспряження або локальні ділянки контактних поверхонь від зношування: недостатня кількість оливи в зоні тертя у моменти холодних пусків дизеля, при забрудненні оливних каналів та 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 дизеля [19, 20-22]. В області верхньої мертвої

точки (ВМТ) спостерігається повне 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 поширюється на більшу частину циліндра, ніж при високих обертах. З підвищенням тиску на поршневі кільця температура поверхонь спряжених деталей "гільза циліндра-поршневе кільце" при сухому терті збільшується. Зазначене свідчить, що є потреба в підвищенні мастильної здатності моторної оливи, керуванні режимами в трибоспряженнях деталей й розробці заходів, які підвищують їх зносостійкість та зменшують втрати на тертя.

Напруженість роботи дизелів МСГТ та АТТ у сільськогосподарському виробництві (СГВ) відносно велика, що приводить до підвищеного питомого тиску в трибоспряженнях, виникненню ударних навантажень, підвищеному зношуванню деталей та ін. [23,24]. Крім того, за час виконання технологічних операцій при технічному обслуговуванні характер навантаження непостійний. Це обумовлено тим, що енерговитрати на подолання опору переміщенню деталей змінюються в часі. Для забезпечення високої безвідмовності і довговічності дизелів необхідно враховувати специфічні особливості їх роботи та втрати потужності внаслідок наявності шкідливого опору – тертя.

Відомо, що 34…45% відмов МСГТ і АТТ у СГВ припадає саме на силовий агрегат. Напрацювання на відмову відремонтованого двигуна знижується у 1,7...2,0 рази, а продуктивність зменшується на 10…15% у порівнянні з новим двигуном [23,25,26].

Станом на 1990 р. в Україні нараховувалось 495 тис. тракторів, що складало навантаження на один трактор 67 га ріллі, На початок 2008 р. їх було 185 тис., а навантаження – 176 га. Майже 90 % МТП відпрацювало свій ресурс. На сьогодні в Україні працюють чотири заводи: Харківський тракторний (ХТЗ), Південний машинобудівний (ПМЗ), ТОВ "Завод самохідних шасі" (ЗСШ) і ТОВ "Укравтозапчастина", які виробляють трактори.

Харківський тракторний завод випускає трактори з двигунами СМД-63, СМД-19Т.02 (ХЗТД, м. Харків; ЯМЗ-236Д, ЯМЗ-238НК, ЯМЗ-238КМ2-2 (ВАТ "Автодизель", м. Ярославль); BFM1013E, BF6M1013E (Дойтц АГ", Німеччина); КамАЗ-740.02-180 (Набережні Човни, Росія). "Укравтозапчастина" на базі Мінського тракторного заводу освоїла виробництво тракторів з двигунами Д-243, Д-245. Останнім часом у фермерських господарств все більше з’являється іноземної техніки сільськогосподарського призначеня таких виробників як: John Deere, Massey Ferguson, Case IH, Claas, New Holland, Challenger, Valtra, Same, Deutz-Fahr, Fendt, Favorit, Caterpillar, Daimler Chrysler, Horsch та ін.

За даними обласного статистичного управління в Кіровоградській області експлуатується близько 5000 тракторів, комбайнів та іншої МСГТ і АТТ [27]. Двигуни дизельні СМД-62, СМД-63, СМД-72, СМД-73 чотиритактні шестициліндрові дизельні двигуни водяного охолодження призначені для встановлення на колісні сільськогосподарські трактори типу Т-150К, кормо- та кукурудзозбиральні комбайни. Двигуни СМД-62 і СМД-63 призначені для

встановлення на трактори Т-150К і його модифікації, а СМД-72 і СМД-73 – на кормозбиральний комбайн КСК-100 і кукурудзозбиральний комбайн КСКУ-6 та ін. Всі двигуни обладнано турбонаддувом, а другі ще й охолодженням надувного повітря та масляним охолодженням поршнів. Двигун СМД-62 відрізняється від СМД-63 так само, як і СМД-72 від СМД-73 системою запуску. У СМД-62 і СМД-72 – запуск пусковим двигуном, у СМД-63 і СМД-73 – електростартерний запуск [23,26].

Двигуни СМД-60, СМД-62 являють собою базову модель чотирьохтактних шестициліндрових дизелів. Циліндри розташовані в два ряди з кутом розвалу блоків 90°, відношення ходу поршня до діаметру циліндра невелике (менше за 1). Двигуни оснащені газотурбінним наддувом, який є елементом конструкції [28,29]. На них встановлені з'ємні гільзи циліндрів, які виготовлені з сірого чавуну. Внутрішню поверхню гільзи ретельно обробляють до чистоти не нижче 9-го класу. На цій поверхні не допускаються риски та подряпини. Еліпсність та конусність нової гільзи не повинні перевищувати 0,02 мм. Зазор між гільзою та блок-картером у верхньому та нижньому поясках 0,05…0,13 мм. При затягуванні головки циліндрів гільза щільно притискується до блок-картеру, завдяки чому верхній торець фланця виступає над площиною блок-картера на 0,06…0,16 мм. Нижня частина гільзи може вільно рухатись в осьовому напрямку, що компенсує різницю в подовженні гільзи та блок-картеру при їх нагріві та приводить до запобігання надлишкового термічного напруження в конструкції.

Для того, щоб зазор між поршнем та гільзою на новому двигуні був витриманий у вузьких межах, які потрібно забезпечити допусками на механічну обробку, готові гільзи по внутрішньому діаметру сортують на дві розмірні групи і проводять маркування [29-32].

Техніко-економічні показники двигуна суттєво залежать від технічних характеристик деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ) та КШМ. Деталі ЦПГ відносяться до найбільш навантажених і відповідальних деталей дизельного двигуна. Ресурс двигуна, у першу чергу, визначається надійною і довговічною роботою його основної пари тертя: "гільза циліндра-поршневе кільце". Ці деталі знаходяться в найбільш важких умовах експлуатації і є найменш довговічними з основних деталей двигуна [28,33-35]. На процес зносу гільз циліндрів, поршнів і поршневих кілець впливає велика кількість факторів, що залежать від типу двигуна, його конструктивних особливостей, рівня форсування, застосовуваного палива й мастила, підготовки обслуговуючого персоналу, кліматичної зони експлуатації та багатьох інших факторів.

Підвищення питомої потужності двигуна шляхом наддуву [28] призводить до зростання максимальних тисків згоряння, збільшення питомого тиску у зоні тертя між поршневими кільцями і гільзою циліндра, зростання кількості тепла, що виділяється в циліндрі, і зростання його теплонапруженості. Велика кількість тепла, що відводиться через кільця, обумовлює підвищення їх температури та робочої поверхні гільзи. На кращих сучасних двигунах максимальний тиск згоряння досягає 13...15 МПа, а

температура робочої поверхні гільзи в ВМТ першого компресійного кільця 473...513°С [30,31,36]. Короблення поверхні тертя гільзи внаслідок асиметрії температурних полів, високі тиски, тертя і температури сильно інтенсифікують процеси зношування.

Глибокі і ґрунтовні дослідження в області тертя і зношування спряжень деталей систем і агрегатів МСГТ і АТТ викладені в роботах вітчизняних і зарубіжних вчених: Б.І. Костецького, І.В. Крагельського, М.К. Мишкіна, Д.М. Гаркунова, А.В. Чичинадзе, А.Г. Кузьменка, С.Г. Костогриза, О.В. Дихи, В.В. Ауліна І.А. Буяновського, Л.П. Клименка, Пітера Блау та ін.

Розподіл механічних втрат по механізмах, спряженнях і системам дизелів (табл. 1.2) залежить від багатьох чинників, серед яких основними є конструкція, розмірність і технологічний стан двигуна, тип охолодження, наявність або відсутність наддуву, а також умови експлуатації та способи визначення механічних втрат [2,37,38].

Таблиця 1.2 – Розподіл механічних втрат в основних спряженнях деталей МСГТ і АТТ дизеля при номінальному швидкісному режимі та 100% навантаженню

Системи та механізми дизелів	Частка втрат, %
Циліндро-поршнева група	45...50
Кривошипно-шатунний механізм	22...24
Система мащення	10...14
Механізм газорозподілення	5...6
Система живлення і охолоджування	5...6
Загальні втрати	100

З таблиці 1.2 видно, що максимальні загальні механічні втрати вносять сили тертя в спряженнях деталей ЦПГ – 45...50 %, а для підшипників КШМ – 22...24 %.

Результати досліджень робіт [2,39-41], також дають підстави вважати, що втрати на тертя в спряженнях ЦПГ є найбільш вагомими у загальному балансі механічних втрат. Це передусім обумовлюється умовами роботи: високі питомі навантаження і температури в зоні зупинки компресійних кілець; зворотно-поступальний характер руху поршня, що робить неможливим гідродинамічний режим мащення в зонах верхніх і нижніх мертвих точок; розвинені площі поверхонь тертя поршня, при мінімально можливих проміжках і т.п.

Сумарні механічні втрати дизеля визначаються механічним коефіцієнтом корисної дії (ККД): $\eta_M = N_e / N_i = 0{,}8...0{,}9$, де N_e – ефективна потужність; N_i – індикаторна потужність. Необхідно відзначити, що механічний ККД істотно залежить від в'язкості оливи.

Для зниження втрат на тертя в боспряженнях деталей систем і механізмів застосовуються різні методи. Велике значення мають процеси припрацювання основних спряжень деталей ЦПГ, використання спеціальних припрацювальних олив. Ефективно застосовують і функціональні присадки до олив і палива. Велике значення мають також матеріали деталей трибоспряжень [42]. Нові антифрикційні матеріали і покриття різко знижують втрати на тертя [43-45].

Аналіз, проведений в роботі [2] свідчить, що характер розподілу механічних втрат у тракторних дизелях принципово не відрізняється від автомобільних, за винятком більшої частки (27 %) втрат енергії на газообмін при повному навантаженні.

1.2 Режими тертя та види зношування у спряженнях деталей дизеля

В різноманітних спряженнях деталей дизеля наявні три основні режими тертя: граничний, змішаний і гідродинамічний [46].

Граничний режим визначається тертям в тонких поверхневих (граничних) шарах деталей. Фізико-хімічні властивості цих шарів істотно відрізняються від властивостей оливи і основного матеріалу деталей [47]. Інтенсивність зношування деталей в цьому режимі залежать від співвідношення міцності граничних шарів на зріз-розрив, а також від характеру зміни міцності по глибині матеріалу деталей. Якщо міцність шарів на зріз велика, то сила тертя може досягати великих значень. Найбільш сприятливим є збільшення міцності від поверхні в глибину матеріалу, тобто позитивний градієнт механічних властивостей.

Змішаний режим тертя виникає при критичному зменшенні товщини оливи, що призводить до появи ділянок безпосереднього контакту поверхонь деталей. Тертя в цьому режимі, на відміну від гідродинамічного, супроводжується незначним зносом поверхонь деталей в місцях контакту.

Гідродинамічний режим тертя характеризується наявністю суцільної плівки оливи між спряженими поверхнями деталей, товщина якої перевищує сумарну висоту шорсткості поверхонь. Гідродинамічний режим є найбільш сприятливим з точки зору зниження тертя і зносу, оскільки знос деталей відсутній, а тертя незначне і між собою взаємодіють легкозсувні шари оливи, а не деталі. Проте сила гідродинамічного тертя може бути досить високою при істотному збільшенні швидкості деталей, площі їх поверхонь, в'язкості оливи [48]. Слід відмітити, що в гідродинамічному режимі фізико-хімічні властивості і шорсткість поверхонь практично не впливають на тертя і зношування.

Механічні втрати в ЦПГ і КШМ складають переважну частку загальних механічних втрат дизеля, тому проаналізуємо режими тертя і види зношування в цих спряженнях.

Численні експерименти на спеціальних установках і повнорозмірних двигунах МСГТ і АТТ дозволили встановити, що тертя в спряженні "поршневе кільце-гільза циліндра" є переважно граничним (60...70 % від часу робочого циклу) і у меншій мірі змішаним і гідродинамічним (30...40 %) [49-52].

Тертя в спряженні "поршень-гільза циліндра" носить, навпаки, переважно гідродинамічний характер (70...80 %), що переходить в змішане і граничне тертя (20..30 %) [53,54].

Зазначене підтверджується наступними експериментальними результатами [39]:

– істотна залежність сили тертя кілець від навантаження (сили пружності

кільця і тиски газів) і незначний вплив на тертя кілець кількості моторної оливи, що подається на робочу поверхню гільзи циліндра;

– вирішальний вплив на тертя поршнів здійснюють в'язкість моторної оливи, швидкість зміни проміжку спряження "поршень-гільза циліндра", профіль і площа бічної поверхні поршня [55].

Підшипники КШМ працюють, в основному, в режимі гідродинамічного тертя (90%), що переходить в змішаний і граничний (10%) лише в моменти пуску-зупинки і максимального навантаження двигун внутрішнього згорання (ДВЗ) [24,56].

Існує декілька моделей, що описують умови мащення і тертя в спряженнях "поршневе кільце-гільза циліндра" і "поршень-гільза циліндра". Ряд моделей [7,57,58] припускають наявність гідродинамічного режиму тертя в спряженні "поршневе кільце-гільза циліндра". Це підтверджується експериментальними вимірюваннями товщини мастильного шару в спряженнях дизеля [59,60]. У моменти знаходження поршневих кілець в зоні зупинки (ВМТ і НМТ) олива не встигає видавитися із зазору [39,55,61,62].

Про роботу поршневих кілець в режимі граничного тертя йде мова в дослідженнях [41,50,56]. Такий режим тертя обґрунтовується залежністю сили тертя поршневого кільця від навантаження, а також відсутністю яскраво вираженої залежності сили тертя від кількості оливи, що подається.

За даними багатьох досліджень [52,63,64] поведінка коефіцієнта тертя, в'язкості і експериментально виміряної товщини шару оливи не підтверджують теорію гідродинамічного режиму мащення в спряженні "поршневе кільце - гільза циліндра" і найбільш вірогідним вважається граничний режим тертя з переходом у змішаний [41].

Дотепер немає єдиної думки серед дослідників про природу зношування гільз циліндрів ДВЗ [23,26,65-67]. Багато авторів схильні до того, що гільза циліндра одночасно піддається молекулярно-механічному, корозійно-механічному й абразивному видам зношування. Як відзначає автор роботи [68], процес молекулярно-механічного зношування найбільш ймовірний у верхній частині циліндра, де внаслідок недостатнього змащування, малої швидкості поршня, високих температур і тисків порушується безперервність оливної плівки, і в окремих точках виникає схоплювання поверхонь пар тертя. З іншого боку, високі температури поверхні гільзи циліндрів, розрив оливної плівки і теплове випромінювання процесу згоряння палива сприяє інтенсивному утворенню окісних і лакових плівок. Наявність цих плівок на поверхні тертя перешкоджає появі ювенільних поверхонь і тим самим усуває ймовірність схоплювання поверхонь пар тертя.

Максимальний знос має місце у верхній частині гільзи циліндрів, сильно зношується верхнє компресійне кільце і канавка під нього в поршні. Аналіз епюр зносу гільз циліндрів по твірній (рис. 1.2) показує наявність чітко вираженого максимуму у верхній частині, у зоні між ВМТ першого і другого компресійного кільця.

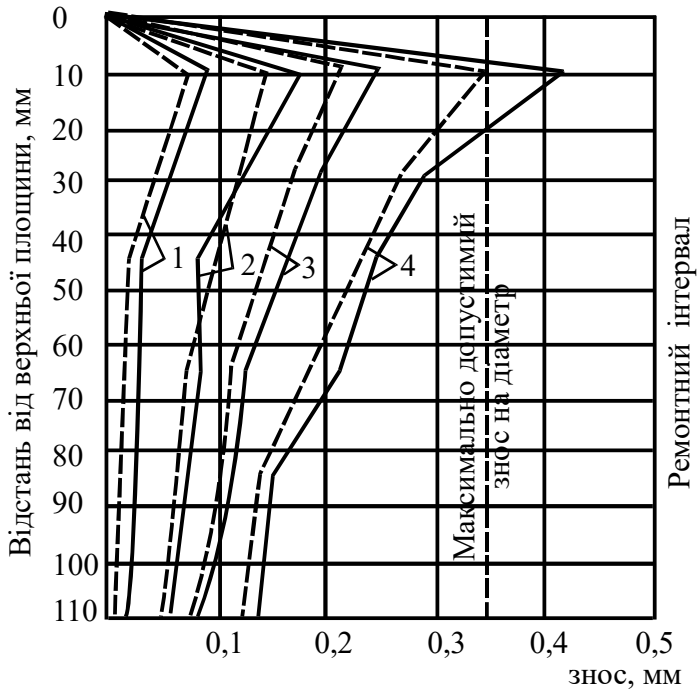


Рисунок 1.2 – Епюри зносу гільз циліндрів двигунів по твірній (суцільними лініями показано знос перпендикулярно осі блоку; штрихпунктирними – паралельно осі): 1 – 25 тис. км; 2 – 60 тис. км; 3 – 80 тис. км; 4 – 120 тис. км

Закономірності зносу гільз циліндрів дизельних двигунів вивчені недостатньо, немає єдиного погляду про вплив теплових, кінематичних та індикаторних показників роботи двигуна на знос циліндрів [24,69,70].

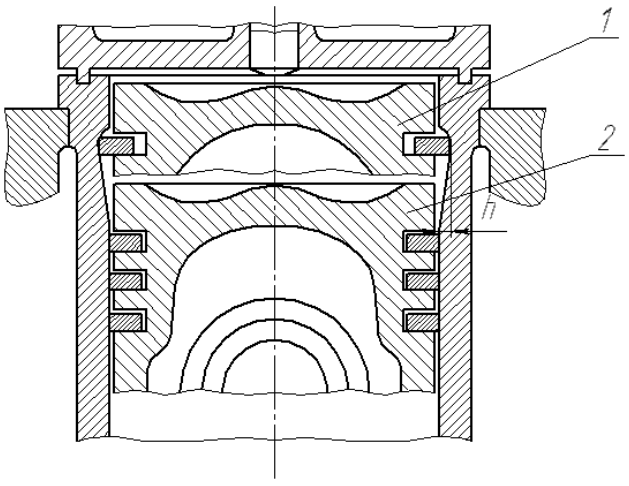
Майже всі автори стверджують, що гільза циліндрів є однією з напружених і відповідальних деталей двигуна, яка лімітує ресурс двигуна до капітального ремонту [32].

В процесі експлуатації гільза зношується нерівномірно по довжині твірної. У дизельних двигунів, що мають великий граничний знос, відбувається значна зміна макрогеометрії гільзи циліндрів в процесі експлуатації. Велика різниця в діаметрі гільза циліндрів по його висоті негативно впливає на показники роботи двигуна [71]. Зазор у замку 1-го компресійного кільця може становити декілька міліметрів. Кільце тисне на стінку гільзи циліндра нерівномірно по колу. Поблизу замка тиск кільця на стінку гільзи циліндра може бути відсутнім. При цьому втрати палива збільшується на 11...15%, а витрата оливи у 2,0...2,5 рази [24,25,72].

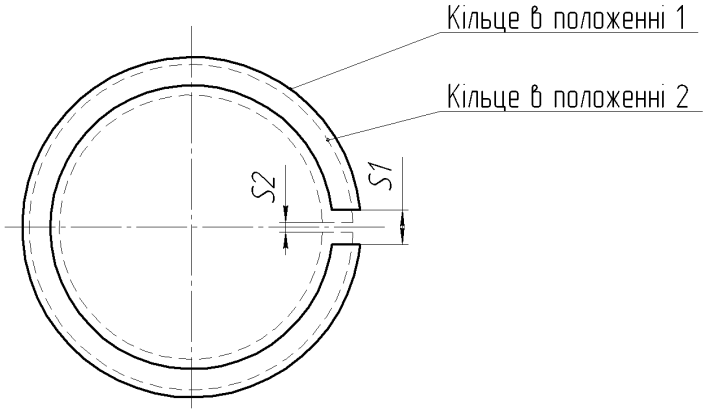
У момент знаходження поршня у ВМТ поршневі кільця (як верхнє, так і інші) перебувають в зоні максимального зносу і займають граничне положення [24], при якому зазор у замку найбільший (рис. 1.3).

При русі поршня вниз поршневе кільце переміщується в зону гільзи з меншим зносом і має радіальне переміщення зі швидкістю v.

Зменшення діаметра гільзи циліндра і кривизни зовнішньої поверхні кільця викликає зменшення зазору в замку.



а



б

1 – положення поршня у ВМТ; 2 – положення поршня у НМТ

Рисунок 1.3 – Схема характеру зносу деталей ЦПГ (а) та зміни положення поршневих кілець і величини зазорів (б) у відповідних положеннях деталей спряження

Тертя, що виникає між кільцем і поршнем, внаслідок тиску газів, перешкоджає коловому та радіальному рухам кільця в поршневій канавці і викликає додаткове притиснення його до гільзи, що інтенсифікує її знос та знос канавок під кільця в поршні.

Нерівномірний знос гільзи приводить до того, що робоча поверхня у верхній зоні має конічну форму і поршневе кільце або контактує тільки гранню, або перекошується і розбиває поршневу канавку [24]. Контактування гранню при лінійному контакті деталей викликає високий питомий тиск у зоні тертя, що обумовлює заїдання і схоплювання деталей.

Нерівномірний знос гільзи циліндра викликає підвищене зношування всіх деталей ЦПГ і різке зменшення надійності їхньої роботи. Усунення такого характеру зносу значно поліпшить умови роботи деталей і відповідно їхню експлуатаційну надійність.

Серед факторів, що суттєво впливають на знос гільзи циліндра і поршневих кілець, можна виділити три основні: тиск, швидкість руху і температура в кожній точці поверхні тертя. Ці фактори змінні в локальних областях робочої поверхні вдовж твірної циліндра і здійснюють відповідний

вплив на її зношування. Крім того на довговічність двигунів впливає правильна організація процесів мащення і підбір оптимального сорту оливи [73,74]. Сучасні оливи складні за вмістом: до 30% містять різні присадки, що забезпечує поліпшення протизносних, протизадирних, протипінних, протикорозійних, противоокислювальних та інших властивостей.

При дослідженні процесів зношування основних деталей двигуна, у першу чергу варто звернути увагу на те, що деталі зношуються по різному при різних режимах тертя.

У процесах тертя, мащення і зношування беруть участь поверхневі шари деталей і оливна плівка різної товщини. Властивості оливи й активних поверхневих шарів металу безперервно змінюються [64,75,76]. На межі поділу "метал-олива" відбуваються складні фізико-хімічні процеси, що впливають на утворення структури поверхневих шарів деталей і їхню довговічність.

Розглядаючи роботу деталей ЦПГ, слід зазначити, що трибоспряження "гільза циліндра – поршневе кільце" знаходиться в умовах граничного тертя. У цьому випадку під впливом високої температури, недостатності мащення, підвищеного навантаження і зворотно-поступального руху гідродинамічна оливна плівка стає тонше 2 мкм і закономірності рідинного мащення порушуються. Коефіцієнт тертя в таких умовах залежить не від в'язкості оливи, а від наявності в ньому полярно-активних компонентів [64,76]. Одночасно змінюються властивості поверхонь твердих тіл, що можуть пластифікуватися, окрихчуватися, набувати квазірідкого стану.

Мастильна дія граничних шарів визначається здатністю забезпечувати ковзання, зниження сил молекулярної адгезії і пластифікацію поверхонь. Можуть утворюватися також плівки фізичної адсорбції і хемосорбції [76-78].

З підвищенням температури хімічні плівки стають товщими і руйнуються тільки при досягненні точки плавлення. Усі плівки здатні до саморегенерації, якщо зберігаються зовнішні умови тертя. Товщина і міцність граничних плівок залежить від хімічного складу оливи і присадок до нього, властивостей поверхні тертя і зовнішніх умов тертя. Щодо товщини граничних шарів єдиної думки не існує. За деякими даними [24,79,80] вона складає від частки мікрометра до декількох його десятків.

Подальший розвиток теорія тертя та зношування ПШ деталей в умовах граничного тертя знайшла у роботах А.Г. Кузьменка, О.В. Дихи, В.А. Войтова, Р.Г. Мнацаканова та ін. В їх роботах [75,81-87] показано, що структурно-енергетичні особливості поверхні трибоспряжень деталей визначаються акумулюванням в їх ПШ структурних мікроспотворень з випереджаючим темпом, інтенсивним протіканням комплексу структурних і фазових перетворень, відповідно до умов зовнішнього навантаження. Складність керування поверхневою, а в зв'язку з цим і об'ємною міцністю, полягає й у тому, що ПШ, як правило, метастабільні і переходять у нові структурні стани. Взаємодію поверхонь деталей при граничному терті можна розглядати як взаємодію випадкових коливальних механічних полів [88,89]. Це приводить до середньо- і високошвидкісного імпульсного пружного і непружного

деформування локальних мікрооб’ємів. Зазначимо, що незважаючи на велику гомогенність орієнтовної пластичної деформації тонкого ПШ, його руйнування відбувається негомогенно. Як правило, руйнування вторинних структур (ВС) [83,90,91], що утворюються з вихідного матеріалу шляхом його структурної перебудови і взаємодії із оливою, починається і розвивається в локальних областях матеріалу деталей з розвинутими недосконалостями і мікроспотвореннями, які є концентраторами напружень. Характерним є й те, що процес руйнування і відновлення ВС при терті відбувається періодично [77,90]. При цьому найбільш тривалою є перша стадія – утворення сітки мікротріщин. Наступні стадії – розвиток мікротріщин, початок відшаровування і "скидання" ВС з оголенням матричного матеріалу відбуваються з наростаючим темпом [91,97]. Це зв'язано з інтенсивною активізацією ПШ, на яких починається формуватися нова плівка ВС.

Р.Г. Мнацакановим [93] в нестаціонарних умовах режимів тертя в трибоспряженнях деталей, що є характерним для процесів зношування деталей ЦПГ, виявлено розрив оливної плівки через 0,1 с проміжку часу і через 0,035 с наявність металевого контакту поверхонь й його інтенсивне зношування. Показано, що додавання хрому у мастильне середовище (МС) служить своєрідним каталізатором створення захисних плівок, та встановлено взаємозв’язок між підвищенням мікротвердості поверхні ТЕ та наявністю на ній хімічних сполук, що утворюються під час тертя [94-96].

Аналіз відомих математичних моделей умов мащення, тертя і зношування деталей ЦПГ [6,7,97,98] показує, що переважна їх більшість не враховує:

– реальне значення коефіцієнту тертя в конкретних спряженнях деталей (найчастіше використовуються довідкові значення цього коефіцієнту, отримані за різними методиками);

– наявність функціональних присадок в мастильному матеріалі;

– можливість реалізації часткових режимів роботи ДВЗ, в яких визначальні параметри мащення, тертя і зношування істотно нестаціонарні.

Отже, для більш достовірного врахування трибологічних процесів, що розвиваються в основних спряженнях ДВЗ є необхідність у доопрацюванні існуючих моделей й усунення вказаних недоліків.

За дослідженнями, проведеними в роботах [41,58,85,99,100]випливає, що для спряжень ЦПГ і КШМ типовими є наступні основні види зношування: молекулярно-механічний; абразивний; корозійний (рис 1.4).

Молекулярно-механічне зношування носить досить плавний, тривалий за часом характер. До цього виду зносу схильні спряження "поршневе кільце-поршень", "поршневе кільце-гільза циліндра", "поршень-гільза циліндра", підшипники КШМ в нормальному режимі експлуатації.

Абразивне зношування має високу інтенсивність й приводить до швидкого виходу з ладу деталей або порушення роботи механізмів: шуми, вібрації, підвищена витрата оливи і т. п. Проте у певних випадках абразивне зношування може відігравати і позитивну роль. Наприклад, керований абразивний знос в період обкатки і припрацювання деталей ДВЗ дозволяє

скоротити час і підвищити якість даних технологічних операцій [8,101]. Абразивне зношування є найбільш характерним для спряжень ЦПГ і ГРМ [102,103].

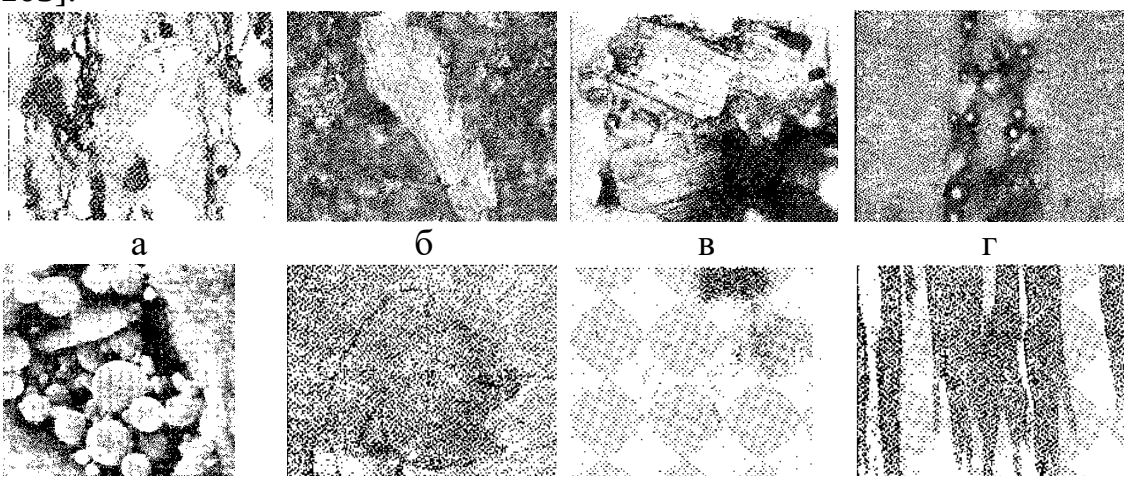


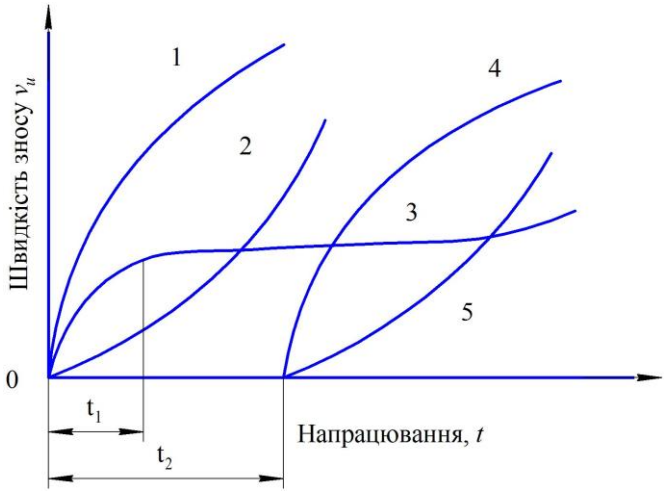
Рисунок 1.4 – Стан поверхонь деталей МСГТ і АТТ при різних видів зношування: а – мікрорізання, б,в–задири; г–мікротріщини; д,е,є–утомне викришування; ж–корозія, ×500

Корозійному зношуванню піддаються поршневі кільця і гільзи циліндрів при несприятливих умовах експлуатації, але ймовірність виникнення цього виду зношування і небезпека його наслідків набагато нижча, ніж перших двох видів.

Таким чином, підвищення експлуатаційних показників і ресурсу двигуна залежить від стану і умов роботи деталей передусім ЦПГ. Аналіз балансу механічних втрат в ДВЗ, показав, що зниження механічних втрат в ЦПГ дозволяє підвищити його техніко-економічні показники.

Дослідження А.Г. Кузьменка [85,86], О.В. Дихи [82], Р.Г. Мнацаканова [87], В.В. Ауліна [107], А.Т. Кулакова [105], С.В. Путинцева [5,6], І.А. Мішина [24], Л.І. Погодаєва [215], В.В. Салміна [106], F.A. Davis [107], S.Korcet [4], R.A. Stanly [18] та ін. підтверджують про необхідність створення моделей процесів тертя та зношування і дослідження закономірностей взаємодії спряжень деталей з оливою, врахування змін фізико-хімічних характеристик, властивостей та механізму впливу оливи в процесі експлуатації на зношування робочих поверхонь деталей. Разом з тим слід зауважити, що в науковій літературі недостатньо відображено питання підвищення експлуатаційної надійності трибоспряжень деталей дизелів і моторної оливи модифікуванням різними способами [11,107-109]. Особливу увагу викликають дослідження розвитку процесів і станів трибоспряжень деталей систем і агрегатів їх самоорганізації та самокерування [110]. Оскільки процеси при цьому можуть бути різними за природою і характером прояву, то їх закономірності потребують подальших ретельних досліджень. Способи керування процесами тертя та зношування і реалізація ефекту самоорганізації дозволяють спряженням деталей і дизелю в цілому в екстремальних умовах зберігати працездатність [111,112] і реалізувати стан квазібеззношуваності [113,114].

Схематично характерний розвиток процесів зношування основних деталей дизелів МСГТ і АТТ за швидкістю зносу з напрацюванням представлено на рис. 1.5.



1 – гільза циліндра; 2, 3 – канавки та перше хромоване кільце; 4 – спрямовуючі клапанів (випускного); 5 – шатунні та корінні вкладиші підшипників.

Рисунок 1.5 – Схема характеру розвитку процесів зношуванні основних деталей дизелів МСГТ і АТТ з напрацюванням

Можна бачити, що локальний знос контактуючих мікронерівностей робочих поверхонь деталей викликає спочатку падіння значення швидкості зносу на етапі припрацювання, потім вона на етапі експлуатації, за стабільних умов і постійних навантажувально-швидкісних режимах [3,6,115], практично залишається незмінною. На третьому етапі спостерігається катастрофічний знос, який може відбутися у будь-який момент часу при істотній зміні стану деталей та їх спряжень під впливом ряду факторів [6,52,92]. В таких умовах швидкість деградації процесів тертя та зношування починає зростати у критичних біфуркаційних локальних областях зносу за експоненціальною залежністю до моменту повного руйнування деталі.

Аналіз досліджень робіт вчених В.А. Аметова, В.В. Ауліна, А.Г. Кузьменка, І.А. Мішина, В.В. Солміна та ін. свідчить, що ресурсовизначеними деталями дизелів МСГТ і АТТ є деталі ЦПГ [24,85,86,106,110], природа і механізм тертя та зношування яких важливі при розв'язанні проблеми підвищення зносостійкості. Дотепер немає єдиної думки серед дослідників про природу зношування деталей ЦПГ [85,106,116,117]. Більшість з них схильні до того, що, наприклад, гільза циліндра одночасно піддається молекулярно-механічному, корозійно-механічному й абразивному видам зношування. Процес молекулярно-механічного зношування найбільш ймовірний у верхній частині циліндра, де внаслідок недостатнього змащування, малої швидкості поршня, високих температур і тиску порушується безперервність плівки оливи, і в окремих точках виникає схоплювання поверхонь тертя. З іншого боку, високі температури поверхні гільзи циліндрів, розрив оливної плівки і теплове випромінювання процесу згоряння палива сприяє інтенсивному утворенню окісних і лакових плівок, наявність яких перешкоджає появі ювенільних

поверхонь й усувається ймовірність схоплювання спряжень поверхонь. Немає єдиного погляду і стосовно впливу теплових, кінематичних та індикаторних показників роботи двигуна на знос гільз циліндрів [5,6,14]. Майже всі автори стверджують, що ця деталь є однією з напружених, відповідальних і лімітуючих ресурс двигуна.

У момент знаходження поршня у ВМТ поршневі кільця (як верхнє, так і інші) перебувають в зоні максимального зносу і займають граничне положення [85,86], при якому зазор у замку найбільший. При русі поршня вниз поршневе кільце переміщується в зону гільзи з меншим зносом і має радіальне переміщення зі швидкістю *v*. Зменшення діаметра гільзи циліндра і кривизни зовнішньої поверхні кільця викликає зменшення зазору в замку [5,6]. Тертя, що виникає між кільцем і поршнем, внаслідок тиску газів, перешкоджає коловому та радіальному рухам кільця в поршневій канавці і викликає додаткове притиснення його до гільзи, що інтенсифікує її знос та знос канавок під кільця в поршні. Нерівномірний знос гільзи приводить до конічності її форми і у верхній зоні поршневе кільце або контактує тільки гранню, або перекошується і розбиває поршневу канавку [12,13]. Таке контактування викликає високий питомий тиск у зоні тертя, що обумовлює заїдання і схоплювання деталей ЦПГ.

Нерівномірний знос гільз циліндрів обумовлює підвищене зношування усіх деталей ЦПГ [14]. Усунення такого характеру зносу значно поліпшить умови роботи деталей дизелів МСГТ і АТТ та підвищить їх зносостійкість і надійність [24,105]. Серед факторів, що суттєво впливають на знос гільзи циліндрів і поршневих кілець, є три основні: тиск, швидкість руху і температура в кожній точці поверхні тертя. Ці фактори змінні вдовж твірної циліндра і здійснюють відповідний вплив на зношування його поверхні. Не можна відкидати і правильну організацію процесів мащення та підбір оптимального сорту оливи [89,118,119]. Сучасні оливи є складними, оскільки можуть містити до 30% різних присадок і добавок, що забезпечують поліпшення протизносних, протизадирних, протипінних, протикорозійних, протиокислювальних та інших властивостей [53,215].

Розглядаючи процеси зношування деталей і спряжень дизелів МСГТ і АТТ слід звернути увагу на режим тертя, оскільки деталі та їх трибоспряження по різному зношуються при різних режимах тертя [3,87]. У процесах тертя, мащення і зношування беруть участь ПШ деталей і плівки оливи різної товщини. Властивості моторних олив й активних ПШ металу безперервно змінюються [89,112,118,120,121]. На межі поділу "метал-олива" відбуваються складні фізико-хімічні процеси, що впливають на структури ПШ деталей і їх довговічність [95,96]. Слід також зазначити, що ТТС "гільза циліндра-поршневе кільце" в основному знаходиться в умовах граничного тертя [5,6,85,89]. При цьому під впливом високої температури, підвищеного навантаження і зворотно-поступального руху гідродинамічна плівка оливи стає тонше 2 мкм і закономірності рідинного мащення порушуються. Коефіцієнт тертя в таких умовах залежить не від в'язкості оливи, а від наявності в ній полярно-активних компонентів [95,96]. Одночасно змінюються властивості ПШ деталей через

розвиток процесів пластифікування [14], окрихчування, квазірідкого стану [122], самоорганізації [112,121,122] та ін. При цьому мастильна дія граничних шарів визначається здатністю забезпечувати ковзання, зниження сил молекулярної адгезії і пластифікацію поверхонь та можливостей утворення плівки фізичної адсорбції і хемосорбції [95,96,122]. Виявлено здатність усіх плівок до саморегенерації при зберіганні зовнішніх умов тертя [64,108,123]. Їх товщина і міцність залежить від хімічного складу моторної оливи і присадок до неї, властивостей поверхні тертя і зовнішніх умов. Щодо товщини граничних шарів єдиної думки не існує. За деякими даними [24,87,124,125] вона складає від частки мікрометра до декількох його десятків.

Таким чином, з метою виявлення напрямків підвищення зносостійкості спряжень деталей систем і агрегатів МСГТ і АТТ з мастильним середовищем є необхідність в ретельних дослідженнях закономірностей процесів і станів їх елементів, режимів тертя, умов реалізації різних видів ефекту самоорганізації поверхонь тертя, робочого (технологічного) середовища та їх трибофізичного обґрунтування.

1.3 Зміна характеристик оливи в процесі експлуатації агрегатів і систем МСГТ і АТТ

В дизелях основні спряження деталей розглядаються як тріада тертя, і їх робочим тілом або трібоелементом є олива з присадками, яка забезпечує не тільки зниження втрат на тертя, але й підвищення довговічності, економічності і автономності роботи двигуна в цілому.

Олива в процесі експлуатації змінює свої властивості [126], тому встановлення для неї ресурсу і розробка засобів контролю її фізико-хімічних характеристик і властивостей є важливою проблемою.

При визначенні ресурсу моторних олив суттєвим є пошук і обґрунтування критерію оцінки механізму їх старіння. Насьогодні відсутні науково-обґрунтовані критерії оцінки ресурсу олив з урахуванням зміни технічного стану експлуатованих машин і механізмів. Зниження експлуатаційних властивостей олив визначається багатьма чинниками: процеси окиснення її базової основи; витрата і деструкція функціональних присадок; вплив умов і режимів роботи техніки, її технічний стан, матеріали трибоспряжень; продукти окиснення і домішок, що потрапляють ззовні. Внаслідок цього підхід до рішення цієї проблеми повинен бути комплексним.

Моторну оливу рівноправно можна розглядати як елемент конструкції ДВЗ, працездатність яких характеризується як початковими властивостями [23,24], так і набутими станами в процесі експлуатації машини.

Свіжі моторні оливи мають стандартні фізико-хімічні показники, які не завжди можна використовувати для діагностики стану оливи. У роботах [23,25,102,127] пропонується оцінку придатності оливи здійснювати шляхом діагностики його стану по так званих граничних, або показникам бракувань, які вказують на втрату її експлуатаційних властивостей. Найважливіші з них [128]: в'язкість, диспергуюча здатність, лужне і кислотне числа, водневий показник,

вміст нерозчинних забруднень, – води, металів (продуктів зношування, активних елементів присадок до оливи або охолоджуючі рідини) і кремнію, температура спалаху. Іноді визначають і інші показники, наприклад залишковий вміст активних присадок в працюючій оливі, ступінь окиснення основи оливи, корозійну агресивність [129].

У трибоспряженнях деталей двигуна і його оливній системі йде не тільки безперервна зміна поверхонь тертя, але і відбувається зміна властивостей моторної оливи з присадками.

Первинні властивості (фізико-хімічні і експлуатаційні) свіжої оливи визначаються відповідним ДСТУ 4106-2002. Сучасні оливи і більшість мастил випускаються з присадками. Присадки – це хімічні сполуки, які додаються в оливу в кількості 0,005…20% для поліпшення його експлуатаційних властивостей. При цьому використовуються такі типи присадок: 1 – антиокислювальні; 2 – антикорозійні; 3 – антизадирні; 4 – протизносні; 5 – мийно-диспергуючі; 6 – антипінні. Зазвичай в моторну оливу вводиться композиція присадок, що складається з різних компонентів (наприклад, 1+5+6 або 1+4+5+6). У хороших композиціях дія окремих компонентів взаємно посилюється, тобто має місце синергетичний ефект [8]. Такі присадки різко знижують знос і відкладення в трибоспряженнях деталей, запобігають задирам і забезпечують тривалу роботу спряжень і самої оливи.

Тонка плівка оливи в основних спряженнях деталей ДВЗ піддається складному комплексу зовнішніх дій і усередині плівки відбуваються фізико-хімічні процеси, що і приводить до зміни властивостей олив з часом, тобто йде процес старіння оливи [130]. Схема зміни складу моторної оливи при її роботі в двигуні наведена на рис. 1.6.

Рисунок 1.6 – Схема зміни складу моторної оливи з напрацюванням

По мірі експлуатації в оливі накопичуються продукти окиснення, зносу, може потрапляти вода і паливо. Частина оливи згорає після випаровування у верхній частині гільзи циліндра і її кількість зменшується. Спрацьовуются і частково втрачають свої захисні властивості присадки. Утворення продуктів окиснення – смол, карбенів, асфальтенів, приводить до забруднення поверхонь тертя і їх підвищеному зносу.

Щоб уникнути підвищеного зносу деталей трибоспряжень ДВЗ і аварійних ситуацій, необхідно або загальмувати (стабілізувати) шкідливі процеси, або змінити оливу в двигуні.

Необхідними умовами надійної і довговічної роботи двигуна є безперервне високоякісне мащення його деталей тертя, відведення від них тепла і захист від корозії. Умови роботи моторної оливи в двигуні характеризуються різноманіттям і широким діапазоном зміни різних дій [24,131]. Так, температура оливи в картері може змінюватися разом з температурою навколишнього повітря, відхиляючись в ту і іншу сторони на декілька десятків градусів і залежно від режиму роботи двигуна досягати 80...120°С. Дуже широкий діапазон температур при мащенні поршня. У нижній його частині температура дорівнює 150...250 °С, на внутрішній поверхні доходить до 340...370 °С, а у верхній частині – 400°С. У момент займання робочої суміші температура в камері згорання досягає 1700...2200 °С і вище [24].

Олива в картері при роботі знаходиться в туманоподібному стані, що створює умови для його інтенсивної аерації [6]. Олива також сприймає високі питомі навантаження від шестерень оливного насоса, шатунових і корінних підшипників колінчастого валу, опорних шийок розподільного валу. Певний вплив на моторну оливу чинять кисень повітря, продукти згорання, каталітична дія різних металів і сплавів, навантаження двигуна і т.д. Умови експлуатації МСГТ і АТТ характеризуються також значними змінами вологості, запиленості, вібрацій.

Щоб забезпечити в цих умовах надійне мащення деталей двигуна олива повинно протягом тривалого періоду зберігати свої властивості, не піддаватися окисленню, не забруднюватися різними домішками, не утворювати відкладень стійких до виділення низькотемпературних осадів, здатних забивати оливоприймальні сітки оливних насосів, фільтруючих пристрої і оливопроводи.

На процес окиснення моторної оливи головним чином впливає кисень. Першим продуктом цього процесу є перекиси, які потім утворюють різні продукти більш глибокого окиснення. Ароматичні вуглеводні з короткими бічними ланцюгами утворюють різні нейтральні сполуки, що знаходяться в оливі як в розчиненому стані (феноли, смоли), так і випадаючого осаду (асфальгени, карбени). Вуглеводні парафінового і нафтенового рядів, а також ароматичні з довгими бічними ланцюгами окислюються з утворенням кислих продуктів (асфальтогеновие кислоти, карбоїди оксикислот) [61].

З підвищенням температури значно прискорюються процеси окиснення. Найбільша окиснюваність оливи знаходиться в інтервалі 130...150°С. Початкова

стадія окиснення характеризується так званим індукційним періодом, протягом якого властивості оливи можна вважати незмінними. Тривалість індукційного періоду у олив різний. Після індукційного періоду спостерігається інтенсивне окиснення оливи, а потім цей процес стабілізується. Продукти окиснення зазнають розщеплювання, конденсацію, полімеризацію і ін. [62].

На швидкість дифузії кисню в оливу і міру його окиснення впливає поверхня окиснюваної оливи. У двигуні, де відбуваються розпилювання, розбризкування оливи, багатократна його циркуляція, процес окиснення значно прискорюється [24].

При хорошому технічному стані двигуна на мащення його деталей йде 20...25% оливи, що подається насосом, інша частина через перепускний клапан повертається в картер. По мірі збільшення проміжків в спряженнях об'єм оливи прокачуваної в систему, збільшується. Завищена подача в систему оливи двигуна веде до додаткового її окиснення [21,24].

Об'єм оливної системи двигуна істотним чином впливає на зміну фізико-хімічних показників моторної оливи [21]. Зменшення об'єму оливи в оливній системі призводить до більш інтенсивної її зміні. Це пояснюється збільшенням кратності прокачування оливи і сприйняттям нею великих теплових і питомих навантажень (в розрахунку на одиницю об'єму оливи). Чим менше об'єм оливи в системі оливи, тим більше лако- і нагаровідкладань на поршні двигуна. Отже, місткість оливної системи вибирається з урахуванням зміни показників моторної оливи, а при експлуатації РС необхідно підтримувати оптимальний заданий рівень оливи в картері двигуна.

Міра завантаження двигунів АТТ та МСГТ залежить від виконуємого технологічного процесу. На сільськогосподарських роботах (оранка, посів та ін.) двигун завантажений на 70...90%, на транспортних – 30...60% номінальної потужності [8]. Оцінка стану моторної оливи після певного часу роботи на різних технологічних операціях дає можливість виявити оптимальні терміни її заміни.

Процес накопичення механічних домішок в моторній оливі проходить тим інтенсивніше, чим вищий ступінь завантаження двигуна [7,126,132-134]. При цьому більш інтенсивно протікають процеси окиснення. Вміст в оливі нерозчинних продуктів (асфальгени, карбени, карбоїди продукти зносу та ін.) підвищується з підвищенням завантаження двигуна, особливо різко зростає воно при завантаженні більше 80% номінальної потужності. Спрацьовуються при цьому і присадки наявні в моторній оливі, тобто з часом знижується їх вміст [41].

Моторна олива забруднюється домішками органічного (смолисто-асфальтові з'єднання, вуглецеві частинки і кислі продукти окиснення вуглеводнів оливи) і неорганічного походжень (продукти зносу деталей тертя двигуна, частина присадок, що спрацювала, а також що потрапляють в оливу пил, пісок, вода і тому подібне). Неорганічні забруднення потрапляють в моторну оливу і накопичуються в ній, викликають інтенсивне зношування деталей тертя. Механічні домішки найінтенсивніше накопичуються в моторній

оливі в перші 60...120 год., його роботи, а потім процес стабілізується [54].

Зазначимо, що з напрацюванням змінюються властивості і значення фізико-хімічних показників моторної оливи.

В'язкість моторної оливи найінтенсивніше зростає у перші 60...180 год., а далі процес стабілізується, і вона практично зберігається на досягнутому рівні [23,135,136]. Кінематична в'язкість оливи збільшується на 2,5...3,5 $мм^2 \cdot с^{-1}$ при 100°С. Це пояснюється випаровуванням в перший період роботи оливи його легкокип'ячих малов'язких фракцій і накопиченням в ній поляризованих і конденсованих продуктів окиснення.

Лужність є характеристикою кількості введених в оливу лужних присадок. Інтенсивне зниження лужності оливи спостерігається в перший період роботи двигуна (60...120 год.). Введена в оливу присадка знижує відкладення на деталях двигуна, тобто підвищується надійність його роботи [24].

Продукти окиснення – смоли інтенсивно накопичуються в оливі в перший період його роботи (до 250 год.), а потім їх вміст знижується, що пояснюється переходом смол у асфальтени в результаті протікання окиснювальних процесів і полімеризації. Вміст асфальтенів в оливі збільшується протягом більш тривалого періоду роботи оливи (до 450...500 год.) в результаті полімеризації і конденсації смолянистих речовин і перехід їх в асфальтени [6].

Термоокиснювальна стабільність моторної оливи при роботі в дизелях дещо змінюється. Корозійність оливи досягає 20...25 $г/см^3$. При цих змінах моторної оливи в двигунах не відбувається підвищеного нагароутворення, закоксовування поршневих кілець і корозії вкладишів підшипників [6,54].

Таким чином, при підвищенні температури оливи збільшується знос деталей, підвищується витрата палива, зростає чад оливи. Зміна експлуатаційних і фізико-хімічних показників моторної оливи взаємопов'язано з технічним станом двигунів.

Періодичне додавання в працюючу моторну оливу присадки дозволяє зберігати експлуатаційні властивості олив на більш високому рівні і збільшити термін експлуатації моторної оливи до заміни в 2...3 рази. При цьому зменшуються лако- і нагаровідкладення і знос деталей двигуна.

Збільшення терміну роботи оливи в двигуні – це найбільш ефективний варіант скорочення його споживання [137]. Раніше термін заміни оливи і двигунів дорівнював 120 год., потім 240 год., а зараз складає 480 год. [8]. Це виявляється можливим за рахунок значного підвищення якості моторних олив і високоефективних присадок що вводяться в них, а також вдосконалення умов роботи оливи в двигунах і поліпшення технічного обслуговування.

1.4 Модифікування оливи додаванням присадок і обробкою фізичних полів

Основним призначенням оливи є утворення стійкої мастильної плівки для забезпечення мінімального тертя і запобігання зношування поверхонь тертя. Моторні оливи – це в основному продукти переробки нафти, леговані різними

присадками для поліпшення експлуатаційних властивостей [138]. При цьому присадки поділяються на наступні типи [64,135]:

– в'язкістні, покращують в'язкістно-температурні властивості оливи (полімерні з'єднання: поліізобутилен, поліметакрилат, поліалкилстироли та ін.);

– депресорні, знижують температуру застигання оливи (ПАР: барієва сіль біс-алкилфенол-дисульфіду, поліметакрилат "Д" та ін.);

– антиокиснювальні і нейтралізуючі, зменшують утворення кислих і смолоподібних продуктів окиснення оливи, а також нейтралізуюча дія сірчистих з'єднань (діалкілфенілдитиофосфат цинку, кальцієва сіль ефіру дитиофосфорної кислоти та ін.);

– мийно-диспергуючі, перешкоджають утворенню різних відкладень на деталях ДВЗ і підтримують забруднюючі домішки в оливі в зваженому дрібнодисперсному стані (алкилфенолят барію, сульфонат барію алкилсукцинимид та ін.);

– захисні, запобігають корозії залізовмісних деталей (нітро-оксіалкілсукцинімід мочевини та ін.);

– антипінні, зменшують схильність оливи до піноутворення (полімерні кремнійорганічні з'єднання – силікони або полісилоксани та ін.);

– антикорозійні, захищають від корозійного зносу підшипники виконані з кольорових металів і сплавів (сульфонати магнію чи кальцію, барієва сіль бісалкілфенол-дисульфіду та ін.);

– протизносні, знижують величину зносу в парах тертя, що працюють при високих контактних тисках (діалкіл- і діарілді-тіофосфати цинку, осірчені олефіни, органічні сірки, фосфоровмісні з'єднання та ін.);

– протизадирні, призначені для забезпечення роботи поверхонь тертя без заїдання або для пом'якшення процесу заїдання. Як правило, не лише не знижують знос при помірних навантаженнях, але навіть внаслідок їх хімічної взаємодії з металом можуть знос підвищити, тому для нейтралізації цієї властивості необхідно поєднання з компонентом протизносу.

Здебільшого покращення експлуатаційних властивостей моторних олив відбувається при введенні в них присадок в процесі припрацювання та експлуатації дизелів МСГТ і АТТ. За допомогою присадок намагаються досягти таких функціональних властивостей поверхонь тертя, як протизношувальні, протизадиркові, антифрикційні, антикорозійні та інші. Ці властивості поверхні деталей можуть обумовити моторні оливи з присадками завдяки утворенню спеціальних плівок.

Протизношувальні та протизадиркові присадки (табл. 1.3) створюють на поверхнях тертя адсорбційні, хемосорбційні плівки, а також композиційні плівки хімічних сполук присадок з металом [140].

Основою композицій для протизношувальних присадок є хімічні елементи P, S, Cl. Вони утворюють захисні плівки фосфатів, сульфідів та хлоридів. Для протизадиркових присадок використовуються композиційні сполуки, які одночасно містять S і Cl [117]. При використанні присадок намагаються йти шляхом синтезу органічних речовин, які вміщують одночасно

P, S, Cl. Недоліком таких присадок є мала їх довговічність та обмеження за температурним фактором і питомим тиском у зоні тертя.

Таблиця 1.3 – Протизношувальні та протизадиркові присадки

Вид присадки	Матеріал	Недоліки
Протизадиркові	Одночасно вміщують *S, Cl*	Ефективність мащення обмежена температурою у зоні тертя (до 423К)
Протизношувальні	Полярні групи (*COOH, OH*) модифікування хімічними елементами *P, S, Cl*	Ефективність мащення обмежена температурою у зоні тертя (до 423К) і питомим тиском (7…8МПа)

Існуючі металовмісні присадки поділяються на такі види: присадки, що містять один метал; комплексні (декілька металів) присадки; присадки з композиції металів та елементоорганічних сполук.

За своєю дією на поверхні тертя [95] присадки поділяються наступним чином: поверхнево-активні (ПАП); хімічно-активні (ХАП); інактивні (ІП); металоплакуючі (МП) і пластично-деформуючі.

До складу ПАП входять жирні кислоти (олеїнова, стеаринова і пальмітинова), ефіри органічних кислот і спиртів, технічний лецетин тощо. Їх дія полягає в зміцнені і подальшому пластифікуванні поверхонь тертя. Як недолік поверхнево-активних присадок можна відмітити експлуатаційну їх обмеженість за температурним фактором [119,130].

До складу ХАП входять P, S, Cl. Найбільшим поширенням серед цих присадок набула присадка ЛЗ-301 [123,140]. Це прозора рідина, яка вміщує 50% сірки. Рекомендований вміст такої присадки в оливі – 1,5...2,0%. На практиці також поширення набула присадка дипроксид з вмістом сірки біля 48%, яку додають до оливи у концентрації 2,5%.

У якості ІП використовують дисульфід молібдену MoS_2 [142], графіт, дрібнодисперсний каолін та інші. Ефективність такого виду присадок є висока антифрикційна та протизношувальна дія, а недоліком - випадання їх в осад при тривалому зберіганні.

Згідно роботи [79], як МП присадки використовують наступні: КТЦМС-1, "Гретерин 3", ОГМ та інші, що являють собою суміші жирних кислот та солей металів (в основному олова та міді).

На увагу заслуговують антифрикційні присадки (АФП) [62,139,141], які можна поділити на три основні класи: модифікатори тертя; реметалізанти; кондиціонери металу.

Перший клас, будучи найбільш численним, представлений наступними препаратами: Аспект-модифікатор (Росія), PTFE (США), 8Х747 (США), Фриктол (Україна), Молитранс (Росія), Motorol (США), ХАДО (Україна) STP (США), VP-357 (Німеччина) та ін. [139]. Їх позитивний вплив на антифрикційні і протизносні властивості моторної оливи пов'язують з попаданням найдрібніших частинок цього продукту в спряження між деталями тертя і утворення ним захисного шару, що перешкоджає безпосередньому контакту

поверхонь тертя [62,139].

Інший механізм дії закладений в присадках на основі оливорозчинних сполук молібдену (Фриктол, Молитранс, Молиприз та ін.) [101,139,143,144]. Практичний інтерес мають оливорозчинні беззольні антифрикційні присадки, що містять сірку, фосфор, азот. Їх механізм дії пов'язаний, з утворенням міцних адсорбційних шарів на поверхні тертя, будова яких визначається як полярною, так і "хвостовою" частинами молекули присадки [139].

В якості антифрикційної присадки як правило, застосовується графіт спільно з дисульфідом молібдену [62,139]. Випускається ряд моторних олив Marly (Бельгія) і присадок до них, що містять у своє складі цю композицію.

У важких умовах експлуатації спряжень деталей при додаванні присадок в моторну оливу спостерігається ефект самоорганізації [44,95,145,146], що регулює процеси зносу і регенерації поверхонь тертя (вибірковий перенос) без технічного обслуговування.

Відомі препарати [76,78,139,147] ще однієї групи присадок: так звані шаруваті модифікатори тертя. Вони складаються з елементів з низьким опором зсуву між шарами, наприклад, ди- і трисульфіди молібдену, диселенід молібдену, дисульфіди вольфраму та інші.

До класу реметалізантів відносяться препарати: РиМЕТ (Росія), Metalyz-6 (Швейцарія), Lubrifilm (Швейцарія) та ін. Загальним, в даному випадку, являється те, що АФП містять у своєму складі, ультрадисперсні порошки (УДП) кольорових і благородних металів, серед яких найчастіше використовують мідь, свинець, олово, срібло, цинк, алюміній, нікель, а також їх сплави [139,148]. 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 на поверхні трибоконтакту. В результаті цього частинки зносу не йдуть із зони тертя, а формують на поверхні трибоконтакту нові зносостійкі дрібнодисперсні структури, які сприяють встановленню оптимального проміжку в трибоспряженні при даному режимі функціонування, мінімізації сил і моментів тертя зменшенню зношування [134,139,149].

Поширення на практиці набули присадки: "MILITEK", "FENOM", "ER", "Победитель трения", що діють по механізму доставки до поверхні металу необхідних компонентів (середовища чи енергії) [43,64,123,149,150], тобто спостерігається взаємодія (адсорбція) поверхнево-активних їх компонентів (сполук на основі фторкарбонату, кварцу, есторів) з поверхнями тертя.

При цьому відбувається пластифікування поверхонь тертя і формування на них тонкого шару сервовитної плівки, що характерно для ефекту вибіркового переносу. Присадки даного класу дозволяють збільшити ресурс деталей та їх спряжень в 3...5 разів на етапі експлуатації і отримати економію енергоресурсів на 10...40% [43,78,139].

Не дивлячись на суттєві переваги, присадкам другого класу притаманні наступні недоліки:

– їх дія продовжується, поки вони присутні в оливі в достатній концентрації;

– як правило, такі присадки не тільки не є антифрикційними, але навіть здатні збільшити опір тертю;

– високі концентрації цих речовин, звичайно, впливають на реологію мастильного матеріалу;

– в силу складності процесів фізико-хімічних перетворень, не володіють універсальністю до матеріалів і режимів роботи елементів ТС.

Третій клас АФП представляють препарати ER (США), MILITEC-l (США) і FENOM (Росія). Кондиціонери металів, будучи складними органічними термоактивуючими, препаратами, що формують в зоні тертя надтонку (близько 25 нм) захисну плівку з хімічно чистого заліза (ER) і фаз вуглецю в алмазоподібному стані (RENOM) [134,139,149,150]. У формуванні плівки беруть участь мікрочастки зносу металу. Отримання такої шаруватої структури на поверхнях тертя дозволяє контактуючим деталям взаємодіяти один з одним випробовуючи тільки пружні деформації, що значно знижує інтенсивність зношування, а наявність фаз вуглецю сприяє збільшенню межі критичних навантажень.

Геомодифікатори тертя (ГМТ) (ревіталізанти) є принципово іншими по характеру впливу на поверхню. Ревіталізанти приготовлені на основі природних мінералів ультраосновних порід. Виробниками продуктів даного класу є НПО "РЦС Промремонт" (Росія) і корпорація "ХАДО" (Україна) [43,131,150].

При наявності в моторній оливі ревіталізантів за рахунок енергії тертя в зоні контакту відбувається відділення дефектного шару металу, текстурування поверхні тертя з одночасним зміцненням матеріалу підкладки на значну глибину [43]. В ході припрацювання зношених поверхонь тертя поступово відбувається відновлення їх мікрогеометрії і створення на них оптимального мікрорельєфу (врівноваженої шорсткості), обумовлених реальними умовами експлуатації.

За хімічним і фазовим складами ревіталізанти частіше всього являють суміш класичного магнезіяльно-залізистого силікату (серпентину $Mg_6[(Si_4O_{10})(OH)_8]$, тобто формою цілого ряду мінеральних руд класу олівінів, кінцевими фазами якого є форстерит (Mg_2SiO_4) і фаяліт (Fe_2SiO_4), а також, в невеликих кількостях, кремнезему SiO_2 і доломіту $CaMg(CO_3)_2$ [61,139,150].

Хімічна складова утворена з ревіталізантів металокерамічного шару розроблена достатньо добре [43,61,143], але глибоких досліджень поверхневих і підповерхневих шарів деталей дизелів при використанні присадок при аналізі літературних джерел не виявлено.

Широко поширені хімічні методи модифікування змащувальних олив. Одним з вирішуваних при цьому завдань є стабілізація лужного числа оливи при його окисненні і надходженні в нього кислих продуктів, що утворюються при згоранні палива. В роботі [128] авторами пропонується вдосконалена змащувальна система дизеля, що включає апарат додавання трибохімічних

відновників в працюючу моторну оливу. Пропонується встановлювати замість одного з фільтроелементів, або в охолоджуючу магістраль оливної системи, пристрій, що дозволяє стабілізувати лужне число оливи на заданому рівні протягом часу, який у декілька разів перевищує періодичність заміни оливи в двигуні. При цьому періодичність заміни оливи для АТТ зростає до 60 тис. км., на 40% знижується димність відпрацьованих газів, на 10% підвищується в'язкість. Але така система дозволяє підвищити надійність двигунів, що працюють в сталих режимах з досконалою системою очищення повітря і оливи, коли переважними є корозійні види зношування. Для підвищення їх довговічності разом з високою нейтралізуючою здатністю олив необхідні їх високі протизносні і протизадирні властивості.

Одним з напрямів підвищення протизносних властивостей олив є додаванням до них поверхнево активних речовин (ПАР). Такою добавкою може служити олеїнова кислота [64], яка в кількості 1% підвищує опір заїданню в 1,5 рази. Проте цей ефект спостерігається тільки в дуже вузькому діапазоні навантажень, але жирні кислоти можуть утворювати корозійні активні продукти [128].

Найбільш поширені насьогодні є металлоплакуючі присадки до моторних олив, що поліпшують їх трибологічні властивості і представляють собою комплекси перехідних металів (Co, Cu, Ni, Mn, Fe, Ba і ін.) [153]. Вплив комплексу перехідних металів як напівфункціональні присадки до нафтопродуктів досліджений в роботі [154]. З аналізу цих результатів випливає, що ефективність протизносу комплексів змінюється в наступному ряду металів: Cu > Ni > Co > Mn > Fe > Ba

При цьому найбільш ефективним спряженням, що володіє найкращими протизносними властивостями у порівнянні з нікелем, кобальтом і марганцем, є спряження міді. Це пов'язано з ефектом вибіркового перенесення [25,125,145,155].

Ряд дослідників, що працюють в області експлуатації АТТ наголошують на позитивний вплив додавання присадок на основі УДП міді [103,146,149]. Додавання міді дозволяє знизити знос деталей тертя до 2 разів, при одночасному зниженні коефіцієнта тертя.

Таким чином, металоплакування є перспективним різновидом вибіркового перенесення. Основна увага дослідників приділена умовам плакування і ефективності використання присадки, обмежуючись оцінкою тільки протизносних і протизадирних властивостей, вважаючи, що їх достатньо для забезпечення довговічності дизелів. В той же час дизелі МСГТ і АТТ є складними трибологічними системами, що вимагають комплексного підходу до вирішення проблеми підвищення їх експлуатаційної надійності, тобто розгляду оливи як трибоелементу, який впливає на триботехнічні характеристики робочих поверхонь деталей ТС.

Специфічні особливості експлуатації МСГТ та АТТ у СГВ визначають комплекс методів модифікуючих дій. Окрім додавання різних хімічних препаратів до оливи відомі фізичні методи обробки різними полями

[57,135,152,156-161], звуковими та ультразвуковими хвилями, опромінювання світлом різної довжини хвилі і т.д.

Останнім часом все більша увага приділяється дослідженням модифікування моторної оливи обробкою її фізичними полями, результати яких відображені в роботах таких вчених як В.А. Аметов, В.В. Аулін, А.М. Болотов, Є.С. Венцель, А.Б. Григоров, І.А. Кравець, Є.М. Лисіков, Л.І. Погодаєв, С.В. Путінцев, Ю.С. Саркісов, С.М. Соловйов, та ін. [108,158,160,162]. Вплив магнітного поля, в основному, спрямований на вдосконалення і інтенсифікацію процесів дії полем на різні середовища, і, зокрема, паливно-мастильні матеріали [163]. При цьому використовуються як постійне, так і змінне магнітне поле [164]. В національному авіаційному університеті (м. Київ) проведені експерименти по дії електромагнітного поля на авіаційне паливо з метою продовження терміну служби підшипників кочення на датчиках витратоміру палива [164]. Автори встановили вплив електромагнітної обробки на властивості протизносу індивідуальних вуглеводневих спряжень. На їх думку, однією з особливостей хімічних спряжень в органічних сполуках є просторова орієнтація, при якій молекула набуває певної геометричної структури, хімічні зв'язки у ній мають ковалентний характер і порівняно легко поляризується. Зсув електронів в молекулах, викликаний взаємним впливом на атоми, сильно впливає на фізико-хімічні властивості вуглеводнів. Крім того, в складних спряженнях вуглецю іноді утворюються системи загальних π-електронів (ароматичні і нафтенові вуглеводні), об'єднуючі атоми, що відрізняються підвищеною схильністю до поляризації. З поляризацією змінюються багато об'ємних і поверхневих властивостей рідин.

1.5 Методи підвищення надійності систем і агрегатів МСГТ і АТТ, що працюють у сільськогосподарському виробництві

В загальному підході усі методи підвищення надійності і зносостійкості спряжень деталей систем і агрегатів МСГТ і АТТ також поділяються на три основні групи: конструкційні [5-7,24], технологічні [24,116] і експлуатаційні [64,123,165].

Конструкційні рішення по підвищенню зносостійкості і надійності, закладаються на етапі проектування спряжень деталей систем і агрегатів в цілому [5,6,116]. При цьому можливе зниження витрат потужності на тертя на 8…10%, а обмеженням є ускладнення компонування ДВЗ, зростання чаду оливи та ін. На величину зносу робочої поверхні спряжень деталей безпосередньо впливають рівень механічних і теплових навантажень, тип і продуктивність систем мащення і охолодження.

Насьогодні зниження рівня зносу деталей дизелів МСГТ і АТТ досягається переважно застосуванням технологічних методів:

– підвищення точності обробки деталей в трибоспряженнях тертя;

– підбір і отримання шорсткості поверхонь, що забезпечує оливозберегаючі функції;

– нанесення покриттів на поверхні трибоспряжень, що знижують коефіцієнт тертя (хромування компресійних і оливоз'ємних кілець, азотування гільз циліндрів, цементування колінчастих валів і т.д.);

– застосування матеріалів з високими циклічною міцністю і демпфуючою здатністю (металокерамічні або витi поршневі кільця) та ін.

При експлуатації систем і агрегатів з мастильним середовищем основним чинником, що впливає на рівень зносу деталей є в'язкість, склад, чистота мастильного середовища та характеристики системи мащення. Поширення набули оливи з пологою в'язкісно-температурною характеристикою при поєднанні мінеральної малов'язкої основи з присадками-загусниками [166], методи прискореного припрацювання поверхонь тертя деталей ЦПГ та їх відновлення електролітичним, хімічним, фрикційним та іншими методами формування спеціальних покриттів [116]. При цьому ефективно використовуються експлуатаційні властивості хрому [87], особливо його припрацьовуваність, а пори (лунки) хрому є місткістю для мащення. Процес пористого хромування використовують при хромуванні гільз циліндрів і поршневих кілець ДВЗ. Хромовані поршневі кільця добре працюють в парі з сірим чавуном і азотованою сталлю. Для підвищення зносостійкості і для відновлення поршневих пальців, гільз циліндрів застосовують електролітичне нікелювання [167]. Міднення [167] застосовують для одержання тонкого шару міді, а також для відновлення деталей, наприклад, бронзових втулок верхньої головки шатуна.

Для оптимальних умов припрацювання деталей МСГТ і АТТ, що працюють у СГТ необхідне створення на поверхнях тертя тонких плівок, які сприяють пластифікуванню та згладжуванню мікронерівностей. Цього досягають при використанні олив з металоорганічними присадками [168], які забезпечують утворення на поверхнях тертя тонких протизношувальних плівок. Найбільшого поширення серед металовмісних органічних присадок набули металоорганічні сполуки міді, гліцерату міді [165].

Характер та природа трибохімічних процесів припрацювання поверхонь тертя в ТТС широко висвітлене у роботах [95,104]. Цей метод розроблено в КНТУ проф. О.Г. Терхуновим [165] та набув подальшого розвитку з накладанням фізичних полів (електричного, магнітного, електромагнітного) колективом співробітників під керівництвом проф. Ауліна В.В. [104]. В ЛНАУ В.П. Алексеєвим, Т.М. Замотою та ін. розроблено та удосконалено метод електрохіміко-механічного припрацювання (доведення) (ЕХМП(Д)) основних спряжень деталей вузлів та агрегатів при їх ремонті [169-172], сутність якого полягає в тому, що в зону тертя в якості мастильного матеріалу подається спеціальний електроліт і між деталями пропускається змінний електричний струм. В результаті механічної і електрохімічної взаємодії деталей відбувається швидка взаємна припрацьовуваність їх робочих поверхонь.

Застосування при технологічній обкатці олив з присадкою [64,169] сприяє переходу до нормального механо-хімічного зношування деталей спряжень і утворенню ювенільних поверхонь, здатних сприймати експлуатаційні

навантаження. І.А. Кравець для розв'язання задачі підвищення ресурсу машин і механізмів пропонує стабілізувати їх технічний стан, склад та експлуатаційні властивості поверхонь тертя деталей і мастильних середовищ шляхом трибоелектрохімічного відновлення або репаративною регенерацією ТТС [64,108,123]. При цьому на зношеній поверхні деталей осаджуються іони металів. Для реалізації процесу в зоні тертя розміщують ізольовану від спряжених деталей металеву вставку. На ТТС подають постійний електричний струм напругою 1...2 В так, що вставка стає анодом, а деталі ТТС – катодом. При проходженні струму відбувається електрохімічне розчинення аноду, іони якого в електричному полі переносяться на поверхні тертя деталей, де і відбувається їх осадження. Цей процес обумовлює утворення нових зносостійких структур в ПШ деталей ТТС і являє собою ВП [95,125,145,173].

Найбільш перспективним є використання електротрибохімічного методу [1], в основі якого покладені електротрибохімічні реакції, що відбуваються в умовах механічної активації в системі "метал-електроліт (композиційна олива)". Основною причиною протікання таких реакцій є перенос речовини електрично зарядженими компонентами через електропровідне середовище (електроліт). Якщо підібрати електроліт і активувати поверхню, що оброблюється, можливо досягти спрямованої доставки на неї зносостійких компонентів. Збільшити швидкість їх нанесення і упорядкувати рух заряджених частинок можна джерелом електричної енергії [160]. Взаємодія робочої поверхні і провідного середовища відбувається на атомно-молекулярному рівні електромагнітними силами. Отже, зовнішнім електромагнітним полем, яке буде утворюватись при проходженні електричного струму від зовнішнього джерела крізь взаємодіючу поверхню, можна впливати на атоми і молекули зносостійких компонентів.

Покращення експлуатаційних властивостей олив відбувається при введенні в них присадок і утворенні спеціальних плівок на поверхнях тертя деталей. За своєю дією на поверхні тертя [53,110] розрізняють наступні присадки: ПАП; хімічно-активні (ХАП); інактивні (ІП); металоплакуючі і пластично-деформуючі присадки та ін. У важких умовах експлуатації спряжень деталей при цьому утворюється самоорганізаційна ТТС [174-176], що регулює процеси зношування і регенерації поверхонь тертя без технічного обслуговування [64,123]. Але не дивлячись на суттєві переваги присадкам притаманні наступні особливості: їх дія триває при достатній концентрації; в деяких умовах здатні навіть збільшити опір тертю; їх високі концентрації впливають на реологію мастильного матеріалу; через складність фізико-хімічних процесів, перетворень, не володіють універсальністю до матеріалів елементів і режимів роботи трибоспряжень систем і агрегатів МСГТ і АТТ.

Основна увага дослідників приділена умовам і ефективності використання присадок, обмежуючись оцінкою тільки протизносних і протизадирних їх властивостей [53,105,106,117], вважаючи, що їх достатньо для забезпечення зносостійкості деталей дизелів МСГТ і АТТ. В той же час вирішення проблеми вимагає комплексного підходу і розгляду оливи як

елементу трибоспряжень, який істотно впливає на триботехнічні характеристики робочих поверхонь деталей. Глибоких трибофізичних досліджень ПШ матеріалів деталей спряжень при використанні присадок не проведено. Практично відсутні також дослідження динаміки утворення за допомогою присадок шару покриттів, їх стійкість та руйнування.

Найбільш раціональним технічним рішенням, спрямованим на зниження зносу в спряженнях дизелів МСГТ, є застосування методів модифікування моторних олив [174] (рис. 1.7).

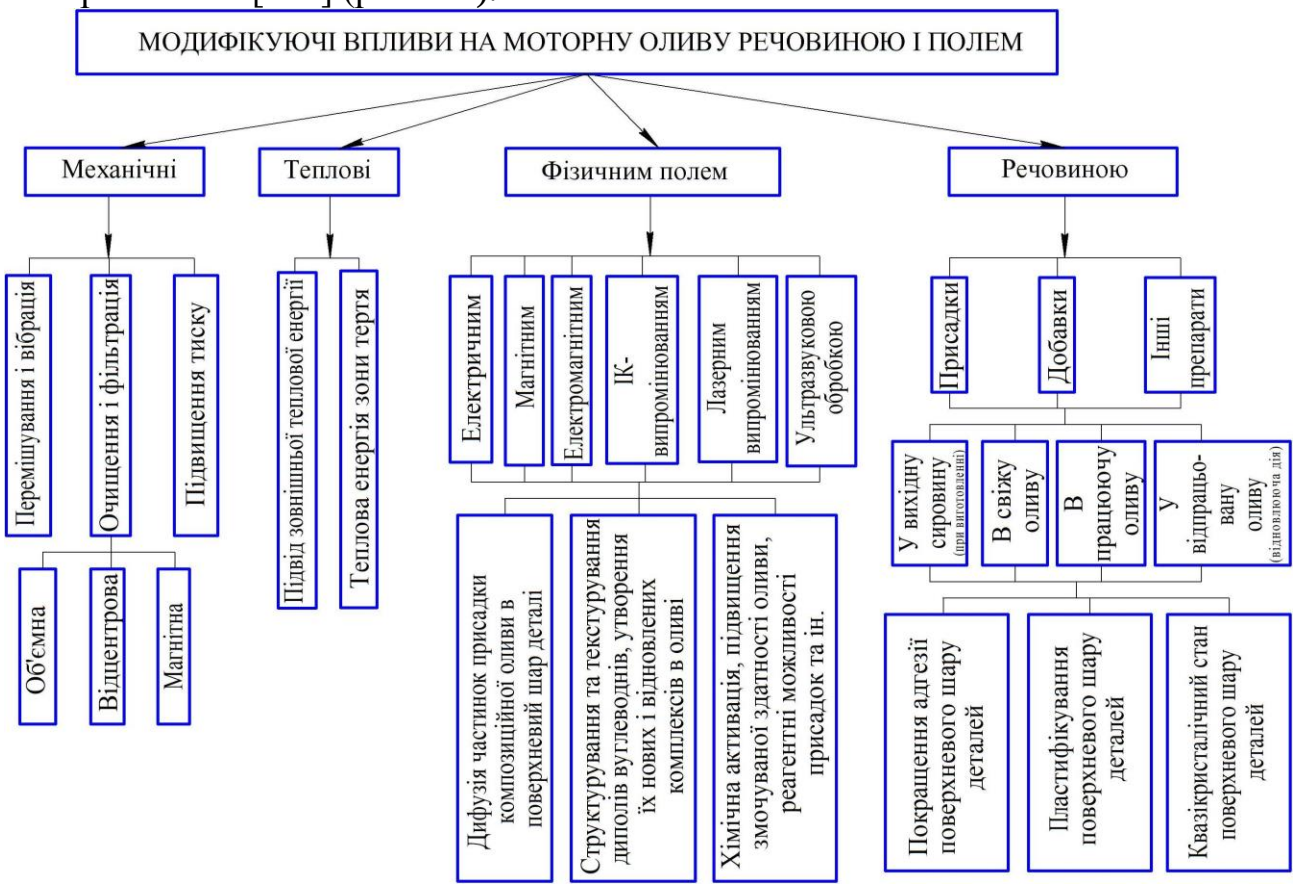


Рисунок 1.7 – Класифікація способів модифікуючих впливів на моторну оливу для підвищення зносостійкості робочих поверхонь деталей дизелів МСГТ і АТТ

Модифікування олив здійснюється механічними, тепловими, фізичними (очищення, дія фізичних полів і т.д. [110,115,174,177,178]) та хімічними (додавання присадок і добавок) методами [166,177,179].

В роботах [108,123,180] наголошується, що для підвищення якості МС в трибоспряженнях деталей використовуються магнітні рідини, які під дією магнітного поля (МП) концентруються в зоні найбільшої напруженості, створюючи шар товщиною 3…4 мкм. Це сприяє створенню умов рідинного мащення в різних ТТС і опорах рухомих з'єднань [180]. Утворений несучий шар, при цьому сприймає зовнішнє навантаження, знос контактуючих поверхонь практично виключається, а коефіцієнт тертя стає надзвичайно малим і визначається лише в'язкістю мастильної рідини. Здатність навантаження в ТТС може бути збільшена за рахунок підбору властивостей магнітних рідин і кращою конфігурацією магнітних потоків в зонах контакту [123,174].

Останнім часом все більша увага приділяється дослідженням модифікування моторної оливи обробкою її фізичними полями, результати яких відображені в роботах В.А. Аметова, В.В. Ауліна, А.М. Болотова, Є.С. Венцеля, А.Б. Григорова, І.А. Кравця, Є.М. Лисікова, Л.І. Погодаєва, С.В. Путінцева, Ю.С. Саркісова, С.М. Соловйова та ін. [15,110,119,180,181,215]. Вплив ЕП і МП, в основному, спрямований на вдосконалення і інтенсифікацію процесів дії полем на різні середовища, і, зокрема, паливно-мастильні матеріали. При цьому використовуються як постійне, так і змінне магнітне поле, але ці методи потребують ретельних експериментальних та теоретичних досліджень та розробки нових методів ТТВ.

Причинами малого ресурсу двигунів після капітального ремонту згідно робіт [24,25,182] є наступні чинники:

– низька якість обробки поверхонь деталей;

– відсутність засобів надійної промивки запилених абразивним пилом деталей перед збиранням;

– незадовільне припрацювання деталей після ремонту й забрудненість абразивами мастильних гідравлічних систем, відсутність сучасних випробувальних стендів, приладів, які контролювали б процес припрацювання;

– недостатня спеціалізація виробництва на ремонтних підприємствах, що не дозволяє розробляти і реалізовувати найбільш раціональні технологічні процеси і, як наслідок, малий термін служби двигунів.

Відомо [24,25,182], що довговічність відремонтованих двигунів у значній мірі залежить від якості проведеної післяремонтної обкатки, тобто від якості припрацювання основних його спряжень.

Обкатка двигунів – одна із заключних операцій при ремонті двигунів, якою намагаються досягти взаємного припрацювання поверхонь тертя деталей для підготовки їх до робочих навантажень. Обкаткою виявляють дефекти ремонту й виконують заключне регулювання двигуна [183].

За даними роботи [28] стендову обкатку двигунів СМД-60, СМД-62 проводять у три етапи: холодна, гаряча без навантаження і під навантаженням. При обкатці застосовують моторна олива М-10$Г_2$ чи М-10$В_2$ і дизельне паливо.

У зв’язку з дефіцитом та великою вартістю паливно-мастильних матеріалів (ПММ) МСГТ і АТТ використовуються на максимальних потужностях. В таких умовах не забезпечується якісна експлуатаційна обкатка двигунів, що приводить до різкого зниження їх довговічності. Ця обставина обумовлює потребу у зменшенні тривалості обкатки двигуна й дослідженні впливу цього заходу на довговічність відремонтованого двигуна.

Відомо [24,71] що, на довговічність деталей суттєво впливає величина і характер зношування їх основних спряжень. В роботі [69] розглянуто закономірність зносу поверхонь тертя спряження "гільза циліндра – поршневе кільце" від тривалості роботи двигуна. Характерні залежності величини зазору деталей ЦПГ в часі подано на рис. 1.8.

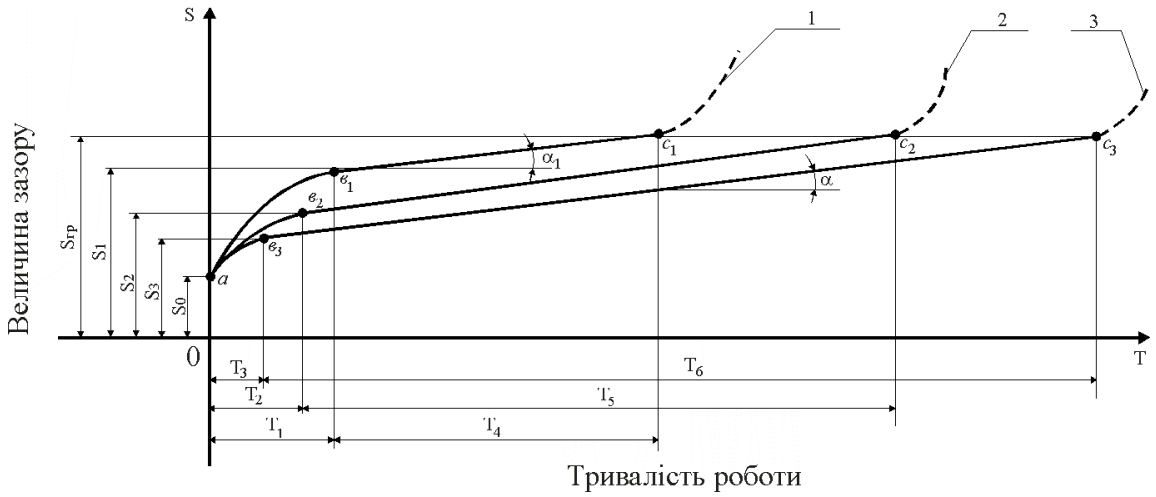


Рисунок 1.8 – Зміна величини зазору спряжень деталей з часом: 1, 2 і 3 – криві зносу спряжень деталей; S_0, $S_{гр}$, S_1, S_2 і S_3 – початковий, граничний та зазори після припрацювання поверхонь тертя; $в_1$, $в_2$, $в_3$ – точки, які відповідають тривалості роботи спряжених деталей до повного їх припрацювання та c_1, c_2, c_3 – точки, які відповідають тривалості роботи спряжених деталей до граничного зазору; α і α_1 – кути, величина яких характеризує темп зносу спряжених деталей; T_1, T_2, T_3 – тривалість роботи спряжених деталей до повного їх припрацювання і T_4, T_5, T_6 – тривалість роботи спряжених деталей після повного їх припрацювання до граничного зносу

Можна бачити, що від тривалості припрацювання двигуна (ділянка *ав*) суттєво залежить період його нормальної роботи (ділянки *вс*), а також настання моменту граничного зносу (точки *с*). Це дає підстави щодо необхідності розробки технологій прискорення обкатки двигунів.

Для розробки ТТВ використовуються наступні методи:

– використання ревіталезантів та спеціальних присадок до робочої рідини;

– формуванням покриттів на поверхнях тертя;

– трибохімічний метод;

– пропускання електричного струму по спряженням систем і агрегатів;

– електрохіміко-механічне припрацювання.

Проаналізуємо більш детально процеси, що спостерігаються при використанні трибологічних методах прискорення обкатки двигунів.

1.6 Трибологічні методи, що використовуються для прискореного припрацювання деталей основних спряжень систем та агрегатів і розробці технологій їх триботехнічного відновлення

Підвищення надійності дизелів МСГТ і АТТ можна здійснити трибологічними методами, на основі яких розробляються ТТВ, класифікацію цих методів наведено на рис.1.9.

Рисунок 1.9 – Класифікація трибологічних методів прискореного припрацювання основних спряжень деталей систем і спряжень МСГТ і АТТ

1.6.1 Використання ревіталізантів та спеціальних присадок до робочої рідини.

Один із основних факторів підвищення довговічності поверхонь тертя, а відповідно і систем і агрегатів МСГТ і АТТ в цілому, є розробка нових високоякісних масел, які повинні відповідати таким вимогам: тривалий термін служби; сприяння зменшенню коефіцієнта тертя; підвищення зносостійкості поверхонь та ін. [71].

За даними робіт [25,150,184,185] присадка до дизельного палива АЛП-2 це 30%-вий розчин органополіалюміноксану у дизельній оливі ДС-8 або ДС-11. Концентрація присадки варіюється у межах 2,5...6,0% в залежності від типів двигунів. Шорсткість модифікованих при цьому поверхонь тертя складає Ra=0,025 мкм. Присадка суттєво не впливає на деталі паливної апаратури.

До недоліків використання цієї присадки можна віднести погіршення роботи форсунок, порушення процесу згоряння палива і зменшення потужності двигуна.

У важких умовах експлуатації спряжень деталей утворюється самоорганізаційна трибосистема [33,186-188], що регулює процеси зносу і регенерації поверхонь тертя (вибірковий перенос) без технічного обслуговування.

Сервовитні плівки утворюються в спряженнях деталей систем і агрегатів, що містять м'які метали (Cu, Zn, Pb) або пластичні матеріали. Для цього необхідно щоб компоненти були введені у мастильний матеріал чи інші технологічні середовища: паливні, промивочні чи охолоджувальні рідини і т.д. [69,79].

Усі відомі насьогодні методи і засоби для безрозбірного відновлення спряжень деталей за компонентним складом, фізико-хімічним процесом взаємодії з поверхнею, властивостями отриманих покриттів (захисних плівок), також механізму функціонування поділяють на три основні групи [78]: металоплакуючі композиції (реалізується ефект вибіркового переносу), полімеровмісні і металокерамічні матеріали.

В одних випадках до олив чи пластичних мастил додають присадки, а в інших вводять через карбюратори чи впускні колектори у вигляді аерозолів і присадок до паливноповітряної суміші. В деяких випадках присадку вводять безпосередньо в зону тертя, наприклад в ЦПГ чи агрегати трансмісії і т.д.

За даними робіт [102,187,188,190], полімеровмісні матеріали переводять контакт "метал-метал" в режим тертя "полімер – полімер" зі значним зниження коефіцієнта тертя і інтенсивності зношування. Ці матеріали на ринку широко представлені препараторами DIX-600, Slik-50, Ligvid Ring, Lubrilon, Microlon та інші. Основним виробником є транснаціональний хімічний концерн DuPont de Neumou'rs Company.

Підвищення експлуатаційних характеристик полімервмісних покриттів може бути досягнуто введенням різних наповнювачів.

Відомі препарати [78,191] ще однієї групи присадок: так звані шаруваті модифікатори тертя. Вони складаються з елементів з низьким опором зсуву між шарами, наприклад, ди- і трисульфіди молібдену, диселенід молібдену, дисульфіди вольфраму та інші.

Кондиціонер металізанту являє собою продукти "MILITEK", "FENOM", "ER", "Победитель трения" є речовиною, що діє по механізму доставки до поверхні металу необхідних компонентів (середовища чи енергії) [75,123,192]. Дія цих препаратів базується на взаємодії (адсорбції) поверхнево активних їх компонентів. Наприклад, (сполук на основі фторкарбонату, кварцу, есторів) з поверхнями тертя.

При цьому відбувається пластифікування поверхонь тертя і формування на них тонкого шару сервовитної плівки, що характерно для ефекту вибіркового переносу. Шаруватий модифікатор заповнює і згладжує мікронерівності поверхонь тертя, при цьому знижується коефіцієнт тертя і знос поверхонь може досягти 50%.

Зазначені модифікатори необхідно вводити в оливу при кожній його заміні, тому, що при роботі на чистій оливі частинки присадки інтенсивно

вимиваються з мікронерівностей і виносяться із зони тертя.

Присадки даного класу дозволяють збільшити ресурс деталей та їх спряжень в 3...5 разів на етапі експлуатації і отримати економію енергоресурсів на 10...40% [78,193]. Безумовним лідером виробництва препаратів цього класу є корпорація ENTECH (США) (продукти "ER").

Разом з тим глибоких трибофізичних досліджень поверхневих і підповерхневих шарів деталей при використанні присадок не виявлено. Відсутні також дослідження динаміки утворення і руйнування металоплакованого шару. Відомості про стійкість покриттів, отриманих за допомогою присадок, також відсутні.

1.6.2 Формування покриттів на поверхнях тертя.

Для підвищення довговічності та прискорення припрацювання поверхонь тертя деталей ЦПГ, а також їх відновлення широке розповсюдження набули електролітичний, хімічний, фрикційний та інші методи формування спеціальних покриттів.

При пористому хромуванні – поліпшуються експлуатаційні властивості хрому, особливо його припрацьовуваність. Крім того, пори (лунки) хрому є місткістю для мащення. Такі покриття одержують із звичайних електролітів, обробляючи попередньо деталь механічним, хімічним або електрохімічним способами [191].

Процес пористого хромування [193] використовують при хромуванні гільз циліндрів і поршневих кілець ДВЗ. Зазначимо, що хромуванню підлягає один елемент трибосистеми: гільза, або кільце. Хромовані поршневі кільця добре працюють в парі з сірим чавуном і азотованою сталлю [24,120].

Електролітичне нікелювання призначене для підвищення зносостійкості і для відновлення поршневих пальців, гільз циліндрів [52,195].

Міднення застосовують для одержання тонкого шару міді [196], а також для відновлення деталей [197], наприклад, бронзових втулок верхньої головки шатуна.

Недоліком вище перерахованих способів формування покриттів є складність технологічного процесу, а також необхідність застосування попередньої та наступної обробок робочих поверхонь трибоспряження деталей.

1.6.3 Трибохімічний метод.

Б.І. Костецький в роботі [63] зазначає, що для оптимальних умов припрацювання спряжень деталей необхідне створення на поверхнях тертя тонких плівок, які сприяють пластифікуванню та згладжуванню мікронерівностей.

Цього досягають при використанні олив з металоорганічними присадками [190,198], які забезпечують утворення на поверхнях тертя тонких протизношувальних плівок. На поверхнях тертя нарощується тонкий шар м'якого металу – міді, олова, бронзи, цинку тощо. Для цього до обкаточної оливи вводиться порошок, сіль, оксиди вказаних металів. На робочих

поверхнях спряжених деталей відкладається захисна металоплакуюча плівка, яка має низький опір зсуву поверхневого шару, значно знижує коефіцієнт тертя і поліпшує припрацьованість поверхонь тертя.

Металоплакуючі матеріали поділяють на дві групи [190]. Перша з них містить оксид або металевий порошок, а друга – металоорганічну або металополімерну присадку.

Найбільшого поширення серед металовміщуючих органічних присадок набули металоорганічні сполуки міді, наприклад, гліцерат міді.

Характер та природа трибохімічних процесів припрацювання поверхонь тертя широко висвітлене у роботах [199,200].

В основі трибохімічного методі лежать трибохімічні процеси, що відбуваються в трибоспряженнях деталей [138,187]. Цей метод в Кіровоградському національному технічному університеті розроблено проф. О.Г. Терхуновим [199,200] і впроваджено в ремонтне виробництво. Подальше вдосконалення методу зроблено під керівництвом проф. В.В. Ауліна [104].

Сутність методу полягає в наступному. Застосовується органічна присадка до оливи – гліцерат міді. При взаємодії елементів трибосистеми, теплова енергія, яка виділяється (при температурі 473...493 К), спричиняє розпад гліцерату міді $Cu_3(C_3H_5O_3)_2$ на іони міді Cu^{++} та активні радикали гліцерату $(C_3H_5O_3)^{3-}$. Взаємодія активних радикалів з залізом основного металу може протікати в певному напрямку:

$$Cu_3(C_3H_5O_3)_2+3Fe(II)\rightarrow Fe_3(C_3H_5O_3)_2+3Cu^\circ \text{ (осад)},$$

або

$$Cu_3(C_3H_5O_3)_2+2Fe(III)\rightarrow 2Fe(C_3H_5O_3)+3Cu^\circ \text{ (осад)}.$$

Гліцерат заліза $Fe_3(C_3H_5O_3)_2$ адсорбується поверхнею. Слід зазначити, що ця сполука має низький опір зсуву і обумовлює прискоренню припрацювання. Виділення і плакування на поверхнях тертя вільної міді Cu° сприяє зниженню коефіцієнта тертя, утворює захисний шар, виконує роль твердого мастила.

Дифундування міді вглиб матеріалу основи деталі забезпечує створення зносостійкого інтерметалевого спряження FeCu. Розглянуті процеси призводять до прискорення згладжування мікронерівностей та формування оптимальної мікрогеометрії на робочих поверхнях спряжених деталей. Але метод має недолік: при обкатці вільна мідь плакується на поверхні тертя тільки під дією навантаження в зонах контакту поверхонь тертя.

Відомо [64,74], що у зоні контакту генерується слабке електричне поле, яке є наслідком термоелектронного процесу, але напруженість поля у контакті незначна – $10^{-4}…10^{-2}$ В/м. Ці процеси дають можливість отримати покриття невеликої товщини 0,5…5 мкм.

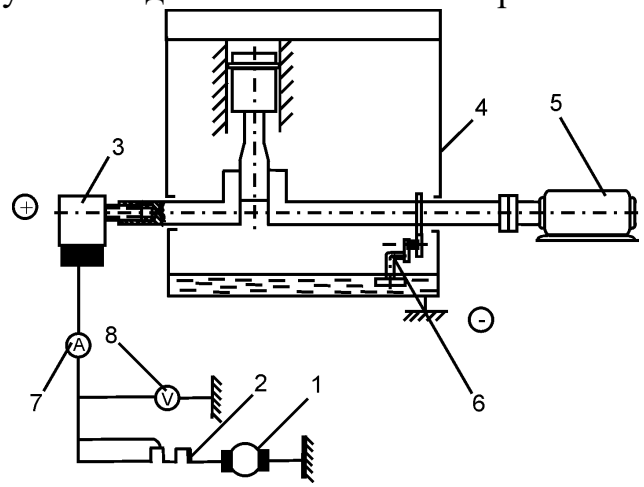
1.6.4 Пропускання електричного струму по спряженням деталей систем і агрегатів.

Відомо [75,192,193,201], що електрорушійна сила в твердих тілах у зв’язку зі збільшенням елементарних носіїв електричного заряду пов’язана з хвильовим характером механічних напружень. Ділянки фактичного контакту

спряжених поверхонь в початковий період припрацювання деформуються, що спричиняє появу ЕРС. Вершини на шорсткій поверхні, де зосереджено максимальний заряд, слід розглядати, як термопару і як джерело утворення електрорушійної сили пари тертя у двигунах, що обкатуються.

Підключення зовнішнього джерела струму тієї ж полярності може викликати розряд, який супроводжується локальним підвищенням температури на мікроділянці і відділенням деякої частини металу і цим викликає утворення кратеру на припрацьованій поверхні (гільзи циліндрів). Даний ефект застосовано для прискорення процесу припрацювання відремонтованих двигунів [202].

Загальна схема експериментальної установки обкатки двигунів з пропусканням електричного струму за методикою ГОСНИТИ зображена на рис. 1.10.



1 – джерело струму; 2 – опір для регулювання величини струму; 3 – струмоз'ємник ввернутий замість храповика; 5 – електрогальмівний стенд; 6 – оливонасос; 7 – амперметр; 8 – вольтметр.

Рисунок 1.10 – Принципова схема обкатки двигуна з використанням електричного струму [103]

Згідно робіт [64,202], розподілення електричного струму, який протікає в гільзах циліндрів двигуна, що обкатується, а також струму, що підводиться від зовнішнього джерела, показано, що його величина на всіх циліндрах однакова.

Для заміру ступеню впливу електричного струму на поверхню тертя гільзи циліндрів і проведення осцилографічних записів на експериментальній установці рекомендується проводити обкатку двигунів із ізольованими гільзами.

Для цього з посадочних місць гільзи знімають шар металу товщиною 1 мм. Далі посадочні місця покривають епоксидною смолою, і після її затвердіння гільзи проточуються до номінального розміру.

Для запису електричних параметрів (*U, I*), використовують осцилограф К12-21. На осцилограмі фіксують характерні точки режиму припрацювання в залежності від числа обертів колінчастого валу, напруги, температури води і оливи. Результати досліджень розподілення електричного струму по гільзам циліндрів отримані в роботах [64,202]. Ці дані не суперечать законам Кірхгофа.

Парами тертя є корінні підшипники колінчастого валу і вкладиші; шатунні шийки колінчастого валу і вкладиші; поршневі пальці і втулки верхньої головки шатунів; поршневі пальці і бобишки поршнів; гільзи циліндрів, поршні і поршневі кільця.

Типові режими обкатки дизелів серії СМД із застосуванням електричного струму наведено в роботі [202]. Процес обкатки проводять в такій послідовності: прокручування двигуна без компресії (n=700...800 об/хв., t=10...15 хв.); прокручування двигуна з компресією (n=1200...1300 об/хв., t=10...15 хв.); прокручування двигуна з подачею електричного струму (n=1200...1300 об/хв., t=30 хв., U=0,4 В, I=1...2 А, плюс на колінчастому валу); зняття подачі струму і гаряче прокручування без навантаження (n=1700...1800 об/хв., t=20...25 хв.); випробування двигуна на газу (N = 55,2 кВт, t=10 хв.).

До недоліків методу використання електричного струму можна віднести те, що процес інтенсифікації обкатки двигуна, тобто формування оптимальної мікрогеометрії, відбувається тільки на початку обкатки, коли руйнуються виступи мікронерівностей. Після руйнування виступів на робочій поверхні інтенсифікація обкатки двигуна припиняється.

1.6.5 Електрохіміко-механічне припрацювання.

В Луганському національному аграрному університеті розроблено метод електрохіміко-механічного припрацювання (доведення) основних спряжень двигуна під керівництвом В.П. Алексеєва [65,72,203-205].

Сутність методу полягає в тому, що в зону тертя в якості мастильного матеріалу подається спеціальний електроліт і між припрацьовуваними деталями пропускається змінний електричний струм. В результаті механічної і електрохімічної взаємодії деталей відбувається швидка взаємна припрацьовуваність поверхонь спряження.

Метод дозволяє здійснити процес мікроприпрацювання на стадії збирання двигуна, скорочується тривалість обкатки у порівняні з обкаткою по типовій технології ГОСНИТИ, підвищується міжремонтний ресурс [206]. При цьому формуються зносостійкі поверхні, забезпечується висока здатність до ущільнення деталей ЦПГ і практично не змінюється послідовність типового технологічного процесу збирання двигунів.

Макрогеометричне припрацювання при ЕХМП(Д) здійснюється в більш м’якому режимі ніж холодна обкатка, що особливо важливо при врахуванні недостатньої структурної термостійкості гальванічного хрому [65].

Застосування ЕХМП(Д) в обкатці різних типів двигунів підтверджує ефективність способу: відмічається підвищення міжремонтного ресурсу, зменшення прориву газів в картер, і зниження витрати оливи на вигар у порівняні з обкаткою двигунів за технологією ГОСНИТИ [72].

Метод ефективно використовується і в ремонтному виробництві, особливо це стосується припрацювання двигунів після капітального ремонту.

В процесі припрацювання поверхні тертя спряжених деталей набувають

деякий резерв пристосованості [206] на випадок екстремальних умов роботи (перевантаження, недостатність мащення, перегрівання і т.п.).

Разом з тим забезпечення оптимальної шорсткості поверхонь знаходиться на другому плані. Однією з основних причин низького ресурсу, без сумніву, є недодержання технічних вимог на виготовлення та відновлення деталей і в цілому на ремонт двигунів.

Використання електрохімічних процесів дозволяє проводити локальне знімання шарів матеріалів деталей спряжень ЦПГ і видалення цих продуктів в електроліт у вигляді іонів металів, запобігає забрудненню кільцевих ущільнень поршня продуктами зносу. Застосування при технологічній обкатці експлуатаційних олив сприяє переходу до нормального механо-хімічного зношування деталей спряжень і утворенню ювенільних поверхонь, здатних сприймати експлуатаційні навантаження.

1.6.6 Трибоелектрохімічний метод підвищення ресурсу трибоспряжень.

І.А. Кравець для розв'язання задачі підвищення ресурсу вузлів тертя машин і механізмів пропонує стабілізувати стаціонарний стан, склад і експлуатаційні властивості поверхонь тертя деталей і мастильних середовищ шляхом їх трибоелектрохімічного відновлення (репаративна регенерація трибосистем) [64,192,193,201,207].

Відновлення деталей в процесі їх роботи за його методом полягає в тому, що трибоелектрохімічним методом на зношеній поверхні деталей осаджуються іони металів [193]. Для чого в зоні тертя розміщують ізольовану від спряжених деталей металеву вставку. На вузол тертя подають постійний електричний струм напругою 1...2 В так, що вставка стає анодом, а деталі вузла тертя – катодом. При проходженні струму відбувається електрохімічне розчинення аноду, іони якого в електричному полі переносяться на поверхні тертя деталей, де і відбувається їх трибоелектрохімічне осадження [64]. Цей процес обумовлює утворення нових зносостійких структур в поверхневих шарах деталей трибосистеми.

Стабілізація стаціонарного стану трибосистеми (пари тертя) забезпечується при відновленні об'єктів (елементів трибосистеми) зі швидкістю, рівною швидкості їх зношування.

Наявність зворотних зв'язків за станом об'єктів трибосистеми дозволяє ввести автоматичний контроль за трибоелектрохімічними процесами, тобто і автоматичне керування ресурсом машини, використовуючи електричну енергію від внутрішніх або зовнішніх джерел.

З метою забезпечення керованого ресурсу машини, зменшення витрат на використання, обслуговування, ремонт і зберігання за допомогою трибоелектрохімічних процесів замість вуглеводневих масел нафтового походження застосовують оливозамінне електропровідне мастильне середовище. Основними компонентами такого середовища є: вода – основа, багатоатомні спирти і полімерні загусники (поліамфоліти і подібні їм), силікати і інші компоненти функціонального призначення.

Таким чином, застосування на практиці трибоелектрохімічного методу стабілізації стаціонарного стану, складу і експлуатаційних властивостей поверхонь тертя і мастильних середовищ, а також застосування струмопровідного мастильного середовища дозволяє значно підвищити надійність, довговічність, працездатність і в цілому технічний рівень, спростити технологію обслуговування, ремонту і зберігання, знизити витрати на виробництво і підтримку в працездатному стані деталей і вузлів машин, забезпечити їх роботу в режимі керованого ресурсу.

Дослідженнями авторів роботи [192] встановлено, що електротрибохімічний процес, який відбувається в зонах тертя, поєднує в собі сукупність процесів, пов'язаних з руйнуванням виступів поверхні, виділення теплової енергії, плакування шару металу та інших. Це дає змогу розробити метод прискореного припрацювання спряжених поверхонь деталей ЦПГ. Як показано раніше поверхні тертя основних спряжень деталей ЦПГ повинна розмежовувати тонка захисна плівка.

Найбільше для цього підходить два методи обробки: електролітичне осадження на поверхню металу та трибохімічний метод з використанням композиційної оливи.

Електролітичне осадження металів основане на утворенні у водних розчинах солей, кислот та лугів (електролітів) при пропусканні крізь них постійного електричного струму, заряджених часток – іонів.

Реакцію процесу можна описати хімічною формулою:

$$Me^0 = Me^{z+} + Ze^- \qquad (1.1)$$

Але електролітичне осадження не технологічне, трудомістке і головне це не можливо зробити для двигуна, не розбираючи його.

Тому, у зв'язку з цим, найбільш перспективним є використання електротрибохімічного методу, в основі якого покладені електротрибохімічні реакції, що відбуваються в умовах механічної активації в системі "метал-електроліт (композиційна олива)". Основною причиною вибору таких реакцій є те що, при електротрибохімічній обробці перенос речовини здійснюється електрично зарядженими компонентами через електропровідне середовище (електроліт). Тобто, якщо підібрати електроліт і механічно активувати поверхню що, оброблюється, можливо досягти спрямованої доставки на поверхню тертя зносостійких компонентів. Щоб збільшити швидкість нанесення необхідних компонентів на робочу поверхню і упорядкувати рух заряджених частинок, необхідно використовувати джерело електричної енергії.

Взаємодія робочої поверхні і провідного середовища відбувається на атомно-молекулярному рівні. У зв'язку з тим, що взаємодія атомів і молекул є електромагнітною, то і взаємодія поверхні з середовищем також буде електромагнітною. Отже, зовнішнім електромагнітним полем, яке буде утворюватись при проходженні електричного струму від зовнішнього джерела крізь взаємодіючу поверхню, можна впливати на атоми і молекули зносостійких компонентів.

На основі даних робіт [64,68,192,193,201,207,208] виявлені основні

фактори, які впливають на електротрибохімічну реакцію. Найбільший вплив створюють фактори: щільність електричного струму, що подається на спряжені деталі; концентрація електроліту (робочого середовища); відносна швидкість переміщення поверхні тертя.

Електротрибохімічний метод прискореного припрацювання та відновлення робочих поверхонь деталей трибоспряжень виглядає найбільш перспективним, тому, що включає в себе трибохімічний метод з використанням композиційної оливи і електролітичне осадження плакуючого металу, але на відміну від останніх не містить недоліків кожного з них. Виходячи з вищезазначеного цей метод в даній роботі покладено в основу прискорення обкатки дизельних двигунів.

Разом з цим запропонований метод потребує ретельних досліджень як в теоретичному, так і в експериментальному плані й розробки технології обкатки двигунів.

1.6.7 Метод використання магнітного поля при обробці мастильного середовища та робочих поверхонь спряжень деталей.

В роботах [108,164,180] наголошується, що як змащувальний матеріал можуть використовуватися магнітні рідини, як у вузлах тертя механічних передач, так і при механічній обробці металів в середовищі атмосферного повітря та у вакуумі. Під дією магнітного поля магнітні рідини концентруються в зоні найбільшої її напруженості, створюючи шар товщиною 3…4 мкм. Вказана властивість магнітних змащувальних рідин може бути використана в створенні рідинного мащення в різних вузлах тертя і опорах рухомих з'єднань. При цьому утворюється несучий шар, що сприймає зовнішнє навантаження, коефіцієнт тертя в цьому випадку дуже малий і визначається лише в'язкістю несучої рідини. Знос контактуючих поверхонь практично виключається.

Крім того встановлено [180], що швидкість "спливання", тобто час від моменту подачі магнітної рідини в зону контакту до підйому опори залежить від шорсткості контактної поверхні опори. Мікронерівності на контактній поверхні опори при цьому створюють мережу капілярів, по яких магнітна рідина під дією магнітного поля швидко проникає в зону контакту, покриває всю опорну поверхню і забезпечує спливання опори під дією магнітного тиску рідини.

Передбачається, що застосування магнітних рідин в конструкціях малонавантажених опор забезпечує рідинне мащення і плавність переміщення рухомих частин машин. Здатність навантаження опор може бути збільшена за рахунок підбору властивостей магнітних рідин і кращою конфігурацією магнітних потоків, що її утримують на поверхні контакту.

У роботі [158] розглядається роль магнітного поля на поверхні тертя, що змащуються магнітними оливами. Автори вважають, що застосування нових змащувальних матеріалів – магнітних олив, припускає накладення на вузол тертя квазістаціонарних неоднорідних магнітних полів для управління їх рухом. Наведені дослідження закономірностей тертя в магнітному полі при

граничному режимі.

Результати вивчення впливу магнітного поля на зношування поверхонь, що змащуються магнітною оливою з дисперсним середовищем (вазелінова олива, магнітит, олеїнова кислота), свідчать про істотне існування дії магнітного поля. Фракційний аналіз оливи, виконаний за допомогою електронної мікроскопії, виявив перерозподіл частинок не тільки по концентрації, але і по розмірах. Крупні частинки переважали в тих шарах, де напруженість магнітного поля вища. Дія поля на поверхню, змащену магнітною оливою, має і чисто механічну природу і виявляється за рахунок того, що поле може істотним чином змінити швидкість розтікання (або натікання) на поверхню.

Ця зміна можлива у тому випадку, коли є неоднорідність поля уздовж поверхні і пояснюється дією тангенціальних магнітостатичних сил. Збільшення швидкості розтікання рідких середовищ магнітним полем дозволяє підвищити характеристику кутів тертя, що працюють при мащенні обмеженими дозами оливи. Так, тільки за рахунок прискорення натікання оливи на доріжку тертя у використовуваній установці, отримано зниження сили тертя до 25 % [6].

У роботі [180] розглядається можливість утримання магніторідинних олив (МРО) в зоні тертя за допомогою магнітного поля. Встановлено, що видавлювана із зон контакту МРО під дією магнітних сил може повертатися назад, відновлюючи тим самим зруйнований змащувальний шар. Триботехнічні характеристики магнітної рідини, мабуть, значною мірою обумовлені змащувальними властивостями самих рідин (носіїв). В даний час розроблені методи отримання МРО на різних основах з хорошими змащувальними властивостями. Відчутний вплив на процес мащення тут надає не тільки основа МРО, але і концентрація магнітного носія.

Відмічено деяке погіршення змащувальних властивостей МРО пропорційне кількості введеного в нього магнітного носія, об'ємною концентрацією більше 5%. При концентрації менше 5% змащувальні властивості МРО трохи поліпшуються, а утримуюча здатність, в цьому випадку, наближається до оптимальної.

Одною з перших робіт по теоретичному опису магніторідинного змащування є робота [164], в якій розглянуті мащення нескінченно довгого циліндричного підшипника з урахуванням індивідуального в магнетику внутрішнього поля, як для насиченого, так і для ненасиченого магнетика. В роботі [158] дано рівняння для аналітичного моделювання магніторідиного змащуючого шару МРО в нескінченно короткому підшипнику.

У роботі [180] розроблений ефективний метод чисельного моделювання магнітного змащувального шару з урахуванням явищ кавітації для підшипників довільної довжини. Одним з чинників, що ускладнюють теоретичне вивчення механізму магніторідинного мащення, є лінійна крива намагнічення МРО. Тому, аналіз можливий, як правило, або для граничних випадків лінійного закону намагнічення, або для магнітного насичення, розроблена проста аналітична модель змащувального шару.

Проте застосування магніторідинних олив можливе переважно в зубчатих передачах, в яких магнітний поток замикається через пару тертя [209]. Але в таких складних агрегатах як ДВЗ, використання магнітної системи ускладнене.

Автори роботи [210] вказують на те, що оливні дисперсні системи композиційні оливи є термодинамічно рухомими. У них безперервно здійснюються гомолітичні переходи (діамагнітних молекул в парамагнітні і назад), які викликають переорганізацію надмолекулярних структур, тобто визначають поведінку системи в цілому. У магнітному полі відбуваються утворення і рекомбінація радикалів. При обробці магнітним полем спостерігається зростання концентрації парамагнітних центрів, максимальне збільшення парамагнітної активності при мінімальній швидкості потоку.

Відомий ряд робіт [211-213] пов'язаних із запобіганням відкладенню парафінів і асфальто-смолистих відкладень під дією електромагнітного поля. Особливість дії магнітної обробки оливи полягає в безперервному протіканні асоціативно-дисоціативних переходів і самоорганізуючою автоколивальною поведінкою оливної системи. Крім того, наголошується аналогія поведінки оливних і водних систем після магнітної обробки [212].

У техніці відомі способи дії на вуглеводневі змащувальні матеріали магнітним полем. Наприклад, спосіб магнітної обробки змащувальних матеріалів [162,211-213], згідно якому по трубопроводу здійснюють подачу змащувальної оливи і впливають на неї магнітним полем, силові лінії якого перпендикулярні потоку змащувальної оливи. При цьому за рахунок розташування пар магнітів по ходу руху змащувальної оливи із зсувом і переполюсовок здійснюється дія асиметричного магнітного поля на змащувальний матеріал, що приводить до зміни структури (щільність) і текучості (в'язкість) рідкого змащувального матеріалу. Це, у свою чергу, приводить до поліпшення трибологічних властивостей змащувальних олив, але потребує ретельних досліджень надійності систем і агрегатів.

Висновки по розділу 1

Аналіз стану проблеми підвищення експлуатаційної надійності за результатами досліджень вітчизняних та зарубіжних вчених властивостей оливи та поверхонь тертя спряжень деталей систем і агрегатів використанням методів ТТВ, дозволив зробити наступні висновки:

1. Основні спряження деталей дизелів МСГТ та АТТ працюють в умовах сільськогосподарського виробництва при підвищеному знакозмінному навантаженні, високій запиленості, що приводять до суттєвих механічних втрат на тертя і їх системи і агрегати не виробляють запланованого ресурсу через інтенсивне зношування робочих поверхонь деталей трибоспряжень. Найбільш вагомими у загальному балансі є механічні втрати дизелів МСГТ і АТТ на тертя (45...50%), що приходяться на деталі ЦПГ.

2. Моторна олива – це важливий трибоелемент і елемент конструкції трибоспряжень систем і агрегатів, який може тривало і надійно виконувати свої

функції, забезпечуючи їх заданий ресурс, тільки при точній відповідності її властивостей тим термічним, механічним і хімічним діям, яким піддається олива в процесі експлуатації. Взаємна відповідність конструкцій систем і агрегатів та умов їх експлуатації і властивостей оливи – одна з найважливіших умов досягнення високої надійності МСГТ і АТТ.

3. На зміну фізико-хімічних показників якості моторної оливи впливає ряд чинників: початкові властивості оливи, конструктивні особливості двигуна, його технічний стан і режим роботи, властивості оливи, що використовуються для доливання та функціональні присадки, технологія технічного обслуговування і умови роботи МСГТ і АТТ.

При експлуатації ДВЗ змінюється стан і склад моторної оливи, прискорюються процеси окиснення, погіршуються її фізико-хімічні показники, підвищується температура оливи, збільшується знос деталей, підвищується витрата палива, зростає чад оливи. Зміна експлуатаційних і фізико-хімічних показників моторної оливи взаємозв’язані з технічним станом і ресурсом двигунів.

4. Для зменшення механічних втрат на тертя і підвищення експлуатаційної надійності систем і агрегатів МСГТ і АТТ слід зосередити увагу на дослідженні властивостей, фізико-хімічних показниках моторних олив та режимів тертя в ресурсовизначальних спряженнях, які змінюються в процесі експлуатації, а також розробку комплексу заходів по керуванню комплексом властивостей робочих поверхонь деталей цих спряжень.

5. Усі методи підвищення надійності МСГТ і АТТ поділяються на конструктивні, технологічні та експлуатаційні заходи. Найбільш перспективним методом підвищення довговічності і відповідно надійності систем і агрегатів, є модифікування МС механічним, тепловим впливом, впливом речовиною (додавання присадок і добавок) та фізичним полем (обробкою електричним, магнітним, електромагнітним та іншими полями).

6. Існуючі методи підвищення експлуатаційної надійності систем і агрегатів МСГТ і АТТ з використанням присадок мають окремі недоліки:

– протизношувальні та протизадиркові присадки не довговічні, та обмежені за температурним фактором і питомим тиском у зоні тертя;

– поверхнево-активні присадки обмежені за температурним фактором;

– інактивні присадки випадають в осад при тривалому зберіганні;

– присадка до дизельного палива АЛП-2 погіршує роботу форсунок, порушує процес згоряння палива і зменшує потужність двигуна.

7. Для покращення триботехнічних характеристик поверхонь тертя деталей основних спряжень систем і агрегатів МСГТ і АТТ, формування антифрикційного шару металу, підвищення змочуваних характеристик оливи найкраще використовувати хімічні методи модифікування моторної оливи металовмісними, металоплакуючими і пластично-деформуючими присадками.

8. Останнім часом все більша увага приділяється фізичним методам модифікування оливи, тобто обробкою її певним фізичним полем. Оскільки олива являє собою діелектрик, то ефективний модифікуючий вплив слід

очікувати від обробки таких полів як електричні, магнітні та електромагнітні. За своєю природою ці поля повинні здійснювати орієнтуючий вплив на оливу, структуруючи її. На увагу заслуговує комплексний вплив мідьвмісною присадкою і дією електричних та магнітних полів на властивості і показники моторної оливи, режим тертя, триботехнічні характеристики поверхонь тертя деталей спряжень систем і агрегатів МСГТ і АТТ, але ці питання потребують ретельних як теоретичних, так експериментальних досліджень та створення нових методів з розробкою ТТВ.

У відповідності до наведених висновків метою монографії є підвищення надійності основних спряжень деталей систем і агрегатів МСГТ і АТТ зміною властивостей мастильних середовищ робочих поверхонь деталей використанням ТТВ.

Для здійснення поставленої мети в монографії розв’язуються наступні задачі:

– з'ясувати особливості природи, механізму і закономірностей тертя та зношування ресурсовизначальних спряжень деталей систем і агрегатів та проаналізувати сучасний стан теорії та практики проблеми підвищення надійності МСГТ і АТТ;

– розробити методологію розв'язання проблеми підвищення надійності МСГТ і АТТ та їх систем і агрегатів розробкою та впровадженням нових більш ефективних методів ТТВ та визначити методи і методики дослідження процесів і станів функціонування її триботехнічних систем;

– теоретично обґрунтувати характер еволюції триботехнічних систем (спряжень зразків і деталей) в процесі припрацювання та з'ясувати умови реалізації різних форм процесів і станів самоорганізації їх елементів;

– виявити закономірності взаємодії, динаміки і механізму тертя та зношування в основних спряженнях зразків і деталей з мастильним середовищем, дати трибофізичне обґрунтування та з'ясувати можливості розробки нових методів ТТВ;

– розкрити механізм електротрибохімічного процесу та теоретично обґрунтувати можливість його використання для підвищення надійності систем і агрегатів МСГТ і АТТ;

– виявити основні закономірності електротрибохімічного процесу та встановити аналітичні залежності впливу його параметрів на тривалість припрацювання;

– теоретично та експериментально обґрунтувати вплив параметрів електротрибохімічного процесу на триботехнічні характеристики робочих поверхонь зразків деталей систем і агрегатів МСГТ і АТТ;

– оптимізувати параметри процесів, покладених в основу ТТВ;

– теоретично обґрунтувати формування плівки оливи, зміну режимів тертя і властивостей оливи в зазорі спряжень зразків і деталей систем і агрегатів та керування цими процесами при модифікуванні моторної оливи додаванням присадки та обробкою електричним і магнітним полем, провести експериментальні дослідження впливу комбінованого фізико-хімічного

модифікування моторної оливи присадкою гліцерату міді та обробкою фізичним полем на зміну її властивостей;

– дослідити вплив запропонованого способу комбінованого модифікування моторної оливи на триботехнічні характеристики робочих поверхонь спряжених зразків і деталей та режими тертя в процесі експериментальних досліджень;

–зясувати мозливості для підвищення їх надійності та керування станами і процесами в основних системах і агрегатах МСГТ і АТТ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Список використаних джерел до розділу 1

1. Аулин В.В. Технологии триботехнического восстановления изношенных поверхностей деталей с использованием композиционного масла и воздействия физических полей / В.В.Аулин, С.В.Лысенко // Проблемы автомоб.-дорожного комплекса России: Эксплуатация и развитие автомоб. транспорта [Текст]:м-лы X междунар.заочн.науч.-техн. конф. 21 ноября 2013 г., Пенза. – Пенза: ПГУАС,2013. – С.7-16.

2. Меден А.И. Распределение потерь в элементах шатунно-поршневой группы дизеля / А.И. Меден // Развитие комбинированных двигателей внутреннего сгорания. – М.: Машиностроение, 1974. – С.41-62.

3. Портнов Н.Е. Исследование режима приработки дизельного тракторного двигателя: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук. / Н.Е. Портнов – Саратов, 1973. – 18 с.

4. Korcek S. Advances in fuel efficiency of engine oils / S.Korcek, J.Sorab, M.Johnson // 13th European Automotive Symposium AGELFI. – Sevilla (Spain), 1998. – 11p.

5. Путинцев С. В. Выбор зависимостей для расчета сил трения в основных сопряжениях двигателя внутреннего сгорания / С.В. Путинцев, Сун Лисинь, С.А. Аникин // Известия вузов. Машиностроение.–2002.–№4 – С.50-55.

6. Путинцев С.В. Механизм потери в поршневых двигателей: специальные главы конструирования, расчет и испытания / С.В. Путинцев. – М.: МГТУ, 2011. –288с.

7. Путинцев С.В. Моделирование параметров динамики, гидродинамики и трибологии поршня двигателя внутреннего сгорания / С.В. Путинцев, С.А. Аникин, О.В. Иванов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, Спец. выпуск. – 2007. – С.150-156.

8. Сафонов В.В. Повышение долговечности мобильных сельскохозяйственных машин путем улучшения процесса обкатки дизелей и применения металлосодержащих смазочных композиций в условиях эксплуатации: автореф. дисс. на соискание ученой степени д-ра. техн. наук: спец. 05.20.03. "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" / В.В. Сафонов. – Саратов, 1999. – 51 с.

9. Аулін В.В. Теоретичне обґрунтування зміни режимів тертя в циліндро-поршневій групі ДВЗ/В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик//Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2010. – №3 – С.46-54.

10. Аулін В.В. Вплив лазерної обробки на протікання фізико-хімічних процесів в конструкційних матеріалах / В.В.Аулін, М.І.Черновол // М-ли 4-ої Міжнар. наук.-практ. конф. "Сучасні проблеми науки та освіти" (м.Ялта, 1-10.05.2003р.).–Харків. – 2003. – С.15-16.

11. Галата Р.А. Снижение потерь в ЦПГ двигателя внутреннего сгорания применением антифрикционных присадок к моторному маслу: Дис.

канд. техн. наук: спец. 05.04.02 "Тепловые двигатели" / Р.А. Галата. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 133 с.

12. Гогайзель А.В. Оперативное управление работоспособностью автотранспортных средств: теория и практика /А.В. Гогайзель, О.П. Кравченко. – Луганск: СНУ, 2000. – 128с.

13. Гогайзель А.В. Математическая модель снижения потери работоспособности системы смазки двигателя / А.В.Гогайзель// Вестник ХНАДУ. – Харьков: РИО ХНАДУ, 2001. – вып. 15-16. – С. 43-46.

14. Левит С.М. Повышение износостойкости деталей ЦПГ и снижение расхода масла на угар в автомобильном двигателе: автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. / С.М. Левит. – Центр. Н.-И. Автомоб. и автомотор, ин-т. – М, 1988. – 18 с.

15. Григоров А.Б. Диэлектрическая проницаемость как комплексный показатель, характеризующий изменение качества моторных масел в процессе их эксплуатации / А.Б. Григоров, П.В. Карножицкий, С.А. Слободской // Вестник нац. техн. университета "ХПИ". – Х.: НТУ "ХПІ". – 2006. – №25. – С. 169-175.

16. Доблер В.И. Повышение эксплуатационной надежности двигателей дорожных и строительных машин трибологическим контролем состояния и активаций моторных масел: автореф. дисс. на соиск. уч. степени. канд. техн. наук: 05.05.04. "Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины" / В.И. Доблер. – Томск, 2005. – 23с.

17. Martin F.A. Friction in internal combustion engine bearings / F.A. Martin // Combustion Engineer – Reduction of friction and wear / I Med E Conference Publications. – Westminster, London – 1985. – P. 3-4.

18. Stanley R. A Simplified Friction Model of the Piston Ring Assembly / R. Stanley, D. Taraza, N . Henein // SAE Techn. Pap. Ser. – 1999. – № 0974. – 18p.

19. Куцев А.В. Повышение эффективности действия моюще-диспергирующих присадок в моторных маслах: автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.17.07 "Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ"/А.В. Куцев. – Москва, 2010 – 25с.

20. Лейметр Т. Выбор и обоснование показателей работоспособности моторных масел / Т. Лейметр, И.Г.Фукс//Трение и смазка в машинах и механизмах.–2007.–№6.–С.37-45.

21. Некрасов С.С. Использование антифрикционных присадок для улучшения эксплуатационных свойств моторного масла / С.С. Некрасов, С.В. Стребков // Двигателестроение. – 1991. – № 8-9. – С. 50-59.

22. Савчук А.М. Кінетика зміни змащувальних властивостей трансмісійних і моторних мастильних матеріалів в умовах рясного та обмеженого мащення: автореф. дис. канд. техн. наук:спец. 05.02.04 Тертя та змащування в машинах/А.М.Савчук.–Київ,2010.–20с.

23. Гурвич И.Б. Эксплуатационная надежность автомобильных двигателей / И.Б. Гурвич, П.Э. Сыркин, В.И. Чумак – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1994. –144 с.

24. Мишин И.А. Долговечность двигателей / И.А. Мишин. – 2–е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1976. – 288 с.

25. Гаркунов Д.Н. Восстановление двигателей внутреннего сгорания без их разборки / Д.Н. Гаркунов, В.И. Балабанов / Тяжелое машиностроение. – М., 2000. – № 2. – С. 18-23.

26. Грошев Л.М. Надежность сельско-хозяйственной техники / Л.М. Грошев, Н.Ф. Дмитриченко, Т.И. Рыбак. – К.: Урожай, 1990. – 192 с.

27. Аулін В.В. Підвищення довговічності дизельних двигунів, обкатаних з реалізацією електротрибохімічного процесу / В.В. Аулін, С.В. Лисенко / Зб. наук. праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки: Видавництво ЛНАУ. – 2005. – №49. – С. 32-38.

28. Дизели СМД: Справочник / А.М. Диденко, А.П. Сороков, В.И. Водолажкий. –М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.

29. Дизели тракторные и комбайновые. Общие технические требования. ГОСТ 20000-88. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 4 с.

30. ГОСТ 18509-88. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 57 с.

31. ГОСТ 18523-79. Дизели тракторные и комбайновые. Сдача в капитальный ремонт и выпуск из капитального ремонта. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 10 с.

32. Дизели СМД-60, -62, -64, -66, -72. Технические требования на капитальный ремонт. ТК 70.0001.074-85. – М.: ГОСНИТИ. – 1986. – 230 с.

33. Головатенко А.Г. Повышение эффективности ремонта и эксплуатации дизелей / А.Г. Головатенко // Двигателестроение. – 1991. – №4. – С. 41-42.

34. Сухоруков В.С. Исследование влияния приработки на межремонтный ресурс тракторного дизельного двигателя: Автореф. дис... канд. техн. наук. – Саратов, 1974. – 18 с.

35. Трактор Т-150: Техническое описание и инструкция по эксплуатации / Под ред. С.Л. Абдулы, И.А. Коваля. – Изд-е 4-е Харьков: Прапор, 1988. – 296 с.

36. ГОСТ 621-87. Кольца поршневые двигателей внутреннего сгорания. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 45 с.

37. Беляев Ю.Н. Результаты стендовых испытаний автомобильного дизеля КамАЗ–740 с усовершенствованной смазочной системой / Ю.Н. Беляев / Улучшение эффективных, экологических и ресурсных показателей энергетических установок сельскохозяйственных тракторов и автомобилей. / Сб. научных трудов СПГАУ. – Санкт – Петербург. – 1997. – С. 119.

38. Говорущенко Н.Я. Диагностика технического состояния автомобилей / Говорущенко Н.Я. – М.: Транспорт, 1970. – 254 с.

39. Бурштейн Л.М. Исследования процессов смазывания и трения поршневых колец ДВС. Смазывающее действие поршневых колец / Л.М. Бурштейн, С.В. Кобяков // Двигателестроение. – 1990. – № 12. – С. 42-46.

40. Бурштейн Л.М. Исследования процессов смазывания и трения поршневых колец ДВС / Л.М. Бурштейн, С.В. Кобяков // Двигателестроение. – 1990. – №11. – С. 56-59.

41. Путинцев С.В. Анализ режима трения деталей цилиндро-поршневой группы автомобильного дизеля / С.В. Путинцев // Известия вузов. Машиностроение. – 1999. – № 2–3. – С. 65-68.

42. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем: Учебник для вузов / В.А. Зорин. – М.: ООО "Магистр–Пресс", 2005. – 536 с.

43. Джус Р.Н. Об образовании и функционировании МК покрытия, полученного с помощью ревитализантов / Р.Н. Джус, В.Н. Стадниченко, Н.Г. Стадниченко, О.Н. Трошин // Вест. науки и техн. – Харьков: ХДНТ и НТУ "ХПИ". – 2004. – Вып. 1. – С. 59-64.

44. Канарчук В.Е. Адаптация материалов к динамическим воздействиям / Канарчук В.Е. Киев: Наукова думка, 1986. – 264 с.

45. Михалева В.А. Снижение энергетических затрат в смазываемых подвижных сопряжениях за счет использования борсодержащего модификатора трения / В.А. Михалева, П.С. Белов, Е.В. Михалева, И.А. Буяновский // Механика и физика фрикционного контакта. Межвузовский сборник научных трудов. – Тверь, 1994. – С. 65-70.

46. Браун Э.Д. Основы трибологии (трение, износ, смазка): Учебник для технических вузов / Э.Д. Браун, Н.А. Буше, И. А. Буяновский и др. / Под ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Центр "Наука и техника", 1995. – 778 с.

47. Кириченко Б.Н. Автомобильные эксплуатационные материалы: справочник / Б.И. Кириченко. – М.: Академия, 2005. – 255 с.

48. Артемьев В.А. Влияние некоторых свойств моторных масел на расход масла и износ деталей автомобильного дизеля / В.А. Артемьев, М.А. Григорьев, В.Н. Ефремов // Двигателестроение. – 1980. – № 2. – С. 52-54.

49. Боуден Ф.П. Трение и смазка твердых тел / Ф.П. Боуден, Д. Тейбор. – М.: Машиностроение, 1968.– 503 с.

50. Крагельский И.В. Трение, изнашивание и смазка: Справочник: В 2 кн / Под ред. И.В. Крагельского. – М.: Машиностроение, 1978.

51. Мохнаткин Э.М. Гидродинамическая смазка деформируемого поршневого кольца / Э.М. Мохнаткин, П.П. Усов // Трение и износ. – 1980. – Т. 1, № 6. – С. 1000-1010.

52. Семенов В.С. Режим смазки пары трения поршневое кольцо-цилиндровая втулка ДВС / В.С. Семенов // Двигателестроение. – 1991. – № 10 – 11. – С. 19-23.

53. Аратский П.Б. Сравнительные исследования влияния присадок к смазочным маслам на показатели трения и износа узлов ДВС / П.Б. Аратский, А.Г. Капсаров // Двигателестроение. – 1999. – №2. – С. 30-31.

54. Петриченко Р.М. Трение и теплопередача в поршневых кольцах двигателей внутреннего сгорания: Справочное пособие / Р.М. Петриченко, М.Р. Петриченко, А.Б. Канищев и др.; Под ред. Р.М. Петриченко. – Л.: ЛГУ, 1990. – 248 с.

55. Кузнецов Г.К. Управление толщиной масляной пленки между маслосъемным поршневым кольцом и цилиндром / Г.К. Кузнецов // Известия вузов. Машиностроение. – 1979. – № 6. – С. 67-71.

56. Никитин Ю.Н. Оценка жидкостного трения в сопряжении цилиндр-поршневое кольцо-поршень // [Ю.Н. Никитин, Л.Х. Арустамов, С.П. Измайлов и др.] // Двигателестроение.–1983.–№7.–С.51-53.

57. Блау П.Д. Модель приработки и других переходных процессов в трении скольжения / П.Д. Блау // Проблемы трения и смазки. Труды американского общества инженеров-механиков. – 1988. – №2. – С. 108-116.

58. Путинцев С. В. Моделирование и расчет затрат мощности на преодоление трения в подшипниках коленчатого вала поршневого двигателя / С. В. Путинцев, С.А. Аникин, Сун Лисинь // Известия вузов. Машиностроение. – 2004. – №3 – С.23-31.

59. Бурштейн Л.М. Расчет толщины масляного слоя на стенке цилиндра ДВС / Л.М. Бурштейн // Машиноведение.–1981.–№4.–С. 97-103.

60. Мохнаткин Э.М. Расчетная оценка толщины масляной пленки, формируемой поршневым кольцом / Э.М. Мохнаткин //Двигателестроение. – 1980.–№10.–С.16-19.

61. Мельников В.Г. Трибологические и коллоидно-химические аспекты действия фторорганических модификаторов трения в моторных маслах / Мельников В.Г. // Химия и технология топлив и масел. – 1997. – №5. – С. 34-37.

62. Петриченко Р.М. Механизм образования смазочного слоя под комплектом поршневых колец ДВС / Р.М. Петриченко, А.Ю. Шабанов // Двигателестроение. – 1987.– № 4. – С. 6-10.

63. Костецкий Б.И. Механико-химические процессы при граничном трении / [Б.И. Костецкий и др.]. – М.: Наука, 1972. – 170 с.

64. Кравец И.А. Репаративная регенерация трибосистем / Кравец И.А. – Т.: Изд-во Бережанского агротехнического института, 2003. – 284 с.

65. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента / Ю.П. Адлер, Е.В. Макарова, Ю.В. Граковский. – Киев: КПИ, 1983. – 96 с.

66. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций / В.В. Болотин. М.: Машиностроение, 1984.–312с.

67. Ремонт дизельних двигунів: Довідник / Л.С. Ермолов, О.А. Науменко, З.Г. Шержуков: За ред. Л.С. Ермолова. – К.: Урожай, 1991. – 248 с.

68. Кравец И.А. Исследование процесса приработки деталей тракторных дизельных двигателей. Автореф. дис.... канд. техн. наук. – Киев: УСХА, 1969. – 25 с.

69. Некрасов С.С. Приработка деталей при обкатке двигателя / С.С. Некрасов и др. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1996. – №4. – С. 37-39.

70. Носихин П.И. Повышение качества и ускорение обкатки капитально отремонтированных дизелей в условиях ремонтных предприятий агропрома: Автореф. дис...канд.техн. наук: 05.20.08 / МИИСП им. Горячкина В.П . – М., 1990. – 16 с.

71. Китаев В.И. Показатели надежности и повреждаемости деталей двигателей СМД-60 и его модификаций. / В.И. Китаев, И.И. Кривенко, И.А. Кравец, Г.Т. Сиренко, И.С. Бондарук / Научные труды УСХА, вып. 121, Механизация сельскохозяйственного производства. – Киев: УСХА, 1975. – 4 с.

72. Алексеев В.П. Влияние электрохимико-механических процессов на трение и износ поверхностей в механизме ползун-цилиндр / В.П. Алексеев, Т.Н. Замота, М.А. Домбровский, Р.В. Зорин // Зб. наук. праць ЛНАУ. Технічні науки. – №31. Луганськ. – 2003. – С. 4-9.

73. Бершадский Л.И. Критерии трибологической совместимости конструкционных и смазочных материалов / Л.И. Бершадский. – Киев: Знание, 1988. – 16 с.

74. Боуден Ф.П. Трение и смазка твердых тел. / Ф.П. Боуден, Д. Тейбор / Пер. с англ. Под. ред. И.В. Крагельского. – М.: Машиностроение, 1968. – 542с.

75. Кузьменко А.Г. Дослідження взаємодії змащених поверхонь тертя. Монографія. / А.Г.Кузьменко, О.В. Диха. – Хмельницький: ХНУ, 2005. – 183 с.

76. Лашхи В.Л. Оценка приработочных свойств обкаточных масел / В.Л. Лашхи, Л.А. Демьянов. // Трение и износ. – 1991. – т.12. – №1. – С. 118-123.

77. Костецкий Б.И. О роли вторичных структур в формировании механизмов трения, смазочного действия и изнашивания / Б.И. Костецкий // Трение и износ. – 1980. – т.1, №4. – С. 622-637.

78. Мясников Б.Н. Исследование приработочных и защитных свойств присадок к маслам для приработки отремонтированных двигателей: Автореф. дис... канд. техн. наук. – Саратов, 1972. – 16 с.

79. Мельник З.П. Об эффективности металлоплакирующих смазок / З.П. Мельник, И.А. Любинин, И.В. Василенко. // Химия и технология топлив и масел. – 1989. – №2. – С. 24-26.

80. Храмцов Н.В. Обкатка и испытание автотракторных двигателей / Н.В. Храмцов, А.Е. Королев., В.С. Малаев. – М.: Агропромиздат, 1991. – 125 с.

81. Войтов В.А. Моделювання процесів тертя та зношування у трибосистемах гідромашин як основа рішення задач проектування: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.02.04 / В.А. Войтов; Технол. ун-т Поділля. – Хмельницький, 1999. – 35 с.

82. Диха О.В. Методи контактної трибомеханіки мастильних шарів і моделі зношування при граничному терті: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня д-ра техн. наук: 05.02.04 "Тертя та зношування в машинах" – 2009. – 36 с.

83. Кузьменко А.Г. Контактная механика и износостойкость смазанных трибосистем: монография / А.Г. Кузьменко, А.В. Дыха, О.П. Бабак.– Хмельницкий: ХНУ, 2011. – 250 с. – (Теоретическая и экспериментальная трибология: в 12 т.; т. 8 (1)).

84. Кузьменко А.Г. Надежность узлов трения по прочности и износу [текст монография]/А.Г.Кузьменко.–Хмельницкий:ХНУ,2011.–391с.

85. Кузьменко А.Г. Тертя та зношування деталей циліндро–поршневої групи (Огляд). Частина I/А.Г.Кузьменко,В.П.Дудчак//Проблеми трибології (Problems of tribology).–2005.–№1–С.48-54.

86. Кузьменко А.Г. Шляхи підвищення зносостійкості гільз циліндрів (Огляд). Частина II / А.Г. Кузьменко, В.П. Дудчак // Проблеми трибології (Problems of tribology). – 2005. – №3– С.13-24.

87. Мнацаканов Р.Г. Триботехнические характеристики смазочных материалов в неустановившихся условиях работы: Дис... д-ра техн. наук: 05.02.04 / Киевский международный ун-т гражданской авиации / Р.Г. Мнацаканов. – К., 1998. – 491с.

88. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения/Ахматов А.С.–М.:Физ-матгиз,1963.–452с.

89. Буяновский И.А. Граничная смазка: этапы развития трибологии / И.А. Буяновский, И.Г. Фукс, Т.Н. Шаталина. – М.: Нефть и газ, 2002. – 230 с.

90. Аксьонов О.Ф. Методологія визначення протиспрацьовувальних властивостей мастил за критеріями трибохарактеристик утворюваних у них вторинних структур / О.Ф. Аксьонов, О.У. Стельмах, С.П. Шимчук та ін. // Вісник НАУ. – 2006. – №2. – С. 62–64.

91. Гершман И.С. Самоорганизация вторичных структур при трении / И.С. Гершман, Н.А. Буше, А.Е. Миронова, В.А. Никифоров // Трение и износ (Friction and wear).–2003.–Т.24,№3.–С.329-334.

92. Терновая Т.В. Новые, искусственно организованные трибоструктуры в смазочной среде, обеспечивающие режим безызносного граничного трения / Т.В. Терновая// Проблеми трибології (Problems of tribology). – 2007. – №1. – С.47-54.

93. Любимов Д.Н. Трение и теория относительности: временные аномалии в трибосистемах: Монография / Д.Н. Любимов, К.Н. Долгополов. – Шахты: ФГ БОУ ВПО "ЮРГУС", 2011. – 126 с.

94. Аулін В.В. Поле напружень в композиційному матеріалі та композиційному покритті в умовах тертя ковзання /В.В. Аулін// Зб. наук. праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки. – Луганськ: ЛНАУ, 2006. – №.65(88) – С.13-20.

95. Кужаров А.С. Координационная трибохимия избирательного переноса: дисс. ... доктор. техн. наук: спец. 05.02.04 "Трение и износ в машинах" / А.С.Кужаров. – Ростов-на-Дону: РИИСХ, 1991. – 513 с.

96. Кузнецов В.Д. Поверхносная энергия твердых тел/В.Д. Кузнецов – М.: Гостоптехиздат,1954.–220с.

97. Чайнов Н.Д. Математическое моделирование полей температур, деформаций и напряжений в деталях цилиндро-поршневой группы поршневых двигателей / [Н.Д. Чайнов, А.Н. Краснокутский, Л.Л. Мягков и др.]: Учеб. пособие. – Ч.1: Моделирование температурных полей. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003.–32с.

98. Stanley R. A Simplified Friction Model of the Piston Ring Assembly / R. Stanley, D. Taraza, N . Henein // SAE Techn. Pap. Ser. – 1999. – № 0974. – 18p.

99. Буше Н.А. Трение, износ и усталость в машинах / Н.А. Буше. – М.: Транспорт, 1987. – 223 с.

100. Кузьменко А.Г. Шляхи підвищення зносостійкості гільз циліндрів (Огляд). Частина ІІ / А.Г. Кузьменко, В.П. Дудчак // Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2005. – №3– С.13-24.

101. Григорьев М.А. Антифрикционные присадки к моторным маслам / М.А. Григорьев, Л.П. Первушин, С.В. Противень // Автомобильная промышленность. – 1989. – №8. – С.23-24.

102. Кащеев В.Н. Процессы в зоне фрикционного контакта / Кащеев В.Н. – М.: Машиностроение, 1978. – 213с.

103. Рабинович А.Ш. О теории износа поршневых колец / А.Ш. Рабинович, Т.С. Худайбердиев // Техника в сельском хозяйстве. – 1991. – №5. – С. 31-33.

104. Аулін В.В. Фізичні основи процесів і станів самоорганізації в триботехнічних системах: монографія / В.В. Аулін. – Кіровоград: Вид. Лисенко В.Ф., 2014. – 370 с.

105. Кулаков А.Т. Повышение надежности автотракторных дизелей путем усовершенствования процессов смазки, очистки и технологии ремонта основных элементов: автореф. дисс. д-ра. техн. наук: спец. 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве"/А.Т. Кулаков – Саратов, 2007. – 40с.

106. Салмин В.В. Улучшение эксплуатационных показателей автотранспортных двигателей совершенствованных трибохимических и гидро-термодинамических процессов в смазочных системах: дис. ... д-ра. техн. наук: спец. 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" / В.В. Салмин. – Саранск, 2003. – 475 с.

107. Davis F.A. The effect of friction modifire on piston ring and cylinder bore friction and wear / F.A.Davis, T.S.Eyre // Tribology International. – Vol.23. – 1990. – P. 163-172.

108. Александров Е.Е. Повышение ресурса технических систем путём использования электрических и магнитных полей: монография / Е.Е. Александров, И.А. Кравец, Е.П. Лысиков и др. – Х.: НТУ "ХПИ", 2006. – 544 с.

109. Furuhama S. Measurement of piston frictional force in actual operating diesel engine / S. Furuhama, M. Takiguchi // Int. Jalirb. Tribologie. – 1981.–№6. – P. 737-742.

110. Аметов В.А. Повышение эксплуатационной надежности агрегатов автотранспортных средств путем контроля и модифицирования смазочного масла: дис. ... д-ра техн. наук: спец. 05.22.10 / В.А. Аметов. – Тюмень, 2006. – 382 с.

111. Берёзина Е.В. Самоорганизация присадок в граничном смазочном слое трибосопряжений машин: автореф. дисс. на соискание науч. степени д-ра техн. наук: спец. 05.02.04 "Трение и износ в машинах" / Е.В. Берёзина. – Иваново: ИГУ, 2007. – 461 с.

112. Кравчик К. Трибологическая идентификация самоорганизации при трении со смазкой: дисс. ... доктор. техн. наук: спец. 05.02.04 "Трение и износ в машинах" / К. Кравчик. – Ростов-на-Дону, 2000. – 279 с.

113. Баранов А.В. Самоорганизация трибосистем при граничном трении металлов / [А.В. Баранов, В.А. Вагнер, С.В. Тарасевич, О.В. Быкова] / Ползуновский вестник. – Барнаул: АлтГТУ, – 2009. – №1-2. – С. 155-158.

114. Кернер Б.С. Самоорганизация в активных распределенных средах (сценарии спонтанного образования и эволюции структур) / Б.С.Кернер, В.В.Осипов // Успехи физич. наук. – 1990. – Т.60, вып. 9. – С. 3–73.

115. Билякович О.Н. Структура и свойства модифицированных поверхностных слоев трибосопряжений, сформированных в условиях граничного режима смазки / О.Н. Билякович,Е.В.Богайская//Вестник двигателестроения:Научн.-техн. ж-л.–2010.–№2.–С.13-17.

116. Клименко Л.П. Повышение долговечности цилиндров ДВС на основе принципов переменной износостойкости. Монография/Л.П.Клименко.–Николаев.:НФ НаУКМА,2001.–294с.

117. Цыпцын В.И. Повышение долговечности отремонтированных дизелей совершенствованием технологии приработки и применением упрочняющих покрытий: автореф. дисс. на соискание ученой степени д-ра. техн. наук: спец. 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" / В.И. Цыпцын – М., 1991. – 36 с.

118. Бурштейн Л.М. Расчет толщины масляного слоя на стенке цилиндра ДВС / Л.М. Бурштейн // Машиноведение. – 1981. – №4. – С. 97-103.

119. Венцель Е.С. Улучшение качества и повышение сроков службы нефтяных масел / Венцель Е.С., Жалкин С.Г., Данько Н.И. – Харьков: УкрГАЖТ, 2003. – 168 с.

120. Буше Н.А. Трение, износ и усталость в машинах/Н.А. Буше. – М.:Транспорт,1987.–223с.

121. Кравчик К.О динамических и статических структурах в зоне трения / К. Кравчик // Вестник ДГТУ. – 2002. – Т.2, №1(11). – С.77-79.

122. Бурлакова В.Э. Трибоэлектрохимия эффекта безызносности: автореф. дисс. на соиск. уч. степени д-ра. техн. наук: спец. 05.02.04 "Трения и износ в машинах", 02.00.04. Физическая химия"/В.Э. Бурлакова. – Ростов-на-Дону, 2006 – 42 с.

123. Кравец И.А. Энергетика бессервисных систем / И.А. Кравец, В.В. Щепетов, С.Л. Максимов, Я.Н. Гладкий // Проблемы трибологии. – 2002. – №2. – С. 12-14.

124. Костецкий Б.И. Механические процессы при граничном трении/ Б. И. Костецкий, М.Э. Натансон, Л.И. Бершадский. – М.: "Наука", 1972. – 170 с.

125. Куксенова Л. И. Смазочные материалы и явление избирательного переноса при трении / Л. И. Куксенова, А. А. Поляков, Л. М. Рыбакова // Вестник машиностроения.–1990. – №1. – С. 35-40.

126. Путинцев С.В. Методика и результаты экспериментальной проверки энергосберегающих свойств моторных масел / С.В. Путинцев, А.В.

Синюгин, А.А. Белов // Известия вузов. Машиностроение. – 2006. – №11. – С.47-55.

127. Зорин В.А. Управление надежностью машин с помощью смазочных материалов и рабочих жидкостей / В.А. Зорин // Сб Повышение эффективности проектирования, испытаний и эксплуатации двигателей, автомобилей, вездеходных, специальных строительных и дорожных машин. – Нижний Новгород, 1994. – С. 79.

128. Соколов А.И., Оценка работоспособности машин по параметрам работающего масла: Учебное пособие. / А.И. Соколов, П.Т. Тищенко, В.А. Аметов. – Томск: Изд-во Томск, ун-та, 1991. – 200 с.

129. Кюрегян С.К. Оценка износа двигателей внутреннего сгорания методом спектрального анализа / С.К. Кюрегян. – М.: Машгиз, 1966. – 152 с.

130. Григорьев М.А. Качество моторного масла и надежность двигателей / М.А. Григорьев, Б.М. Бунаков, В.А.. Долецкий. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 232 с.

131. Модификаторы трения – антифрикционные присадки к моторным маслам / [А. Б. Виппер, В. Л. Лашхи, Р. М. Матвеевский и др.] // Химия и технология топлив и масел. 1981. –№1. С. 56-58.

132. Путинцев С.В. Трибометрия поршневых машин: Уч. пособие. / С.В. Путинцев –М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 64с.

133. Путинцев С.В. Универсальная зависимость для нахождения динамической вязкости моторных масел в рабочем диапазоне температур / С.В. Путинцев, С.А. Аникин // Двигателестроение. – 1995. – № 3, – С. 70-71.

134. Путинцев СВ. Результаты триботехнических испытаний смазочных композиций для ДВС / С.В. Путинцев, Р.А. Галата, В.И. Беклемышев // Известия вузов. Машиностроение. – 2000. – №3. – С. 51-56.

135. Аметов В.А. Исследование влияния физико-химических воздействий на триботехнические свойства смазочных масел / В.А. Аметов, Е.П. Спирин, П.С. Елугачева // Сб. науч. тр. Лесотехн. ин-та / ТГАСУ, Лесотехн. ин-т. – Томск. – 2003. – Вып. 2. – С. 61-64.

136. Ждановский Н.С. Диагностика автотракторных двигателей / Н.С. Ждановский, В.А. Аллилуев, А.В. Николаенко, Б.А. Улитовский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Колос, 1977. – 264 с.

137. Венцель СВ. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания / С.В. Венцель. – М.: Химия, 1979. – 240 с.

138. Гуреев А.А. Химмотология / А.А. Гуреев, И.Г. Фукс, В.Л. Лашхи. – М.: Химия, 1986. – 215 с.

139. Погодаев Л.И. Материалы. Пары трения ДВС. Смазочные композиции / Л.И. Погодаев, В.Н. Кузьмин, П.П. Дудко // С–Пб.: Академия транспорта Российской Федерации, 2001. – 304 с.

140. Шаронов Г.П. Применение присадок к маслам для ускорения приработки двигателей / Шаронов Г.П. – М.–Л.: Химия, 1965. – 223 с.

141. Кузьмин В.Н. Работоспособность трибосопряжений при использовании смазочных композиций (СК) с добавками – минеральными

модификаторами трения (ММТ) // Трение, износ, смазка, – www.tribo.ru. – Т 12. – №41. – 2009. С. 15-117.

142. Білик А.П. Відновлення поверхонь тертя за допомогою триботехнічних регенеруючих сумішей: дис. … кандидата тех. наук: 05.02.04 / Білик Артем Петрович. – Хмельницький, 2009. – 125 с.

143. Воробьева С.А. Влияние высокодисперсных металлоплакирующих присадок на антифрикционные и противоизносные свойства моторного масла / [С.А. Воробьева, Е.А. Лавринович, В.В. Мушинский и др]. // Трение и износ. – 1996. – Т. 17, № 6. – С. 827-830.

144. Arbabi M. Investigation into the lubrication effectiveness of molybdenum disulphide dispersion in a fully formulated oil / M. Arbabi, T. Eyre // Tribology international. – 1986. – №2. – P. 19.

145. Быстров В.Н. Избирательный перенос при трении – новые возможности при изготовлении и использовании машин / В.Н. Быстров // Эффект безызносности и триботехнологии. – № 1. – 1992. С. 17-33.

146. Кужаров А.С. Свойства и применение металлоплакирующих смазок / А.С. Кужаров, П.Ю. Онищук. – М.: ЦПИИТЭ – нефтехимия, 1985. – 56 с.

147. White W.R. Lubricity agents as ashless fuel economy additives in engine oils / W.R. White, CM. Cusano, H.C. Morris // The JSLE Lubrication Conference, November 5, 1980, Tokyo.

148. Исследование ремонтно-восстановительного состава (РВС) применительно к деталям узлов трения изделий ГП "Завод им. Малышева": Отчет о НИР / Аннотированный. – Харьков, 1998. – 5 с.

149. Самагина И.В. Повышение ресурса машин и механизмов трибохимическими методами / И.В. Самагина // Износостойкость машин. Тез. докл. 2-й Международной науч.–тех. конф. – Брянск: БГИТА, 1996.– С. 65-66.

150. Джус Р.Н. Реологические особенности автомобильных трибосистем при применении ревитализантов / Р.Н. Джус // Автомобильный транспорт: Сб. науч. трудов. Вып. 14. – Харьков: ХНАДУ, 2004. – С. 52-55.

151. Praca naukowo_badawcza. Laboratoryjne i eksploatacyjne badania teflonowego SLIDER 2000. WSI w Radomiu. Radom. 1993. – 36p.

152. Замота Т.Н. Оптимизация технологических факторов электрохимико-механической приработки (доводки) боковых поверхностей поршневых колец в соединении гильза–кольцо при ремонте тракторных и комбайновых двигателей: дисс. … кандидата тех. наук: 05.05.11 / Замота Тарас Николаевич. – Луганск, 2001. – 202 с.

153. Ильин А.П. Влияние добавок нанопорошка сплава Cu Ni. к минеральному маслу на триботехнические характеристики пар трения / А.П. Ильин, С.В. Рихерт, Д.В. Тихонов, Г.В. Яблуновский // ФХОМ. – 2006. – №3. – С. 83-87.

154. Аметов В.А. Оценка влияния металлосодержащих присадок на работоспособность трибосистемы ДВС-масло / В.А. Аметов, Е.Н. Спирин // Вестник ТГАСУ. 2002. – С. 27-31.

155. ГОСТ 18509–88 (СТ СЭВ 2560–80) Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний.

156. Аулін В.В. Зміна властивостей оливи при електротрибохімічному відновленні робочих поверхонь деталей дизелів / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, М.Ф. Семенюк, О.В. Кузик // Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2009. – №1 – С. 68-70.

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

158. Болотов А.Н. Роль магнитного поля при трении поверхностей, смазываемых магнитным маслом / А.Н. Болотов, Н.В. Лочагин, Ю.О. Михалев // Трение и износ. – т.9. –№5 . – С. 870-877.

159. Изюмский В.А. Повышение межремонтного ресурса двигателей мобильной сельскохозяйственной техники электрохимико-механической приработкой цилиндро-поршневой группы: дисс. … кандидата тех. наук: 05.05.11 / Изюмский Вадим Анатольевич. – Луганск, 2004. – 279с.

160. Лисіков Є.М. Підвищення ресурсу трибосполучень технічних систем шляхом впливу електростатичного поля на мастильні матеріали / Є.М. Лисіков // Техніка та технологія виконання будівельних, колійних та перевантажувальних робіт на транспорті: Зб. наук. праць. Вип.58. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – С.5-10.

161. Шевеля И.В. Влияние магнитомеханического гистерезиса на триботехнические свойства ферромагнитных материалов / И. В. Шевеля, В. П. Олександренко, В. В. Шевеля // Вісник Технологічного уяіверситету Поділля. – 2002. – № 6. – С. 88-90.

162. А.с. № 966735/СССР/Открытия. Магниточувствительная эмульсия. Чеканов В.В., Дроздова В.И. Изобретения. Пром. образцы. Товарные знаки. 1982. № 38.

163. Третьяков И.Г. Влияние электромагнитной обработки на противоизносные свойства индивидуальных углеводородных соединений. Вопросы авиационной химмотологии / И.Г. Третьяков, Ю.И. Короленко // Межвуз. сб., ВЫП.2. Киев, 1978. – С.141-144.

164. Подгорков В.В. Несущая способность магнитных жидкостей / В.В. Подгорков // Трение и износ. – 1990. – Т11. – №2. – С.359-361.

165. Терхунов А.Г. Исследование влияния тепломассопереноса при трении сопряженных деталей в металлоплакирующих смазочных средах / А.Г. Терхунов // Сб. долговечность трущихся деталей машин. – вып 5. – М.: Машиностроение, 1990. – С. 299-308.

166. Кузьмин В.Н. Работоспособность трибосопряжений при использовании смазочных композиций с добавками – минеральными модификаторами трения // Трение, износ, смазка. – www.tribo.ru. – Т 12, №41. – 2009. С. 15-117.

167. Материаловедение и конструкционные материалы / Л.С. Пинчук, В.А. Струк, Н.К. Мышкин, А.И. Свириденок. – Минск: Вышэйшая школа, 1989. – 461 с.

168. Джус Р.Н. Системно-физический подход к объяснению безызносного трения при использовании ревитализантов /Р.Н.Джус // Открытые информ. и компьют. технологии: Сб. науч. трудов. Вып. 23. – Харьков: Нац. аэрокосмический ун-т "ХАИ ", 2004. – С. 183-186.

169. Алексеев В.П. Электрохимико-механическая макроприработка деталей. монография / В.П. Алексеев. – Луганск: Элтон-2, 2011 – 204 с.

170. Замота Т.Н. Закономерности приработки деталей различных типов сопряжений / Т.Н. Замота, В.В. Аулин / Зб. матеріалів міжнар. наук.-практ. конф. "Ольвійський форум 2012 ", 6-10 червня 2012, Ялта., т. 12. – С.69-72.

171. Замота Т.Н. Развитие площади пятна контакта при макроприработке поверхностей трения / Т.Н. Замота, В.В. Аулин // Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2012. – №1 – С.9-13.

172. Замота Т.Н. Улучшение шероховатости прирабатываемых поверхностей деталей (Improvement of roughness at running in surfaces of details) / Т.Н. Замота, В.В. Аулин, А.П. Кравченко / М-лы XVI междунар. научн.-техн. конф. "Транспорт, экология – устойчивое развитие", ЕКО Варна, Болгария, 20-22 мая 2010 г. – С. 607-613.

173. Polzer G. Reibbeschichten und selektiven Ubertragung, Zwikkau / G. Polzer und andere. 1988. – 88 s.

174. Арсентьева И.П. Процессы самоорганизации при формировании и консолидации наночастиц металлических порошков/И.П.Арсентьева и др.//Фракталы и прикладная синергетика. Труды межд. междисцип. симпозиума ФиПС-03.–М.:Изд-во МГОУ,2003.–С.281–284.

175. Бершадский Л.И. Самоорганизация и надежность трибосистем / Л.И. Бершадский – Киев, 1981. – 35 с.

176. Бибик Е.Е. Реология дисперсных систем / Е.Е. Бибик. – Л.: ЛУ, 1981. – 172 с.

177. Спирин Е.Н. Повышение эксплуатационной надежности строительных и дорожных машин путем модифицирования смазочных материалов: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.05.04 "Дорожные, строительные и подъемные транспортные машины"/Е.Н. Спирин. – Томск:ТГАСУ, 2006. –134с.

178. Щербаков Д.А. Повышение долговечности мобильной СХТ применением магнитных металлоплакирующих добавок в пластичные смазки: автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.20.03 "Технологии и средства техн. обслуживания в сельском хозяйстве" / Д.А. Щербаков. – Саратов, 2004. – 24 с.

179. Машков Ю.К. Трение и модифицирование материалов трибосистем / Ю.К. Машков, К.Н. Полещенко, С.Н. Поворознюк, П.В. Орлов. – М.: Наука, 2000. – 280 с.

180. Болотов А.Н. Триботехника магнитопасивных опор скольжения: монография / А.Н. Болотов, В.Л. Хренов. – Тверь: ТГТУ, 2008. – 124 с.

181. Саркисов Ю.С Физико-химическая механика и процессы управления трибосистемами транспортных машин / [Ю.С. Саркисов, В.А. Аметов, К.Ю. Пеньков и др.] // Вестник машиностроения. – 2004. – №1. – С. 25-29.

182. Власенко М.В. Технологія ремонту сільськогосподарської техніки / М.В. Власенко, Г.Ю. Надольний, О.Г. Терхунов, В.А. Крижанівський. – К.: Вища школа, 1992. – 311 с.

183. Величкин И.Н. Методика оценки показателей надежности дизелей в стендовых условиях / И.Н. Величкин, М.П. Зубиетова, А.В. Морозов, А.А. Антоников. // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1987. – №10. – С. 10-13.

184. Гаркунов Д.Н. Триботехника (пособие для конструктора). – М.: Машиностроение, 1999. – 336 с.

185. Гаркунов Д.Н. Триботехника. Износ и безызносность. – М.: Машиностроение, 2001. – 616 с.

186. Гаркунов Д.Н. Избирательный перенос в узлах трения / Д.Н. Гаркунов, И.В. Крагельский, А.А. Поляков. – М.: Транспорт, 1979. – 240 с.

187. Гершман И.С. Реализация диссипативной самоорганизации поверхностей трения в трибосистемах / И.С. Гершман, Н.А. Буше // Трение и износ. – 1995. – Т.16, №1. – С. 61-70.

188. Канарчук В.Е. Адаптация материалов к динамическим воздействиям. Киев: Наукова думка, 1986. – 264 с.

189. Исследование ремонтно-восстановительного состава (РВС) применительно к деталям узлов трения изделий ГП "Завод им. Малышева": Отчет о НИР / Аннотированный. – Харьков, 1998. – 5 с.

190. Справочник по триботехнике / Под общ. ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе: В 3 т. – М.: Машиностроение, 1989.– Т. 2: Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения. – 412 с.

191. Маликов И.И. Влияние композиционных покрытий на качество приработки и износостойкость трущихся сопряжений автотракторных двигателей / И.И. Маликов, В.А. Иванов, Л.Ф. Котягов и др. // Трение и износ. – 1985. – №1. – Т.4. – С. 125-132.

192. Кравец И.А. Трибоэлектрохимический способ повышения износостойкости деталей / И.А. Кравец, М.И. Кузнецов, Н.Г. Макаренко, А.В. Деркач // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1991. – №5. – С. 44-45.

193. Кравец И.А. Повышение износостойкости деталей на основе электролитического осаждения на трущиеся поверхности компонентов присадок к маслам / И.А. Кравец, Ю.И. Богомолов // Вестник машиностроения, № 1, М.: Машиностроение, 1984. – 3 с.

194. Еськов В.Е. ХАДО это очень просто / В.Е. Еськов // Совершенно секретно. – 2001. – №9. – С. 4.

195. Литвинов В.Н. Физико-химическая механика избирательного переноса при трении. / В.Н. Литвинов, Н.М. Михин, Н.К. Мышкин: Отв. ред. д-р техн. наук, проф. Н.В. Демкин. – М.: Наука, 1979. – 184 с.

196. Терхунов А.Г. Формирование оптимальной шероховатости трущихся поверхностей в медьсодержащих технологических средах / А.Г. Терхунов, Н.В. Власенко. //Проблеми надійності та довговічності машин. Кіровоград, – 1996. – С. 15-19.

197. Патент РФ 2019563. Смазочная композиция Ресурс-дизель / Я. Н. Войтович, М.М. Прегман, А.Б. Виппер и др. Б.И. 1994. № 10, МКИ С.10М. 169/04.

198. Klamecki B.E. An entropy–based model of plastic deformation energy dissipation in sliding //Wear. –1984.– Vol. 96, №3. – P. 319-329.

199. Власенко М.В. До питання застосування спеціальної технологічної рідини для прискореного припрацювання деталей двигуна / М.В. Власенко // Придніпровський науковий вісник. – 1997. – № 11. – С. 42-44.

200. Власенко М.В. Механізм формування мідної плівки (покриття) на тертьових поверхнях при трибохімічному процесі у спеціальній технологічній рідині / М.В. Власенко // Придніпровський науковий вісник. – 1997. – №25. – С. 32-34.

201. Кравец И.А. Трибоэлектрохимическое восстановление узлов трения / И.А. Кравец, В.В. Деркач, Н.И. Кузнецов, Ю.И. Богомолов // Вестник машиностроения. – 1993. – №12. – С. 29-31.

202. Нигаматов М.Х. Ускоренная обкатка двигателей после ремонта / М.Х. Нигаматов. –М.: Колос. –1984. – 79 с.

203. Алексеев В.П. Электрохимико-механическая приработка (доводка) основных сопряжений двигателей, как технологический процесс формирования трущихся поверхностей и повышения качества ремонта двигателей / В.П. Алексеев, Л.Н. Болдарь, В.А. Изюмский, В.Н. Лангазов // Вісник Східноукраїнського державного університету (ювілейний випуск). – Луганськ. – 1996. – №1. – С. 174-180.

204. Алексеев В.П. Выбор состава электролита для злектрохимико-механической приработки трущихся пар / В.П. Алексеев, Л.Н. Болдарь, В.Д. Михалёв // Совершенствование конструкций, улучшение ремонта и эксплуатации сельскохозяйственные техники: Межвузовский тематический сб. научн. тр. ХСХИ им. Докучаева В.В. – Харьков. – 1978. – С. 65-68.

205. Алексеев В.П. Износ первого компрессионного кольца как компенсирующего звена размерной цепи кривошипно-шатунного механизма (КШМ) при проведении электрохимико-механической приработки (доводки) / В.П. Алексеев, Т.Н. Замота, А.Н. Мельников // Зб. наук. праць ЛНАУ. Технічні науки. – №17. Луганськ. – 2002. – С. 7-10.

206. Замота Т.Н. Оптимизация технологических факторов электрохимико-механической приработки (доводки) боковых поверхностей поршневых колец в соединениях гильза-кольца при ремонте тракторных и комбайновых двигателей: Дис... канд. техн. наук: 05.05.11. – Луганск, 2001. – 206 с.

207. Кравец И.А. Повышение ресурса автотракторных двигателей электрохимическим восстановлением деталей в процессе их эксплуатации. В

научном отчете по теме: "Разработать теоретические основы технической эксплуатации и ремонта сельскохозяйственной техники". / И.А. Кравец. – Киев: УСХА, 1980. – С. 27-42.

208. Кравец И.А. Определение начального режима обкатки тракторных двигателей. Научные труды УСХА, вып. 70. Надежность и долговечность машин и механизмов сельскохозяйственного производства. / И.А. Кравец. – Киев: УСХА, 1973. – 6 с.

209. Лапочкин А.И. Использование магнитных жидкостей в качестве смазки в мелкомодульных зубчатых передачах / А.И. Лапочкин // Вестник машиностроения. – 2002. – №26 . – С. 34-35.

210. Пивоварова Н.А. Влияние постоянного магнитного поля на парамагнитную активность нефтяных систем / Н.А. Пивоварова, Ф.Г. Унгер, Б.И. Туманян // Химия и технология топлив и масел. – 2002.–№ 6.– С. 30-32.

211. Агаев С.Г. Депарафинизация масляного сырья в электрическом поле / С.Г. Агаев, А.Н. Халин // Химия и технология топлив и масел. – 2001. – №3.– С. 38-42.

212. Борсуцкий З.Р. Исследования механизма магнитной обработки нефти на основе результатов лабораторных и промысловых испытаний / З.Р. Борсуцкий, С.Е. Ильясова // Нефтепромысловое дело – 2002.– № 8. – С. 28-37.

213. Ширяева Р.Н. Регулирование реологических свойств парафинистой нефти высокочастотным электромагнитным полем / Р.Н. Ширяева, Ф.Л. Саяхов, Ф.Х. Кудашева, Л.А. Ковалева, Р.Н. Гимаев // Химия и технология топлив и масел. – 2001. – № 6. – С. 20-21.

214. Свидетельство на полезную модель № 19100, МКИ F 02 M 27/04. Магнитоактиватор для обработки смазочных масел / В.А. Аметов, Н.П. Горленко, Б.И. Лаптев и др. – Опубл. в БИ № 22 от 10.08.01.

215. Погодаев Л.И. Структурно-энергетические модели надежности материалов и деталей машин / Л.И. Погодаев. – СПб.: Академия транспорта, 2006. – 608 с.

Список використаних джерел до розділу 2

1. Крагельский И.В. Трение и износ/И.В. Крагельский.– М.:Машиностроение,1968.–480 с.

2. Крагельский И.В. Фрикционые колебания/И.В.Крагельский, Н.В.Гитис. – М.: Наука, 1987 – 181с.

3. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения/Ахматов А.С.–М.:Физ-матгиз,1963.–452с.

4. Влияние композиционных покрытий на качество приработки и износостойкость трущихся сопряжений автотракторных двигателей / [Маликов И.И., Иванов В.Д., Котягов Л.Ф. и др.]. – Трение и износ, 1985. – Т. VI, № 1. – С. 125-132.

5. Буше Н.А. Трение, износ и усталость в машинах/Н.А. Буше. – М.:Транспорт,1987.–223с.

6. Гарбар И.И. Прочность фрагментированных структур в поверхносном слое и в объеме металла/И.И.Гарбар, А.С.Кисель//Доклады АН СССР. Сер. Техн. физика.- 1991. Т.- 318. №6. - С.1381-1385.

7. Костецкий Б.И. Механические процессы при граничном трении/ Б. И. Костецкий, М.Э. Натансон, Л.И. Бершадский. – М.: "Наука", 1972. – 170 с.

8. Костецкий Б.И. О роли вторичных структур в формировании механизмов трения, смазочного действия и изнашивания / Б.И.Костецкий//Трение и износ.–1980.–Т.1,№4.–С.622-637.

9. Костецкий Б.И. Поверхностная прочность материалов при трении /Б.И. Костецкий и др. – Киев: "Техника", 1976. – 296 с.

10. Костецкий Б.И. Расчет интенсивности изнашивания при нормальном трении. / В кн.: Применение новых материалов, заменителей и систем смазки в узлах трения машин и оборудования/ Б.И. Костецкий, О.В. Зазимко, А.М. Зелинский. – Воронеж, 1986. – С.35-38.

11. Костецкий Б.И. Структурно-энергетическая приспосабливаемость материалов при трении/ Б.И. Костецкий //Трение и износ, 1985. – Т.VI, №2. – С.201-212.

12. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах / Б.И.Костецкий. – К.: "Техника", 1970. – 304 с.

13. Шевеля В.В. Трибохимия и реология износостойкости: монография / В. В. Шевеля, В. П. Олександренко. – ХНУ, 2006. – 278 с.

14. Любарский И.М. Металлофизика трения / И.М. Любарский, Л.С. Палатник. – М.: Металлургия, 1976 – 176 с.

15. Олемской А.И. Синергетика конденсированной среды / А.И. Олемской, А.А. Кацнельсон. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 336 с.

16. Костецкий Б.И. Качество поверхности и трение в машинах / Б.И. Костецкий, Н.В. Колениченко. – К.: Техніка, 1969. – 215 с.

17. Костецкий Б.И. Управление изнашиванием машин/ Б.И. Костецкий. – Киев: Знание, 1984. – 20 с.

18. Костецкий Б.И. Фундаментальные закономерности трения и износа/Б.И. Костецкий. – Киев: Знание, 1981. – 31 с.

19. Ванаг В.К. Диссипативные структуры в реакционно-диффузионных системах / В.К.Ванаг. – М. – Ижевск: Ин-т компьютерных исследований, НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2008. – 300 с.

20. Пашинский В.В. Гетерогенность структуры и диссипация энергии в металлических материалах: монография / В.В. Пашинский. – Донецк: ВИК, 2008. – 285 с.

21. Эбелинг В. Образование структур при необратимых процессах. Введение в теорию диссипативных структур / В.Эбелинг. – М.: Мир, 1979. – 279 с.

22. Гершман И.С. Самоорганизация вторичных структур при трении / И.С. Гершман, Н.А. Буше, А.Е. Миронова, В.А. Никифоров // Трение и износ (Friction and wear).–2003.–Т.24,№3.–С.329-334.

23. Гороховский Г.А. Поверхностное диспергирование динамически контактирующих полимеров и металлов / Гороховский Г.А. – Киев: Наук, думка, 1972. – 152с.

24. Kruse H. Bisherige Forschungsarbeiten am tribologischen system Kolben–Kolbenring-Zylinder / H.Kruse,U.Todsen // Tribologie+Schmierungstechnik. – 1986.–No 2.–P.90-98.

25. Любимов Б.Я. Диссипативные процессы в кристаллах с дислокациями / Б.Я.Любимов, Л.В.Матвеев // Прикл. механ. и техн. физика. – 1993. – Т. 34, № 4. – С. 154-160.

26. Николис Г. Самоорганизация в неравновесных системах. От диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации: монография / Г.Николис, И.Пригожин. – М.: Мир, 1979. – 512 с.

27. Пригожин И.Р. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур / И.Р. Пригожин, Д. Кондеруди. – М.: Мир, 2002. – 319 с.

28. Гершман И.С. Реализация диссипативной самоорганизации поверхностей трения в трибосистемах / И.С. Гершман, Н.А.Буше//Трение и износ.–1995.–Т.16,№1.–С.61-70.

29. Эбелинг В. Физика процессов эволюции. Синергетический подход / В.Эбелинг, А.Энгель, Р.Файстель. – М.: Эдиториал УРСС, 2001. – 328 с.

30. Александров Е.Е. Повышение ресурса технических систем путём использования электрических и магнитных полей: монография / Е.Е. Александров, И.А. Кравец, Е.П. Лысиков и др. – Х.: НТУ "ХПИ", 2006. – 544 с.

31. Кравец И.А. Репаративная регенерация трибосистем / И.А.Кравец. – Тернополь: Бережанский агротехн. ин-т, 2003. – 284 с.

32. Кравец И.А. Энергетика бессервисных систем / И.А. Кравец, В.В. Щепетов, С.Л. Максимов, Я.Н. Гладкий // Проблемы трибологии. – 2002. – №2. – С. 12-14.

33. Кузьменко А.Г. Дослідження зносоконтактної взаємодії змащених поверхонь тертя: монографія / А. Г. Кузьменко, О. В. Диха. – Хмельницький: ХНУ, 2005. – 183 с.

34. Кузнецов В.Д. Поверхносная энергия твердых тел/В.Д. Кузнецов – М.: Гостоптехиздат,1954.–220с.

35. Давиденков Н.Н. Динамическая проочность и хрупкость металов/Давиденков Н.Н. – М. – 1981. – 699 с.

36. Ребиндер П.А. Поверхносные явления в дисперсных. Физико-химическая механика /П.А. Ребиндер, Избраные труди. М.:Наука, 1979. - 384с.

37. Дубинин А.Д. Энергетика трения и износа деталей машин: монография / А.Д. Дубинин. Киев: МАШГИЗ, 1963. – 139 с.

38. Фёдоров С.В. Основы трибоэргодинамики и физико-химические предпосылки теории совместимости / С.В.Фёдоров. – Калининград: КГТУ, 2003. – 415 с.

39. Фёдоров В.В. Термодинамические аспекты прочности и разрушения твёрдых тел / В.В.Фёдоров. – Ташкент: НАУКА, 1979. – 186с.

40. Протасов Б.В. Энергетические соотношение в трибосопряжении и прогнозирования его долговечности /Б.В.Протасов – Саратов: изд. Саратов. ун-та, 1979–152с.

41. Фляйшер Г.К. К связи между трением и износом / Г.К. Фляйшер // Контактное взаимодействие и расчет сил трения и износа. М., 1971. – С. 163-169.

42. Погодаев Л.И. Структурно-энергетические модели надежности материалов и деталей машин / Л.И. Погодаев. – СПб.: Академия транспорта, 2006. – 608 с.

43. Попов В.С. Металловедческие аспекты износостойкости сталей и сплавов – 3/ В.С. Попов. – Запорожье, 1996. – 180 с.

44. Попов В.С. Теоретические основы многокритериального анализа изнашивания сталей и сплавов//Восстановление и повышение износостойкости и срока службы деталей машин. – Запорожье: Изд-во ОАО "Мотор Сич", 2000. – С.360-389.

45. Иванова В.С. Синергетика и фракталы в материаловедении/ [В.С.Иванова, А.С.Баланкин, И.Ж.Бунин, А.А.Оксогоев]. – М.: Наука, 1994. – 383 с.

46. Бершадский Л.И. Основы теории структурной приспосабливаемости и переходных состояний трибосистем и ее приложение к задачам повышения надежности зубчатых и червячных передач: Дис. ... д-ра техн. наук / Л.И. Бершадский. – К., 1982. – 328 с.

47. Материаловедение и конструкционные материалы / Л.С. Пинчук, В.А. Струк, Н.К. Мышкин, А.И. Свириденок. – Минск: Вышэйшая школа, 1989. – 461 с.

48. Физическое металловедение / Под ред. Р.К. Кана, вып.3. – М.: Мир, 1968. –484с.

49. Сорокин Г.М. Трибология сталей и сплавов/Г.М. Сорокин– М.:ОАО"Недра",2000.–317с.

50. Триботехническое материаловедение и триботехнология / Н.Е. Денисова, В.А. Игорин, М.Н. Гонтарь и др. – Пенза: ПГУ, 2006. – 248 с.

51. Шпеньков Г.П. Физикохимия трения / Шпеньков Г.П. – Минск:БГУ,1978.–208с.

52. Адуов М.А. Модель процесса взаимодействия клина с почвой / М.А. Адуов, С.Н. Капов, Е.Ж. Каспаков // Вестник науки Казахского аграрного университета им. С. Сейфуллина. – Астана. – 2009. –№4(55). – С.238-245.

53. Андрейкив А.Е. Оценка контактного взаимодействия трущихся деталей машин / А.Е. Андрейкив, М.В. Чернец. – К.: Наук. думка, 1991. – 160 с.

54. Багиров И.З. Исследование деформации и сопротивления грунта при взаимодействии с клином при различных скоростях: автореф. дисс. на соискание науч. степени канд. техн. наук:05.20.01"Механизация сельскохоз. производства"/И.З.Багиров.–Минск,1963.–18с.

55. Бакли Д. Поверхностные явления при адгезии и фрикционном взаимодействии./ Д. Бакли. М.: Машиностроение, 1986. – 360 с.

56. Беркович И.И. Теоретические основы фрикционного взаимодействия дисперсных материалов с твердой поверхностью: монография / И.И. Беркович, А.Н. Болотов, Ю.И. Морозов. – Тверь: ТвГТУ, – 2012. – 92 с.

57. Григорьянц А.Г. Технологические процессы лазерной обработки: монография / А.Г. Григорьянц, Н.Н. Шиганов, А.И. Мисюров – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумяна, 2006. – 312 с.

58. Аулін В.В. Вплив режимів тертя в основних сполученнях деталей на механічні втрати в ДВЗ / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик // Вісник інженерної академії України. – 2011. – №2. – С. 200-204.

59. Аулін В.В. Вплив співвідношення фазових складових середовища ґрунту на зношування РОГМ / В.В. Аулін, А.А. Тихий / М-ли II міжнар. наук.-техн. конф.: "Актуальні проблеми інженерної механіки", 22-24 жовтня 2012р.– Миколаїв: НУК, 2012. – С85-86.

60. Рахимов И.Р. Совершенствование рабочих органов машин для основной обработки почвы на основе моделирования процесса взаимодействия клина с почвой: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.20.01 "Технологии и средства механизации сельского хозяйства" / И.Р. Рахимов. – ЧГАУ, Челябинск, 2006. – 196 с.

61. Соучек Р. Закономерности взаимодействия рабочих органов с почвой как основа их автоматизированного проектирования: Учеб. пособие/ Р. Соучек, Г. Дьяченко. – Ростов н/Д, 1991. – 110 с.

62. Алтоиз Б.А. Физика приповерхностных слоев / Б.А.Алтоиз, Ю.М.Поповский. – Одесса: Астропринт, 1995. – 153 с.

63. Канович М.З., Трофимов Н.Н. Сопротивление композиционных материалов: монография. / М.З. Канович, Н.Н. Трофимов – М.:Мир, 2003. – 504 с.

64. Ландау Л.Д. Теоретическая физика. В 10 т., T.V. Статическая физика. Ч.1. – 5-е изд. стереотип. – М.: Физматлит, 2002. – 616 с.

65. Ландау Л.Д. Электродинамика сплошных сред / Л.Д. Ландау Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1982. 624 с.

66. Харламов Ю.А. Физика, химия и механика поверхности твердого тела / Ю.А.Харламов, М.А.Будагьянс. – Луганск: ВУГУ, 2000. – 624 с.

67. Баранов А.В. Явления самоорганизации при трении металлов / А.В. Баранов // Ползуновский альманах. – 2003. – №4. – С.130-131.

68. Быстрай Г.П. Термодинамика открытых систем / Г.П.Быстрай. – Екатеринбург : УрГУ, 2007. – 312 с.

69. Дудоров А.Е. Уравнение динамики и кинетики дислокаций при высоких скоростях пластической деформации / А.Е. Дудоров, А.Е. Майер // Вестник Челябинского государственного университета. – 2011. – Вып. 12. – С.48-56.

70. Миронюк Г.И. Математическое моделирование кинетики процессов безызносного трения / Г.И. Миронюк, Т.В. Терновая, И.Н. Карнаухов // Мат. методи і фіз.-мех. поля. – 1995. – Вып. 38. – С. 105-108.

71. Доблер В.И. Повышение эксплуатационной надежности двигателей дорожных и строительных машин трибологическим контролем состояния и активаций моторных масел: автореф. дисс. на соиск. уч. степени. канд. техн. наук: 05.05.04. "Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины" / В.И. Доблер. – Томск, 2005. – 23с.

72. Кернер Б.С. Самоорганизация в активных распределенных средах (сценарии спонтанного образования и эволюции структур) / Б.С.Кернер, В.В.Осипов // Успехи физич. наук. – 1990. – Т.60, вып. 9. – С. 3–73.

73. Сахаров А.Н. Влияние фазового перехода в металле на распределение примеси при лазерной активации процессов диффузионного массопереноса / А.Н. Сахаров // Физика и химия обработки материалов. – 1991. – №4. – С. 53-59.

74. Зазимко О.В. Закономерности механохимических процессов при абразивном изнашивании сталей: дис. ... канд. техн. наук: спец 05.02.04 "Трение и износ в машинах" / О.В. Зазимко. – Киев, 1985. – 221 с.

75. Sheasby J.S. A recinprocating wear test for evaluating boundary lubrication. / J.S.Sheasby, T.A.Caughlin, A.G.Blahey //Tribology International.- Vol.23.-1990,P.301-308.

76. Захаров С.М. Влияние движущей силы, созданной внешним воздействием, на диффузионный массоперенос в твердом теле / С.М. Захаров, Л.Н. Лариков, Р.Л. Межевинский // Металлофизика и новейшие технологии. – 1995. – Т.171, №1. – С. 30-35.

77. Прибытков Г.А. Межфазный массоперенос на границе металлов и тугоплавких соединений с металлическими расплавами и его роль в формировании структуры композиционных материалов и покрытий: автореф. дисс. на соискание ученой степени д-ра. техн. наук: спец. 05.16.01 "Материаловедение и обработка металлов " / Г.А. Прибытков – Томск, 2002. – 40 с.

78. Боуден Ф. Р. Трение и смазка твердых тел / Ф.Р. Боуден, Д.М. Тейбор: Под ред. д-ра техн. наук И.В.Крагельского. – М.: Машиностроение, 1968. – 544с.

79. Adirovich E. On the Forces of Dry Friction./E.Adirovich, D.Blohkhinzev// J.Phys. USSR. - 1943, V 7, № 1, P.29-36.

80. Крысов С.В. Волновые процесы при контактних взаемодействиях подвижных сопряжений в упругих элементах машин и конструкций: автореф. дис. наук. степени канд. физ.-мат. наук: спец. 01.02.06 – "Динамика, прочность машин, приборов и апаратуры"/С.В. Крысов. – Москва, 1992. – 23с.

81. Бородай А.В. О процессах самоиндукции в трибосистемах / А.В. Бородай // Трение и смазка в машинах и механизмах. – М.: Машиностроение. – 2007. – № 2. – С. 3-10.

82. Бородай А.В. О фрикционном взаимодействии тел как индукционном и туннельном процессе / А.В. Бородай, А.В. Клименко, В.И. Пономарев // Изв. вузов. Сев. – Кавк. регион. Техн. науки. Спецвып. Проблемы трибоелектрохимии. – 2005. – С. 36-42.

83. Бершадский Л. И. Самоорганизация и надежность трибосистем / Л.И. Бершадский – Киев, 1981. – 35 с.

84. Бершадский Л.И. Структурная термодинамика трибосистем / Л.И. Бершадский. – К.: Знание, 1990. – 30 с.

85. Клементьев Н.М. Термодинамика трения / Клементьев Н.М. – Воронеж: Воронежск. политехи, ин-т, 1971. – 305 с.

86. Praca naukowo_badawcza. Laboratoryjne i eksploatacyjne badania teflonowego SLIDER 2000. WSI w Radomiu. Radom. 1993. – 36p.

87. Андрианов И.В. Асимптотическая математика и синергетика: путь к целостной простоте / И.В.Андрианов, Р.Г.Баранцев, Л.И.Маневич. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 304 с.

88. Гершман И.С. Синергетика процессов трения / И.С. Гершман // Трение, износ, смазка. – 2009. – Т.12, №40. – С.1-8.

89. Ершов С.В. Синергетика. Новые направления. Нелинейные волны: Физика и астрофизика / [С.В. Ершов и др.]. – М.: Наука, 1993. – С. 306–319.

90. Князева Е.Н. Основания синергетики. Синергетическое мировидение / Е.Н.Князева, С.П.Курдюмов. – СПб.: "Алетейя", 2002. – 414 с; – М.: КомКнига, 2005. – 240 с.

91. Ермолаев Ю.Л. Электронная синергетика / Ю.Л.Ермолаев, А.Л. Санин. –Л.:ЛГУ,1989.-215 с.

92. Иванова В.С. Синергетика и фракталы. Универсальности механического поведения материалов / В.С.Иванова, И.Р.Кузеев, М.М. Закирничная. –Уфа:УГГТУ,1998.–363с.

93. Капица С.П. Синергетика и прогнозы будущего /С.П. Капица, С.П. Курдюмов, Г.Г. Малинецкий. – М.: Наука, 1997. – 285 с.

94. Акимов И.А. Математическое моделирование теплофизических процессов в многослойных конструкциях с фазовыми переходами: автореф. дисс. на соиск. уч. степени д.-ра техн. наук: спец. 05.13.18 "Математическое моделирования, численные методы и комплексы программы" / И.А. Акимов. – Санкт-Петербург, 2007. – 32с.

95. Гиттерман М. Фазовые превращения: Краткое изложение и современные приложения / М.Гиттерман, В.Хэлперн. – М.: – Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", Ин-т компьютерных исследований, 2006. – 128 с.

96. Дайсон Ф. Устойчивость и фазовые переходы/Ф.Дайсон и др.– М.:Мир,1973.–373с.

97. Аулін В.В. Фізико-технологічні засади підвищення надійності трибосистем дизелів мобільної сільськогосподарської техніки / В.В. Аулін, С.В. Лисенко // Вісник ЖНАЕУ: наук.-теор. зб. – випуск № 2 (45), т.4, ч.II – 2014. – С. 56-68.

98. Мартынов Г.А. Проблема фазовых переходов в статистической механике / Г.А. Мартынов // Успехи физических наук. – 1999. – Т.169, № 6. – С.595-624.

99. Аулін В.В. Фізичні основи процесів і станів самоорганізації в триботехнічних системах: монографія / В.В. Аулін. – Кіровоград: Вид. Лисенко В.Ф., 2014. – 370 с.

100. Табачникова Т.И. Перекристализация фазовые и структурные превращения в сталях в неравновесных условиях: автореф. дисс. на соискание ученой степени д-ра. техн. наук:спец. 05.16.01. "Металловедение и термическая обработка металлов" / Т.И Табачникова. – Екатеринбург, 2008. – 46с.

101. Bak P. Self-organized criticality: An explanation of the 1/f noise / P.Bak, C.Tang, K.Wisenfeld // Phys. Rev. Lett. – 1987. – V. 59. – P. 381–384.

102. Вакс В.Г. Кинетические явления в упорядочивающихся сплавах / В.Г. Вакс // Соросовский общеобразовательный журнал. – 1997. – №8. – С.105-115.

103. Машков Ю.К. Трение и модифицирование материалов трибосистем / Ю.К. Машков, К.Н. Полещенко, С.Н. Поворознюк, П.В. Орлов. – М.: Наука, 2000. – 280 с.

104. Машков Ю.К. Трибология конструкционных материалов. Омск: ОмГТУ, 1996.–299 с.

105. Машков Ю.К. Трибофизика металлов и полимеров: монография / Ю.К. Машков. – Омск: ОмГТУ, 2013. – 240 с.

106. Берёзина Е.В. Самоорганизация присадок в граничном смазочном слое трибосопряжений машин: автореф. дисс. на соискание науч. степени д-ра техн. наук: спец. 05.02.04 "Трение и износ в машинах" / Е.В. Берёзина. – Иваново: ИГУ, 2007. – 461 с.

107. Бурлакова В.Э. Трибоэлектрохимия эффекта безызносности: автореф. дисс. на соиск. уч. степени д-ра. техн. наук: спец. 05.02.04 "Трения и износ в машинах", 02.00.04. Физическая химия"/В.Э. Бурлакова. – Ростов-на-Дону, 2006 – 42 с.

108. Федоров С.В. Общие закономерности эволюции трения с позиций самоорганизации и синергизма / С.В. Федоров. – Калининград: КГТУ, 2007. – №11. –С.11-21.

109. Быстров В. Н. Избирательный перенос при трении – новые возможности при изготовлении и использовании машин / В.Н.Быстров // Эффект безызносности и триботехнологии. – № 1. – 1992. – С. 17-33.

110. Кужаров А.С. Координационная трибохимия избирательного переноса: дисс. ... доктор. техн. наук: спец. 05.02.04 "Трение и износ в машинах" / А.С.Кужаров. – Ростов-на-Дону: РИИСХ, 1991. – 513 с.

111. Куксенова Л. И. Смазочные материалы и явление избирательного переноса при трении / Л. И. Куксенова, А. А. Поляков, Л. М. Рыбакова // Вестник машиностроения.–1990. – №1. – С. 35-40.

112. Беркович И.И. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения: Учеб. Для ВУЗов / И.И. Беркович, Д.Г. Громаковский / Под ред. Д.Г. Громаковского – Самара: Самар. гос. техн. Ун-т, 2000. – 268 с.

113. Боуден Ф.П. Трение и смазка твердых тел / Ф.П. Боуден, Д. Тейбор. – М.: Машиностроение, 1968.– 503 с.

114. Браун Э.Д. Основы трибологии (трение, износ, смазка): Учебник для технических вузов / Э.Д. Браун, Н.А. Буше, И. А. Буяновский и др. / Под ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Центр "Наука и техника", 1995. – 778 с.

115. Бурштейн Л.М. Исследования процессов смазывания и трения поршневых колец ДВС. Смазывающее действие поршневых колец / Л.М. Бурштейн, С.В. Кобяков // Двигателестроение. – 1990. – № 12. – С. 42-46.

116. Бурштейн Л.М. Исследования процессов смазывания и трения поршневых колец ДВС / Л.М. Бурштейн, С.В. Кобяков // Двигателестроение. – 1990. – №11. – С. 56-59.

117. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем: Учебник для вузов / В.А. Зорин. – М.: ООО "Магистр–Пресс", 2005. – 536 с.

118. ДСТУ 4106–2002 Оливи мастильні. Номенклатура показників.

119. Бутенко В.И. Физико-технологические основы формирования управляемых структур сталей и сплавов / В.И. Бутенко – Таганрог: ТРТУ, 2004. – 264 с.

120. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела / Перев. с 4-го амер. издания. – М.: Наука, 1978. – 792 с.

121. Кравчик К. Трибологическая идентификация самоорганизации при трении со смазкой: дисс. ... доктор. техн. наук: спец. 05.02.04 "Трение и износ в машинах" / К. Кравчик. – Ростов-на-Дону, 2000. – 279 с.

122. Башта Т.М. / Машиностроительная гидравлика / Т.М. Башта. – М.: Машиностроение, 1971. – 672 с.

123. Бибик Е.Е. Реология дисперсных систем / Е.Е. Бибик. – Л.: ЛУ, 1981. – 172 с.

124. Рейнер М. Реология / М. Рейнер. – Пер. с англ. – М.: Наука, 1965. – 223 с.

125. Иванова В.С. Синергетика и фракталы. Универсальности механического поведения материалов / В.С.Иванова, И.Р.Кузеев, М.М.Закирничная. –Уфа:УГГТУ,1998.–363с.

126. Иванова В.С. Синергетика. Прочность и разрушение металлических материалов / В.С. Иванова. – М.: Наука, 1992. – 159 с.

127. Шульман З.П. Магнито-реологический эффект / З.П. Шульман, В.И. Кордонский. – Мн.: Наука и техника, 1982. – 184 с.

128. Аметов В.А. Активация моторного масла магнитным полем / [В.А. Аметов, Ю.С. Саркисов, П.П. Горленко и др] // Автомобильная промышленность. – 2006. – №6. – С. 31-34.

129. ГОСТ 33–2000 (ИСО 3104 94) Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости. – Введ. 2002–01–01. – Минск.: Межгосударственный совет по стандартизации метрологии и сертификации, 2002. – 18 с.

130. ГОСТ 4333–87 (СТ СЭВ 5469–86) Нефтепродукты. Методы определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле. – Введ. 1988–07–01. – М.: Изд-во стандартов, 1993. 8 с.

131. Аулін В.В. Вплив присадок до моторних олив на характеристики дизелів, що працюють в нестаціонарних умовах експлуатації / В.В. Аулін, В.В. Слонь, Д.В. Голуб / Зб. наук. праць УДАЗТ. – 2014. – Вип. 148. – С.18-25.

132. Алексеев В.П. Влияние электрохимико-механических процессов на трение и износ поверхностей в механизме ползун-цилиндр / В.П. Алексеев, Т.Н. Замота, М.А. Домбровский, Р.В. Зорин // Зб. наук. праць ЛНАУ. Технічні науки. – №31. Луганськ. – 2003. – С. 4-9.

133. ГОСТ 24943–81 Масла моторные. Фотометрический метод оценки загрязненности работавших масел. – Введ. 1982–07–01. М.: Изд-во стандартов, 1981. – 4 с.

134. Лашхи В.Л. Оценка приработочных свойств обкаточных масел / В.Л. Лашхи, Л.А. Демьянов // Трение и износ. – 1991. – т.12. – №1. – С. 118-123.

135. Порохов В.С. Трибологические методы испытания масел и присадок / Порохов В.С. – М.: Машиностроение, 1983. – 183 с.

136. Оура К. Введение в физику поверхности / К. Оура, В.Г. Лифинов, А.А. Саранин, А.В. Зотов, М. Катаяма: [отв. ред. В.И. Сергиенко]: ин-т. автоматики и процессов упр. ДВО РАН. – М.: Наука, 2006. – 490с.

137. Аулін В.В. Вплив комбінованого модифікування мастильного середовища на зміну режимів тертя в трибоспряженнях деталей / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2013. – №2 – С.13-20.

138. Аулін В.В. Характеристики спрацювання деталей дизелів МСГТ та підвищення їх зносостійкості на основі комбінованого модифікування моторної оливи / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, В.М. Лисенко // М-ли IX-ї Міжнар. наук.-практ. конф."Проблеми конструювання, вироб. та експлуатації СГТ", вип. 1.– Кіровоград: КНТУ, 2013. – С. 181-184.

139. Аулин В.В. Влияние комбинированного физико-химического модифицирования моторного масла на изменения момента трения и потребляемой мощности в сопряжениях образцов и деталей / В.В. Аулин//Трение и смазка в машинах и механизмах,2014.–№2.–С.21-28.

140. Аулин В.В. Изменение режимов трения в сопряжениях цилиндро-поршневой группы дизелей при физико-химическом модифицировании моторного масла / В.В. Аулин // Трение и смазка в машинах и механизмах, 2014. – №3. – С.3-9.

141. Аулін В.В. Вплив на зносостійкість композиційних матеріалів процесів, що протікають на межі їх складових / В.В. Аулін, Ф.Й. Златопольский, В.М. Бобрицький // Инженерия поверхности и реновация изделий. М-лы 4-й междунар. научн.-техн. конф., 24-26 мая 2005, г. Ялта. – Киев: АТМ Украины, 2005. – С.289-291.

142. Гаркунов Д.Н. Триботехника. Износ и безызносность. – М.: Машиностроение, 2001. – 616 с.

143. Погадаев Л.И. Теория и практика прогнозирования износостойкости и долговечности материалов и деталей машин / Л.И. Погадаев, Н.Ф. Голубев. – СПб: СПГУВК, 1997. – 415 с.

144. Евдошмов Ю.А. Планирование и анализ эксперимента при решении задач трения и износа. / Ю.А. Евдошмов, В.И. Колесников, А.И. Тетерин – М.: Наука, 1980. – 228 с.

145. Балабанов В.И. Восстановление работоспособности ДВС процессе эксплуатации / В.И. Балабанов // Автомобильная промышленность. – 1996. – №8. – С. 16-19.

146. Гаркунов Д.Н. Триботехника (пособие для конструктора). / Д.Н. Гаркунов. – М.: Машиностроение, 1999. – 336 с.

147. Гуляев А.П. Металловедение. / А.П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1978. – 647 с.

148. Аулін В.В. Триботехнічні характеристики поверхонь тертя при електротрибохімічному методі припрацювання / В.В. Аулін, М.В. Власенко, С.В. Лисенко // Міжнародний науковий журнал "Проблеми трибології (Problems of Tribology)" / м. Хмельницький. – 2003. – №3,4. – С. 140-144.

149. Литвинов В.Н. Физико-химическая механика избирательного переноса при трении. / В.Н. Литвинов, Н.М. Михин, Н.К. Мышкин. – М.: Наука. 1979. – 187 с.

150. Алямовский А.А. SolidWorks / COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов /А.А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 432 с.

151. Аулін В.В. Керування характеристиками і властивостями моторних олив комбінованим модифікуванням / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик / Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – 2014. – Вип. 148. – С. 148-155.

152. Изюмский В.А. Повышение межремонтного ресурса двигателей мобильной сельскохозяйственной техники электрохимико-механической приработкой цилиндро-поршневой группы: дисс. … кандидата тех. наук: 05.05.11 / Изюмский Вадим Анатольевич. – Луганск, 2004. – 279с.

153. Кужаров А.С. Свойства и применение металлоплакирующих смазок / А.С. Кужаров, П.Ю. Онищук. – М.: ЦПИИТЭ – нефтехимия, 1985. – 56 с.

154. Білик А.П. Відновлення поверхонь тертя за допомогою триботехнічних регенеруючих сумішей: дис. … кандидата тех. наук: 05.02.04 / Білик Артем Петрович. – Хмельницький, 2009. – 125 с.

155. Путинцев С.В. Трибометрия поршневых машин / С.В. Путинцев – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. – 64с.

156. ГОСТ 27860–88. Детали трущихся сопряжении. Методы измерения износа.

157. Терхунов А.Г. Ускоренная приработка двигателей / А.Г. Терхунов, В.Е. Мороз, М.И. Черновол и др. // Техника в сельском хозяйстве. – 1979. – №10. – С. 61-63.

Список використаних джерел до розділу 3

1. Алтоиз Б.А. Физика приповерхностных слоев / Б.А.Алтоиз, Ю.М.Поповский. – Одесса: Астропринт, 1995. – 153 с.

2. Аулін В.В. Управление процессом электрохимико-механической приработки деталей сельскохозяйственной и автотракторной техники / В.В. Аулін, Т.М. Замота // М-ли ІХ-ї Міжнар. наук.-практ. конф. "Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки", вип. 1. – Кіровоград: КНТУ, 2013. – С. 221-223.

3. Аулін В.В. Фізико-хімічні основи взаємодії олив із робочою поверхнею деталей / В.В. Аулін, С.В. Лисенко / Зб. м-лів міжнар. наук.-практ. конф"Ольвійський форум -2013", 7-8 червня 2013, Миколаїв-Ялта: ЧДУ ім. Петра Могили, 2013. – С.61-63.

4. Аулін В.В. Обґрунтування поведінки молекул мастильного середовища та формування його шару на поверхні елементів триботехнічних систем / В.В. Аулін, С.В. Лисенко / Зб. тез матеріалів міжнар. наук.-практ. конф."Ольвійський форум – 2014", 4-7 червня 2014, Миколаїв: ЧДУ ім. Петра Могили, 2014. – С.17-19.

5. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения/Ахматов А.С.–М.:Физ-матгиз,1963.–452с.

6. Подкатилов К.Е. Динамические исследования рабочих органов культиваторов повышенной прочности и износостойкости с нижним и верхним упрочнением твердыми сплавами. автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук / К.Е. Подкатилов. – Ростов-на-Дону. – 1969.– 21 с.

7. Ребиндер П.А. Поверхносные явления в дисперсных. Физико-химическая механика /П.А. Ребиндер, Избраные труди. М.:Наука, 1979. - 384с.

8. Поповский А.Ю. Поведение жидкости вблизи поверхности твердого тела / А.Ю. Поповський, В.И. Михайленко, К.С. Шакун // Межвед. научн. сб. "Физика аэродинамических систем". – Одесса "АстроПринт". – Выпуск 45. – 2008. – С 89-96.

9. Александров Е.Е. Повышение ресурса технических систем путём использования электрических и магнитных полей: монография / Е.Е. Александров, И.А. Кравец, Е.П. Лысиков и др. – Х.: НТУ "ХПИ", 2006. – 544 с.

10. Аулін В.В. Теоретичне обґрунтування зміни режимів тертя в циліндро-поршневій групі ДВЗ/В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик//Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2010. – №3 – С.46-54.

11. Аксьонов О.Ф. Методологія визначення протиспрацьовувальних властивостей мастил за критеріями трибохарактеристик утворюваних у них вторинних структур / О.Ф. Аксьонов, О.У. Стельмах, С.П. Шимчук та ін. // Вісник НАУ. – 2006. – №2. – С. 62–64.

12. Машков Ю.К. Трибофизика металлов и полимеров: монография / Ю.К. Машков. – Омск: ОмГТУ, 2013. – 240 с.

13. Некрасов С.С. Использование антифрикционных присадок для улучшения эксплуатационных свойств моторного масла / С.С. Некрасов, С.В. Стребков // Двигателестроение. – 1991. – № 8-9. – С. 50-59.

14. Аулін В.В. Фізико-хімічні основи впливу електричних та магнітних полів на механізм змащувальної дії моторної оливи / В.В. Аулін / М-ли міжнар.

наук.-техн. конф.: "Актуальні пробл. інженер. механіки", 25-26 жовтня 2011р. – Миколаїв:НУК, 2011. – С.55-57.

15. Берёзина Е.В. Самоорганизация присадок в граничном смазочном слое трибосопряжений машин: автореф. дисс. на соискание науч. степени д-ра техн. наук: спец. 05.02.04 "Трение и износ в машинах" / Е.В. Берёзина. – Иваново: ИГУ, 2007. – 461 с.

16. Билякович О.Н. Структура и свойства модифицированных поверхностных слоев трибосопряжений, сформированных в условиях граничного режима смазки / О.Н. Билякович,Е.В.Богайская//Вестник двигателестроения:Научн.-техн. ж-л.–2010.–№2.–С.13-17.

17. Кужаров А.С. Координационная трибохимия избирательного переноса: дисс. ... доктор. техн. наук: спец. 05.02.04 "Трение и износ в машинах" / А.С.Кужаров. – Ростов-на-Дону: РИИСХ, 1991. – 513 с.

18. Кужаров А.С. Трибоэлектрохимический мониторинг режимов трения / А.С. Кужаров, В.Э. Бурлакова, С.Б. Булгаревич и др. //Вестник ДГТУ.–2004.–Т.4,№1(19).–С.47-54.

19. Jahanmir S., and Beltzer M. " Effect of Additive Molecular Structure on Friction Coefficient and Adsorption". Journal of Tribology, Vol.108, №1, 1986, P. 109-116.

20. Пригожин И.Р. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур / И.Р. Пригожин, Д. Кондеруди. – М.: Мир, 2002. – 319 с.

21. Костыгов В.Т. Прогнозирование трибохарактеристик смазываемых узлов трения по состоянию субструктуры приповерхностных слоев моделей / В.Т. Костыгов, В.А. Кохановский // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2006. – №7. – С.3-8.

22. Кравчик К. Трибологическая идентификация самоорганизации при трении со смазкой: дисс. ... доктор. техн. наук: спец. 05.02.04 "Трение и износ в машинах" / К. Кравчик. – Ростов-на-Дону, 2000. – 279 с.

23. Кравчик К.О динамических и статических структурах в зоне трения / К. Кравчик // Вестник ДГТУ. – 2002. – Т.2, №1(11). – С.77-79.

24. Аулін В.В. Загальні закономірності еволюції та самоорганізації в трибосистемах / В.В. Аулін // Сучасні проблеми трибології: Тези доповідей Міжнар. наук.-техн. конф. – К.:ІВЦ АЛКОН НАН України, 2010. – С.94.

25. Аулін В.В. Фізичні основи процесів і станів самоорганізації в триботехнічних системах: монографія / В.В. Аулін. – Кіровоград: Вид. Лисенко В.Ф., 2014. – 370 с.

26. Баранов А.В. Самоорганизация трибосистем при граничном трении металлов / [А.В. Баранов, В.А. Вагнер, С.В. Тарасевич, О.В. Быкова] / Ползуновский вестник. – Барнаул: АлтГТУ, – 2009. – №1-2. – С. 155-158.

27. Бершадский Л. И. Самоорганизация и надежность трибосистем / Л.И. Бершадский – Киев, 1981. – 35 с.

28. Бурлакова В.Э. Трибоэлектрохимия эффекта безызносности: автореф. дисс. на соиск. уч. степени д-ра. техн. наук: спец. 05.02.04 "Трения и

износ в машинах", 02.00.04. Физическая химия"/В.Э. Бурлакова. – Ростов-на-Дону, 2006 – 42 с.

29. Аулін В.В. Дослідження умов виникнення повної облітерації при течії рідини в вузьких щилинах / В.В. Аулін, Ю.В. Кулєшков, М.І. Черновол, С.О. Магопець // Зб. наук. праць КДТУ. – Вип. 8. – Техніка в сільгосп. виробництві. – Кіровоград, 2001. – С.78-85.

30. Аулін В.В. Фізичні основи явищ самоорганізації і облітерації мастильних середовищах в зазорах трибосполучень деталей/В.В. Аулін//Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2009. – №4 – С.103-111.

31. Башта Т.М. / Машиностроительная гидравлика / Т.М. Башта. – М.: Машиностроение, 1971. – 672 с.

32. Борисов Г.А. Механизм облитерации / Г.А. Борисов, В.В. Миронов // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2005. – №4. – С.38-39.

33. Аулін В.В. Вплив модифікуючих фізичних полів на структуру та реологічні властивості композиційної моторної оливи / В.В. Аулін // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2012. – №4 – С.28-33.

34. Глаголев К.В. Физическая термодинамика / К.В.Глаголев, А.Н.Морозов. – М.: МГТУ им. Баумана, 2004. – 272 с.

35. Сканави Г.И. Физика диэлектриков (Область слабых полей) / Г.И.Сканави. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 253 с.

36. Никитин Ю.Н. Оценка жидкостного трения в сопряжении цилиндр-поршневое кольцо–поршень // [Ю.Н. Никитин, Л.Х. Арустамов, С.П. Измайлов и др.] // Двигателестроение.–1983.–№7.–С.51-53.

37. Диха О.В. Методи контактної трибомеханіки мастильних шарів і моделі зношування при граничному терті: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня д-ра техн. наук: 05.02.04 "Тертя та зношування в машинах" – 2009. – 36 с.

38. Костецкий Б.И. О роли вторичных структур в формировании механизмов трения, смазочного действия и изнашивания / Б.И.Костецкий//Трение и износ.–1980.–Т.1,№4.–С.622-637.

39. Терновая Т.В. Новые, искусственно организованные трибоструктуры в смазочной среде, обеспечивающие режим безызносного граничного трения / Т.В. Терновая// Проблеми трибології (Problems of tribology). – 2007. – №1. – С.47-54.

40. Аулин В.В. Физические основы разработки технологических методов модификации и трибофизические основы модифицированных материалов / В.В.Аулин // Инженерия поверхности и реновация изделий. М-лы 9-й междунар.научн.-техн.конф., 25–29 мая 2009, г. Ялта. – Киев: АТМ Украины, 2009. – С.16-19.

41. Аулін В.В. Вплив модифікування композиційних моторних олив магнітним полем на триботехнічні характеристики робочих поверхонь деталей / В.В. Аулін, О.В. Кузик, О.Д. Мартиненко // Вісник ХНТУСГ /Вип. 118.

Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосп. машинобуд. – Харків. – 2011. – С.268-273.

42. Аулін В.В. Зміна властивостей оливи при електотрибохімічному відновленні робочих поверхонь деталей дизелів / В.В. Аулін, М.Ф. Семенюк, С.В. Лисенко, О.В. Кузик // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2009. – №1 – С.68-70.

43. Аулін В.В. Фізичні основи еволюції станів трибосистем та процесів самоорганізації їх елементів / В.В. Аулін / Зб. м-лів міжнар. наук.-практ. конф. "Ольвійський форум - 2011", 8-12 червня 2011 – Ялта. – С.14-15.

44. Потапов А.А. Электронное строение атомов / А.А. Потапов. – М. – Ижевск: Институт компьютер. исслед., НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2009. – 264 с.

45. Хайкин С.Э. Физические основы механики/С.Э.Хайкин.–СПб.:Изд-во"Лань",2008.-768с.

46. Григоров А.Б. Диэлектрическая проницаемость как комплексный показатель, характеризующий изменение качества моторных масел в процессе их эксплуатации / А.Б. Григоров, П.В. Карножицкий, С.А. Слободской // Вестник нац. техн. университета "ХПИ". – Х.: НТУ "ХПІ". – 2006. – №25. – С. 169-175.

47. Ермолаев Ю.Л. Электронная синергетика / Ю.Л.Ермолаев, А.Л.Санин. –Л.:ЛГУ,1989.-215 с.

48. Ландау Л.Д. Электродинамика сплошных сред / Л.Д. Ландау Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1982. 624 с.

49. Кукоз Ф.И. Трибоэлектрохимия / Ф.И. Кукоз, В.Ф. Кукоз.– Новочеркасск,2003.– 399 с.

50. Шпеньков Г.П. Физикохимия трения / Шпеньков Г.П. – Минск:БГУ,1978.–208с.

51. Ширяева С.О. О возникновении неустойчивости заряженной поверхности жидкости / С.О.Ширяева и др. // Журн. технической физики. – 1995. – Т.65, № 11. – С. 41-51.

52. Алтоиз Б.А. Модель Изинга эпитропной жидкокристаллической фазы / Б.А.Алтоиз,Ю.М.Поповский, Е.С.Ляхова//Коллоидный журнал.–2000.– Т.62.–№3.–С.299-302.

53. Емельяненко А.В. Теория перехода из нематического состояния в смектическое / А.В. Емельяненко // Вестник ЮУрГУ. – Серия "Математика, физика, химия", Выпуск 11. – №22. – 2008. – С. 43-49.

54. Sheng P. Phase transition in surface aligned nematic films / P.Sheng // Physical review letters. – 1976. – V.16, №16. – P.1059-1062.

55. Алтоиз Б.А. Свойства Изинговой модели эпитропной мезофазы в симметрично ограниченной прослойке / Б.А.Алтоиз, Е.Ю.Дадонова, Д.Д.Недялков, Е.В.Макуха // Сб. "Обработка дисперсных материалов и сред", Одесса: НПО"Вотум". – 2003. – № 13. – С.42-48.

56. Кузьменко А.Г. Шляхи підвищення зносостійкості гільз циліндрів (Огляд). Частина II / А.Г. Кузьменко, В.П. Дудчак // Проблеми трибології (Problems of tribology). – 2005. – №3– С.13-24.

57. Maier, W. A simple molecular-statistical theory of the nematic liquid crystalline phase. II. / W. Maier, A. Saupe // Z. Naturforsch. – 1960. – V.15A, №4. – P. 287-292.

58. Blau P.J. Friction Science and Technology From concepts to application / Peter J. Blau. – 2nd ed. 2009 by Taylor and Francis Group, CRC. Press – 420 p.

59. Щербаков Д.А. Повышение долговечности мобильной СХТ применением магнитных металлоплакирующих добавок в пластичные смазки: автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.20.03 "Технологии и средства техн. обслуживания в сельском хозяйстве" / Д.А. Щербаков. – Саратов, 2004. – 24 с.

60. McMillan W.L. Simple molecular model for the smectic A phase of liquid crystals / W.L. McMillan // Phys. Rev. – 1971. – V.A4, №3. – P. 1238-1246.

61. McMillan W.L. Simple molecular theory of the smectic C phase / W.L. McMillan // Phys. Rev. – 1972. – V.A8, № 4. – P. 1921-1929.

62. Базаров И.П. Термодинамика / И.П.Базаров.–М.:Высшая школа, 1991.–376 с.

63. Гиббс Дж. В. Основные принципы статистической механики / Дж. В. Гиббс. Пер. англ. – М.-Л. ГИТТЛ, 1946 – 204 с.

64. Мусалимов В.М. Динамика фрикционного взаимодействия / В.М. Мусалимов, В.А. Валетов. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 191 с.

65. Мышкин Н.К. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии. / Н.К. Мышкин, М.И. Петроковец. – М.: Физматлит, 2007. – 368 с.

66. Авдонькин Ф.Н. Исследование влияния эксплуатационных факторов на износ сопряжений цилиндро-поршневой и шатунно-кривошипной групп деталей автомобильных двигателей: автореф. дис. на соискание ученой степени д-ра техн. наук / Ф.Н. Авдонькин. – М., 1966. – 36 с.

67. Балабанов В.И. Восстановление работоспособности ДВС процессе эксплуатации / В.И. Балабанов // Автомобильная промышленность. – 1996. – №8. – С. 16-19.

68. Говорущенко Н.Я. Диагностика технического состояния автомобилей / Говорущенко Н.Я. – М.: Транспорт, 1970. – 254 с.

69. Путинцев С.В. Анализ режима трения деталей цилиндро-поршневой группы автомобильного дизеля / С.В. Путинцев // Известия вузов. Машиностроение. – 1999. – № 2–3. – С. 65-68.

70. Путинцев С.В. Механические потери в поршневых двигателях / Электронное учебное издание. Учебное пособие по дисциплине "Специальные главы конструирование и САПР" – М.: МГТУ им Н.Э.Баумана, 2011 – 288с.

71. Большаков В.В. Конструкция элементов ЦПГ и расход масла на угар / В.В. Большаков, М.А. Григорьев, С.Н. Фёдоров // Автомобильная промышленность. – 1999. – №12. – С. 16-20.

72. Левит С.М. Повышение износостойкости деталей ЦПГ и снижение расхода масла на угар в автомобильном двигателе: автореф. дис. канд. техн. наук. / Центр. Н.-И. Автомоб. и автомотор, ин–т. – М, 1988. – 18 с.

73. Гурвич И.Б. Эксплуатационная надежность автомобильных двигателей / И.Б. Гурвич, П.Э. Сыркин, В.И. Чумак – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1994. –144 с.

74. Ждановский Н.С. Диагностика автотракторных двигателей / Н.С. Ждановский, В.А. Аллилуев, А.В. Николаенко, Б.А. Улитовский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Колос, 1977. – 264 с.

75. ГОСТ 18509–88 (СТ СЭВ 2560–80) Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний.

76. Петриченко Р.М. Трение и теплопередача в поршневых кольцах двигателей внутреннего сгорания: Справочное пособие / Р.М. Петриченко, М.Р. Петриченко, А.Б. Канищев и др.; Под ред. Р.М. Петриченко. – Л.: ЛГУ, 1990. – 248 с.

77. Стрельцов В.В. Способ повышения качества и ускорения приработки деталей цилиндропоршневой группы в период холодной обкатки двигателей с помощью присадок к воздуху / В.В. Стрельцов // Техн. сервис в агропром. комплексе. Сб. научн. трудов. – М, 1993. – С. 39-44.

78. Боуден Ф. Р. Трение и смазка твердых тел / Ф.Р. Боуден, Д.М. Тейбор: Под ред. д-ра техн. наук И.В.Крагельского. – М.: Машиностроение, 1968. – 544с.

79. Two Dimensional Numerical Analysis of Piston Ring Lubrication of an Internal Combustion Engine / Y. Zhang, G. Chen, B. L i//SAE Techn.Pap.Ser. – 1999. – № 1222. – 9p.

80. Браун Э.Д. Основы трибологии (трение, износ, смазка) / Э.Д. Браун, Н.А. Буше, И. А. Буяновский и др. / Под ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Центр "Наука и техника", 1995.–778с.

81. Буяновский И.А. Граничная смазка: этапы развития трибологии / И.А. Буяновский, И.Г. Фукс, Т.Н. Шаталина. – М.: Нефть и газ, 2002. – 230 с.

82. Киряков П.П. Приложение симметрий и законов сохранения к решению дифференциальных уравнений / П.П.Киряков, С.И.Сенашёв С.И., А.Н.Яхно. – Новосибирск: СО РАН, 2001. – 192 с.

83. Аметов В.А. Повышение эксплуатационной надежности агрегатов автотранспортных средств путем контроля и модифицирования смазочного масла: дис. ... д-ра техн. наук: спец. 05.22.10 / В.А. Аметов. – Тюмень, 2006. – 382 с.

84. Аулін В.В. Характер зміни триботехнічних характеристик спряжень дизелів при їх роботі в різних режимах / В.В. Аулін, В.В. Слонь, С.В. Лисенко // Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2013. – №3 – С.89-96.

85. Аулін В.В. Характеристики спрацювання деталей дизелів МСГТ та підвищення їх зносостійкості на основі комбінованого модифікування моторної оливи / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, В.М. Лисенко // М-ли IX-ї Міжнар. наук.-

практ. конф."Проблеми конструювання, вироб. та експлуатації СГТ", вип. 1.– Кіровоград: КНТУ, 2013. – С. 181-184.

86. Кузьменко А.Г. Тертя та зношування деталей циліндро–поршневої групи (Огляд). Частина І/А.Г.Кузьменко,В.П.Дудчак//Проблеми трибології (Problems of tribology).–2005.–№1–С.48-54.

87. Путинцев С.В. Моделирование параметров динамики, гидродинамики и трибологии поршня двигателя внутреннего сгорания / С.В. Путинцев, С.А. Аникин, О.В. Иванов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, Спец. выпуск. – 2007. – С.150-156.

88. Кузьменко А.Г. Контактная механика и износостойкость смазанных трибосистем: монография / А. Г. Кузьменко, А. В. Дыха, О. П. Бабак.– Хмельницкий: ХНУ, 2011. – 250 с. – (Теоретическая и экспериментальная трибология: в 12 т.; т. 8 (1)).

89. Виппер А.Б. Использование модификаторов трения в моторных маслах – эффективный способ снижения потерь мощности на трение / А.Б. Виппер, В.Л. Лашхи, В.В. Кулаги // Двигателестроение. – 1980. –№9. – С. 24-25.

90. Грамолин А. В. К вопросу применения антифрикционных присадок и модификаторов трения для моторных масел / Грамолин А. В. // Грузовик, автомобиль, троллейбус, трамвай. – № 3. – 1996. – С. 12-13.

91. Путинцев С. В. Выбор зависимостей для расчета сил трения в основных сопряжениях двигателя внутреннего сгорания / С.В. Путинцев, Сун Лисинь, С.А. Аникин // Известия вузов. Машиностроение.–2002.–№4 – С.50-55.

92. Замота Т.Н. Оптимизация технологических факторов электрохимико-механической приработки (доводки) боковых поверхностей поршневых колец в соединении гильза–кольцо при ремонте тракторных и комбайновых двигателей: дисс. … кандидата тех. наук: 05.05.11 / Замота Тарас Николаевич. – Луганск, 2001. – 202 с.

93. Шаронов Г.П. Применение присадок к маслам для ускорения приработки двигателей / Шаронов Г.П. – М.–Л.: Химия, 1965. – 223 с.

94. Аулін В.В. Вплив комбінованого модифікування мастильного середовища на зміну режимів тертя в трибоспряженнях деталей / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2013. – №2 – С.13-20.

95. Погодаев Л.И. Влияние смазочных композиций с различными присадками на износостойкость трибосопряжений / Л.И. Погодаев, В.Н. Кузьмин, П.П. Дудко // Трение, износ, смазка. (Электр, ресурс). – www.tribo.ru. – 1999. – Т.1, №3. – С. 24-27.

96. Половинкин В.Н. Применение геомодификаторов трения для восстановления изношенных поверхностей узлов трения при эксплуатации / В.Н. Половинкин, В.Б. Лянной, П.Б. Аратский // Трение, износ, смазка. (Электр, ресурс), –www.tribo.ru. – 2000. – Т.2, №2.

97. Справочник по триботехнике / Под общ. ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе: В 3 т. – М.: Машиностроение, 1989.– Т. 2: Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения. – 412 с.

98. Кравец И.А., Репаративная регенерация трибосистем. – Т.: Изд-во Бережанского агротнхн. ин-та, 2003. – 284 с.

99. Мясников Б.Н. Исследование приработочных и защитных свойств присадок к маслам для приработки отремонтированных двигателей: Автореф. дис... канд. техн. наук. – Саратов, 1972. – 16 с.

100. Власенко М.В. Механізм формування мідної плівки (покриття) на тертьових поверхнях при трибохімічному процесі у спеціальній технологічній рідині // Придніпровський науковий вісник. – 1997. – №25. – С. 32-34.

101. Арабян С.Г. Масла и присадки для тракторных и комбайновых двигателей / С.Г. Арабян, А.Б. Виннер, И.А. Холомонов. – М: Машиностроение, 1984. – 208 с.

102. Быстров В.Н. Избирательный перенос при трении – новые возможности при изготовлении и использовании машин / В.Н. Быстров / Эффект безызносности и триботехнологии. – № 1. – 1992. С. 17-33.

103. Мельник З.П., Любинии И.А., Василенко И.В. Об эффективности металлоплакирующих смазок / З.П. Мельник, И.А. Любинии, И.В. Василенко // Химия и технология топлив и масел. – 1989. – №2. – С. 24-26.

104. Надійність сільськогосподарської техніки / [М.І. Черновол, В.Ю. Черкун, В.В. Аулін та ін.]; за заг. ред. М.І. Черновола. – Кіровоград: КОД, 2010. – 320 с.

105. Бурштейн Л.М., Кобяков СВ. Исследования процессов смазывания и трения поршневых колец ДВС // Двигателестроение. – 1990. – №11. – С. 56-59.

106. Аулін В.В. Вплив композиційної моторної оливи на зміну структури поверхонь тертя деталей дизеля / В.В. Аулін, В.В. Слонь, С.В. Лисенко / Зб. м-лів міжнар. наук.-практ. конф. "Ольвійський форум – 2013", 7-8 червня 2013, Миколаїв-Ялта: ЧДУ ім. П.Могили, 2013. – С.81-83.

107. Гершман И.С. Реализация диссипативной самоорганизации поверхностей трения в трибосистемах / И.С. Гершман, Н.А. Буше // Трение и износ. – 1995. – Т.16, №1. – С. 61-70.

108. Кравец И.А. Трибоэлектрохимический способ повышения износостойкости деталей / И.А. Кравец, М.И. Кузнецов, Н.Г. Макаренко, А.В. Деркач // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1991. – №5. – С. 44-45.

109. Терхунов А.Г. Исследование влияния тепломассопереноса при трении сопряженных деталей в металлоплакирующих смазочных средах / А.Г. Терхунов // Сб. долговечность трущихся деталей машин. – вып 5. – М.: Машиностроение, 1990. – С. 299-308.

110. Терхунов А.Г. Формирование оптимальной шероховатости трущихся поверхностей в медьсодержащих технологических средах / А.Г. Терхунов, Н.В. Власенко //Проблеми надійності та довговічності машин. Кіровоград, – 1996. – С. 15-19.

111. Крагельский И.В. Узлы трения машин: Справочник / И.В. Крагельский, Н.М. Михин. – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.

112. Колокатов А.М. Ускорение приработки деталей цилиндро-поршневой группы / А.М. Колокатов, А.Н. Подзоров, А.В. Соловьев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. –1998. – №9. – С. 43-45.

113. Кондратенко Б.Д. Критерии прирабатываемости основных сопряжений двигателя. Научные труды УСХА, вып.43. Механизация сельскохозяйственного производства / Б.Д. Кондратенко, Н.З. Савченко, Л.Ф. Вознюк, И.А. Кравец. – Киев: УСХА, 1971. – 4 с.

114. Костецкий Б.И. Механико-химические процессы при граничном трении / Б.И. Костецкий и др. – М.: Наука, 1972. – 170 с.

115. Костецкий Б.И. Описание динамических свойств процесса приработки / Б.И. Костецкий, О.Г. Антонов, В.И. Лаврук и др. // Научн. труды УСХА: Механизация сельскохозяйственного пр-ва, вып. 87, т. 11. – К., 1975. – С. 85-89.

116. Любарский И.М. Металлофизика трения / И.М. Любарский, Л.С. Палатник. – М.: Металлургия, 1976. – 176 с.

117. Нигаматов М.Х. Ускоренная обкатка двигателей после ремонта / М.Х. Нигаматов. –М.: Колос. –1984. – 79 с.

118. Буше Н.А. Трение, износ и усталость в машинах / Н.А. Буше. – М.: Транспорт, 1987. – 223 с.

119. Бершадский Л.И. Критерии трибологической совместимости конструкционных и смазочных материалов / Л.И. Бершадский. – Киев: Знание, 1988. – 16 с.

120. Гаркунов Д.Н. Триботехника. Износ и безызносность / Д.Н. Гаркунов. – М.: Машиностроение, 2001. – 616 с.

121. Некрасов С.С. Приработка деталей при обкатке двигателя / С.С. Некрасов и др. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1996. – №4. – С. 37-39.

122. Кравец И.А. Трибоэлектрохимическое восстановление узлов трения / И.А. Кравец, В.В. Деркач, Н.И. Кузнецов, Ю.И. Богомолов // Вестник машиностроения. – 1993. – №12. – С. 29-31.

123. Кравец И.А. Повышение износостойкости деталей на основе электролитического осаждения на трущиеся поверхности компонентов присадок к маслам / И.А. Кравец, Ю.И. Богомолов // Вестник машиностроения, № 1, М.: Машиностроение, 1984. – 3 с.

124. Беркович И.И. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения / И.И. Беркович, Д.Г. Громаковский – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2000. – 268 с.

125. Кузьменко А.Г. Дослідження взаємодії змащених поверхонь тертя. Монографія / А.Г. Кузьменко, О.В. Диха. – Хмельницький: ХНУ, 2005. – 183 с.

126. Дизели СМД: Справочник / А.М. Диденко, А.П. Сороков, В.И. Водолажкий. –М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.

127. Аулін В.В. Вплив присадок до моторних олив на характеристики дизелів, що працюють в нестаціонарних умовах експлуатації / В.В. Аулін, В.В. Слонь, Д.В. Голуб / Зб. наук. праць УДАЗТ. – 2014. – Вип. 148. – С.18-25.

128. Иванова В.С. Анализ критических точек трибосистемы на стадии приспосабливаемости с позиции синергетики / В.С. Иванова, Б.И. Семенов, Э.В. Браун // Вестник машиностроения, 1998. –№10. – С. 3-11.

129. Джус Р.Н. Про вплив електромагнітної обробки олив на їх службові характеристики / Р.Н. Джус // Зб. Наукових праць Харківського ун-ту Повітряних сил. Вип. 14, 2007. – С. 89-92.

130. Путинцев С.В. Моделирование параметров динамики, гидродинамики и трибологии поршня двигателя внутреннего сгорания / С.В. Путинцев, С.А. Аникин, О.В. Иванов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана, Спец. вып. сер. «Машиностроение». – 2007. – С.150-156.

131. Furuhama S. Measurement of piston frictional force in actual operating diesel engine / S. Furuhama, M. Takiguchi // Int. Jalirb. Tribologie. – 1981.–№6. – P. 737-742.

132. Кузьменко А.Г. Контакт, трение и износ смазанных поверхностей: монография / А. Г. Кузьменко, А. В. Дыха. – Хмельницкий: ХНУ, 2007. – 344 с.

133. Кузьмин В.Н. Работоспособность трибосопряжений при использовании смазочных композиций (СК) с добавками – минеральными модификаторами трения (ММТ) // Трение, износ, смазка, – www.tribo.ru. – Т 12. – №41. – 2009. С. 15-117.

134. Боуден Ф.П. Трение и смазка твердых тел / Ф.П. Боуден, Д. Тейбор. – М.: Машиностроение, 1968.– 503 с.

135. Крагельский И.В. Трение, изнашивание и смазка: Справочник: В 2 кн / Под ред. И.В. Крагельского. – М.: Машиностроение, 1978.

136. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1982. 624 с.

137. Погодаев Л.И. Материалы. Пары трения ДВС. Смазочные композиции / Л.И. Погодаев, В.Н. Кузьмин, П.П. Дудко // С–Пб.: Академия транспорта Российской Федерации, 2001. – 304 с.

138. Майофис И.М. Химия диэлектриков / Майофис И.М. – М.: Высшая школа. – 1970. – 320 с.

139. Сафонов В.В. Повышение долговечности мобильных сельскохозяйственных машин путем улучшения процесса обкатки дизелей и применения металлосодержащих смазочных композиций в условиях эксплуатации: автореф. дис. на соискание ученой д-ра техн. наук: спец. 05.20.03. / В.В. Сафонов. – Саратов, 1999. – 51 с.

140. Григоров А.Б. Изменение диэлектрической проницаемости дизельных моторных масел в эксплуатации / А.Б. Григоров, П.В. Карножицкий, И.С. Наглюк // Автомобильный транспорт. – Х.: ХНАДУ. – 2007. – № 20. – С. 95-97.

141. Диканский Ю.И. О магнитной проницаемости магнитодиэлектрической эмульсии / Ю.И. Диканский, А.Р. Закинян, Н.Ю.

Константинова // Журнал технической физики. – 2008. – том 78. – вып. 1 – С 21-26.

142. Бибик Е.Е. Реология дисперсных систем / Е.Е. Бибик. – Л.: Изд-во Ленингр. Ун-та, 1981. – 172с.

143. Рейнер М. Реология / М. Рейнер. Пер. с англ. Н.И. Малинина, под. ред. Є.И. Григолюка. – М.: Наука, 1965. – 223с.

144. Классен В.И. Омагничивание водных систем / В.И. Классен. – М: Химия, 1982. – 196 с.

145. Аметов В.А. Активация моторного масла магнитным полем / [В.А. Аметов, Ю.С. Саркисов, П.П. Горленко и др] // Автомобильная промышленность. – 2006. – №6. – С. 31-34.

146. Болотов А.Н. Роль магнитного поля при трении поверхностей, смазываемых магнитным маслом / А.Н. Болотов, Н.В. Лочагин, Ю.О. Михалев // Трение и износ. – т.9. –№5 . – С. 870-877.

147. Кравец И.А. Стабилизация эксплуатационных свойств органических масел для газотурбинных двигателей методом воздействия внешним электромагнитным полем. / И.А. Кравец, И.Л. Трофимов, Е.Л. Матвеева, В.В. Бурыкин. // Проблеми тертя та зношування: Наук. – техн. зб. – К.: НАУ, 2006. – Вип. 46. – С. 201-209.

148. Пивоварова Н.А. Влияние постоянного магнитного поля на парамагнитную активность нефтяных систем / Н.А. Пивоварова, Ф.Г. Унгер, Б.И. Туманян // Химия и технология топлив и масел. – 2002.–№ 6.– С. 30-32.

149. Третьяков И.Г. Влияние электромагнитной обработки на противоизносные свойства индивидуальных углеводородных соединений. Вопросы авиационной химмотологии / И.Г. Третьяков, Ю.И. Короленко // Межвуз. сб., ВЫП.2. Киев, 1978. – С.141-144.

150. Трошін О.М. Про вплив електромагнітної обробки олив на їх службові характеристики / О.М. Трошін, Р.М. Джус // Радіотехніка, радіолокація, електроніка зв'язок. Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. – вип. 2(14), 2007. – С. 89-92.

151. Рейнер М. Реология / М. Рейнер. – Пер. с англ. – М.: Наука, 1965. – 223 с.

152. Аулін В.В. Динамічна адаптація спряжень деталей до умов експлуатації з реалізацією процесів самоорганізації / В.В. Аулін / М-ли II міжнар. наук.-техн. конф.: "Актуальні проблеми інженер. механіки", 22-24 жовтня 2012р.–Миколаїв:НУК,2012.–С73-74.

153. Аулін В.В. Основні синергетичні компоненти прояву різних форм самоорганізації в триботехнічних системах / В.В. Аулін / Зб. м-лів міжнар. наук.-практ. конф. "Ольвійський форум - 2012 ", 6-10 червня 2012, – Ялта., т. 12. – С.60-62.

154. Аулін В.В. Підвищення надійності трибосистем реалізацією процесів самоорганізації / В.В. Аулін // М-ли III міжнар. наук.-техн. конф.: "Сучасні проблеми триботехніки", 7-9 жовтня 2009р. – Миколаїв: НУК, 2009.-С 15-17.

155. Аулін В.В. Системно-спрямований підхід та синергетична концепція реалізації процесів і станів самоорганізації матеріалів елементів, робочих та технологічних середовищ триботехнічних систем / В.В. Аулін, О.В. Кузик // Зб. наук. праць КНТУ/ Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобуд., автоматизація, вип. 27. – Кіровоград, 2014. – С.78-87.

156. Арсентьева И.П. Процессы самоорганизации при формировании и консолидации наночастиц металлических порошков/И.П.Арсентьева и др.//Фракталы и прикладная синергетика. Труды межд. междисцип. симпозиума ФиПС-03.–М.:Изд-во МГОУ,2003.–С.281–284.

157. Шульман З.П. Магнито-реологический эффект / З.П. Шульман, В.И. Кордонский. – Мн.: Наука и техника, 1982. – 184 с.

158. Аулин В.В. Влияние комбинированного физико-химического модифицирования моторного масла на изменения момента трения и потребляемой мощности в сопряжениях образцов и деталей / В.В. Аулин//Трение и смазка в машинах и механизмах,2014.–№2.–С.21-28.

159. Аулин В.В. Изменение режимов трения в сопряжениях цилиндро-поршневой группы дизелей при физико-химическом модифицировании моторного масла / В.В. Аулин // Трение и смазка в машинах и механизмах, 2014. – №3. – С.3-9.

160. Аулин В.В. Триботехнология восстановления деталей мобильной с.-х. и транспортной техники модификацией моторного масла фуллеренсодержещим составом / В.В. Аулин, А.Д. Деркач, А.И. Буря, Д.А. Макаренко, Г.Я. Мищенко // Тракторы и сельхоз машины, 2014. – №4. – С. 26-29.

161. Скрипов В.П. Метастабильная жидкость / В.П.Скрипов. – М.: Наука,1972.–342с.

162. Глаголев К.В. Физическая термодинамика / К.В.Глаголев, А.Н.Морозов. – М.: МГТУ им. Баумана, 2004. – 272 с.

163. Меден А.И. Распределение потерь в элементах шатунно-поршневой группы дизеля / А.И. Меден // Развитие комбинированных двигателей внутреннего сгорания. – М.: Машиностроение, 1974.–С.41-62.

164. Мишин И.А. Долговечность двигателей – 2–е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1976. – 288 с.

165. Петриченко Р.М. Трение и теплопередача в поршневых кольцах двигателей внутреннего сгорания: Справочное пособие / Р.М. Петриченко, М.Р. Петриченко, А.Б. Канищев и др.; Под ред. Р.М. Петриченко. – Л.: ЛГУ, 1990. – 248 с.

166. Klamecki B.E. Thermodynamic model of friction // Wear. – 1998. – Vol.63, №2. – P. 113-120.

167. Путинцев С. В. Моделирование и расчет затрат мощности на преодоление трения в подшипниках коленчатого вала поршневого двигателя / С. В. Путинцев, С.А. Аникин, Сун Лисинь // Известия вузов. Машиностроение. – 2004. – №3 – С.23-31.

168. Погодаев Л.И. Износостойкость пар трения серый чугун-гальваническое хромовое покрытие при использовании смазочных композиций с различными присадками / Л.И. Погодаев, В.Н. Кузьмин, П.П. Дудко // Трение, износ, смазка. (Электр, ресурс). – www.tribo.ru. – 2000. – Т.2, №3. – С. 17-20.

169. Путинцев СВ. Результаты триботехнических испытаний смазочных композиций для ДВС / С.В. Путинцев, Р.А. Галата, В.И. Беклемышев // Известия вузов. Машиностроение. – 2000. – №3. – С. 51-56.

170. Триботехника магнитопассивных опор скольжения: монография / А.Н. Болотов, В.Л. Хренов. Тверь: ТГТУ, 2008. – 124с.

171. Davis F.A., and Eyre T.S. The effect of friction modifire on piston ring and cylinder bore friction and wear. Tribology International, Vol.23, 1990, P. 163-172.

Список використаних джерел до розділу 4

1. Аметов В.А. Повышение эксплуатационной надежности агрегатов автотранспортных средств путем контроля и модифицирования смазочного масла: дис. ... д-ра техн. наук: спец. 05.22.10 / В.А. Аметов. – Тюмень, 2006. – 382 с.

2. Аратский П.Б. Сравнительные исследования влияния присадок к смазочным маслам на показатели трения и износа узлов ДВС / П.Б. Аратский, А.Г. Капсаров // Двигателестроение. – 1999. – №2. – С. 30-31.

3. Галата Р.А. Снижение потерь в ЦПГ двигателя внутреннего сгорания применением антифрикционных присадок к моторному маслу: Дис. канд. техн. наук: спец. 05.04.02 "Тепловые двигатели" / Р.А. Галата. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 133 с.

4. Некрасов С.С. Использование антифрикционных присадок для улучшения эксплуатационных свойств моторного масла / С.С. Некрасов, С.В. Стребков // Двигателестроение. – 1991. – № 8-9. – С. 50-59.

5. Аулін В.В. Вплив присадок до моторних олив на характеристики дизелів, що працюють в нестаціонарних умовах експлуатації / В.В. Аулін, В.В. Слонь, Д.В. Голуб / Зб. наук. праць УДАЗТ. – 2014. – Вип. 148. – С.18-25.

6. Берёзина Е.В. Самоорганизация присадок в граничном смазочном слое трибосопряжений машин: автореф. дисс. на соискание науч. степени д-ра техн. наук: спец. 05.02.04 "Трение и износ в машинах" / Е.В. Берёзина. – Иваново: ИГУ, 2007. – 461 с.

7. Куцев А.В. Повышение эффективности действия моюще-диспергирующих присадок в моторных маслах: автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.17.07 "Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ"/А.В. Куцев. – Москва, 2010 – 25с.

8. Cotton E. A. Chemical applications of group theory. Third edition / E.A.Cotton. – N. Y.: Wiley, 1990. – 461 p.

9. Шор Г.И. Механизм действия и экспресс-оценка качества масел с присадками / Г.И. Шор. – М.: ЦНИИТЭ нефтехим, 1996. – 109 с.

10. Лисіков Є.М. Підвищення ресурсу трибосполучень технічних систем шляхом впливу електростатичного поля на мастильні матеріали / Є.М. Лисіков // Техніка та технологія виконання будівельних, колійних та перевантажувальних робіт на транспорті: Зб. наук. праць. Вип.58. – Харків: УкрДАЗТ, 2004. – С.5-10.

11. Аксьонов О.Ф. Методологія визначення протиспрацьовувальних властивостей мастил за критеріями трибохарактеристик утворюваних у них вторинних структур / О.Ф. Аксьонов, О.У. Стельмах, С.П. Шимчук та ін. // Вісник НАУ. – 2006. – №2. – С. 62–64.

12. Заславский Г.М. Слабый хаос и квазирегулярные структуры / Г.М.Заславский и др. – М.: Наука, 1991. – 240 с.

13. Кравчик К.О динамических и статических структурах в зоне трения / К. Кравчик // Вестник ДГТУ. – 2002. – Т.2, №1(11). – С.77-79.

14. Аулін В.В. Обґрунтування поведінки молекул мастильного середовища та формування його шару на поверхні елементів триботехнічних систем / В.В. Аулін, С.В. Лисенко / Зб. тез матеріалів міжнар. наук.-практ. конф."Ольвійський форум – 2014", 4-7 червня 2014, Миколаїв: ЧДУ ім. Петра Могили, 2014. – С.17-19.

15. Подкатилов К.Е. Динамические исследования рабочих органов культиваторов повышенной прочности и износостойкости с нижним и верхним упрочнением твердыми сплавами. автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук / К.Е. Подкатилов. – Ростов-на-Дону. – 1969.– 21 с.

16. Уилкинсон У.Л. Неньютоновские жидкости. Гидромеханика, перемешивание и теплообмен / У.Л. Уилкинсон. – Пер. с англ. – М.: Мир, 1964. – 216 с.

17. Аулін В.В. Неньютонівський характер властивостей моторних олив / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик / Зб. м-лів міжнар. наук.-практ. конф. "Ольвійський форум 2011", 8-12 червня 2011 – Ялта. – С.48-49.

18. Леванов И.Г. Методика расчета сложнонагруженных подшипников скольжения, работающих на неньютоновских маслах: автореф. дисс. канд. техн. наук: спец. 05.02.02 "Машиноведение системных приводов и детали машин"/И.Г. Леванов. –Челябинск, 2011. – 20 с.

19. Аулін В.В. Вплив модифікуючих фізичних полів на структуру та реологічні властивості композиційної моторної оливи / В.В. Аулін // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2012. – №4 – С.28-33.

20. Кравчик К. Трибологическая идентификация самоорганизации при трении со смазкой: дисс. ... доктор. техн. наук: спец. 05.02.04 "Трение и износ в машинах" / К. Кравчик. – Ростов-на-Дону, 2000. – 279 с.

21. Кужаров А.С. Координационная трибохимия избирательного переноса: дисс. ... доктор. техн. наук: спец. 05.02.04 "Трение и износ в машинах" / А.С.Кужаров. – Ростов-на-Дону: РИИСХ, 1991. – 513 с.

22. Аулин В.В. Влияние комбинированного физико-химического модифицирования моторного масла на изменения момента трения и

потребляемой мощности в сопряжениях образцов и деталей / В.В. Аулин//Трение и смазка в машинах и механизмах,2014.–№2.–С.21-28.

23. Аулін В.В. Фізико-хімічні основи взаємодії олив із робочою поверхнею деталей / В.В. Аулін, С.В. Лисенко / Зб. м-лів міжнар. наук.-практ. конф"Ольвійський форум -2013", 7-8 червня 2013, Миколаїв-Ялта: ЧДУ ім. Петра Могили, 2013. – С.61-63.

24. Аулін В.В. Характеристики спрацювання деталей дизелів МСГТ та підвищення їх зносостійкості на основі комбінованого модифікування моторної оливи / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, В.М. Лисенко // М-ли IX-ї Міжнар. наук.-практ. конф."Проблеми конструювання, вироб. та експлуатації СГТ", вип. 1.– Кіровоград: КНТУ, 2013. – С. 181-184.

25. Аулін В.В. Вплив комбінованого модифікування мастильного середовища на зміну режимів тертя в трибоспряженнях деталей / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2013. – №2 – С.13-20.

26. Аулін В.В. Фізичні основи процесів і станів самоорганізації в триботехнічних системах: монографія / В.В. Аулін. – Кіровоград: Вид. Лисенко В.Ф., 2014. – 370 с.

27. Аулін В.В. Зміна властивостей оливи при електотрибохімічному відновленні робочих поверхонь деталей дизелів / В.В. Аулін, М.Ф. Семенюк, С.В. Лисенко, О.В. Кузик // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2009. – №1 – С.68-70.

28. Аулін В.В. Теоретичне обґрунтування зміни режимів тертя в циліндро-поршневій групі ДВЗ/В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик//Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2010. – №3 – С.46-54.

29. Аулін В.В. Теоретико-фізичний підхід до діагностичної інформації про технічний стан агрегатів мобільної сільськогосподарської техніки / В.В. Аулін, С.В.Лисенко, Д.В. Голуб, А.В. Гриньків, О.Д. Мартиненко / Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства: Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві. – 2015. – Вип. 158. – С.152-162 .

30. Спирин Е.Н. Повышение эксплуатационной надежности строительных и дорожных машин путем модифицирования смазочных материалов: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.05.04 "Дорожные, строительные и подъемные транспортные машины" / Е.Н. Спирин. – Томск: ТГАСУ, 2006. – 134 с.

31. Аулін В.В. Вплив модифікування композиційних моторних олив магнітним полем на триботехнічні характеристики робочих поверхонь деталей / В.В. Аулін, О.В. Кузик, О.Д. Мартиненко // Вісник ХНТУСГ /Вип. 118. Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосп. машинобуд. – Харків. – 2011. – С.268-273.

32. Аулін В.В. Закономірності зміни концентрації хімічних елементів в моторній оливі автомобілів, працюючих в нестаціонарних умовах експлуатації

при додаванні присадок / В.В. Аулін, В.В. Слонь, Д.В. Голуб // Автомобильный транспорт. 2014. – Вып. 34. –С.22-27.

33. Аулін В.В. Зміна фізико-хімічних показників моторної оливи дизелів автосамоскидів в процесі експлуатації / В.В. Аулін, В.В. Слонь, О.В. Кузик // Зб. наук. праць КНТУ/ Техніка в сільськогосп. виробн., галузеве машинобуд., автоматизація/– вип. 25., Ч.1 – Кіровоград: КНТУ, 2012. – С. 98-103.

34. Рейнер М. Реология / М. Рейнер. – Пер. с англ. – М.: Наука, 1965. – 223 с.

35. Шевеля В.В. Трибохимия и реология износостойкости: монография / В. В. Шевеля, В. П. Олександренко. – ХНУ, 2006. – 278 с.

36. Шульман З.П. Магнито-реологический эффект / З.П. Шульман, В.И. Кордонский. – Мн.: Наука и техника, 1982. – 184 с.

37. Бибик Е.Е. Реология дисперсных систем / Е.Е. Бибик. – Л.: ЛУ, 1981. – 172 с.

38. Бурлакова В.Э. Трибоэлектрохимия эффекта безызносности: автореф. дисс. на соиск. уч. степени д-ра. техн. наук: спец. 05.02.04 "Трения и износ в машинах", 02.00.04. Физическая химия"/В.Э. Бурлакова. – Ростов-на-Дону, 2006 – 42 с.

39. Аулін В.В. Характер зміни триботехнічних характеристик спряжень дизелів при їх роботі в різних режимах / В.В. Аулін, В.В. Слонь, С.В. Лисенко // Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2013. – №3 – С.89-96.

40. Войтов В.А. Моделювання процесів тертя та зношування у трибосистемах гідромашин як основа рішення задач проектування: Автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.02.04 / В.А. Войтов; Технол. ун-т Поділля. – Хмельницький, 1999. – 35 с.

41. Войтов В.А. Принципи конструктивної стійкості вузлів тертя гідромашин проти спрацювання: монографія. / В.А. Войтов, О.М. Яхно, Ф.Х. Алі Сааб. – К.: 1999. – 192 с.

42. Джус Р.Н. Про вплив електромагнітної обробки олив на їх службові характеристики / Р.Н. Джус // Зб. Наукових праць Харківського ун-ту Повітряних сил. Вип. 14, 2007. – С. 89-92.

43. Ландау Л.Д. Электродинамика сплошных сред / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1982. – 624 с.

44. Сканави Г.И. Физика диэлектриков (Область слабых полей) / Г.И. Сканави. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 253 с.

45. Кравец И.А. Репаративная регенерация трибосистем / И.А. Кравец. – Т.: Изд-во Бережанского агротнхн. ин-та, 2003. – 284 с.

46. Матюхин С.И. Измерение краевого угла смачивания как метод исследования адгезионных свойств поверхности и энергетического состояния молекул на границе раздела двух фаз / С.И. Матюхин. К.Ю. Фроленков // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2003. – Т.5, №2. – С.216-220.

47. Быстров В. Н. Избирательный перенос при трении – новые возможности при изготовлении и использовании машин / В.Н.Быстров // Эффект безызносности и триботехнологии. – № 1. – 1992. – С. 17-33.

48. Кравець І.А. Аналіз впливу електромагнітного поля на властивості і пально-мастильних матеріалів / І.А. Кравець, К. Бондаренко // Матеріали міжнародної конференції" Політ-2004": Київ, НАУ, 2004 – С..123-126.

49. Куксенова Л. И. Смазочные материалы и явление избирательного переноса при трении / Л. И. Куксенова, А. А. Поляков, Л. М. Рыбакова // Вестник машиностроения.–1990. – №1. – С. 35-40.

50. Александров Е.Е. Повышение ресурса технических систем путём использования электрических и магнитных полей: монография / Е.Е. Александров, И.А. Кравец, Е.П. Лысиков и др. – Х.: НТУ "ХПИ", 2006. – 544 с.

51. Аулін В.В. Триботехнічне відновлення протягом строку служби дизелів/В.В. Аулін, С.В. Лисенко, В.М. Лисенко // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2007. – №2 (44) – С. 60-62.

52. Трошін О.М. Про вплив електромагнітної обробки олив на їх службові характеристики / О.М. Трошін, Р.М. Джус // Зб. наук. праць Харківського університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. – вип. 2(14), 2007. – С. 89-92.

53. Сафонов В.В. Повышение долговечности мобильных сельскохозяйственных машин путем улучшения процесса обкатки дизелей и применения металлосодержащих смазочных композиций в условиях эксплуатации: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук; 05.20.03. – Саратов, 1999. – 51 с.

54. Усов П.П. Теоретическое исследование влияния шероховатости поверхности на несущую способность слоя смазки / П.П. Усов // Машиноведение. – 1984. – №1. – С. 92-100.

55. Алексеев В.П. Электрохимико-механическая макроприработка деталей. монография / В.П. Алексеев. – Луганск: Элтон-2, 2011 – 204 с.

56. Замота Т.Н. Закономерности приработки деталей различных типов сопряжений / Т.Н. Замота, В.В. Аулин / Зб. матеріалів міжнар. наук.-практ. конф. "Ольвійський форум 2012 ", 6-10 червня 2012, Ялта., т. 12. – С.69-72.

57. Аулин В.В. Изменение режимов трения в сопряжениях цилиндро-поршневой группы дизелей при физико-химическом модифицировании моторного масла / В.В. Аулин // Трение и смазка в машинах и механизмах, 2014. – №3. – С.3-9.

58. Путинцев С.В. Механизм потери в поршневых двигателей: специальные главы конструирования, расчет и испытания / С.В. Путинцев. – М.: МГТУ, 2011. –288с.

59. Mishra R.K. On self-organization. An interdisciplinary search for a unifying principle / R.K.Mishra, D.Maas, E.Zwielein (Eds). – SpringerVerlag, 1994.

60. Аулін В.В. Вплив режимів тертя в основних сполученнях деталей на механічні втрати в ДВЗ / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик // Вісник інженерної академії України. – 2011. – №2. – С. 200-204.

61. Гогайзель А.В. Математическая модель снижения потери работоспособности системы смазки двигателя / А.В.Гогайзель// Вестник ХНАДУ. – Харьков: РИО ХНАДУ, 2001. – вып. 15-16. – С. 43-46.

Список використаних джерел до розділу 5

1. Гуляев А.П. Металловедение / А.П. Гуляев. – М.: Металлургия, 1978. – 647 с.

2. Любарский И.М. Металлофизика трения / И.М. Любарский, Л.С. Палатник. – М.: Металлургия, 1976. – 176 с.

3. Терхунов А.Г. Исследование влияния тепломассопереноса при трении сопряженных деталей в металлоплакирующих смазочных средах / А.Г. Терхунов // Сб. долговечность трущихся деталей машин. – вып 5. – М.: Машиностроение, 1990. – С. 299-308.

4. Беркович И.И. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения / И.И.Беркович, Д.Г. Громаковский. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2000. – 268 с.

5. Гаркунов Д.Н. Триботехника. Износ и безызносность / Д.Н. Гаркунов. – М.: Машиностроение, 2001. – 616 с.

6. Горячева И.Г. Механизм формирования шероховатости в процессе приработки / И.Г. Горячева, М.Н. Добычин // Трение и износ. – 1982. – т.3. – №4. – С. 632-642.

7. Киреенко О.Ф. Структурно-масштабная модель безызносности при трении металлических поверхностей / О.Ф. Киреенко // Физика дефектов поверхностных слоев материалов. – Л.: Физ.-техн. ин-т, 1989. – С. 82-88.

8. Костецкий Б.И. О роли вторичных структур в формировании механизмов трения, смазочного действия и изнашивания / Б.И. Костецкий // Трение и износ. – 1980. – т.1, №4. – С. 622-637.

9. Боуден Ф.П. Трение и смазка твердых тел / Ф.П. Боуден, Д. Тейбор / Пер. с англ. Под. ред. И.В. Крагельского. – М.: Машиностроение, 1968. – 542 с.

10. Аулін В.В. Зміна фізико-хімічних показників моторної оливи дизелів автосамоскидів в процесі експлуатації / В.В. Аулін, В.В. Слонь, О.В. Кузик // Зб. наук. праць КНТУ/ Техніка в сільськогосп. виробн., галузеве машинобуд., автоматизація/– вип. 25., Ч.1 – Кіровоград: КНТУ, 2012. – С. 98-103.

11. Пат. 88977 Україна, МПК (2014) G01M 13/00. Спосіб припрацювання трибоспряжень / Аулін В.В., Замота Т.М., Слонь В.В., Голуб Д.В.; заявник і патентоотримувач КНТУ. – №u201312052; заявл. 14.10.2013; опубл. 10.04.2014; Бюл.№ 7.

12. Аулін В.В. Вплив композиційної моторної оливи на зміну структури поверхонь тертя деталей дизеля / В.В. Аулін, В.В. Слонь, С.В. Лисенко / Зб. м-лів міжнар. наук.-практ. конф. "Ольвійський форум – 2013", 7-8 червня 2013, Миколаїв-Ялта: ЧДУ ім. П.Могили, 2013. – С.81-83.

13. Аулін В.В. Експрес-оцінка впливу моторних олив і присадок до них на характеристики зносу робочих поверхонь деталей двигунів вантажних

автомобілів / В.В. Аулін, В.В. Слонь, С.В. Лисенко // Вісник інж. академії України. – 2013. – №2. – С. 166-170.

14. Аулин В.В. Влияние комбинированного физико-химического модифицирования моторного масла на изменения момента трения и потребляемой мощности в сопряжениях образцов и деталей / В.В. Аулин//Трение и смазка в машинах и механизмах,2014.–№2.–С.21-28.

15. Пат. 9496 Україна, МПК 7 B23 H 9/00, F 02 B 79/00. Спосіб припрацювання механізму / Аулін В.В., Лисенко С.В.; заявник і патентоотримувач КНТУ. – №а200500192; заявл. 10.01.2005; опубл. 15.09.2005; Бюл.№ 9.

16. Диха О.В. Методи контактної трибомеханіки мастильних шарів і моделі зношування при граничному терті: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня д-ра техн. наук: 05.02.04 "Тертя та зношування в машинах" – 2009. – 36 с.

17. Кузьменко А.Г. Дослідження зносоконтактної взаємодії змащених поверхонь тертя: монографія / А. Г. Кузьменко, О. В. Диха. – Хмельницький: ХНУ, 2005. – 183 с.

18. Кузьменко А.Г. Контактная механика и износостойкость смазанных трибосистем: монография / А. Г. Кузьменко, А. В. Дыха, О. П. Бабак.– Хмельницкий: ХНУ, 2011. – 250 с. – (Теоретическая и экспериментальная трибология: в 12 т.; т. 8 (1)).

19. Аулин В.В. Технологии триботехнического восстановления изношенных поверхностей деталей с использованием композиционного масла и воздействия физических полей / В.В.Аулин, С.В.Лысенко // Проблемы автомоб.-дорожного комплекса России: Эксплуатация и развитие автомоб. транспорта [Текст]:м-лы X междунар.заочн.науч.-техн. конф. 21 ноября 2013 г., Пенза. – Пенза: ПГУАС,2013. – С.7-16.

20. Аулін В.В. Триботехнічне відновлення протягом строку служби дизелів/В.В. Аулін, С.В. Лисенко, В.М. Лисенко // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2007. – №2 (44) – С. 60-62.

21. Аулін В.В. Теоретичне обґрунтування зміни режимів тертя в циліндро-поршневій групі ДВЗ/В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик//Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2010. – №3 – С.46-54.

22. Аулін В.В. Характер зміни триботехнічних характеристик спряжень дизелів при їх роботі в різних режимах / В.В. Аулін, В.В. Слонь, С.В. Лисенко // Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2013. – №3 – С.89-96.

23. Аулін В.В. Характеристики спрацювання деталей дизелів МСГТ та підвищення їх зносостійкості на основі комбінованого модифікування моторної оливи / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, В.М. Лисенко // М-ли IX-ї Міжнар. наук.-практ. конф."Проблеми конструювання, вироб. та експлуатації СГТ", вип. 1.– Кіровоград: КНТУ, 2013. – С. 181-184.

24. Замота Т.Н. Развитие площади пятна контакта при макроприработке поверхностей трения / Т.Н. Замота, В.В. Аулин // Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2012. – №1 – С.9-13.

25. Замота Т.Н. Улучшение шероховатости прирабатываемых поверхностей деталей (Improvement of roughness at running in surfaces of details) / Т.Н. Замота, В.В. Аулин, А.П. Кравченко / М-лы XVI междунар. научн.-техн. конф. "Транспорт, экология – устойчивое развитие", ЕКО Варна, Болгария, 20-22 мая 2010 г. – С. 607-613.

26. Аулін В.В. Вплив мастильного середовища на зміну структурного стану при поверхневих шарів матеріалу деталей у зоні тертя/В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик // Зб. м-лів міжнар. наук.-практ. конф. "Ольвійський форум – 2010", 11-15.06.2010, Ялта. – С.37-38.

27. Аулін В.В. Вплив модифікування композиційних моторних олив магнітним полем на триботехнічні характеристики робочих поверхонь деталей / В.В. Аулін, О.В. Кузик, О.Д. Мартиненко // Вісник ХНТУСГ /Вип. 118. Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосп. машинобуд. – Харків. – 2011. – С.268-273.

28. Аулін В.В. Зміна стану зон тертя деталей машин та динамічне трибоматеріалознавство їх поверхневих шарів / В.В. Аулін, О.В. Кузик // Зб. наук. праць КНТУ. Техніка в СГВ, галузеве машинобуд., автомат. – Вип.26. – Кіровоград, 2013. –С.32-40.

29. Берёзина Е.В. Самоорганизация присадок в граничном смазочном слое трибосопряжений машин: автореф. дисс. на соискание науч. степени д-ра техн. наук: спец. 05.02.04 "Трение и износ в машинах" / Е.В. Берёзина. – Иваново: ИГУ, 2007. – 461 с.

30. Кравец И.А. Репаративная регенерация трибосистем / И.А.Кравец. – Тернополь: Бережанский агротехн. ин-т, 2003. – 284 с.

31. Кужаров А.С. Координационная трибохимия избирательного переноса: дисс. ... доктор. техн. наук: спец. 05.02.04 "Трение и износ в машинах" / А.С.Кужаров. – Ростов-на-Дону: РИИСХ, 1991. – 513 с.

32. Аулін В.В. Вплив модифікуючих фізичних полів на структуру та реологічні властивості композиційної моторної оливи / В.В. Аулін // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2012. – №4 – С.28-33.

33. Подкатилов К.Е. Динамические исследования рабочих органов культиваторов повышенной прочности и износостойкости с нижним и верхним упрочнением твердыми сплавами. автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук / К.Е. Подкатилов. – Ростов-на-Дону. – 1969.– 21 с.

34. Аулін В.В. Закономірності зміни концентрації хімічних елементів в моторній оливі автомобілів, працюючих в нестаціонарних умовах експлуатації при додаванні присадок / В.В. Аулін, В.В. Слонь, Д.В. Голуб // Автомобильный транспорт. 2014. – Вып. 34. –С.22-27.

35. Аулін В.В. Фізичні основи процесів і станів самоорганізації в триботехнічних системах: монографія / В.В. Аулін. – Кіровоград: Вид. Лисенко В.Ф., 2014. – 370 с.

36. Берёзина Е.В. Самоорганизация присадок в граничном смазочном слое трибосопряжений машин: автореф. дисс. на соискание науч. степени д-ра техн. наук: спец. 05.02.04 "Трение и износ в машинах" / Е.В. Берёзина. – Иваново: ИГУ, 2007. – 461 с.

37. Бурлакова В.Э. Трибоэлектрохимия эффекта безызносности: автореф. дисс. на соиск. уч. степени д-ра. техн. наук: спец. 05.02.04 "Трения и износ в машинах", 02.00.04. Физическая химия"/В.Э. Бурлакова. – Ростов-на-Дону, 2006 – 42 с.

38. Кравчик К. Трибологическая идентификация самоорганизации при трении со смазкой: дисс. ... доктор. техн. наук: спец. 05.02.04 "Трение и износ в машинах" / К. Кравчик. – Ростов-на-Дону, 2000. – 279 с.

39. Терновая Т.В. Новые, искусственно организованные трибоструктуры в смазочной среде, обеспечивающие режим безызносного граничного трения / Т.В. Терновая// Проблеми трибології (Problems of tribology). – 2007. – №1. – С.47-54.

40. Введение в физику поверхности / [К. Оура, В.Г. Лифинов, А.А. Саранин и др.]: ин-т. автоматики и процессов управл. ДВО РАН. – М.: Наука, 2006. – 490с.

41. Машков Ю.К. Трение и модифицирование материалов трибосистем / Ю.К. Машков, К.Н. Полещенко, С.Н. Поворознюк, П.В. Орлов. – М.: Наука, 2000. – 280 с.

42. Гершман И.С. Реализация диссипативной самоорганизации поверхностей трения в трибосистемах / И.С. Гершман, Н.А.Буше//Трение и износ.–1995.–Т.16,№1.–С.61-70.

43. Алтоиз Б.А. Физика приповерхностных слоев / Б.А.Алтоиз, Ю.М.Поповский. – Одесса: Астропринт, 1995. – 153 с.

44. Аулін В.В. Зміна властивостей оливи при електотрибохімічному відновленні робочих поверхонь деталей дизелів / В.В. Аулін, М.Ф. Семенюк, С.В. Лисенко, О.В. Кузик // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2009. – №1 – С.68-70.

45. Аулін В.В. Обґрунтування поведінки молекул мастильного середовища та формування його шару на поверхні елементів триботехнічних систем / В.В. Аулін, С.В. Лисенко / Зб. тез матеріалів міжнар. наук.-практ. конф."Ольвійський форум – 2014", 4-7 червня 2014, Миколаїв: ЧДУ ім. Петра Могили, 2014. – С.17-19.

46. Мельник З.П. Об эффективности металлоплакирующих смазок / З.П. Мельник, И.А. Любинии, И.В. Василенко // Химия и технология топлив и масел. – 1989. –№2.–С.24–26.

47. Ребиндер П.А. Поверхносные явления в дисперсных. Физико-химическая механика /П.А. Ребиндер, Избраные труди. М.:Наука, 1979. - 384с.

48. Григоров А.Б. Диэлектрическая проницаемость как комплексный показатель, характеризующий изменение качества моторных масел в процессе их эксплуатации / А.Б. Григоров, П.В. Карножицкий, С.А. Слободской // Вестник нац. техн. университета "ХПИ". – Х.: НТУ "ХПІ". – 2006. – №25. – С. 169-175.

49. Владимиров В.И. Проблемы физики трения и изнашивания / В.И. Владимиров В.И. // Трение, износ, смазка, www.trbo.ru. – 2008. – Т.10, №2. – С.7-31.

50. Кукоз Ф.И. Трибоэлектрохимия / Ф.И. Кукоз, В.Ф. Кукоз.– Новочеркасск,2003.– 399 с.

51. Ландау Л.Д. Электродинамика сплошных сред / Л.Д. Ландау Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1982. – 624 с.

52. Марков А.А. Изменение работы выхода электрона при трении / А.А. Марков. / В кн. "Электр. явления при трении, резании и смазке твердых тел". – М.:Наука,1973.–С.28-34.

53. Билякович О.Н. Структура и свойства модифицированных поверхностных слоев трибосопряжений, сформированных в условиях граничного режима смазки / О.Н. Билякович,Е.В.Богайская//Вестник двигателестроения:Научн.-техн. ж-л.–2010.–№2.–С.13-17.

54. Мышкин Н.К. Трение, смазка, износ. Физические основы и технические приложения трибологии. / Н.К. Мышкин, М.И. Петроковец. – М.: Физматлит, 2007. – 368 с.

55. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичинадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун и др. под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение,2003.–576с.

56. Ширяева С.О. О возникновении неустойчивости заряженной поверхности жидкости / С.О.Ширяева и др. // Журн. технической физики. – 1995. – Т.65, № 11. – С. 41-51.

57. Горячева И.Г. Механика фрикционного взаимодействия: монография /И.Г. Горячева. – М.: Наука, 2001. – 478 с.

58. Сорокатый Р.В. Метод трибоэлементов: монография / Р.В. Сорокатый. – Хмельницкий: ХНУ, 2009. – 242 с.

59. Аулін В.В. Обґрунтування природи і характеристик явищ зношування поверхневих шарів трибоелементів з трибофізичної точки зору / В.В. Аулін, О.В. Кузик, С.В. Лисенко / Зб. тез матеріалів міжнар. наук.-практ. конф. "Трибологія, енерго- та ресурсозбереження" яка проводилась в рамках "Ольвійського форуму - 2015", 3-6 червня 2015, Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2015. – С. 5-7.

60. Аулін В.В. Вплив комбінованого модифікування мастильного середовища на зміну режимів тертя в трибоспряженнях деталей / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, О.В. Кузик // Проблеми трибології (Problems of tribology). – Хмельницький: ХНУ. – 2013. – №2 – С.13-20.

61. Сафонов В.В. Повышение долговечности мобильных сельскохозяйственных машин путем улучшения процесса обкатки дизелей и

применения металлосодержащих смазочных композиций в условиях эксплуатации: автореф. дисс. на соискание ученой степени д-ра. техн. наук: спец. 05.20.03. "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" / В.В. Сафонов. – Саратов, 1999. – 51 с.

62. Бибиков Ю.Н. Многочастотные нелинейные колебания и их бифуркации / Ю.Н.Бибиков. – Л.: ЛГУ, 1991. – 144 с.

63. Семенов В.С. Режим смазки пары трения поршневое кольцо цилиндровая втулка ДВС / В.С. Семенов // Двигателестроение. – 1991. – № 10-11. – С. 19-23.

64. Аулін В.В. Дослідження стану зміцнених поверхневих шарів матеріалів за коерцитивною силою / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький, В.Б. Батєхін та ін. //Проблеми трибології (Problems of tribology).–Хмельницький:ХНУ.–2006.–№2–С.80-87.

65. Аулін В.В. Дослідження стану поверхневих шарів деталей триботехнічних систем коерцитиметричним методом / В.В. Аулін // Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький. ХНУ, 2014. – №3 – С.103-110.

Наукове видання

Аулін Віктор Васильович
Лисенко Сергій Володимирович
Кузик Олександр Володимирович
Гриньків Андрій Вікторович
Голуб Дмитро Вадимович

ТРИБОФІЗИЧНІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ МОБІЛЬНОЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТА АВТОТРАНСПОРТНОЇ ТЕХНІКИ ТЕХНОЛОГІЯМИ ТРИБОТЕХНІЧНОГО ВІДНОВЛЕННЯ

Монографія

Українською мовою

Редактор – Аулін В.В.
Технічний редактор – Лисенко В.Ф.
Комп'ютерний набір – Лисенко С.В.

Формат 60х84 1/16. Ум. друк. арк. 17,67.
Облік. видав. арк. 16,07. Тираж 300. Зам. 391.

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