

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ЗАРУЦЬКИЙ СЕРГІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 621.43:631.372

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ДВИГУНІВ
АВТОТРАКТОРНИХ ЗАСОБІВ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____ Заруцький С.О.

Керівник роботи

Борак К.В.

доктор технічних наук, професор

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Заруцький Сергій Олександрович. Підвищення ресурсу двигунів автотракторних засобів. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2026.

У магістерській роботі розглянуто проблему низької післяремонтної надійності автотракторних двигунів внутрішнього згорання, відремонтованих в умовах МРМ сільськогосподарських підприємств. За результатами аналізу літературних джерел встановлено, що до 40 % відмов машин припадає на двигун, а однією з основних причин є недостатня якість капітального ремонту та організації обкатки. Показано, що довговічність і безвідмовність відремонтованих ДВЗ значною мірою формуються у період післяремонтної обкатки та підтримуються в процесі експлуатації, тому підвищення якості ремонту й обкатки є ключовою умовою збільшення напрацювання до відмови третьої групи складності.

Обґрунтовано напрям зниження інтенсивності зношування ресурсних деталей шляхом використання раціональних трибоматеріалів у складі моторних олив. Встановлено високу ефективність трибоматеріалів фірми Wagner, зокрема Oil Package та Micro-Ceramic, які в умовах тертя, наближених до роботи ресурсних спряжень двигуна, забезпечують істотне зменшення коефіцієнта тертя та зносу. Показано, що коефіцієнт тертя не перевищує 0,05, а його стабілізація відбувається протягом однієї години, що свідчить про швидку приробку спряжень. Доведено можливість скорочення післяремонтної експлуатаційної обкатки в 2...6 разів.

Стендові випробування двигуна Д-240 підтвердили результати лабораторних триботехнічних досліджень. Застосування Oil Package Wagner забезпечило зниження годинної витрати палива на 15,5 %, зменшення втрат потужності на механічне тертя на 5,2 %, скорочення питомої циклової подачі палива та питомої індикаторної витрати палива відповідно на 13,5 % і 12,8 %, а також зростання індикаторного ККД на 15,2 %.

Ключові слова: двигун внутрішнього згорання, післяремонтний ресурс, капітальний ремонт, обкатка, триботехнічні дослідження, моторна олива, трибоматеріали, Wagner, Oil Package, Micro-Ceramic, двигун Д-240, стендові випробування.

ANNOTATION

Zarutsky Sergey. Increasing the service life of motor vehicle engines. – Qualification work on the rights of the manuscript.

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2026.

The master's thesis examines the problem of low post-repair reliability of internal combustion engines of motor vehicles and tractors repaired under the conditions of agricultural enterprises' repair shops. Based on the analysis of literature sources, it has been established that up to 40% of machine failures are caused by the engine, and one of the main reasons is the poor quality of overhaul and running-in. It is shown that the durability and reliability of repaired internal combustion engines are largely formed during the post-repair running-in period and maintained during operation, therefore, improving the quality of repair and running-in is a key condition for increasing the operating time before failure of the third complexity group.

The direction of reducing the wear intensity of resource parts by using rational tribomaterials in motor oils is justified. The high efficiency of Wagner tribomaterials, in particular Oil Package and Micro-Ceramic, has been established. Under friction conditions similar to those of engine resource couplings, they provide a significant reduction in the coefficient of friction and wear. It has been shown that the friction coefficient does not exceed 0.05 and stabilizes within one hour, which indicates rapid running-in of the components. It has been proven that post-repair operational running-in can be reduced by 2 to 6 times.

Bench tests of the Д-240 engine confirmed the results of laboratory tribological studies. The use of Oil Package Wagner ensured a 15.5% reduction in hourly fuel consumption, a 5.2% reduction in power losses due to mechanical friction, a reduction in specific cycle fuel delivery and specific indicator fuel consumption by 13.5% and 12.8%, respectively, as well as an increase in indicator efficiency by 15.2%.

Keywords: internal combustion engine, post-repair service life, overhaul, running-in, tribotechnical research, motor oil, tribomaterials, Wagner, Oil Package, Micro-Ceramic, D-240 engine, bench tests.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	9
1.1 Післяремонтний ресурс дизелів.....	9
1.2. Відмінні особливості в динаміці змін зазорів у ресурсних сполученнях нових і капітально відремонтованих дизелів.....	12
1.3. Причини утворення задирів у ресурсних сполученнях в процесі експлуатаційного обкатування двигунів після ремонту в МРМ СГП та в період штатної експлуатації тракторів.....	15
1.4. Спрощена класифікація трибопрепаратів.....	17
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	21
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ.....	37
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	47

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Нині понад 90 % механізованих операцій у сільському господарстві виконують трактори, які пройшли ремонт у машинно-ремонтних майстернях (МРМ) самих сільськогосподарських підприємств (СГП). Водночас парк базової техніки істотно зношений: значна його частина, передусім орні трактори вітчизняного виробництва, уже на 75...85 % і більше вичерпала свій ресурс. Саме це зумовлює падіння продуктивності праці, зростання кількості відмов після повторних ремонтів, збільшення простоїв у полі й, як наслідок, втрати сільськогосподарської продукції.

За даними досліджень [3], фактичний ресурс двигунів, відновлених у МРМ СГП, у 3...7 разів менший за нормативний і в 3...4 рази нижчий за встановлені нормативами показники, а напрацювання до першої відмови зазвичай не перевищує 60...80 мото-год.

Ключову роль у формуванні післяремонтної надійності та довговічності ДВЗ відіграє обкатування – як технологічне (після ремонту), так і експлуатаційне. Однак через деформацію геометричних і точнісних параметрів корпусних (базових) деталей, що надходять на складання, відсутність у МРМ засобів контролю цих параметрів, а також через низьку якість запасних частин уже на етапі технологічного обкатування можуть виникати відмови, пов'язані із задирами в ресурсних сполученнях. Подібні пошкодження та навіть заклинювання нерідко проявляються і під час експлуатаційної обкатки тракторів – не лише з названих причин, а й через порушення рекомендованих режимів обкатування. Ситуацію додатково ускладнює те, що більшість МРМ СГП та ремонтно-обслуговуючих підприємств (РОП) не оснащені стендами для випробувань і технологічного обкатування ДВЗ, а стенди, які подекуди збереглися, здебільшого експлуатуються понад 40 років і фактично давно не задіюються.

Отже, потреба у пошуку альтернативних підходів до підвищення якості ремонту, удосконалення експлуатаційного обкатування та забезпечення вищої післяремонтної безвідмовності двигунів є беззаперечною.

В результаті аналізу літературних джерел встановлено, що виключити утворення задирів, прискорити обкатку і істотно підвищити післяремонтну довговічність і безвідмовність автотракторних двигунів, імовірно, можна, додаючи трибопрепарати в мастильні матеріали, як в період експлуатаційної обкатки, так і в період штатної експлуатації трактора. У магістерській роботі замість умовно прийнятого терміна «трибопрепарат» використовуються такі терміни як триботехнічний склад, трибосклад, трибоматеріал, трибодобавка, наноматеріал.

Такий підхід викликаний тим, що термінологія щодо застосування трибоматеріалів у технічному сервісі машин не затверджена. У той же час в Україні і за кордоном виробляється понад 200 різних триботехнічних складів.

Трибодобавки до моторних та інших олив відрізняються від численних присадок в оливах тим, що присадки «працюють» на оливу, покращуючи експлуатаційні властивості мастил, а триботехнічні склади «працюють» на метал, покращуючи експлуатаційні властивості робочих поверхонь деталей, причому ці трибопрепарати не реагують з мастилами і не погіршують їх якість [1, 3].

Мета дослідження. Підвищення післяремонтного ресурсу та надійності автотракторних двигунів, відновлених у МРМ СГП, шляхом використання трибопрепаратів у складі моторної оливи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання дослідження.

1. Обґрунтувати та розробити метод діагностики та вибору раціонального трибоматеріалу в складі моторної оливи, що виключає відмови через утворення задирів і істотно збільшує міжремонтний ресурс.

2. Виконати порівняльні триботехнічні лабораторні дослідження трибоматеріалів.

3. Провести випробування ДВЗ з раціональним трибоматеріалом у складі моторної оливи на стенді та під час експлуатації.

Об'єкт дослідження – сукупність технологічних рішень, спрямованих на збільшення ресурсу автотракторних двигунів за рахунок введення триботехнічних добавок (складів).

Предмет дослідження – методичні підходи до обґрунтованого вибору оптимального триботехнічного складу, що забезпечує запобігання задирам у вузлах тертя та зменшує швидкість зношування деталей.

Методи дослідження. Робота виконувалась із поєднанням лабораторних триботехнічних експериментів, стендових перевірок і виробничих випробувань. Під час стендових тестів дизельного двигуна застосовано вимоги ДСТУ (ISO), а також сформовано власний алгоритм діагностування і підбору трибоматеріалу. Експерименти проводилися на серійному вимірювальному обладнанні з контролем точності параметрів. Для аналізу й узагальнення результатів розроблено спеціалізовані методики обробки даних із використанням інструментів математичної статистики.

Перелік **публікацій** за темою роботи:

1. Борак К. В., Мовчан К. В., **Заруцький С. О.**, Боровський І. В. Перспективні напрямки підвищення надійності дизельних двигунів вантажних автомобілів. Міжнародній науково-практичній конференції до Дня автомобіліста та дорожника “Сучасне автомобілебудування, транспорт і дорожня інфраструктура ‘2025” (MAITRI 2025). Харків, 30-31 жовтня 2025 року. С. 75–85.

2. Савченко В.М., Диняк О.В., **Заруцький С.О.** Двофазне сумішоутворення в дизелі як спосіб поліпшення техніко-енергетичних показників трактора. XIV Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (01-17 жовтня 2025 р.). URL: <http://animal-conf.inf.ua/conf.html>.

3. Саух О., Заруцький С. Грудовий Р. Сучасні технології та технічний сервіс: виклики і можливості: збірник матеріалів I Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (м. Кам'янець-Подільський, 16 жовтня 2025 року). Кам'янець-Подільський: Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», 2025. Забруднення охолоджуючої рідини та їх джерела. С. 227-229.

Практичне значення одержаних результатів. Запропоновані рекомендації дають змогу помітно скоротити тривалість післяремонтної експлуатаційної обкатки дизелів, запобігаючи появі задирів у ресурсних сполученнях, і збільшити напрацювання до відмови третьої групи складності. У підсумку зростає продуктивність тракторних агрегатів під час обробітку ґрунту, знижується витрата палива, скорочуються експлуатаційні видатки, а також витрати на ремонт і технічне обслуговування тракторів.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 21 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 49 сторінок комп'ютерного тексту, містить 22 рисунки та 2 таблиці.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Післяремонтний ресурс дизелів

Післяремонтний ресурс дизельного двигуна є одним із ключових показників ефективності ремонтного виробництва, оскільки відображає, наскільки відновлені агрегати здатні забезпечувати задані техніко-економічні параметри в умовах реальної експлуатації. Під післяремонтним ресурсом доцільно розуміти напрацювання двигуна (у мотогодинах або кілометрах) від моменту введення в роботу після ремонту до виникнення граничного стану, який потребує повторного ремонту або заміни. На практиці саме цей показник найбільш чутливо реагує на якість дефектації, точність відновлення базових поверхонь, культуру складання, рівень регулювання паливної апаратури та систем мащення й охолодження. Для сільськогосподарських підприємств, де двигуни працюють у режимах змінного навантаження, запиленості та сезонних піків, стабільний післяремонтний ресурс набуває особливої ваги, адже визначає готовність машинно-тракторного парку до виконання технологічних операцій у критичні агротерміни.

Нормативний ресурс двигуна, як правило, задається заводом-виробником або галузевими нормами й характеризує напрацювання до капітального ремонту за умови дотримання регламентів технічного обслуговування, якості ПММ і коректних режимів роботи. Післяремонтний ресурс за своєю природою є похідним показником: якщо ремонт виконується з повним відновленням геометрії та фізико-механічного стану деталей, з дотриманням посадок, зазорів і технології обкатки, то ресурс може наблизитися до нормативного. У ремонтній практиці зручно використовувати відносний показник, що оцінює частку відновлення ресурсу: $K_r = \frac{R_{п/р}}{R_n} \cdot 100\%$, де $R_{п/р}$ — післяремонтний ресурс, R_n — нормативний ресурс. Саме величина K_r дозволяє об'єктивно порівнювати якість

ремонту різних майстерень, різних технологічних маршрутів відновлення та різних комплектів запасних частин.

Особливістю ремонту дизелів у МРМ СГП є те, що значна частина робіт виконується за обмеженої оснащеності та не завжди з повним технологічним циклом, притаманним спеціалізованим ремонтним підприємствам. Типовими «вузькими місцями» є дефектація й вимірювальний контроль, відновлення деталей циліндро-поршневої групи та колінчастого вала, а також забезпечення чистоти під час складання. Навіть незначні відхилення в геометрії (овальність і конусність гільз, биття шийок колінчастого вала, порушення співвісності постелей) у сукупності з підвищеною шорсткістю поверхонь тертя або неправильними натягами підшипників призводять до прискореного зношування і раннього настання граничного стану. Окремо слід відзначити важливість якісного хонінгування або фінішної обробки дзеркала циліндра, адже саме мікрорельєф поверхні визначає умови формування масляної плівки, прироботки кілець і стабільність компресії в перші десятки мотогодин після ремонту.

Післяремонтна відмова дизеля найчастіше проявляється як зниження компресії, підвищення витрати мастила, падіння тиску в системі мащення, перегрів, нестійка робота або підвищена димність. У багатьох випадках першопричина закладається ще на стадії ремонту: недостатня точність підбору вкладишів і контролю радіальних зазорів; помилки під час запресування або установки гільз; використання деталей сумнівної якості; порушення моментів затягування різьбових з'єднань; відсутність контролю за співвісністю, а також невідпрацьована технологія обкатки. Додатковим чинником є стан паливної апаратури: якщо після ремонту двигуна не виконано повноцінного стендового контролю та регулювання ПНВТ і форсунок, реальна теплонапруженість і токсичність зростають, а знос ЦПГ і клапанного механізму прискорюється. У результаті двигун може демонструвати прийнятний запуск і роботу «на слух», але швидко втрачає працездатність у полі під навантаженням.

Оцінювання післяремонтного ресурсу доцільно здійснювати за сукупністю показників: фактичне напрацювання до першої відмови та до повторного ремонту; стабільність компресії в циліндрах; тиск мастила на номінальних і мінімальних обертах; температура охолоджувальної рідини в робочих режимах; витрата мастила на угар; питома витрата палива; димність відпрацьованих газів. У виробничих умовах МРМ СГП часто обмежуються спрощеним контролем (перевірка запуску, відсутність явних сторонніх шумів, короткочасна робота без навантаження), що не дозволяє виявити приховані дефекти складання, похибки обробки або некоректне регулювання. За таких підходів значна частина двигунів виходить на експлуатацію без підтвердження відповідності параметрів, а «випробувальним стендом» фактично стає сама машина в полі. Це підвищує ризики раптових відмов у пікові періоди та формує ситуацію, коли післяремонтний ресурс визначається не стільки потенціалом відновлених деталей, скільки випадковістю поєднання похибок і умов роботи.

Низький рівень післяремонтного ресурсу, як правило, має системний характер і пов'язаний не з одним дефектом, а з сукупністю причин: недостатня точність механічної обробки та відсутність фінішних операцій; обмеженість виміральної бази (мікрометри, нутроміри, індикаторні пристрої, калібри) й відсутність регулярної повірки; недостатня оснащеність для якісного відновлення колінчастих валів, головок блоків і паливної апаратури; відсутність стендів для обкатки та навантажувальних випробувань; дефіцит кваліфікованого персоналу та технологічної дисципліни; застосування невідповідних або зношених пристроїв і інструменту. За таких умов досягається лише «працездатний» стан двигуна, але не забезпечується стабільна довговічність. Саме тому в МРМ СГП на практиці спостерігається ситуація, коли двигун після ремонту здатний певний час виконувати роботу, однак ресурс суттєво поступається нормативному і не забезпечує необхідної надійності машинно-тракторного парку.

З аналізу наведених вище матеріалів випливає, що двигуни, відновлені в МРМ СГП, мають вкрай малий післяремонтний ресурс, а наявна в майстернях технічна база не дає змоги суттєво підвищити якість ремонту й довести ресурс дизелів хоча б до 50 % від нормативного рівня. Тому постає потреба у пошуку альтернативних шляхів збільшення післяремонтної довговічності двигунів.

1.2. Відмінні особливості в динаміці змін зазорів у ресурсних сполученнях нових і капітально відремонтованих дизелів

Найчастіше двигуни потрапляють на капітальний ремонт через спрацювання та появу задирів у ключових вузлах, що визначають їхній ресурс. Передусім це пари тертя «гільза–поршень» і «вкладиш–шийка колінчастого вала». Такі пошкодження зазвичай супроводжуються характерними симптомами: зростанням проривів газів у картер, підвищеною витратою оливи на угар, появою сторонніх стуків, падінням тиску в головній масляній магістралі та іншими ознаками несправної роботи.

Окрім зазначеного, підставою для капітального ремонту нерідко стають відмови третьої групи складності – зокрема руйнування чи пошкодження блока циліндрів, задери в сполуках «гільза–поршень» і «шийка вала–вкладиші», інтенсивні зноси в з'єднаннях поршневої групи «палець–поршень» та «палець–втулка верхньої головки шатуна», а також поломки або деформації основних деталей [2].

У джерелі [7] зазначено, що приблизно 80 % двигунів надходять у капітальний ремонт саме через зношування деталей ресурсоутворювальних сполучень – і така частка характерна як для нових двигунів, так і для тих, що вже проходили капітальне відновлення.

Важливо підкреслити: зміна зазорів у цих сполуках у нових двигунах і в двигунах після ремонту відбувається по-різному. За результатами низки досліджень встановлено, що після капітального ремонту темп зношування

ресурсовизначальних пар помітно вищий, ніж у нових двигунів. Зокрема, на рис. 1.1 наведено характер зміни зазорів у дизелях СМД-62 за умов звичайної експлуатації [9], і діаграма демонструє приблизно дворазове прискорення зростання зазорів у вузлах тертя капітально відремонтованих двигунів.

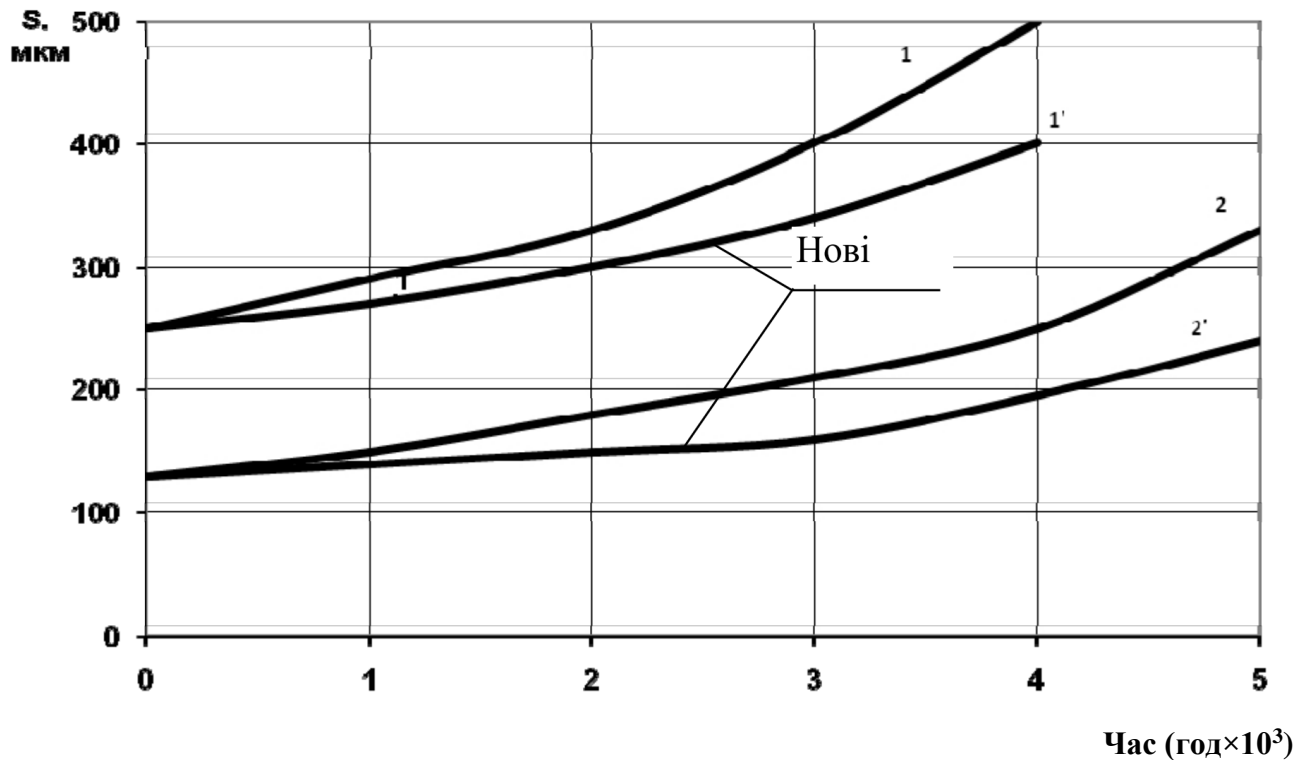


Рис. 1.1. Порівняльна характеристика зміни зазорів у нових та капітально відремонтованих дизелях СМД-62: 1', 1 — «гільза–поршень»; 2', 2 — «вкладиш–шатунна шийка» [9].

За результатами досліджень [9] встановлено, що для дизелів ЯМЗ співвідношення швидкостей зношування ресурсотворювальних деталей після ремонту до доремонтних становить 1,28...3,32.

Зниження надійності й довговічності відновлених двигунів насамперед пояснюється тим, що ремонтна технологія істотно відрізняється від заводської технології виготовлення. У МРМ СГП та на РОП часто бракує спеціалізованого обладнання, вимірювальних пристроїв, відпрацьованих стабільних технологічних процесів і належної кваліфікації персоналу [8]. Додатково ситуацію погіршують невеликі обсяги ремонтів і значна різномарочність двигунів, що надходять у відновлення.

Відчутний вплив має й розкид технологічних параметрів під час ремонту: їхня варіативність зазвичай набагато вища, ніж на підприємствах-виробниках. До таких параметрів належать твердість і шорсткість робочих поверхонь деталей рухомих з'єднань, а також точність геометричних розмірів [20, 17].

У джерелі [20] підкреслюється, що навіть у заводських умовах фіксується істотна частка дефектів: під час складання та затягування — до 20 %, відхилення геометричних розмірів — до 30...40 %, під час термообробки — до 10 % тощо. У ремонтних майстернях ці недоліки, як правило, не зменшуються, а навпаки — посилюються.

Інтенсивність зношування ресурсотворювальних пар, а отже й безвідмовність та довговічність двигуна, визначається одночасною дією багатьох технологічних чинників. Наприклад, темп збільшення зазору в парі «гільза–поршень» залежить від шорсткості й твердості дзеркала гільзи, початкового зазору, овальності та конусності гільзи, пружності поршневих кілець, точності взаємного розташування осей розточок блок-картера під вкладиші колінчастого вала та під бурти гільзи, величини зазору в з'єднанні «шатунна шийка–вкладиш», вигину шатуна тощо.

Для пари «шатунна шийка колінчастого вала–вкладиш» вирішальними є зміни твердості й шорсткості поверхні шийки, геометричні відхилення (зокрема нециліндричність), величина зазору, деформації шатуна, порушення перпендикулярності осей розточок блока під корінні вкладиші відносно базових елементів та інші фактори.

Зношування деталей у сполучі «корінна шийка–вкладиш» також має неоднакову інтенсивність і зумовлюється твердістю та шорсткістю корінних шийок, зазором у парі, нециліндричністю, порушенням співвісності корінних шийок, а також неспіввісністю розточок блока під корінні вкладиші тощо.

Отже, численні дослідження підтверджують: у капітально відремонтованих двигунах швидкість зношування деталей ресурсотворювальних з'єднань істотно вища, ніж у нових аналогів.

Із наведених закономірностей випливає, що для стримування росту зазорів у критичних сполуках після капітального ремонту потрібно знайти або розробити такі методи й технології, які помітно знижують зношування. Одним із реалістичних шляхів розв'язання цього завдання є застосування триботехнічних складів. Водночас із великої кількості наявних марок необхідно науково обґрунтувати та відібрати найбільш раціональні, здатні забезпечити підвищення довговічності й безвідмовності дизелів.

1.3. Причини утворення задирів у ресурсних сполученнях в процесі експлуатаційного обкатування двигунів після ремонту в МРМ СГП та в період штатної експлуатації тракторів

Задири у ресурсоутворювальних парах тертя дизелів, що пройшли ремонт у МРМ СГП, можуть виникати внаслідок дефектів деталей, похибок і невідповідностей під час складання, порушення режимів обкатування, а також неправильних умов експлуатації.

У працях [5, 10, 12] зазначається, що ще на етапі заводського виготовлення трапляється значна кількість недоліків, здатних спричинити задири та відмови ДВЗ, зокрема:

- дефекти складання й затягування з'єднань — до 20 %;
- відхилення геометричних параметрів — до 30...40 %;
- порушення під час термообробки — до 16 %;
- інші збої у виробничих операціях — до 22 %.

Під час ремонту в умовах МРМ ці заводські недоліки, як правило, не нівелюються, а навпаки — посилюються й накопичуються, що підвищує ймовірність виникнення задирів і повторних відмов двигуна.

У роботах [7, 13] наводиться велика кількість причин утворення задирів і зниження довговічності ресурсних сполучень ДВЗ при експлуатації:

- спотворення геометричної форми дзеркала циліндрів в результаті недостатнього або різкого охолодження двигуна;
- підвищена температура випускних газів через погану роботу паливної апаратури;
- перегрів поршня, закоксування кілець, втрата пружності кілець;
- тривале перевантаження ДВЗ;
- незадовільна якість моторної оливи;
- абразивне зношування і задирки від впливу продуктів зносу.

При ремонті дизелів в МРМ СГП основними причинами є [4, 5, 17]:

- спотворення геометричних розмірів і форми корпусних деталей;
- невідповідність допустимих значень перекосів осей при складанні ДВЗ;
- незадовільне припрацювання;
- застосування неякісних запасних частин;
- застаріле технологічне обладнання або його відсутність.

У магістерській роботі не ставилося завдання проаналізувати види задирів і дослідити процеси їх утворення на поверхнях деталей ресурсних сполучень дизеля, представлених на рис. 1.2, оскільки вирішувалося завдання виключення будь-яких видів задирів на різних стадіях обкатки та експлуатації ДВЗ застосуванням трибопрепаратів.

На рис. 1.2 показана схема геометричних відхилень осей деталей від номінального положення їх в основних механізмах двигуна після ремонту і в зв'язку з цим можлива висока ймовірність утворення вогнищ задирів в ресурсних сполученнях двигуна.

Крім цього, як було встановлено раніше численними дослідженнями [1, 13], ці відхилення і дефекти прискорюють зношування деталей ресурсовизначальних сполучень капітально відремонтованих двигунів у порівнянні зі швидкістю зношування аналогічних деталей нових двигунів.

З наведених вище даних випливає, що для виключення утворення задирів і уповільнення швидкості зростання зазорів у ресурсних сполученнях деталей

після капітального ремонту двигунів необхідно знайти нові технології, що істотно знижують знос деталей [1, 2].

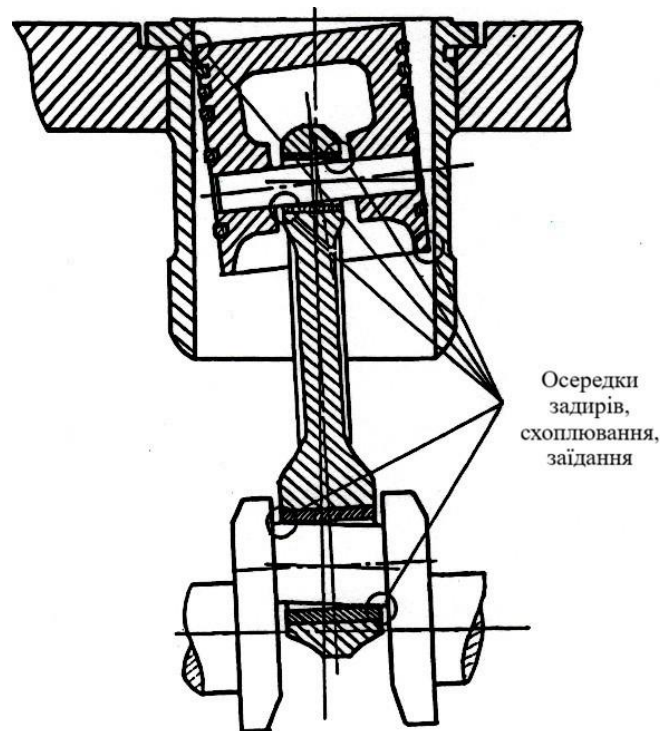


Рис. 1.2. Схема можливих геометричних відхилень осей від номінального положення деталей циліндро-поршневої групи і кривошипно-шатунного механізму після ремонту двигуна та області утворення можливих осередків задирів, схоплювання та заклинювання в ресурсних сполученнях.

В результаті аналізу великої кількості джерел встановлено, що істотно скоротити період обкатки, знизити кількість відмов через задирки і підвищити довговічність дизелів після ремонту в СГП, ймовірно можна, застосовуючи раціональні трибосклади як добавку до мастильних матеріалів, як у період експлуатаційного обкатування, так і в період штатної експлуатації трактора [1].

1.4 Спрощена класифікація трибопрепаратів

Тривалість періоду експлуатаційного обкатування, довговічність і працездатність двигунів і агрегатів мобільної техніки багато в чому визначається якістю мастильного середовища. Необхідні припрацювальні та експлуатаційні

властивості олів визначаються набором спеціальних присадок, що вводяться в базову мінеральну або синтетичну основу.

Використання ж спеціальних трибодобавок дозволяє, не погіршуючи експлуатаційних параметрів масел, забезпечувати формування на поверхнях тертя деталей машин необхідну структуру антифрикційного шару з високими триботехнічними характеристиками. Таким чином, за наявності високих протизносних характеристик сучасних мастильних матеріалів і додатково створюваного протизадирного антифрикційного шару при введенні в мастило раціональних трибодобавок, імовірно можна істотно скоротити період обкатки, збільшити безвідмовність і довговічність ресурсних сполучень ДВЗ [1, 3].

При цьому створення самих антифрикційних покриттів на поверхнях тертя деталей можна здійснювати безрозбірним способом, забезпечивши лише доставку відповідних трибоматеріалів в зони тертя шляхом введення їх до складу мастил, які завжди присутні в вузлах тертя машин.

У даній роботі не ставилося завдання детально розглянути класифікацію трибопрепаратів у зв'язку з тим, що такі класифікації описані в багатьох роботах.

У магістерській роботі всі відомі на даний час триботехнічні склади за компонентним складом і фізико-хімічними процесами взаємодії їх з поверхнями, що труться, за властивостями захисно-відновлювальних покриттів, а також за механізмом функціонування в експлуатаційному режимі, за літературними даними спрощено класифікуються на: модифікатори тертя, реметалізанти, кондиціонери та ревіталізанти [1, 2].

Ця класифікація представлена у вигляді таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Спрощена класифікація трибопрепаратів

Класи трибопрепаратів	Модифікатори тертя	Реметалізанти	Кондиціонери металу	Ревіталізанти
Поширені марки	Форум, Аспект, Розум та ін.	Рімет, Ресурс, Супермет та ін.	Феном, RENOM, ER, ENERGY RELEASE, WAGNER та ін.	РВС, ХАДО, ФОРСАН, СУПРОТЕК, НЮД, ОМКА, РЕАГЕНТ-2000 та ін.

Попередніми експериментами встановлено, що найбільш ефективними марками трибопрепаратів є трибопрепарати класів кондиціонери металу і ревіталізанти, які можуть виключати утворення задирів при обкатуванні і компенсувати зазори в результаті зносу деталей.

Імовірно можна очікувати, що використання кондиціонерів металу дозволить істотно скоротити тривалість експлуатаційного обкатування машин і продовжити післяремонтний ресурс ДВЗ, а ревіталізанти навіть при зносі до 70% ресурсних сполучень, дозволять додатково продовжити ресурс двигунів і агрегатів машин.

Експлуатація сільськогосподарської техніки в умовах АПК має свою специфіку, яка істотно відрізняється від умов експлуатації автомобілів і обладнання в інших галузях народного господарства.

У зв'язку з цим фахівцям сільгоспідприємств необхідно видати достовірний метод вибору раціональної марки трибопрепарату для скорочення періоду експлуатаційної обкатки без відмов через задирки в ресурсних сполученнях і збільшення післяремонтної довговічності двигунів, відремонтованих в МРМ СГП або в ремонтно-обслуговуючих підприємствах

На підставі аналізу стану питання за темою дисертації можна сформулювати мету дослідження.

Розробка та дослідження технологічних рекомендацій щодо підвищення післяремонтної довговічності та безвідмовності автотракторних двигунів застосуванням трибопрепаратів у складі моторної оливи.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання дослідження.

1. Обґрунтувати та розробити метод діагностики та вибору раціонального трибоматеріалу в складі моторної оливи, що виключає відмови через утворення задирів і істотно збільшує міжремонтний ресурс.

2. Виконати порівняльні триботехнічні лабораторні дослідження трибоматеріалів.

3. Провести випробування ДВЗ з раціональним трибоматеріалом у складі моторної оливи на стенді та під час експлуатації.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Загальна методика дослідження розроблена відповідно до поставлених мети і завдань та включає в себе чотири розділи: експериментальний, стендові та експлуатаційні випробування і аналіз результатів дослідження.

Нормативами надійності на відремонтовані трактори та дизелі, розробленими ДСТУ затверджено 80%-й гамма-ресурс для основних марок двигунів, що дорівнює 4000...4400 мото-год, а встановлений ресурс для двигунів прийнято 2000...2200 мото-год.

Встановлений післяремонтний ресурс (термін за ДСТУ) – напрацювання, до досягнення якого жодна випробувана машина (агрегат) не повинна досягти граничного стану.

У першому розділі магістерської роботи було зазначено, що фактичний стан ремонтно-обслуговуючої бази в сільському господарстві в даний час не може забезпечити даними робіт [14, 15] 80%-й гамма-ресурс двигунів не перевищує 600...700 мото-год, тобто в 6-7 раз нижче нормативного значення і в 3-4 менше установленого післяремонтного ресурсу.

В даний час понад 90 % від усього обсягу основних сільськогосподарських робіт виконується тракторами, які пройшли капітальний ремонт. З цього випливає, що в найнапруженіший час масових весняних польових робіт надзвичайно важливе значення набуває безвідмовність роботи тракторів, які як правило, ремонтуються в умовах неоснащених майстерень сільгоспідприємств.

З вищесказаного випливає, що саме навесні, тобто на початку періоду експлуатації тракторів після їх ремонту, необхідно максимально скоротити потік відмов, зменшити швидкість наростання зазорів у ресурсних сполученнях механізмів і підвищити працездатність тракторів у сезон робіт.

У зв'язку з цим основною метою розробки методик дослідження є обґрунтування і вибір раціональних трибоматеріалів для експлуатаційної обкатки і підвищення післяремонтної безвідмовності двигунів, особливо в початковий період експлуатації тракторів.

Завдяки унікальним властивостям трибоматеріалів і їх різному впливу на робочі поверхні трибосполучень, з точки зору методології вибору і їх застосування, умовно встановлено три періоди штатної експлуатації тракторів.. У кожному періоді експлуатації машини повинні застосовуватися саме ті класи і марки трибоматеріалів, які за своїми специфічними властивостями найбільш повно задовольняють вимогам мінливих умов роботи ресурсних з'єднань.

Таким чином, використовуючи спрощену класифікацію трибоматеріалів для проведення досліджень властивостей трибопрепаратів і отримані результати дозволили для кожного періоду експлуатації машин обґрунтувати і вибрати раціональний трибопрепарат в якості добавки до мастильних матеріалів [3].

Запропоновані умовно встановлені три періоди післяремонтної штатної експлуатації машин відрізняються величиною зносу ресурсних сполучень нижче наведеними значеннями [3]:

- період експлуатаційної обкатки;
- початковий післяремонтний період рядової експлуатації машин до досягнення 40...60 % зносу ресурсних сполучень механізмів (витрачання ресурсу), що встановлюється за результатами діагностування;
- наступний період рядової експлуатації тракторів після досягнення 40...60 % зносу або 400...600 мотогодин напрацювання.

класифікація трибоматеріалів і передумови на першому етапі розробки методики дозволили дослідити найбільш поширені на ринку трибоматеріали РВС, СУПРОТЕК, ФОРСАН, РЕАГЕНТ-2000, ФОРУМ, WAGNER, ОМКА та інші, а також менш відомі препарати АРВО, БЕМІТ, РВД та ін. Зазначені трибоматеріали представлені на рис. 2.1.



Рис. 2.1. Трибоматеріали для проведення лабораторних триботехнічних досліджень

На другому етапі розробки методики дослідження за результатами лабораторних триботехнічних досліджень і підтвердження цих результатів стендовими випробуваннями натурних двигунів була проведена експлуатаційна перевірка ефективності трибопрепарату. Запропоновані методики дозволять вибрати раціональний трибоматеріал для застосування в штатний період післяремонтної експлуатації тракторів.

Прийняті та обґрунтовані положення і передумови послужили основою для вибору лабораторного обладнання, випробувальних виробничих стендів, зразків та інших приладів.

Основним критерієм при виборі того чи іншого трибопрепарату для обкатки двигуна або агрегату трансмісії трактора є гарантоване виключення утворення задирів і заклинювання деталей в ресурсних сполученнях. У зв'язку з цим основною вимогою, що пред'являється до випробовуваних зразків і конструкції експериментальної установки, є забезпечення максимально жорстких умов для утворення задирів, заїдань і заклинювання зразків при

випробуванні мастильних матеріалів, що містять трибопрепарати. Цю вимогу можна забезпечити шляхом максимальної локалізації навантаження в трибосполученні зразків, що мають високу твердість [3, 7, 12].

Максимальна локалізація навантаження може бути реалізована завдяки застосуванню спеціальної схеми розташування зразків, представленої на рис. 2.2.

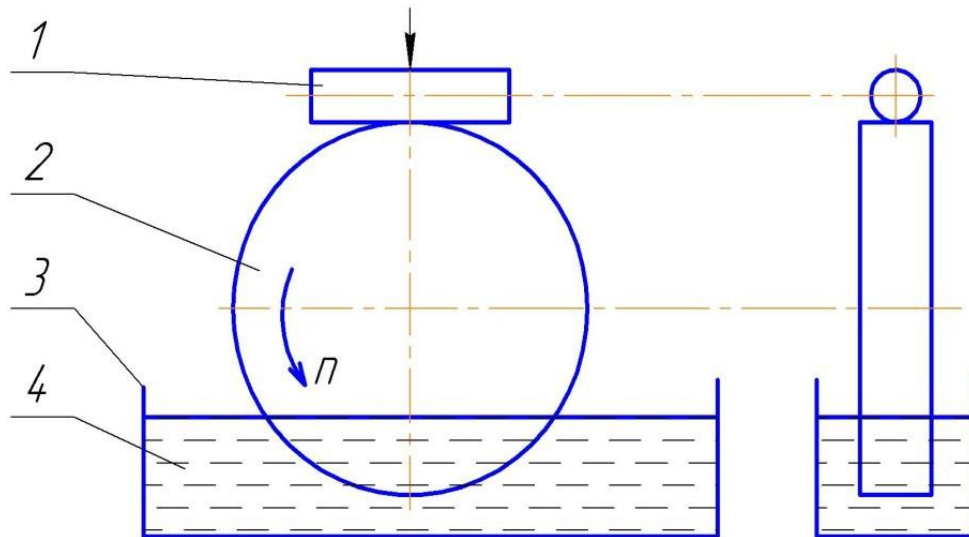


Рис. 2.2. Схема локалізації навантаження в трибоспряженні: 1 – зразок; 2 – контрзразок; 3 – ванна; 4 – олива, що містить трибоматеріал.

В якості випробуваного зразка використовується ролик підшипника кочення, а контрзразком є кільце підшипника. Максимальна локалізація навантаження в трибосполученні вимагала і максимальної твердості зразків. Тому в якості зразків використані деталі підшипників кочення, виготовлені зі сталі ШХ15 і мають твердість не менше 72HRC.

Цілком очевидно, що якщо в процесі випробування трибоматеріалу в таких особливо жорстких умовах при максимальному навантаженні не відбудеться задирання і заклинювання в трибосполученні (рис. 2.2), тобто зупинка електродвигуна приводу контрзразка, то це буде вказувати на те, що трибоматеріал, що міститься в оливі, буде забезпечувати, по-перше, мінімальний коефіцієнт тертя в сполученні деталей і по-друге, буде забезпечувати мінімальний знос зразка-ролика. Саме за цими критеріями, як було зазначено вище, буде визначатися доцільність і ефективність застосування трибоматеріалу при обкатці двигунів [1].

Для випробування трибоматеріалів на задир розроблено пристрій представлений на рисунках 2.3, 2.4 і 2.5.

Достовірність результатів експериментів забезпечувалася триразовою повторюваністю проведення дослідів.

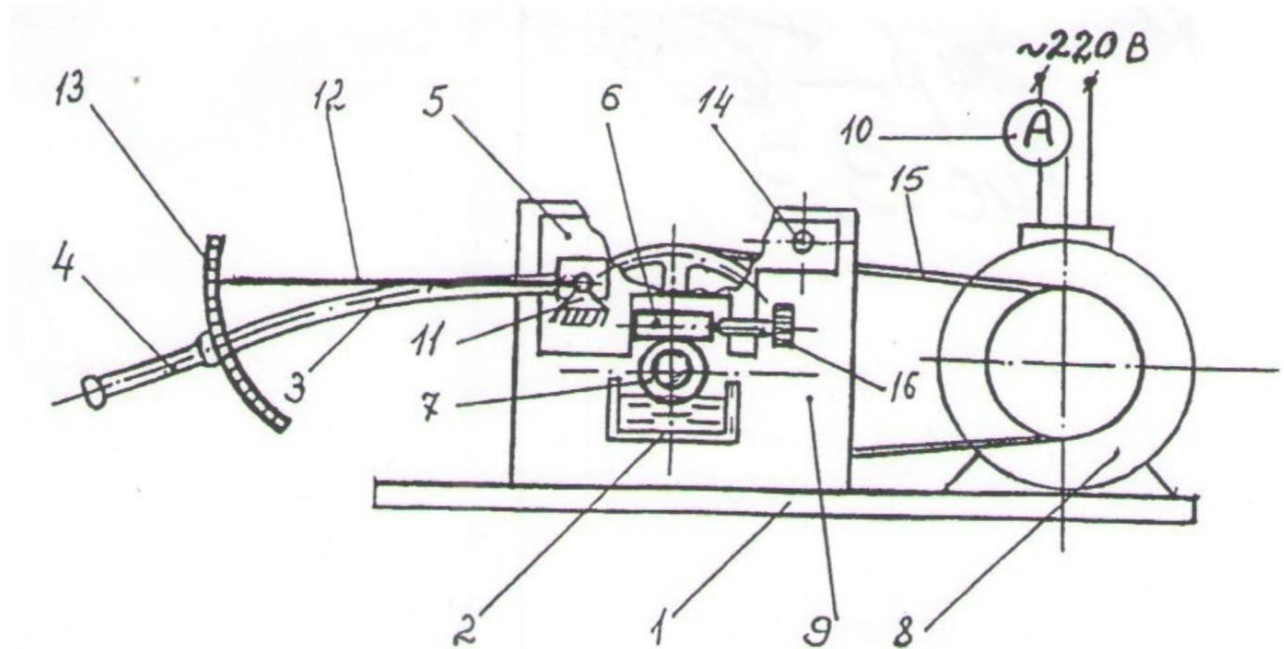


Рис. 2.3. Схема пристрою для випробування мастил при терті.

Пристрій працює наступним чином. У тримач 5 встановлюють зразок 6 і закріплюють його гвинтом 16. Ванну 2 заповнюють оливою. Вмикають двигун 8, контрзразок 7 у тримачі, встановленому на основі 1, за допомогою ремінної передачі 15 починає обертатися. Потім рукояткою 4 переміщують вниз навантажувальний важіль 3.

При переміщенні важеля 3 вниз переміщується тримач 5 відносно осі 14. При цьому контрзразок 7 і зразок 6 входять в контакт.

При подальшому навантаженні в трибоконткті зразка 6 і контрзразку 7 відбувається «задир», заклинювання і зупинка контрзразка 7 і зупинка двигуна 8. У цей момент за допомогою розташованої на гранованому штирі 11 рукоятки-стрілки 12 на шкалі 13 знімають показання величини навантаження і показання амперметра 10. До повної зупинки двигуна 8 може відбуватися прослизання пасової передачі 15.

Методом порівняння триботехнічних показників тестованого складу оливи з різними добавками з базовою оливоюроблять висновок про ефективність складів сумішей олив. Триботехнічними показниками є величина навантаження до появи «задира», час до зупинки двигуна δ , величина споживаного струму за амперметром 10, який опосередковано характеризує коефіцієнт тертя і величину зносу зразка за певний час [5].

Запропонований пристрій виготовлений і успішно пройшов випробування. Маса виготовленого пристрою 12 кг, розміри 445×310×130 мм.

Запропонований пристрій знайде широке застосування на підприємствах технічного сервісу в сільському господарстві та в різних галузях промисловості при випробуванні трибопрепаратів у складі масел, включаючи тверді мастильні матеріали.

Даний пристрій повною мірою задовольняє висунутим вимогам, що пред'являються до визначення кількісної оцінки властивостей трибоматеріалів, рекомендованих для прискорення обкатки і підвищення довговічності та безвідмовності двигунів після ремонту.

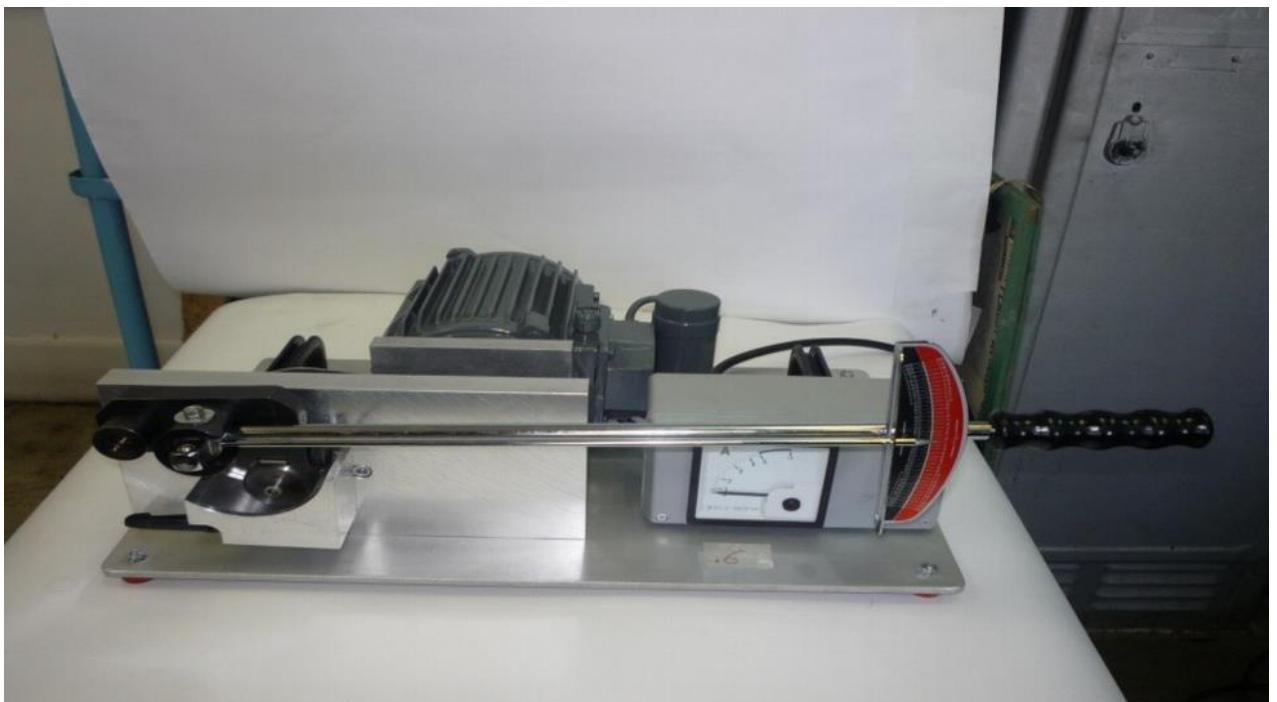


Рис. 2.4. Пристрій для випробувань трибоматеріалів

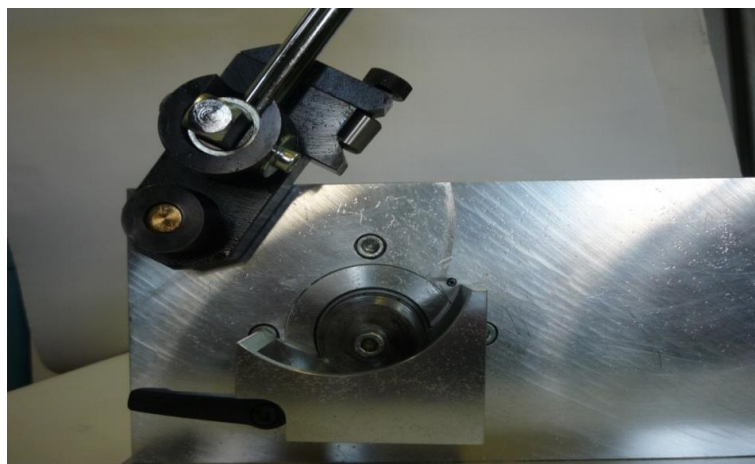


Рис. 2.5. Затискний пристрій зразка-ролика, кільце підшипника–контрзразок і знімна ванна для оливи, що містить трибоматеріал.



Рис. 2.6. Ролики підшипника – зразки з різним ступенем зносу.

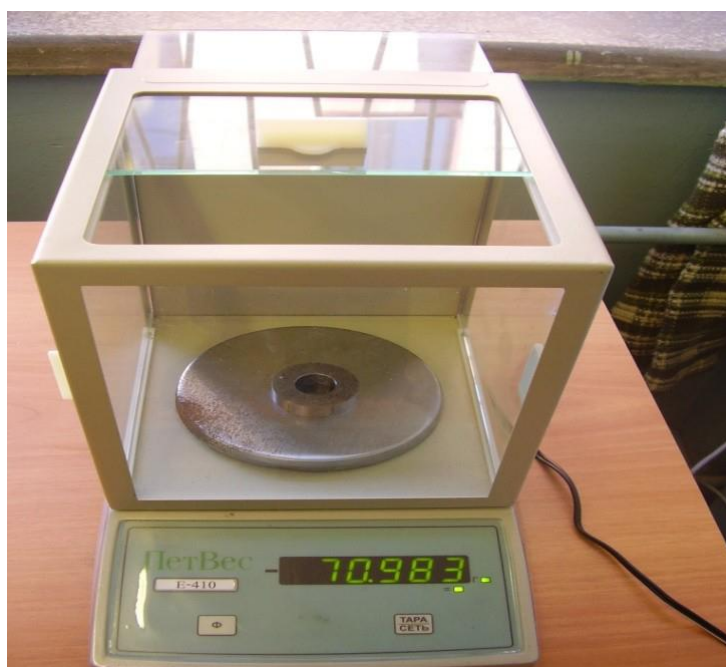


Рис. 2.7. Лабораторні аналітичні електронні ваги E-410.

Знос зразка оцінюється за зміною маси до і після тестування за встановлений певний час випробування і при однаковому навантаженні. Ролики підшипника – зразки з різним ступенем зносу представлені на рис. 2.6.

Зважування зразків проводиться на електронних аналітичних вагах, представлених на рис. 2.7.

Пристрій (рис. 2.3 і 2.4) має такі параметри:

- частота обертання контрзразка – $n = 820 \text{ хв}^{-1}$;
- момент навантаження при терті – $0 \dots 200 \text{ Нм}$;
- споживаний струм електродвигуном – $0 \dots 10 \text{ А}$.

Дослідження впливу шорсткості поверхні на інтенсивність зношування і задира проводилися на розробленому пристрої для випробування олив при терті. Пристрій наведено на рис. 2.4.

В якості зразків використовувалися підшипникові кільця зі сталі ШХ15 твердістю 72HRC. Поверхні кілець попередньо були оброблені шліфуванням і мали різну величину шорсткості від $Ra = 0,0917 \dots 0,094 \text{ мкм}$ (клас шорсткості 10В) до $Ra = 1,2 \text{ мкм}$ (клас шорсткості 6В).

Фотографії зразків наведені на рис. 2.8.



Рис. 2.8. Зразки кілець підшипників.

В якості контрзразків були застосовані ролики підшипників. Шорсткість поверхонь кілець до і після експериментів вимірювалася на профілометрі моделі 2005 з програмним забезпеченням для обробки профілограм.

Метод вибору раціонального трибоматеріалу для початкового періоду експлуатації ДВЗ передбачає проведення експериментальних досліджень з виявлення трибоматеріалів, що забезпечують максимальні протизносні та антифрикційні властивості в трибоспряженні випробовуваних зразків. Наявність цих властивостей в композиції оливи дозволить не тільки підвищити безвідмовність ресурсних з'єднань, але і економити паливо.

Дослідження з вибору раціонального трибопрепарату для даного періоду експлуатації машин проводилися на машині тертя СМЦ-2. Дослідження проводилися за трьома схемами навантаження і тертя в трибоспряженнях зразків. Машина тертя СМЦ-2 представлена на рис. 2.9.



Рис. 2.9. Машина тертя СМЦ-2.

За першою схемою для трибоспряження були взяті виготовлені сталеві загартовані ролики зі сталі 40Х, діаметром 40 мм і шириною 10 мм. Твердість роликів не менше 55 HRC. Початкова шорсткість поверхонь тертя $Ra = 0,16$. На рис. 2.10 представлені зразки – ролики для машини тертя СМЦ-2 для визначення впливу моторної і трансмісійної оливи, що містять різні трибоматеріали, на величину зносу зразків. Перша схема навантаження зразків представлена на рис. 2.11.

Величина зносу зразків визначалася за зміною маси зразків на аналітичних вагах (рис. 2.7) до і після дослідів за певний час.

Попередніми експериментами встановлено, що чим менше відносний знос зразків при терті в суміші оливи і трибопрепарату в порівнянні зі зносом тих же

зразків при терті в чистій оливі, тим менше коефіцієнт тертя, який характеризує трибоматеріал і тим ефективнішим є препарат.



Рис. 2.10. Зразки для дослідження впливу трибоматеріалів у складі оливи на величину зносу.

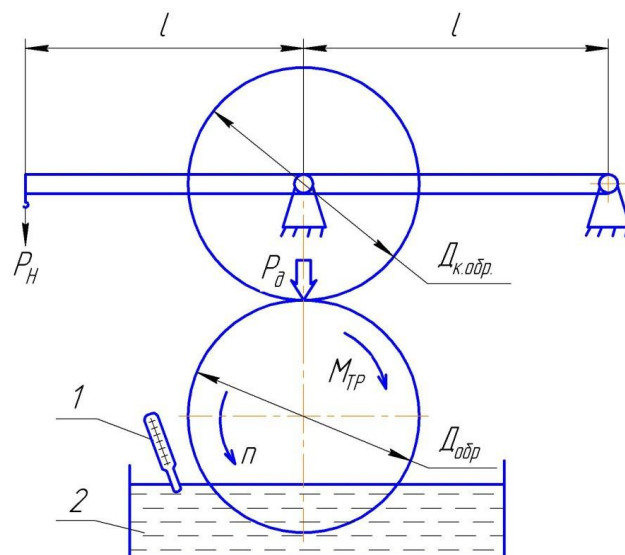


Рис. 2.11. Схема навантаження і змащення трибоспряження на СМЦ-2 для визначення величини зносу зразків залежно від марки трибоматеріалу, що міститься в оливі: 1 – термометр Ш4500 з термопарою «Х–К»; 2 – ванночка з досліджуваним мастилом, що містить трибоматеріал; P_H – сила навантаження, Н; P_d – зусилля тиску, Н; $D_{обр} = D_{к.обр} = 40$ мм – діаметри роликів зразка і контрзразка.

Відомо, що найменш ресурсним спряженням у ДВЗ є спряження гільза – поршневе кільце. За літературними даними [9] ресурс кілець у нових дизелів дорівнює приблизно 800 мото-год. Далі автор [6] вказує, що умови роботи

поршневих кілець дуже важкі, температура першого кільця досягає 200°C , до 75 % від усіх втрат двигуна на тертя припадає на спряження кілець з циліндром, до 50...60 % тепла відводиться в систему охолодження через сполучення кілець з циліндрами, решта тепла відводиться оливою та іншими елементами.

Тому, перш за все необхідно виконати дослідження і обґрунтувати рекомендації щодо застосування конкретних марок трибоматеріалів для ресурсних спряжень деталей циліндро-поршневої групи.

У зв'язку з цим була застосована друга схема тертя і навантаження в трибоспряженні, представлена на рис. 2.12. За пропонованою методикою на машині тертя СМЦ-2 передбачалося максимально наблизити умови експерименту до умов тертя поршневих кілець у двигуні.

Зусилля тиску зразка на контрзразок (рис. 2.12) визначалося на основі реального тиску газів у камері згоряння дизеля і питомого тиску верхнього компресійного кільця на «дзеркало» гільзи, виходячи зі схеми розподілу тиску газів у лабиринтовому ущільненні кілець, представленої на рисунку 2.13 [9].

Тиск газів на поршень P_z (рис. 2.13) для дизелів $P_z = 8...10$ МПа, для ДВЗ з турбонаддувом $P_z = 10...12$ МПа [1, 9] Середній тиск газів, що притискають верхнє компресійне кільце до стінки гільзи, згідно зі схемою (рис. 2.13) прийнято рівним 8 МПа або питомий тиск дорівнює 800 Н/см^2 .

Дослідження проводилися за схемою «обертвий чавунний ролик – нерухома чавунна колодка» виготовлені з чавуну і поршневого кільця.

Методика обґрунтування та вибору трибоматеріалу для збільшення наступного (після початкового) періоду експлуатації двигуна з метою відновлення зазорів у ресурсних сполученнях без розбирання полягає в дослідженні можливості отримання в лабораторних умовах зміни діаметра і маси зразків шляхом нарощування антифрикційного шару на поверхнях тертя зразків.

Раніше припущено було сказано, що в цей період експлуатації ДВЗ доцільно застосовувати трибоматеріали, що відносяться до ревіталізаторів.

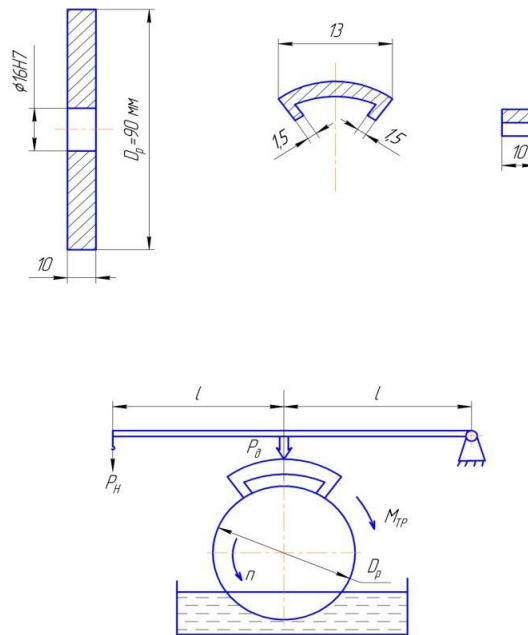


Рис. 2.12. Схема навантаження і змащення трибоспряження на СМЦ-2 для визначення коефіцієнта тертя в залежності від марки трибоматеріалу, що міститься в оливі: P_H – сила навантаження, Н; P_D – зусилля тиску, Н, $P_D = 2P_H$; M_{TP} – момент тертя ковзання, Н·см; n – частота обертання ролика, хв^{-1} ; 1 – ванна; 2 – олива, що містить трибоматеріал

Методика обґрунтування та вибору трибоматеріалу для збільшення наступного (після початкового) періоду експлуатації двигуна з метою відновлення зазорів у ресурсних сполученнях без розбирання полягає в дослідженні можливості отримання в лабораторних умовах зміни діаметра і маси зразків шляхом нарощування антифрикційного шару на поверхнях тертя зразків.

Раніше припущено було сказано, що в цей період експлуатації ДВЗ доцільно застосовувати трибоматеріали, що відносяться до ревіталізаторів.

Основним критерієм в оцінці необхідності застосування ревіталізаторів є наявність діагностичних ознак або параметрів, які вказують на те, що ресурсні спряження двигуна досягли 40...60 %. Пізніше за межами зазначеної границі величини зносу застосовувати трибоматеріал не рекомендується, оскільки реанімувати зноси, близькі до граничних значень неможливо.

Однак, як показали наші дослідження в лабораторних умовах на машині тертя СМЦ-2 отримати нарощений шар товщиною хоча б в 0,01 мм практично неможливо.

У зв'язку з цим, завдяки тривалій безперервній роботі на машині тертя СМЦ-2, більше 15 год, була отримана тільки антифрикційна плівка, товщину якої виявити оптиметром (ціна поділки 0,001 мм) не вдалося.

Практика застосування РВС-технологій багатьма організаціями показала, що в результаті тривалої роботи механізму товщина шару на поверхнях у вузлах тертя деталей може досягати більше 0,05 мм.

Критерієм тривалості безперервної роботи машини тертя (15...20 год) послужила стабільність (незмінність) маси зразка в процесі випробування, яка через знос зменшувалася до моменту формування антифрикційної відновлювальної плівки в трибоспряженні. При тривалості обкатки, що перевищує 15...20 годин, відзначалося збільшення маси зразка до 0,001 г.

З різних джерел [2] відомо, що за своєю природою антифрикційна плівка є діелектриком, тому доказом факту утворення антифрикційної плівки послужила методика вимірювання електроопору цієї плівки на поверхні тертя зразка.

Електроопір плівки на зразку вимірювався приладом Ф4313, представленим на рис. 2.14.

На підставі результатів раніше проведених попередніх досліджень і даних тривалих спостережень за експлуатацією оброблених трибоматеріалами двигунів, трансмісії трактора МТЗ і верстатного обладнання [1] було виявлено, що найбільш ефективною трибодобавкою, з точки зору компенсації зазорів у ресурсних спряженнях, є препарат «RVS-мастер» виробництва Фінляндія.

У зв'язку з цим лабораторні дослідження та моніторинг експлуатаційних випробувань щодо збільшення міжремонтного ресурсу та безвідмовності в наступний період експлуатації двигунів в основному проводилися із застосуванням препарату «RVS-мастер» [2].



Рис. 2.14. Вимірювання електроопору антифрикційної плівки на зразку.

Завдання стендових випробувань трибоматеріалу на дизелі Д-240 полягало в тому, щоб експериментально перевірити висновки лабораторних триботехнічних досліджень і підтвердити теоретичне припущення: після ремонту ресурс двигуна можна збільшити, а витрату дизельного палива зменшити завдяки зниженню механічних втрат і покращенню компресії в циліндрах.

Як об'єкт стендових досліджень обрано двигун Д-240 трактора МТЗ — один із наймасовіших у вітчизняному сільському господарстві. Випробування виконувалися на стенді КИ-5543 відповідно до вимог ДСТУ. Дослідний двигун показано на рис. 2.15, а стенд КИ-5543 — на рис. 2.16. У процесі роботи приладовим контролем реєстрували годинну витрату палива, частоту обертання колінчастого вала, температуру охолоджувальної рідини, температуру й тиск оливи, а також низку інших робочих показників.



Рис. 2.15. Двигун Д-240, змонтований на стенді КИ-5543.

Як трибоматеріал застосовано Eco-Universal Oil Package компанії Wagner (Німеччина). За підсумками лабораторних триботехнічних досліджень саме цей препарат показав найкращі результати: він забезпечив найнижчий коефіцієнт тертя у трибосполуках і мінімальний знос зразків у парі тертя як під час випробувань на машині тертя СМЦ-2, так і на установці для оцінювання схильності до задирів. Крім того, використання препарату запобігало появі задирів на зразках навіть за навантажень, що в рази перевищували ті, за яких під час випробувань без додавання трибопрепарату в оливу спостерігалося заклинювання.



Рис. 3.17. Вагова установка з паливною ємністю та електронний секундомір.

Трибопрепарат вводили до моторної оливи М10Г2К у кількості 5...6 %. Після заповнення картера двигун протягом 40 хвилин працював на режимі 1000 хв⁻¹, щоб забезпечити рівномірну обробку всіх пар тертя активними компонентами препарату.

Відповідно до методики оцінювання механічних втрат, яку виконують під час зняття характеристики холостого ходу, дослідження проводили у два етапи. Спочатку визначали величину механічних втрат (кВт) за прокручування колінчастого вала на частотах 1000, 1100, 1200, 1300 та 1430 хв⁻¹. Далі вимірювали годинну витрату палива при зміні обертів у діапазоні 1200...2337 хв⁻¹ із кроком 200 хв⁻¹. Дані, отримані до застосування трибопрепарату і після нього, опрацьовували за комп'ютерною програмою, розробленою на кафедрі «Агроінженерії та технічного сервісу» Поліського національного університету (м. Житомир). У підсумку розраховували: механічні втрати (кВт), годинну витрату палива Gт (кг/год), циклову подачу гц (мг/цикл), питому індикаторну витрату gі (г/кВт·год) та індикаторний ККД ηі.

Експлуатаційні випробування проводили для того, щоб перевірити, наскільки результати лабораторних триботехнічних експериментів і стендових випробувань відтворюються в реальних умовах роботи техніки.

На сільськогосподарських підприємствах перед трибообробкою всі відібрані двигуни, за підсумками діагностики та експертної оцінки технічного стану, спочатку проходили традиційний капітальний ремонт.

За результатами двох і більше років періодичних спостережень і контролю оформлювали підсумкові акти, у яких відзначали, що застосування трибоматеріалів Wagner у штатних режимах експлуатації сприяє підвищенню компресії в циліндрах, зменшенню вібрації двигуна, зростанню тиску оливи та загальному збільшенню післяремонтного ресурсу — без зафіксованих відмов у ресурсоутворювальних сполуках.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

Відповідно до поставлених завдань і розробленої методики на першому етапі експериментальних досліджень проводилася діагностика трибоматеріалів з метою виявлення та оцінки протизадирних властивостей.

Особлива увага приділялася величині навантаження в трибопарі, при якій відбувалося заклинювання (задир) і зупинка електродвигуна приводу контрзразку – кільця підшипника на пристрої для випробування мастил при терті.

На другому етапі оцінювалися величина зносу зразків і коефіцієнт тертя в залежності від умов тертя і марки трибоматеріалу в складі композиції.

В результаті попередніх триботехнічних випробувань на задир більше 20 марок трибоматеріалів, представлених на рис 2.1, на пристрої (рис 2.2,) були відсіяні кілька марок трибопрепаратів через відносно низькі показники.

З діаграми (рис. 3.1) випливає, що тільки два трибопрепарати з 9 можуть гарантовано виключати утворення задирів і заклинювання в трибоспряженні зразків. Це препарати фірми Wagner. Встановлено, що ці ж препарати мають і унікальну зносостійкість. Виявилось, що величина зносу при терті зразків фірми Wagner на порядок нижча в порівнянні з іншими трибоматеріалами в складі моторної оливи. Відносний коефіцієнт тертя, за показниками амперметра на пристрої, також у 5...7 разів був нижчим. Величина споживаного струму електродвигуном не перевищувала 0,5 А з препаратами Wagner. На всіх інших препаратах струм дорівнював 4...5 А.

На рис. 3.2 представлені зразки із зносами у складах моторної оливи, що містить трибоматеріали фірм Wagner, Форсан і PBC.

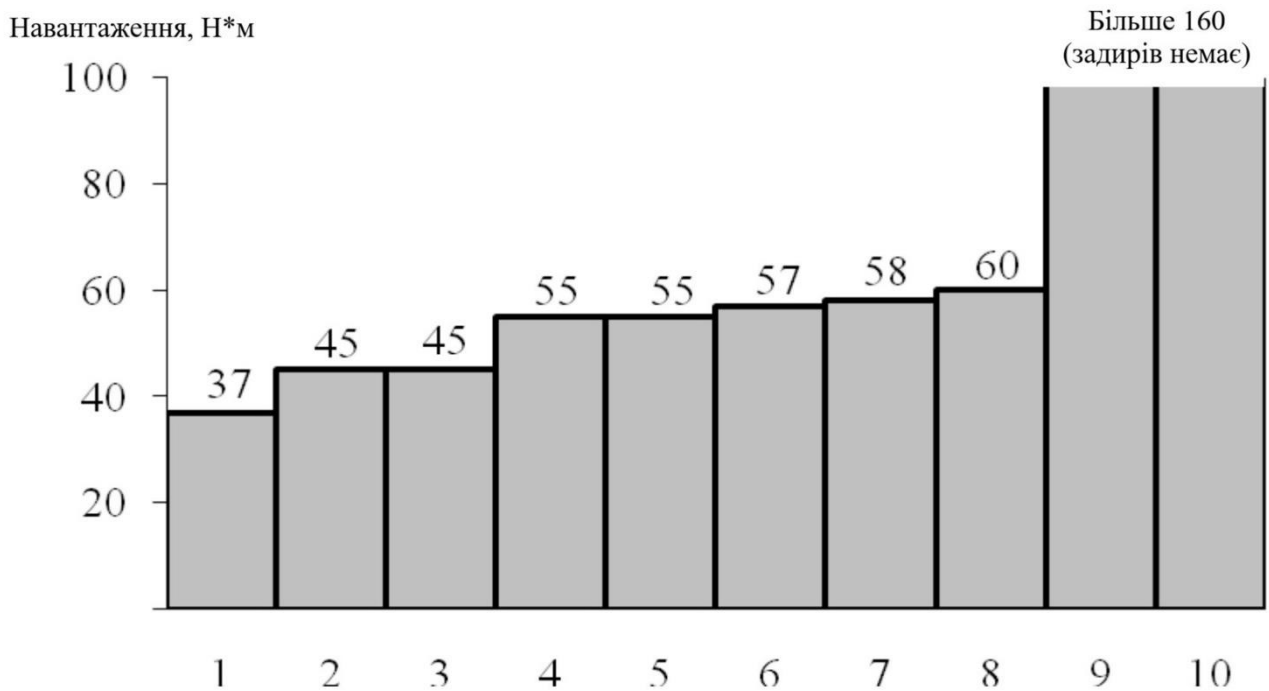


Рис. 3.1. Діаграма зміни максимального навантаження ($H \times m$) у трибоспряженні, при якому відбувається задир (заклинювання) і зупинка електродвигуна: 1 – чиста моторна олива; 3 – APVO; 2 – Форум; 4 – РВД; 6 – РВС; 5 – Форсан універсальний; 7 – Реагент-2000; 9 – Ceramic Wagner; 8 – Супротек універсальний; 10 – Oil Package Wagner

На рис. 3.2 представлені зразки із зносами у складах моторної оливи, що містить трибоматеріали фірм Wagner, Форсан і РВС.

Інші трибоматеріали, Форсан і РВС, мають дещо кращі триботехнічні показники в порівнянні з чистою моторною оливою. Очевидно, що ці препарати не повністю проявили свої властивості на запатентованому пристрої, що забезпечує максимальну локалізацію навантаження і швидкоплинність процесу (менше 1 хвилини) до утворення задирів.

Причому, показники цих трибопрепаратів, як видно з рис. 3.1, істотно не відрізняються один від одного. І це цілком зрозуміло, тому що механізми впливу цих препаратів на третю металеву поверхню деталей, ймовірно, зовсім інші і істотно відрізняються від препаратів Wagner. Відомо, що ця група препаратів розрахована на тривалий вплив на процеси модифікації поверхонь трибоспряжень деталей. Велика тривалість процесу підвищення зносостійкості

деталей у контакті з ревіталізаторами пояснюється тривалим процесом утворення антифрикційного шару.

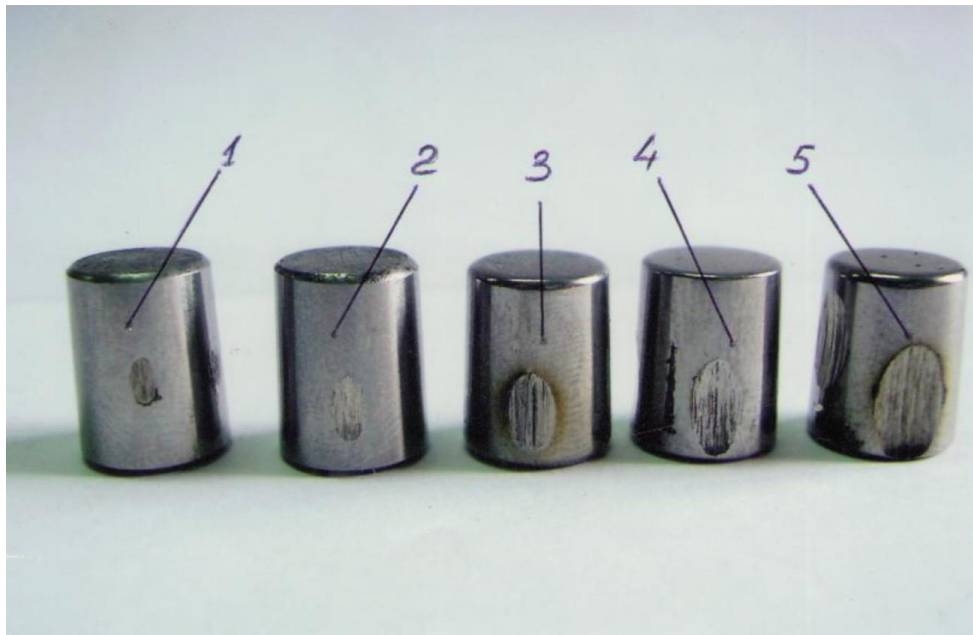


Рис. 3.2. Зразки із зносом у моторній оливі, що містять трибоматеріали фірм Wagner, ФОРСАН і РВС: 1 – Oil Package (Wagner); 2 – мікрокераміка (Wagner); 3 – РВС; 4 – ФОРСАН; 5 – чиста моторна олива.

На підставі отриманих результатів триботехнічних досліджень трибоматеріалів (рис. 3.1) і результатів впровадження можна стверджувати, що тривалість експлуатаційної обкатки, як для дизелів після капітального ремонту, так і для нової сільгосптехніки, може бути скорочена не менше ніж на 70...80 %, тобто, для різних марок сільгосптехніки замість 30...60 мото-годин, роботи на знижених навантаженнях, швидкостях і потужності двигуна, вже через 10...20 годин можна завантажувати двигун і всі інші агрегати машини на 100 %, застосовуючи нову технологію обкатки і підвищення безвідмовності ресурсних сполучень двигуна.

На практиці в умовах повсякденної експлуатації тракторів і комбайнів нерідко порушуються рекомендації щодо режимів обкатки ДВЗ. В основному дотримуються лише вимог інструкцій щодо заміни оливи та промивання картерів.

У зв'язку з цим застосування трибоматеріалів Wagner особливо важливе для скорочення періоду обкатки ДВЗ і підвищення її якості після капітального ремонту в МРМ СГП.

Однак, провідні дилерські підприємства без вказівки і внесення змін в інструкції заводів-виробників нової техніки і ремонтних заводів для відремонтованої і модернізованої техніки, не можуть самостійно прийняти рішення про застосування трибоматеріалів, що скорочують період обкатки, в тому числі і препарат Wagner, незважаючи на те, що дилери могли б істотно скоротити свої витрати на усунення наслідків відмов в гарантійний період.

В результаті обговорення результатів триботехнічних випробувань трибоматеріалів, отриманих за допомогою універсальної методики, можна зробити наступний висновок: Для двигунів після капітального ремонту, виконаних в умовах ремонтно-обслуговуючих підприємств і в МРМ СГП, необхідно скорочену експлуатаційну обкатку проводити з обов'язковим застосуванням трибопрепаратів фірми Wagner.

Для вирішення поставленого завдання за розробленою методикою були проведені попередні триботехнічні дослідження на машині тертя СМЦ-2 щодо впливу трибоматеріалів у складі моторної оливи на величину зносу зразків.

Дані досліди проводилися за першою схемою навантаження і змащення трибоспряження на СМЦ-2. При проведенні експериментів прийнята мінімальна, але достатня тривалість випробування зразків, рівна 4 годинам. Відносна швидкість ковзання поверхонь тертя, при частоті обертання ролика $n = 500$ об/хв і діаметрі роликів $D = 40$ мм становить 1,04 м/с.

Методикою передбачався наступний порядок досліджень: – зусилля навантаження ступінчасте: $P_n = 200 \dots 600$ Н, що забезпечує навантаження в зоні тертя 400...1200 Н. Нормальний тиск $P_d = 400$ Н – припрацювальний, нормальний тиск $P_d = 1200$ Н – контрольний. Час припрацювання пар – 20 хвилин..

Концентрація препаратів готувалася відповідно до інструкцій виробників. Під час досліджень кожні 30 хвилин фіксувалася зміна температури. До і після закінчення дослідження проводилося зважування зразків на лабораторних електронних вагах Е-410.

Результати дослідження протизносних властивостей шести найменувань трибопрепаратів у порівнянні з чистою моторною оливою представлені на діаграмі (рис. 3.3). На діаграмі показані усереднені значення зносу.

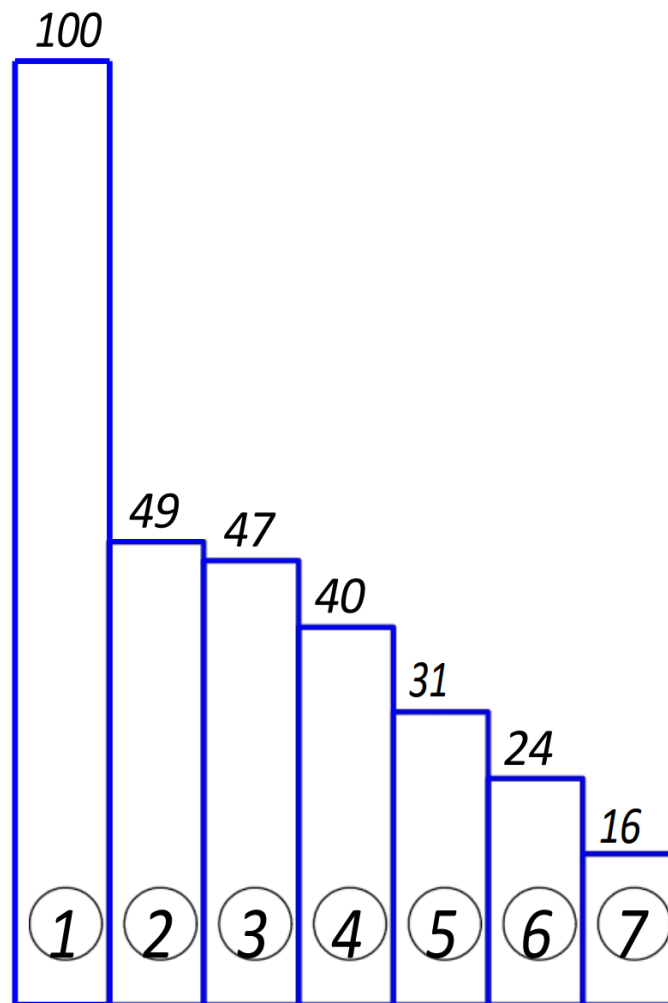


Рис. 3.3. Діаграма зміни сумарного зносу у відсотках зразка і контрзразку при терті в оливі з трибоматеріалами щодо зносу зразків у чистій моторній оливі, прийнятого за 100 %: 1 – моторна олива – Temol SAE 10W-40, APISG/CD; 2 – Реагент-2000; 3 – Супротек універс; 4 – Форсан; 5 – Micro-Ceramic Wagner; 6 – PBC; 7 – Oil Package фірми Wagner.

З рис. 3.3 випливає, що всі препарати призначені для збільшення ресурсу двигунів, на машині тертя проявили зниження зносу зразків порівняно із зносом тих самих зразків на чистій моторній оливі, у 2 рази і більше, особливо препарати фірми Wagner.

Препарат Oil Package фірми Wagner зменшив сумарний знос зразків більш ніж у 6 разів. Хороший результат щодо зменшення зносу показав препарат PBC – 31 %, тобто знос зразків у порівнянні зі зносом у чистій моторній оливі зменшився більш ніж у 3 рази.

Можна з упевненістю стверджувати, що всі препарати дають істотний позитивний ефект щодо зниження зносу зразків, а отже і щодо уповільнення швидкості зношування деталей ресурсних сполучень.

Слід зазначити, що температура в зоні тертя зразків не перевищувала 140 °С, а температура складу з препаратами фірми Wagner була нижчою на 10...15 °С у порівнянні з усіма препаратами, включаючи і результат випробування в чистій моторній оливі.

Отримані результати лабораторних досліджень щодо зменшення інтенсивності зношування сталевих загартованих зразків за допомогою трибопрепаратів є лише непрямим підтвердженням збільшення довговічності ресурсних сполучень. У реальних двигунах через істотні відмінності умов тертя показники зносу деталей можуть бути іншими.

Однак з досить великою ймовірністю можна стверджувати, що препарати фірми Wagner і PBC успішно можуть застосовуватися для підвищення довговічності не тільки для двигунів, що пройшли капітальний ремонт, але і для нових.

Таким чином, можна вважати, що раніше висунуті передумови щодо підвищення довговічності ДВЗ експериментально триботехнічними дослідженнями підтверджені.

Таким чином, в результаті обговорення отриманих даних можна зробити наступні висновки:

1. Для подальшого третього періоду штатної експлуатації двигунів тракторів, поряд з трибоматеріалами Wagner, рекомендується застосовувати PBC-технологію, що збільшує напрацювання до відмови третьої групи складності.

2. Стабілізація маси зразків при терті на машині тертя СМЦ-2 і навіть незначне її приростання при випробуванні PBC, а також зафіксований факт наявності зносостійкості та електроізолюючої плівки на поршневому кільці є доказом висунутої передумови про достовірне підвищення довговічності ДВЗ.

Результати перевірки ефективності трибопрепарату Oil Package Wagner на встановленому на стенді КИ-5543 двигуні Д-240 представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати випробування двигуна Д-240 на холостому ході

Найменування параметра двигуна	Середнє значення параметра до застосування трибопрепарату	Середнє значення параметра після застосування трибопрепарату	% зміни показника
Годинна витрата палива G_T кг/год	2,51	2,12	15,5
Циклова подача палива $q_{ц}$ мг/цикл	11,27	9,74	13,5
Питомий індикатор-питома витрата палива q_i г/кВт·год	187	163	12,8
Індикаторний ККД	0,46	0,53	15,2
Механічні втрати при прокручуванні, кВт	8,43	7,99	5,2

З таблиці 3.1 випливає, що втрата потужності на механічне тертя в з'єднаннях механізмів двигунів знизилася на 5,2 % і в зв'язку з цим, а також у зв'язку з підвищенням компресії в циліндрах двигуна, істотно знизилася годинна

витрата дизельного палива на 15,5 % і відповідно підвищився індикаторний ККД на 15,2 %.

Певний науковий інтерес представляють залежності зміни основних характеристик двигуна Д-240 при роботі на моторній оливі, що містить трибопрепарат, щодо роботи двигуна на чистій оливі.

Отримана на стенді економія дизельного палива 15,5 % від застосування трибоматеріалу в складі моторної оливи для двигуна Д-240 (трактори типу МТЗ) підтверджує висунуту передумову про економію в процесі штатної експлуатації.

Додатково до стендових випробувань двигуна Д-240 із застосуванням трибопрепарату Oil Package у складі моторної оливи, були проведені польові випробування.

Орієнтовний розрахунок економії дизельного палива показав, що годинна витрата палива повинна зменшитися на 5...7 % в умовах повсякденної експлуатації від застосування трибопрепарату Oil Package.

Отримані відмінності в економії годинної витрати палива на стенді двигуном Д-240 (15,5 %) і в польових умовах (5...7 %) можна пояснити різною точністю вимірювання числа обертів колінчастого вала тахометром і точністю подачі палива.

Крім того, встановлено, що в умовах експлуатації реальних механізмів, оброблених трибопрепаратом Oil Package, найбільший ефект у зниженні тертя в спряженнях деталей спостерігається після 5...6 годин безперервної роботи.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Опрацювання наукових джерел засвідчило, що до 40 % усіх відмов машин припадає саме на двигун. Вирішальним чинником таких відмов є недостатня якість капітального ремонту ДВЗ у умовах МРМ СГП.

Післяремонтна довговічність і безвідмовність автотракторних двигунів формуються насамперед під час обкатки та надалі залежать від режимів експлуатації. Щоб збільшити напрацювання до відмов третьої групи складності, необхідно одночасно підвищити рівень ремонту й обкатування та зменшити зношування ресурсоутворювальних деталей шляхом застосування обґрунтовано підібраних трибоматеріалів. Установлено, що найбільш результативними є трибоматеріали компанії Wagner, введені до складу моторних олиव.

Доведено можливість істотно скоротити тривалість післяремонтної експлуатаційної обкатки ДВЗ — орієнтовно до 20 мото-год замість нормативних 60...120 мото-год. Показано, що використання раціонально підібраних трибоматеріалів Wagner дає змогу збільшити напрацювання до першої ресурсної відмови щонайменше вдвічі, одночасно запобігаючи появі задирів у критичних ресурсних сполуках.

У ході триботехнічних експериментів, виконаних у режимах тертя, наближених до роботи ресурсоутворювальних пар двигуна, встановлено, що трибоматеріали Oil Package та Micro-Ceramic Wagner порівняно з іншими аналогами суттєво знижують коефіцієнт тертя і знос зразків. Значення коефіцієнта тертя не перевищувало 0,05, а його стабілізація відбувалася менш ніж за одну годину.

Стендові випробування двигуна Д-240 на установці КИ-5543 підтвердили лабораторні висновки щодо ефективності трибоматеріалів Wagner. Застосування трибопрепарату Oil Package у стендових умовах забезпечило покращення ключових показників: годинна витрата палива зменшилася на 15,5 %, втрати потужності на механічне тертя — на 5,2 %, питома циклова подача палива та

питома індикаторна витрата палива скоротилися відповідно на 13,5 % і 12,8 %, а індикаторний ККД зріс на 15,2 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Борак К.В., Вазінський М.Ю., Дубінін Д.Ю. Особливості технічного обслуговування сучасних дизельних двигунів. Напрями розвитку технологічних систем і логістики в АПВ: матеріали VI Міжнар. наук.-практ. інтернет-конф., 22 травня 2025 р. Харків: ДБТУ, 2025. С. 35-39.
2. Борак К.В., Ткачук Б.М., Перспективи розвитку технічного сервісу МТП в АПК. Збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції «Крамаровські читання» з нагоди 118-ї річниці від дня народження доктора технічних наук, професора, віцепрезидента УАСГН Крамарова Володимира Савовича (1906-1987) 20-21 лют. 2025 р., м. Київ / МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. К.: Видавничий центр НУБіП України, 2025. С. 61-62.
3. Борак К. В. Боровський В.М., Мовчан К.В. Сучасні методи дефектування колінчастих валів. Технічний прогрес в АПК : мат. XX міжнар. наук.-практ. конф. (21-22 травня 2025 року). Харків : Державний біотехнологічний університет, 2025. С. 206-208.
4. ISO 3046-1:2002. Reciprocating internal combustion engines. Performance. Part 1. Declarations of power, fuel and lubricating oil consumptions, and test methods. Geneva : ISO. 2002.
5. SAE J300_202405. Engine Oil Viscosity Classification. Warrendale, PA : SAE International. 2024. 9 p.
6. ASTM D4172-21. Standard Test Method for Wear Preventive Characteristics of Lubricating Fluid (Four-Ball Method). West Conshohocken, PA : ASTM International. 2021.
7. ASTM D2783-21. Standard Test Method for Measurement of Extreme-Pressure Properties of Lubricating Fluids (Four-Ball Method). West Conshohocken, PA : ASTM International. 2021.

8. Коновалюк О. В., Кіяшко В. М., Колісник М. В. Технічний сервіс в агропромисловому комплексі. Київ : Аграрна освіта. 2013. 404 с.
9. Грушецький С. М., Бендера І. М., Козаченко О. В. Технічний сервіс в АПК. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисін Я. І. 2014. 680 с.
10. Бендера І. М., Грушецький С. М., Роздорожнюк П. І., Михайлович Я. М. Технологія технічного обслуговування машин. Кам'янець-Подільський : ФОП Сисин О. В. 2009. 320 с.
11. Шокарев О. М., Кюрчев В. М., Кюрчев С. В., Побігун А. М. Організація та технологія технічного сервісу машин. Мелітополь : ТОВ «ФОРВАРДПРЕСС». 2019. 307 с.
12. Митрофанов О. С., Проскурін А. Ю. Основи експлуатації, обслуговування та ремонту двигунів внутрішнього згорання. Миколаїв : Торубара В. В. 2018. 152 с.
13. Маркович С. І. Експлуатація та ремонт двигуна внутрішнього згорання. Кропивницький : ЦНТУ. 2022. 49 с.
14. Чабанний В. Я., Черновол М. І., Солових Є. К. та ін. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення. Кропивницький : ЦНТУ. 2022. 486 с.
15. Жалкін Д. С., Жалкін С. Г. Хімотологія мастил. Харків : УкрДУЗТ. 2018. 56 с.
16. Wagner Spezienschmierstoffe GmbH & Co. KG. WAGNER Additives Catalogue (High Tech Additives). 2021.
17. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ : ДП «УкрНДНЦ». 2017. 26 с.
18. Молодан А. О. Наукові основи забезпечення надійності і функціональної стабільності колісних машин в режимі відключення частини циліндрів. Харків. 2021. 32 с.

19. Борак К. В., Мовчан К. В., Заруцький С. О., Боровський І. В. Перспективні напрямки підвищення надійності дизельних двигунів вантажних автомобілів. Міжнародній науково-практичній конференції до Дня автомобіліста та дорожника “Сучасне автомобілебудування, транспорт і дорожня інфраструктура ‘2025” (MAITRI 2025). Харків, 30-31 жовтня 2025 року. С. 75–85.

20. Савченко В.М., Диняк О.В., Заруцький С.О. Двофазне сумішоутворення в дизелі як спосіб поліпшення техніко-енергетичних показників трактора. XIV Міжнародна науково-технічна конференція «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві» (01-17 жовтня 2025 р.). URL: <http://animal-conf.inf.ua/conf.html>.

21. Саух О., Заруцький С. Грудовий Р. Сучасні технології та технічний сервіс: виклики і можливості: збірник матеріалів I Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (м. Кам’янець-Подільський, 16 жовтня 2025 року). Кам’янець-Подільський: Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», 2025. Забруднення охолоджуючої рідини та їх джерела. С. 227-229.