

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

**Факультет інженерії та енергетики**

**Кафедра машиновикористання та сервісу технологічних систем**

**Кваліфікаційна робота**

**на правах рукопису**

**Левківський Олександр Олегович**

**УДК 621.43**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**Підвищення зносостійкості циліндрів автомобільних  
двигунів при відновленні**

**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 \_\_\_\_\_ **О.О. Левківський**

**Керівник роботи**

**Борак К.В.**

**Кандидат технічних наук**

**Житомир – 2020**

## АНОТАЦІЯ

**Левківський Олександр Олегович. Підвищення зносостійкості циліндрів автомобільних двигунів при відновленні. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.**

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2020.

В магістерській роботі встановлено, що величина зносу гільз циліндрів дизельних двигунів випробуваних на композиційному маслі з реалізацію електротрибохімічного процесу у 1,5 рази менше, ніж на базовому, а інтенсивність зношування верхніх компресійних кілець у 1,4 рази менший. При цьому момент механічних втрат знизився на 14,3 %.

Середнє напрацювання відремонтованих дизельних двигунів на базовому маслі М-10Г<sub>2</sub> склало 2510 мото-год, а на композиційному маслі з електротрибохімічним процесом – 3240 мото-год.

Зміщення в напрямку більшого напрацювання графіків диференціальної й інтегральної функцій розподілу міжремонтного ресурсу двигунів обкатаних за запропонованою технологією свідчать про суттєве підвищення довговічності двигуна. Середній міжремонтний ресурс двигуна, розрахований за математичною моделлю прогнозування довговічності, становить 3780 мото-год, а за експлуатаційними випробуваннями – 3240 мото-год.

*Ключові слова: двигун, циліндр, зносостійкість, довговічність, електротрибохімічний процес*

## ANNOTATION

**Levkivsky Alexander Olegovich. Increasing the wear resistance of car engine cylinders during restoration.** – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualifying work for a master's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissya National University, Zhytomyr, 2020.

In the master's thesis it was found that the wear of the cylinder liners of diesel engines tested on composite oil with the implementation of electrotribochemical process is 1,5 times less than on the base, and the wear intensity of the upper compression rings is 1,4 times less. At the same time, the moment of mechanical losses decreased by 14,3%.

The average operating time of the repaired diesel engines on base oil M-10Г<sub>2</sub> was 2510 moto-hours, and on composite oil with electrotribochemical process – 3240 moto-hours.

The shifts in the direction of greater development of the graphs of the differential and integral functions of the distribution of the service life of engines running on the proposed technology indicate a significant increase in engine life. The average service life of the engine, calculated according to the mathematical model of durability forecasting, is 3780 moto-hours, and according to operational tests – 3240 moto-hours.

*Keywords: engine, cylinder, wear resistance, durability, electrotribochemical process*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ.....	8
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ СТЕНДОВИХ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВИПРОБУВАНЬ.....	13
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ СТЕНДОВИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	22
ВИСНОВКИ.....	37
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	38

## ВСТУП

В сучасних умовах господарювання, коли ціна на транспортні засоби, а так само на обладнання, матеріали та інструменти постійно зростають, важливе значення має підвищення якості та довговічності деталей і вузлів.

На думку вітчизняних і зарубіжних фахівців основним типом силових установок, тракторів, автомобілів, комбайнів та іншої техніки на найближчі 20 років залишиться дизельний двигун, як найбільш економічний і такий який має хороші експлуатаційні показники. У зв'язку з цим, в повній мірі зберігає свою актуальність завдання підвищення довговічності дизельного двигуна, зниження енергетичних, матеріальних і трудових витрат при його експлуатації та технічному обслуговуванні. Це в першу чергу стосується деталей циліндро-поршневої групи і зокрема гільз циліндрів.

Витрати на експлуатацію дизельних двигунів представляється можливим знизити за рахунок проведення наступних заходів: підвищення якості та надійності виготовлення і відновлення деталей; якісного складання вузлів, агрегатів і машин в процесі їх виробництва, обкатки, ремонту та технічного обслуговування.

Підвищення якості та зниження витрат на реновацію робочої поверхні гільз циліндрів можна домогтися шляхом вдосконалення і застосування прогресивних технологій обкатки, своєчасного якісного діагностування. Дизелі, відремонтовані в повній відповідності з технічними вимогами, повинні мати післяремонтний ресурс – 6...8 і більше тис. мото-год при дотриманні правил експлуатації.

**Мета і задачі дослідження.** Мета досліджень – підвищити зносостійкість та довговічність циліндрів автомобільних двигунів при відновленні за рахунок електротрибохімічного процесу в період обкатки.

- Проаналізувати умови роботи гільз циліндрів дизельних двигунів сільськогосподарської техніки;

- розробити методику досліджень;
- Провести стендові та експлуатаційні дослідження;
- Надати рекомендації для проведення процесу обкатки відремонтованих дизельних двигунів.

**Об'єкт дослідження:** процес обкатки дизельних автомобільних двигунів при їх відновленні.

**Предмет дослідження:** взаємозв'язок параметрів процесу обкатки дизельних автомобільних двигунів при їх відновленні зі зносостійкістю та довговічністю елементів циліндро-поршнєвої групи.

**Методи дослідження.** Дослідження виконано з використанням загальнонаукових методів пізнання, методів теорії надійності, механіки, трибохімії, трибофізики та прикладної фізики. Обробку експериментальних даних виконували за допомогою методів математичної статистики з використанням прикладних програм для ЕОМ.

#### **Перелік публікацій за темою роботи:**

1. **Левківський О. О.** Технічна характеристика деталей ЦПГ дизельних двигунів автомобілів та мобільної сільськогосподарської техніки та аналіз умов їх роботи. Збірник тез V-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»*. 28-29 березня 2019 року м. Житомир. ЖАТК. С. 298-299.

2. **Левківський О. О.** Підвищення довговічності відремонтованих дизельних двигунів прискореним припрацюванням деталей ЦПГ. Збірник тез VI-ї всеукраїнської науково-практичної конференції *«Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 9-10 квітня 2020 року. Житомир : ЖАТК. С. 214

3. **Левківський О.О.** Аналіз умов роботи гільз циліндрів дизельних двигунів сільськогосподарської техніки. IX Міжнародної науково-технічної конференції *«Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві»*, 5-24

жовтня 2020 року, смт. Глеваха Київської області, Національний науковий центр «ІМЕСГ» НААН України. м. Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Видавничий центр НУБіП України, 2020.

**Практичне значення одержаних результатів.** Результати роботи можуть бути використанні в машиноремонтних майстернях аграрних підприємств при ремонті дизельних двигунів сільськогосподарської техніки

**Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 14 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 38 сторінок комп'ютерного тексту, містить 14 таблиць і 12 рисунків.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

До числа найбільш відповідальних деталей двигунів комбайнів: автомобілів і тракторів відноситься гільза циліндра.

В процесі експлуатації двигунів, що працюють в різних умовах (оранка, культивуація, збирання врожаю та ін.), в результаті дії різних факторів (динамічні навантаження, температурне і абразивну дію, корозія і т.д.) гільзи циліндрів зношуються. Встановлено, що термін служби гільзи залежить від якості матеріалу, з якого вона виготовлена, методу отримання заготовки, якості механічної та термічної обробки, способу зміцнення, точності складання і умов експлуатації [1-8].

Аналіз результатів досліджень [5], досвіду роботи спеціалізованих підприємств Житомирської та інших областей по відновленню гільз циліндрів сільськогосподарської техніки показав, що основними дефектами зношених гільз є наступні: тріщини, злами, пробоїни, кавітаційні раковини, руйнування зовнішньої поверхні, поздовжні ризики, задири, сліди корозії на внутрішній поверхні, знос, овальність, конусоподібність внутрішньої поверхні, знос опорного верхнього бурту, нижнього, а також посадочних пасків [7-14].

Встановлено, що задири і подряпини на робочій поверхні гільзи з'являються внаслідок впливу абразивних частинок, що потрапляють в неї разом з маслом і повітрям, ослаблення кріплення поршневого пальця, в результаті залягання поршневих кілець, а також від перекосу поршня при русі в гільзі.

Як по висоті, так і по діаметру знос гільзи відбувається нерівномірно. Максимальний знос гільзи по висоті спостерігається в місці прилягання верхнього компресійного кільця при положенні поршня у верхній мертвій точці. Такий характер зносу гільзи зумовлений багатьма причинами.



Показано [6,7], що в процесі згоряння палива в циліндрі різко підвищується температура і тиск газів. Температура на дзеркалі циліндра може досягати 400 °С, а тиск газів від 14 до 21 атм. в залежності від типу двигуна (мінімальні значення для карбюраторних, а максимальні – дизельних).

Таке збільшення тиску газів в циліндрі і за поршневыми кільцями при їх просуванні вниз під час робочого ходу, а також при русі вгору на такті стиснення, призводить до притиснення кілець до дзеркала гільзи і збільшення зносу у верхній її частині. Зміна напрямку руху поршня в мертвих точках сприяє розриву масляної плівки і виникненню напіврідинного і граничного тертя, що також впливає на знос гільзи [5,8]. Підвищений знос гільз у верхній частині викликаний більш високою температурою, яка зумовлює часткове видалення і вигорання масла, змивання масляної плівки і корозії в оголених від масла місцях [9, 10]. У продуктах згоряння палива при певних умовах має місце виділення кисню, вуглекислого газу, водяної пари, а також мурашиної, оцтової, сірчаної та азотної кислот, під впливом яких розвивається корозійний знос робочої поверхні гільзи. [1,2].

З виконаного аналізу випливає, що підвищений знос гільзи в верхній частині обумовлений більш високою температурою, тиском, підвищеною концентрацією хімічно активних сполук і погіршенням умов змащення.

Дослідження по виявленню дефектів, характеру і видів зносу гільз циліндрів двигунів сімейства СМД, проведені на Житомирському бронетанковому заводі, що займається відновленням працездатності цих двигунів, показали, що основними видами зносу дзеркала гільз циліндрів є абразивний і корозійний.

Найбільший вплив на абразивний знос гільзи циліндра надає пил, що потрапляє в двигун. Спостереження за двигунами, встановленими на тракторах і комбайнах, показали, що в літній період знос гільз циліндрів (183 мкм на 4000 мото-год роботи) в два рази більше, ніж в зимовий (89 мкм). Робота двигунів в особливо запилених умовах (культивуація, боронування, збирання врожаю)

визначає підвищений знос гільз циліндрів (200...230 мкм на 4000 мото-год роботи).

Пил в двигун надходить разом з повітрям, маслом, паливом через сапуни у дизелів, нещільності в з'єднаннях випускного колектора і картера. Найбільший знос дзеркала гільзи залежить від того, звідки надходить пил в циліндр. Якщо вона надходить в двигун через впускний тракт, то найбільший знос спостерігається у верхній частині дзеркала гільзи циліндра, а також верхніх компресійних кільцях, виготовлених із загартованого або хромованою стали [29]. При використанні забрудненої олії найбільший знос дзеркала гільзи відбувається в середній частині, так як швидко виходять з ладу маслос'ємні кільця.

Пил в циліндри найчастіше надходить через впускний колектор або через нещільності в з'єднаннях (слабо затягнуті кріплення колектора, порвані сполучні гумові рукави і прокладки). Частина пилу, що надходить в циліндри (90%), видаляється при випуску разом з газами, решта потрапляє в масло, що знаходиться в піддоні [9, 13]. Вона утворює з маслом своєрідну пасту, яка при русі поршня інтенсивно зношує дзеркало гільзи циліндра, поршневі кільця і сам поршень.

Попадання 1% повітря в циліндри двигуна через нещільності в колекторах або у впускному тракті, тобто яке не пройшло через очисник повітря, в 10 разів збільшує вміст пилу в горючій суміші [4]. Найбільший знос викликає пил з частинками 20...30 мкм. Наявність в паливі пилу (кварцу) в кількості до 0,004% призводить до збільшення зносу гільз циліндрів і поршневих кілець в 20 разів більше, ніж при використанні добре очищеного палива [3, 5].

При експлуатації двигунів особливу увагу слід приділяти справності фільтрів грубої і тонкої очистки палива, вмісту паливних баків.

Дослідження показують, що основними заходами щодо зменшення абразивного зносу є – хороше очищення повітря; повна герметизація впускних

трактів і колекторів; використання чистого і відстояною масла і палива; запобігання палива і масла від попадання пилу і хороше його очищення; надійна герметизація всіх з'єднань двигуна (кришки головки блоку, піддону, сальників і ін.), що зменшує знос циліндрів двигунів в 2,0...2,4 рази.

Однією з причин корозійного зносу верхній частині гільзи циліндра є інтенсивне окислення матеріалу, що виникає при температурах робочої суміші нижче точки роси. При роботі двигуна з низькою температурою води і масла (до 333...343 К) частину продуктів згоряння палива конденсується, що викликає корозію гільзи циліндра. Це пояснюється наступним: продуктами згоряння є вода ( $H_2O$ ), вуглекислий газ ( $CO_2$ ), окис вуглецю ( $CO$ ), окис азоту ( $N_2O$ ) і сірчистий газ. При згорянні 1 кг палива виділяється близько 1 кг води, яка виводиться з циліндра у вигляді водяної пари [6,7]. У разі роботи двигуна на малих температурних режимах водяна пара конденсується на стінках циліндра. Конденсат при малій температурі води і масла легко розчиняються вищевказані сполуки, що знаходяться в відпрацьованих газах. Розчинення їх у воді утворює кислоти, які викликають сильну корозію дзеркала гільзи циліндра. Крім того, кислоти руйнують масляну плівку на дзеркалі гільзи циліндра [7,8].

Для зменшення зносу гільз необхідно підтримувати температуру охолоджуючої води не нижче 343 °К [6, 8]. Для цього на радіаторах встановлюють жалюзі, термостати, гідравлічні муфти привода вентилятора, які дозволяють регулювати тепловий режим роботи двигуна.

Проведений аналіз робіт у напрямку підвищення довговічності двигунів шляхом прискореної обкатки та вибіркового переносу, дав можливість зробити наступні **висновки**:

Дизельні двигуни не виробляють плановий ресурс через швидке зношування робочих поверхонь складових частин ЦПГ.

Збільшити довговічність ДВЗ після його ремонту можливо за рахунок використання трибологічних методів обкатки.

Існуючі методи прискорення обкатки з використанням присадок мають

ряд значних нелоліків

Використання електротрибохімічного процесу в період обкатки дозволить зменшити час припрацювання деталей, підвищити їх якісні характеристики, а отже є одним із перспективних методів прискорення обкатування дизельних двигунів.

## РОЗДІЛ 2

### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ СТЕНДОВИХ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВИПРОБУВАНЬ

Для реалізації електротрибохімічного процесу при стендових випробувань була запропонована схема підключення електричного струму до деталей ЦПГ дизельних двигунів (рис. 2.1).

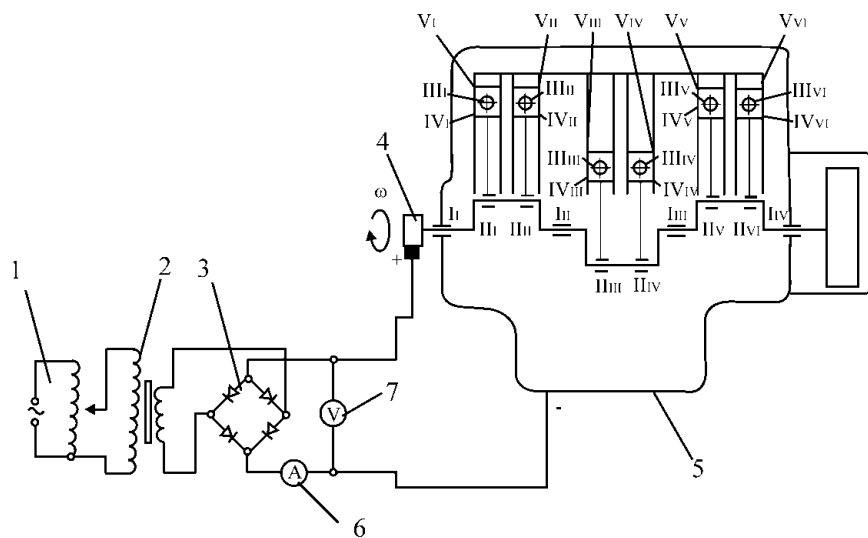


Рис. 2.1. Схема підведення струму до деталей ЦПГ: 1 – джерело; 2 – опір; 3 – випрямляч; 4 – струмоз’ємник, ввернутий замість храповика; 5 – двигун, що підлягає обкатці; 6 – амперметр; 7 – вольтметр: I – корінні підшипники; II – шатунні шийки колінчатого валу і вкладиши; III – поршневі пальці і втулки верхньої головки шатунів; IV – поршневі пальці і бобишки поршнів; V – гільзи циліндрів, поршні і поршневі кільця.

Від випрямляча електричний струм  $I=10$  А,  $U=1,2$  В (клас точності 1) подається на щітковий вузол "плюс", а "мінус" на блок двигуна. Щітковий вузол встановлюється з боку шківів приводу масляного насоса, для цього необхідно викрутити храповик і замість нього ввернути мідний вал щіткового вузла. На блок циліндрів від’ємна клема підключається в місці кріплення паливного фільтру.

Схема поширення струму по спряженням двигуна (рис. 2.2) являє собою систему паралельних ланцюгів, перший ланцюг – колінчатий вал, корінні

підшипники, блок циліндрів; другий ланцюг – колінчатий вал, ЦПГ, блок циліндрів. Струм розгалужується з колінчатого валу до корінних підшипників ковзання (опір  $R_1$ ), та через шатунні шийки колінчатого валу до шатунів (опір  $R_2$ ), з шатунів до поршневих пальців (опір  $R_3$ ), з пальців до бобишок поршнів (опір  $R_4$ ) і розгалужується на дві вітки: з поршня до гільзи (опір  $R_7$ ) і з поршня до поршневих кілець (опір  $R_5$ ) та далі від кілець до гільзи (опір  $R_6$ ).

Найбільший опір буде, виходячи з літературних джерел [7-9] у першому ланцюзі (опір  $R_1$ ), оскільки при роботі двигуна колінчатий вал ніби "вспливає" в масляному середовищі в корінних підшипниках ковзання. Електричний струм буде шукати шлях найменшого опору згідно закону Ома та Кірхгофа, то найбільша його частина пройде другою ланкою – через деталі ЦПГ. Дослідженнями В.П. Алексеєва, Л.М. Болдаря, В.А. Ізюмського [6-9] показують, що при підключенні струму до колінчатого валу та блоку через деталі ЦПГ проходить до 95% струму.

Це пояснюється тим, що масляна плівка між шатунною шийкою та шатунним вкладишем при роботі двигуна має значно меншу товщину, ніж між корінною шийкою та корінним підшипником ковзання, тобто має менший опір. В інших елементів деталей ЦПГ товщина масляної плівки ще менша, оскільки кільця виконують зворотно-поступальний рух відносно дзеркала гільзи циліндрів. Так у ВМТ і НМТ кілець товщина масляної плівки буде мінімальна до 0,1 мкм [7]. При цьому спостерігається режим граничного тертя. Максимальна товщина масляної плівки буде в момент досягнення кільцями максимальної швидкості і буде мати товщину в межах 10 мкм в залежності від густини масла. Тому максимальна частина струму буде проходити через деталі ЦПГ при положенні поршня в мертвих точках. В цей момент струм по деталям ЦПГ буде розподілятися у двигуні практично рівномірно, оскільки одночасно поршні будуть займати різне положення відносно гільзи. Різниця в проходженні струму по деталям ЦПГ за один оберт колінчатого валу становитиме до 10% [7].

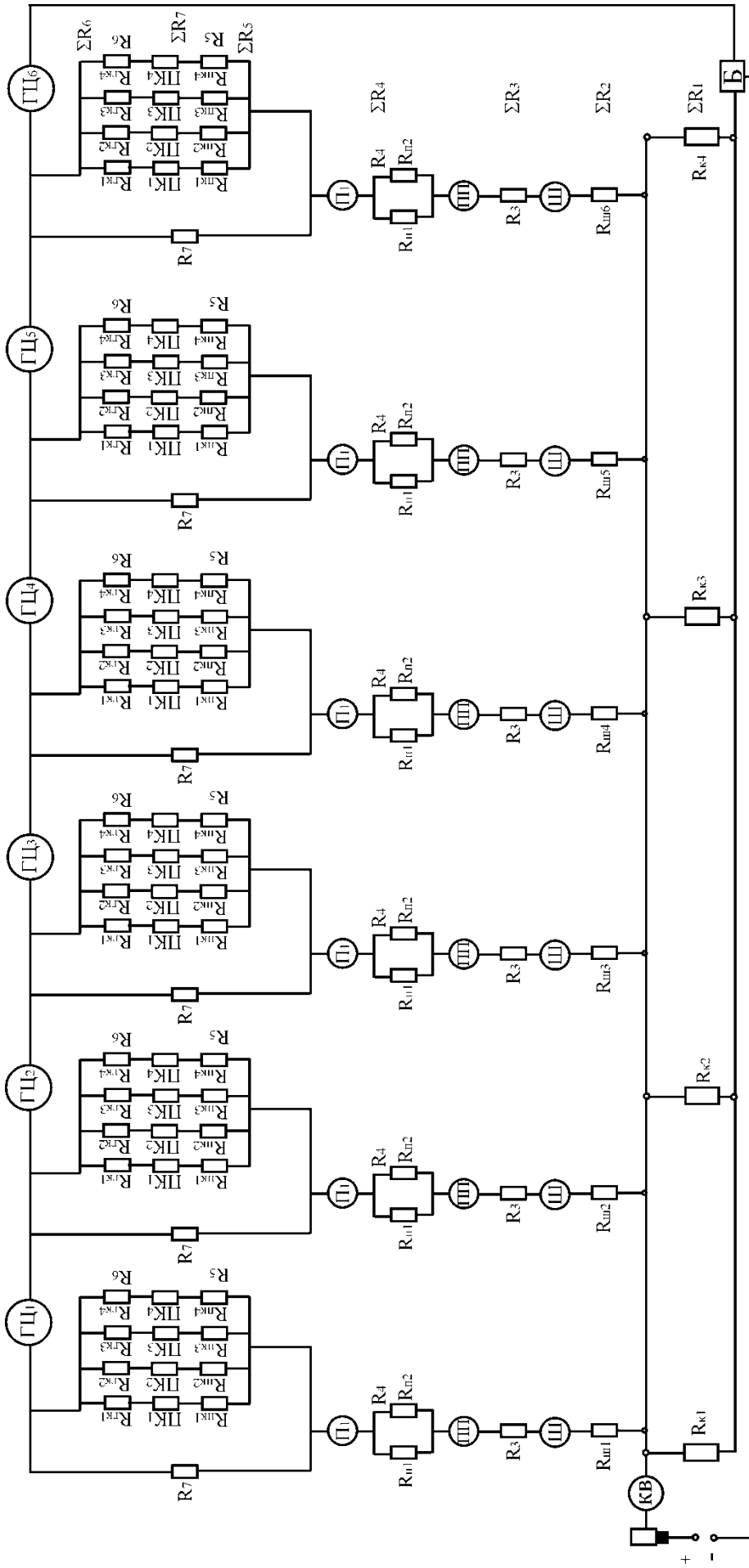


Рис 2.2 Схема розподілення електричного струму по деталям ЦПГ дизельних двигунів: КВ – колінчатий вал; Б – блок циліндрів (корінні підшипники); Ш – шатун (шатунні вкладиши); ПШ – поршневі пальці; П – поршень (бобишки поршня); ПК – поршневі кільця; ГЦ – гільза циліндрів; R<sub>1</sub> – сумарний опір між корінною шийкою і корінними вкладишами; R<sub>2</sub> – сумарний опір між шатунною шийкою і шатунними вкладишами; R<sub>3</sub> – сумарний опір між втулкою верхньої головки шатуна і поршневыми пальцями; R<sub>4</sub> – сумарний опір між поршневыми пальцями і

Опір між колінчатим валом та корінними підшипниками ковзання являє собою паралельний ланцюг опорів і розраховується за виразом:

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_{\kappa 1}} + \frac{1}{R_{\kappa 2}} + \frac{1}{R_{\kappa 3}} + \frac{1}{R_{\kappa 4}}.$$

Аналогічно розраховується сумарний опір між колінчатим валом та шатунами:

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_{ш1}} + \frac{1}{R_{ш2}} + \frac{1}{R_{ш3}} + \frac{1}{R_{ш4}} + \frac{1}{R_{ш5}} + \frac{1}{R_{ш6}}.$$

За амперметром і вольтметром фіксували силу струму та напругу, а потім за законом Ома  $I = \frac{U}{R}$  розраховували загальний опір  $R$ .

Падіння напруги на щітковому вузлі залежить від матеріалу щітки та валу до якого вона притискується.

При стендових випробуваннях оцінювали наступні параметри двигуна [7]:

– крутний момент  $M_{\kappa}$ , Н·м, визначали за показниками шкали вагового механізму електромашини;

– ефективну потужність  $N_e$ , кВт, розраховували за виразом:

$$N_e = \frac{M_{\kappa} \cdot n}{9550}, \quad (2.1)$$

де  $n$  – частота обертання,  $\text{хв}^{-1}$ , визначається за шкалою тахометра;

– витрати палива, кг/год, оцінювали за виразом:

$$G_n = 3,6 \cdot \frac{G_{досл}}{t}, \quad (2.8)$$

де  $G_{досл}$  – вага палива, витраченого за час дослід, г;  $t$  – тривалість випробування, с, виміряна секундоміром.

Питому витрату палива, кг/кВт·год, визначали за виразом:

$$g_e = \frac{1000 \cdot G_n}{N_e}. \quad (2.2)$$



При стендових випробовуваннях була використана вимірювальна апаратура:

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

В процесі стендових випробувань використовували порівняльний аналіз величини та характеру зношування наступних гільз циліндрів встановлених у випробувальні двигуни: хонінговані, з мідними покриттями при ТХП та при ЕТХП. При стендових випробуваннях параметри двигунів реєструвалися згідно ДСТУ

Перевірку відповідності параметрів деталей циліндро-поршневої групи двигунів технічним вимогам проводили згідно ГОСТ 18509-88 у місцях показаних на рис. 2.3 і 2.4.

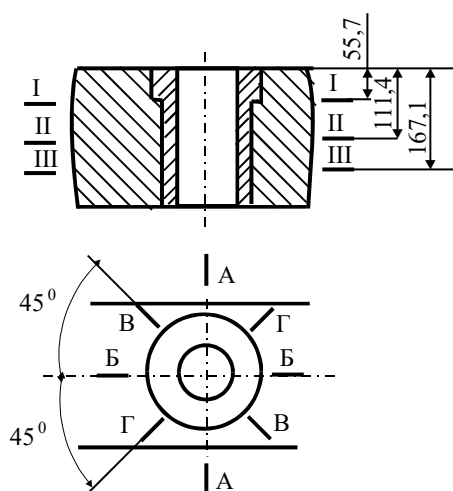


Рис. 2.3. Схема розміщення місць вимірювання діаметра внутрішньої поверхні гільзи циліндрів двигуна.

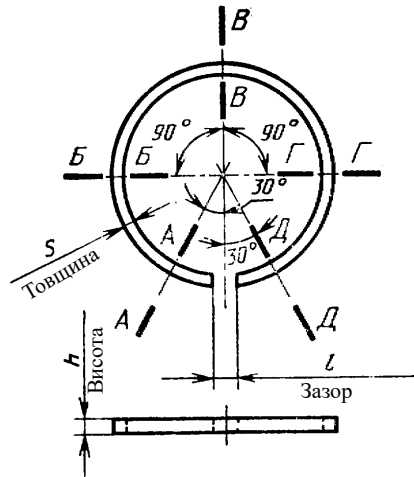


Рис. 2.4. Схема розміщення місць вимірювання поршневих кілець.

В зв'язку з тим, що гільза циліндру зношується нерівномірно по висоті і площі робочої поверхні, середню величину спрацювання визначали виходячи із об'ємного спрацювання. Методика визначення цього спрацювання наведена в роботі [7].

Відбір масла для визначення кількості продуктів спрацювання виконували за допомогою пристрою, схема якого подана на рис 2.5.

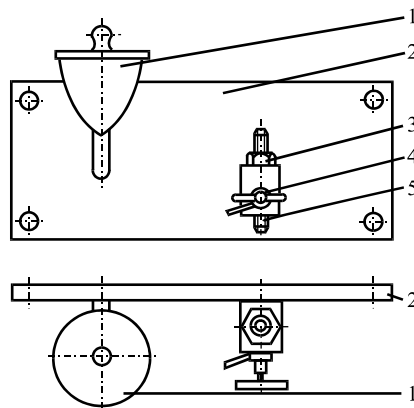


Рис. 2.5. Схема пристрою для відбору масла з головної масляної магістралі: 1 – заливна горловина; 2 – плита; 3 – датчик температури масла; 4 – запірний кран з трубкою; 5 – штуцер для вимірювання тиску масла.

Пристрій складається з корпусу із вмонтованими датчиками температури і тиску масла, заливної лійки з патрубком, напірного клапану з відвідною трубою для відбору проб масла (рис. 2.20). Проби масла відбирали у фарфорові тиглі в кількості 20 г через кожні 20 хв. випробувань. На початку і в кінці випробувань відбиралися по три проби. Концентрація "заліза" (продуктів

спрацювання) у пробі визначалася методом хімічного аналізу.

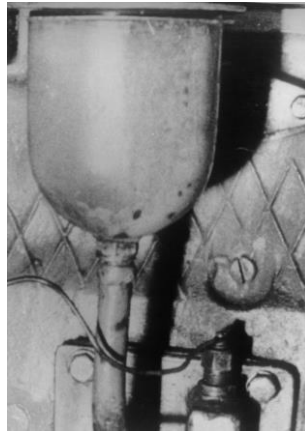


Рис. 2.6. Пристрій для відбору масла з головної масляної магістралі.

Експлуатаційні випробування двигунів проводили, враховуючи рекомендації і вимоги, зазначені в попередніх роботах.

Перед обкатуванням перевіряли і підтягували кріплення усіх вузлів трактора, змащували усі вузли відповідно до таблиці мащення, перевіряли рівень масла у всіх ємностях, заправляли трактор паливом і водою.

Обкатування двигунів розділяли на три етапи:

- обкатування основного двигуна на холостому ході протягом 15...20 хв.;
- обкатування трактора на холостому ході протягом 6...7 годин.
- обкатування трактора зі зростаючим навантаженням протягом 50 годин.

Відомо, що обкатка двигуна на холостому ході є контрольною операцією і служить для перевірки його технічного стану і попереднього його прогрівання перед початком обкатування трактора на холостому ході.

Якщо обкатування машини починають після її тривалої стоянки, то спочатку зливають відстій з картера пускового двигуна і заливають 25 см<sup>3</sup> дизельного масла в його циліндр. Основний двигун обкатують протягом 15...20 хв. Перші 5 хв. після пуску йому дають працювати з малим числом обертів 700...900 об/хв., але потім оберти поступово збільшують до максимальних.

Під час обкатки на холостому ході двигун ретельно прослуховують, усувають витікання в системах мащення, живлення й охолодження, стежать за

показниками контрольно-вимірвальних приладів. При цьому тиск масла в магістралі повинний бути в межах 0,25...0,40 МПа при номінальному числі обертів і не нижче 0,15 МПа при мінімальних обертах; температура охолоджуючої рідини – 80...100°C. Перевіряють на стукіт і шуми, протікання масла, або палива, виявляють причини й усувають несправності.

Тільки після усунення всіх дефектів приступають до обкатування трактора.

На холостому ході обкатують по 25...30 хв. на кожній з основних передач по 10...20 хв. на передачі заднього ходу.

У процесі обкатки машини на холостому ході перевіряють показання контрольних приладів, правильність регулювання муфти зчеплення і механізмів керування муфтою двигуна і коробкою зміни передач (КЗП).

Закінчивши обкатку машини на холостому ході, відразу ж (поки двигун прогрітий) зливають масло з картера. Потім промивають масляну центрифугу і заливають у картер нове масло.

Тривалість обкатки машин під навантаженням на різних передачах у залежності від величини навантаження на гаку приведена в таблиці 2.2.

Під час обкатування під навантаженням проводять щозмінні технічні обслуговування, уважно прослуховують роботу вузлів і агрегатів машини й усувають усі виявлені дефекти.

Таблиця 2.1 – Тривалість обкатування під навантаженням

Етап обкатки	Час обкатки на передачі (год.)								
	I		III	IV	V	VI	III	II	усього
	основна	Перег.							
ЯМЗ-6561									
I	1	1	1	1	1	2	2	1	12
II	1	1	4	4	4	–	–	–	18
III	2	1	5	5	1	–	–	–	20
ЯМЗ-6561.10									
I	1	1	1	1	1	2	2	1	12
II	1	2	4	4	4	–	–	–	20
III	3	–	5	5	–	–	–	–	18

Експлуатаційні випробування двигунів проводили на підприємствах АПК Житомирської області

### РОЗДІЛ 3

## РЕЗУЛЬТАТИ СТЕНДОВИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Стендові випробування дизельних двигунів, відповідно до діючого ДСТУ.

Стендове обкатування на стандартній оливі здійснювали, відповідно до режимів, які наведені в технічних вимогах на капітальний ремонт дизельних ДВЗ.

Стендове обкатування на композиційному маслі з реалізацією ЕТХП проводили за режимами (табл. 3.1) розробленими на основі проведених експериментальних досліджень в даній дисертаційній роботі.

Мастильну здатність базового і композиційного масла оцінювали за характером зміни моменту механічних втрат на тертя, а зміну фізико-хімічних властивостей контролювали аналізом проб масла із системи мащення двигуна по закінченні кожного циклу випробувань. Обсяг проби 500 мл. Після добору проби масло доливали до верхньої мітки масломірною щупу.

Таблиця 3.1 – Рекомендовані режими обкатки дизельного двигуна із застосуванням електротрибохімічного процесу

Етап обкатки	Режими		Час обкатки
	$n, \text{хв}^{-1}$	$N_e, \text{кВт}$	$T_{\text{обк}}, \text{ГОД}$
Холодна без компресії	800±50	–	0,15
	2000±50		0,10
Холодна з компресією	1400±50	–	0,10
	1700±50		0,10
	2000±50		0,15
Холодна з подачею електричного струму $U=1,2\text{В}$ , $I=10\text{ А}$	1200	–	0,35
Гаряча без навантаження	Плавне збільшення від $\text{min}$ до $\text{max}$	–	0,10
			0,10
			0,10
Гаряча з навантаженням	Те ж	36±2,0	0,10
		56±2,0	0,15
		81±2,0	0,20
		110±2,0	0,10

Всього: 1год 45хв

Величину моменту механічних втрат визначали наприкінці кожного циклу випробувань при частоті обертання колінчатого вала  $16,7 \text{ c}^{-1}$ . Обертання колінчатого вала виконується електродвигуном стенда. За величину моменту механічних втрат приймали показники вагового механізму стенда КИ-5274 ГОСНИТИ.

У якості контрольованих фізико-хімічних властивостей моторного масла були обрані: кінематична в'язкість, корозійна активність, лужне число.

За величиною лужного числа контролювали процес зміни кількості присадки в маслі (методика наведена в п. 2).

Величину зносу основних деталей ЦПГ знаходили мікрометражем і зважуванням цих деталей до і після стендових випробувань. Методика визначення величини зносу гільз і поршневих кілець наведена в п. 2.

Непряму оцінку зносу ресурсовизначаючих деталей випробовуваних дизельних двигунів проводили за результатами спектрального аналізу моторного масла і величини витрати картерних газів.

Результати визначення зміни моменту механічних втрат при випробуваннях в різних мастильних середовищах наведені на рис. 3.1.

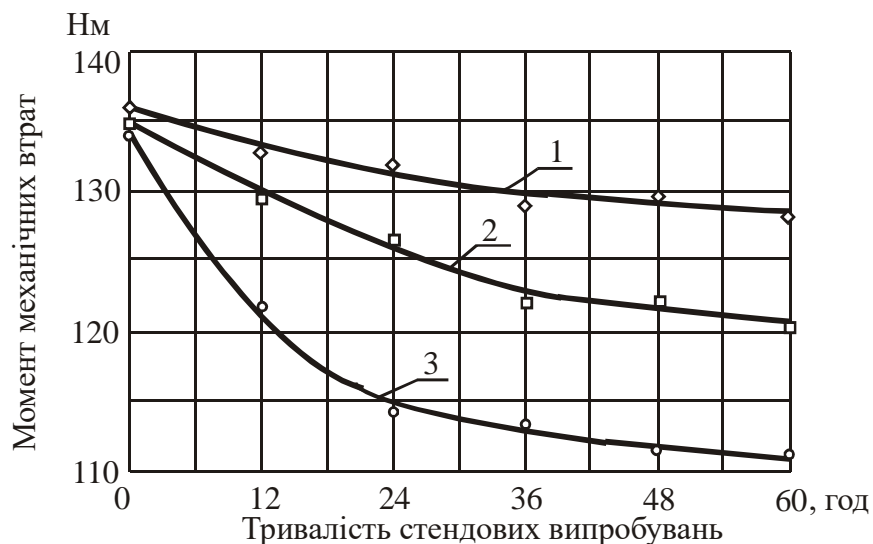


Рис. 3.1. Зміна моменту механічних втрат двигуна в процесі стендових випробувань: 1 – базове масло М-10Г<sub>2</sub>; 2 – композиційне масло + ТХП; 3 – композиційне масло + ЕТХП.

Результати вимірювань характеристик процесу зношування гільз циліндрів і верхніх компресійних кілець дизельних двигунів наведені на рис. 3.2, 3.3.

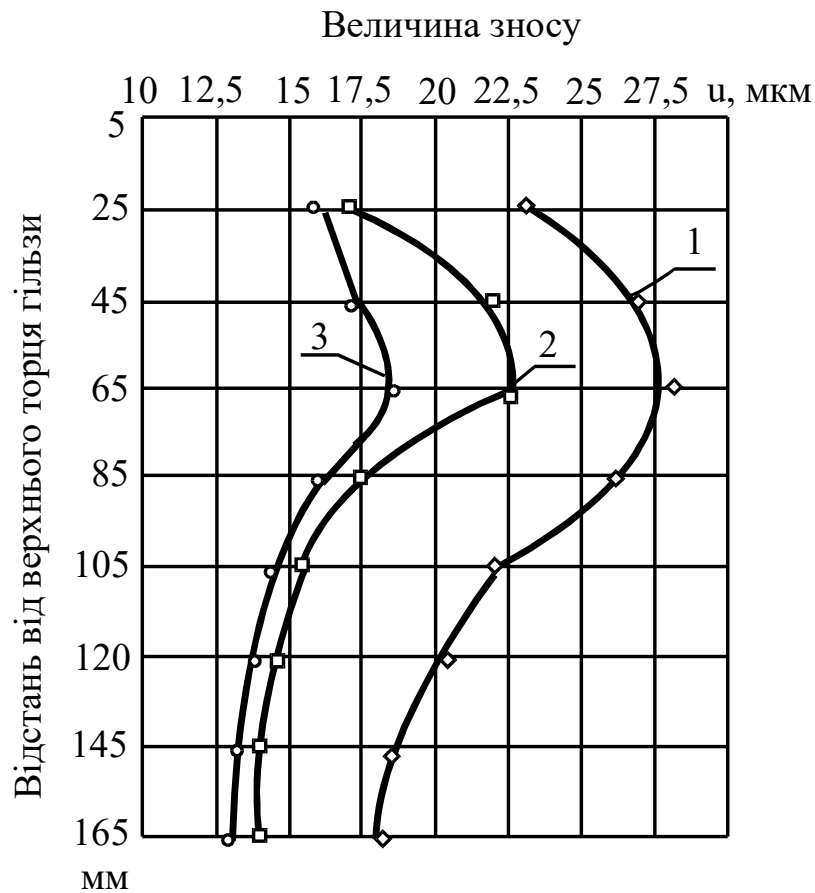


Рис. 3.2. Середній знос гільз циліндрів двигуна по довжині робочої поверхні: 1 – базове масло М-10Г<sub>2</sub>; 2 – композиційне масло + ТХП; 3 – композиційне масло + ЕТХП.

Аналіз зносу гільз циліндрів, випробуваних на композиційному маслі з ТХП, показав, що їхній знос у середньому знизився в 1,2 рази, на композиційному маслі з ЕТХП – у 1,5 рази, у порівнянні з маслом М-10Г<sub>2</sub> (рис. 3.2).

Знос верхніх компресійних кілець, при обкатці на композиційному маслі з ТХП був у 1,2 рази менше, на композиційному маслі з ЕТХП – у 1,4 рази менше, ніж на базовому маслі М-10Г<sub>2</sub> (рис. 3.3).



Зміна концентрації елементів металів в моторному маслі дизельних двигунів за спектральним аналізом під час проведення експерименту наведені в табл. 3.2.

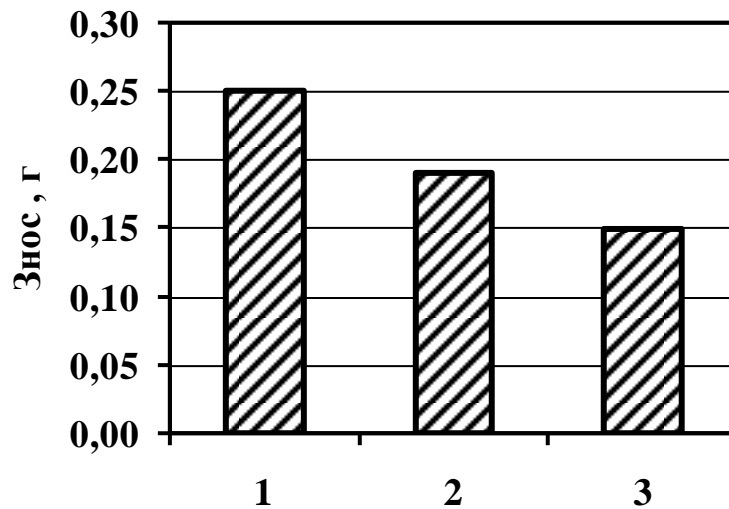


Рис. 3.3. Гістограма зносу верхніх компресійних кілець дизельних двигунів: 1 – базове масло М-10Г<sub>2</sub>; 2 – композиційне масло + ТХП; 3 – композиційне масло + ЕТХП.

Таблиця 5.2 – Результати спектрального аналізу масла при стендових випробуваннях дизельних двигунів

№ проби масла	Вміст металів в маслі, г/г									
	М-10Г <sub>2</sub>					Композиційне масло + ЕТХП				
	Fe	Cr	Al	Sn	Cu	Fe	Cr	Al	Sn	Cu
1	7	-	2	-	1	5	-	-	-	>1000
2	13	1	3	1	4	10	-	2	-	>1000
3	21	1	8	4	3	13	1	1	1	>650
4	29	3	11	5	5	19	-	7	1	>1000
5	38	2	10	7	2	21	1	4	2	>650

Можна зробити висновок проте, що при обкатці на композиційному маслі з реалізацією ЕТХП у 1,3...1,6 рази знижується знос сполучення "гільза циліндра – поршневе кільце" дизельних двигунів у порівнянні з обкаткою на базовому маслі М-10Г<sub>2</sub>.

Технічні параметри відремонтованих двигунів наведені в табл. 3.3, 3.4.

Таблиця 3.3 – Технічні параметри двигунів, відремонтованих і обкатаних базовому маслі М-10Г<sub>2</sub>

№ двигуна за протоколом випробувань	Потужність при номінальних обертах, кВт	Частота обертання колінчастого вала $n$ , хв <sup>1</sup>		Витрата палива на номінальному режимі $G_n$ , кг/год	Питома витрата палива $g_e$ , г/кВт·год	Витрата масла на вигар, кг/год	Прорив газів у картер двигуна, л/хв
		$n_{max}$	$n_{min}$				
1	108,4	1980	780	25,9	238,9	0,210	76
2	111,2	2010	800	26,2	235,6	0,195	69
3	112,2	2030	810	26,6	237,1	0,186	64
4	110,6	2000	790	26,0	235,1	0,200	72
5	111,4	2020	810	26,4	237,0	0,190	68
6	109,2	1990	790	26,0	238,1	0,210	74
Номінальні значення	111,0	1800	800	25,8	234	0,180	62
Середні значення	110,5	2005	797	26,1	237,0	0,199	70,5
Середньо квадратичне відхилення	1,31	17,07	11,06	0,258	1,31	0,009	3,99
Коефіцієнт варіації	0,01	0,009	0,014	0,010	0,006	0,04	0,056

Таблиця 3.4 – Технічні параметри двигунів, відремонтованих і обкатаних використанням ЕТХП

№ двигуна за журналом випробувань	Потужність при номінальних обертах, кВт	Частота обертання колінчастого вала $n$ , хв <sup>-1</sup>		Витрата палива на номінальному режимі $G_n$ , кг/год	Питома витрата палива $g_e$ , г/кВт· год	Витрата масла на вигорання, кг/год	Прорив газів у картер двигуна, л/хв
		$n_{max}$	$n_{min}$				
1	119,0	2020	600	24,6	226,9	0,192	69
2	122,1	2050	566	24,9	223,7	0,176	64
3	123,2	2060	600	25,3	225,2	0,170	59
4	121,4	2040	600	24,7	223,3	0,183	66
5	122,3	2050	600	25,1	225,1	0,174	63
6	119,9	2030	576	24,7	226,1	0,192	68
Номінальні значення	111,0	1800	800	25,8	234	0,180	62
Середні значення	121,2	2042	806	24,9	225,1	0,181	64,8
Середньо квадратичне відхилення	1,401	13,44	11,06	0,248	1,254	0,009	3,34
Коефіцієнт варіації	0,012	0,006	0,014	0,010	0,006	0,047	0,051

Регуляторні характеристики відремонтованих двигунів наведені на рис. 3.4. Розсіювання регуляторних характеристик не перевищує 3%.

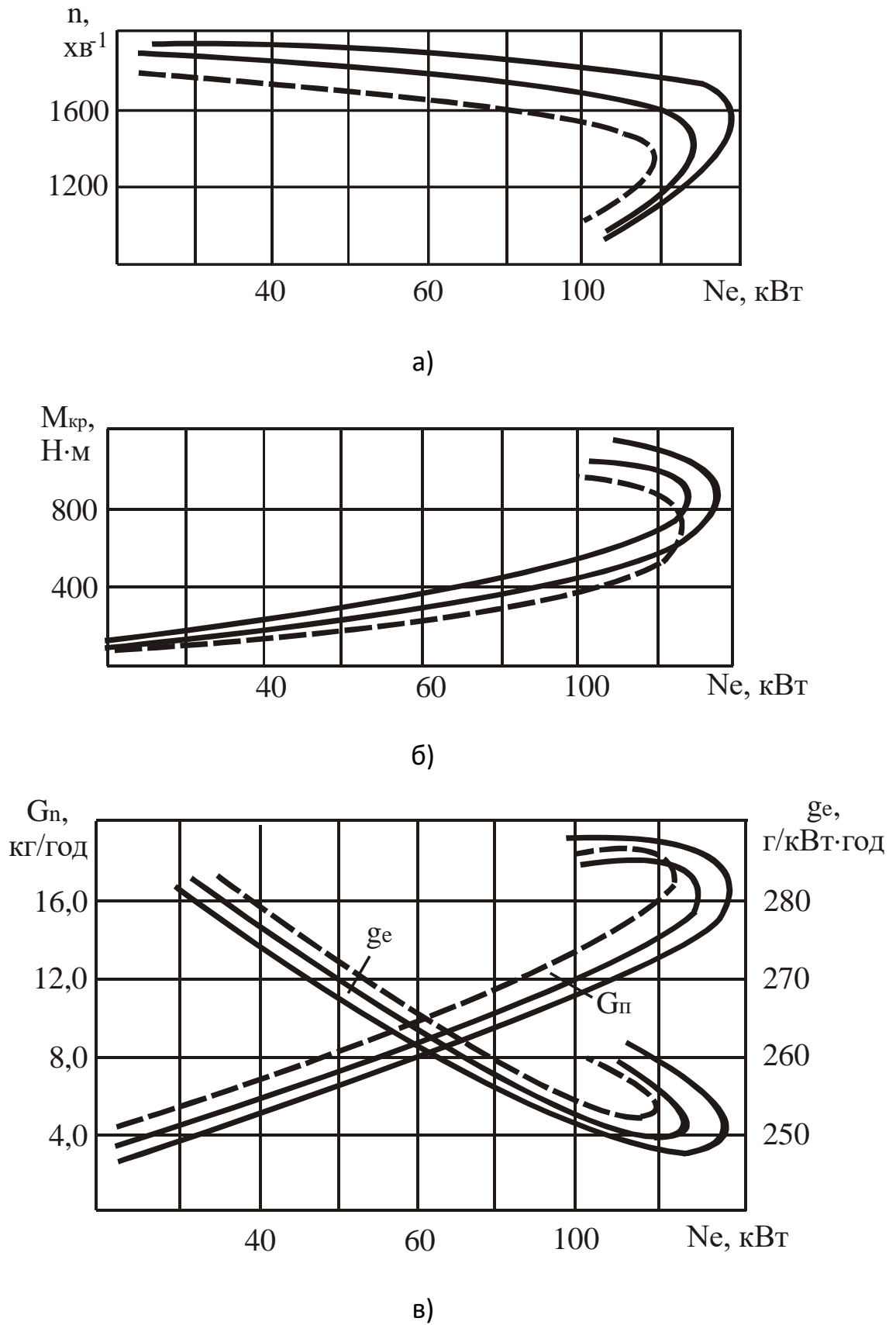


Рис.3.4. Розсіювання регуляторних характеристик випробуваних двигунів: **---** – після стандартної обкатки; **—** – після обкатки з ЕТП.

Для визначення стану працюючого двигуна замірювали кількість газів, що прориваються в картер. Витрату картерних газів визначали після кожного циклу стендових випробувань дизеля, що працює на холостому ході. При цьому частота обертання колінчатого валу складала  $2100 \text{ хв}^{-1}$ .

Кількість газів у картері дизеля розраховували за виразом:

$$V_T = V^{100}/t, \quad (3.1)$$

де  $V^{100}$  – контрольний об'єм газів, що прорвалися, (100 л);  $t$  – тривалість витікання контрольного об'єму газів, хв.

Отже, реалізація ЕТХП на композиційному маслі приводить до підвищення ефективної потужності дизельних двигунів на 9,8 % і зниженню питомої витрати палива на 5,3 % у порівнянні з маслом М-10Г<sub>2</sub>.

Зміни фізико-хімічних властивостей мастильних середовищ у процесі стендових випробувань дизельних двигунів показані в табл. 3.5, 3.6.

Таблиця 3.5 – Зміна середнього значення кінематичної в'язкості масла М-10Г<sub>2</sub> і композиційного масла при стендових випробуваннях двигунів

Номер проби	Кінематична в'язкість, мм <sup>2</sup> /с	
	М-10Г <sub>2</sub>	Композиційне масло + ЕТХП
1	10,1	10,5
2	10,4	10,9
3	10,3	10,7
4	9,5	10,6
5	9,6	10,3

Таблиця 3.6 – Зміна середнього значення лужного числа масла М-10Г<sub>2</sub> і композиційного масла при стендових випробуваннях двигунів

Номер проби	Лужне число, мг·КОН/г	
	М-10Г <sub>2</sub>	Композиційне масло + ЕТХП
1	5,21	5,41
2	5,30	5,70
3	5,36	5,45
4	5,10	5,36
5	4,75	5,13

Аналіз наведених результатів показав, що додавання в моторне масло М-10Г<sub>2</sub> присадки гліцерату міді при ЕТХП несуттєво змінює значення кінематичної в'язкості і лужного числа, тобто не погіршують в'язкісно-лужну характеристику моторного масла М-10Г<sub>2</sub>.

Перед експлуатаційними випробуваннями капітально відремонтованих і обкатаних на обкаточно-гальмівному стенді двигунів, які були встановлені на автомобілі агропідприємств, здійснювали експлуатаційну обкатку.

Результати експлуатаційних випробувань наведені в табл. 3.7.

Можна бачити, що середній міжремонтний ресурс двигунів, обкатаних за запропонованою технологією, збільшився на 25...30 % у порівнянні з двигунами, що експлуатувалися після стандартної обкатки на базовому маслі.

Порівняння середньомісячних напрацювань дизельних двигунів показало, що напрацювання дизельних двигунів, які експлуатувалися після стандартної обкатки на базовому маслі, складала 101 мото-годину, а після обкатки з використанням композиційного масла з реалізацією ЕТХП – 132 мото-годин, що на 30 % вище.

Таблиця 3.7 – Експлуатаційні випробування дизельних двигунів

№	Масильне Середовище	Початок експлуатації	Кінець експлуатації	Середнє напрацювання, мото-год	Середня тривалість експлуатації, місяць
1	М-10Г2	Квітень 2019	Березень 2020	2065	21
2	Композиційне масло + ЕТХП	Березень 2019	Березень 2020	3015	24
3	М-10Г2	Лютий 2020	Листопад 2020	1055	10
4	Композиційне масло + ЕТХП	Лютий 2020	Листопад 2020	1480	10

Таблиця 3.8 – Міжремонтний ресурс дизельних двигунів

№ дизеля	Напрацювання дизеля, мото-годин з використанням	
	М-10Г <sub>2</sub>	Композиційне масло + ЕТХП
1	2020	2790
2	2150	2910
3	2240	2990
4	2305	3070
5	2405	3180
6	2500	3220
7	2510	3270
8	2625	3380
9	2750	3445
10	2840	3510
11	2865	3540
12	2910	3575
Середнє значення:	2510	3240

Відповідно до отриманих результатів можна сказати, що розсіювання міжремонтного ресурсу дизельних двигунів, що експлуатуються після стандартної обкатки на базовому маслі і після обкатки з використанням композиційного масла з реалізацією ЕТХП, підкоряються закону Вейбулла-Гнеденка.

Графічні відображення диференціальної й інтегральної функцій закону розподілу міжремонтного ресурсу дизельних двигунів наведені на рис. 3.5 і 3.6.

Можна бачити, що графіки диференціальної й інтегральної функцій розподілу міжремонтного ресурсу дизельних двигунів, випробуваних на композиційному маслі з ЕТХП, зміщені в напрямку більшого напрацювання, що свідчить про суттєве підвищення довговічності дизельних двигунів.

З метою забезпечення безперервності контролю за технічним станом циліндро-поршневої групи до граничних значень параметрів використовують опосередковані ознаки, які функціонально залежать від прямих ознак [2].

Широке застосування при діагностуванні циліндро-поршневої групи набув параметр – концентрація продуктів спрацювання деталей у маслі. Достатньо простий, і дає змогу оцінювати динаміку спрацювання у процесі роботи двигуна.

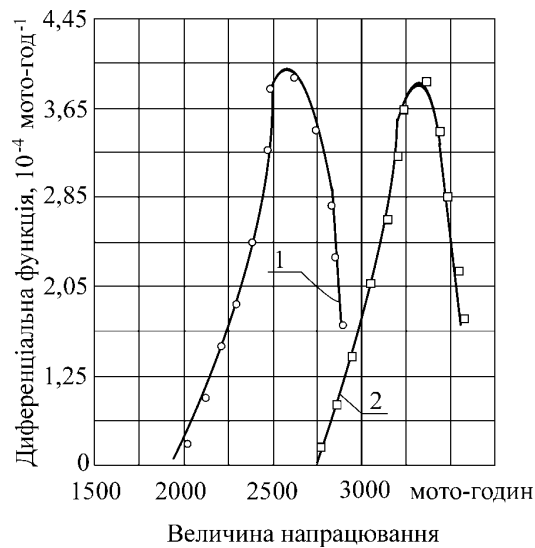


Рис. 3.5. Диференціальні функції розподілу міжремонтного ресурсу дизелів: 1 – базове масло М-10Г<sub>2</sub>; 2 – композиційне масло + ЕТХП.

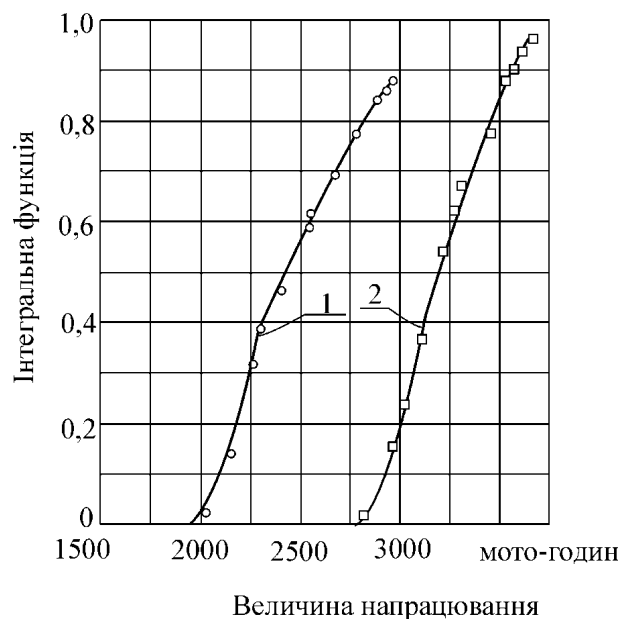


Рис. 3.6. Інтегральна функція розподілу міжремонтного ресурсу дизелів: 1 – базове масло М-10Г<sub>2</sub>; 2 – композиційне масло + ЕТХП.



При аналізі вмісту продуктів спрацювання у маслі необхідно враховувати, що саме свіже масло включає деякі хімічні елементи, допустимий вміст яких наведено у табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Допустимий вміст окремих елементів у моторних маслах, %

Залізо	Кремній	Алюміній	Хром, мідь, олово	Калій	Вода
0,016	0,009	0,004	до 0,007	0,2	0,2

Прогноз ресурсу двигуна можна проводити за динамікою накопичення заліза у маслі. Граничний стан двигуна наступає при накопиченні у картерному маслі граничної кількості заліза  $M_{gp}$ , математичне очікування якої визначається за виразом, наведеним в роботі [11].

Результати випробувань вмісту заліза у пробах базового і композиційного масла наведені в табл. 3.10.

Таблиця 3.10 – Експериментальні значення концентрації заліза у маслі

№ проб	Концентрація заліза у маслі, % · 10 <sup>-4</sup>	№ проб	Концентрація заліза У маслі, % · 10 <sup>-4</sup>	№ проб	Концентрація заліза У маслі, % · 10 <sup>-4</sup>
Базове масло М-10Г <sub>2</sub>					
1	2	3	4	5	6
1	0,789	6	0,517	11	0,928
2	1,208	7	0,798	12	0,617
3	1,409	8	0,857	13	0,758
4	0,805	9	0,789	14	0,873
5	1,009	10	0,805	15	0,857
Композиційне масло					
1	2	3	4	5	6
1	0,617	6	0,282	11	0,497
2	0,590	7	0,323	12	0,695
3	0,605	8	0,282	13	0,482
4	0,453	9	0,298	14	0,654
5	0,549	10	0,323	15	0,486

Вирівнювання отриманих значень здійснювали методом найменших квадратів й розраховували швидкість надходження заліза у масло (табл. 3.11).

Таблиця 3.11 – Швидкість надходження заліза у масло двигунів (на різних режимах випробування)

№ двигунів за журналом випробувань	Швидкість надходження заліза у масло, $10^{-3}$ кг/мото-год			Середня швидкість
	I	II	III	
Двигуни відремонтовані за стандартною технологією				
1	0,27	0,29	0,21	0,26
2	0,29	0,28	0,15	0,24
3	0,26	0,27	0,18	0,24
4	0,23	0,24	0,13	0,20
5	0,20	0,21	0,20	0,21
6	0,24	0,21	0,26	0,24
Двигуни відремонтовані з використанням ЕТХП				
1	0,09	0,15	0,15	0,13
2	0,05	0,13	0,13	0,10
3	0,08	0,12	0,16	0,12
4	0,06	0,16	0,17	0,13
5	0,07	0,17	0,15	0,13
6	0,06	0,14	0,17	0,12

Статистичні характеристики бази даних наведені в табл. 3.12.

Таблиця 3.12 – Статистичні дані середньої швидкості надходження заліза у маслі для двигунів, відремонтованих по базовій технології і з використанням ЕТХП

Параметри	За базовою технологією	Із застосуванням ЕТХП
Середнє значення швидкості надходження заліза, $\cdot 10^{-3}$ кг/мото-год	0,23	0,12
Середнє квадратичне відхилення, $\cdot 10^{-3}$ кг/мото-год	0,210	0,01
Дисперсія, $\cdot 10^{-10}$ кг <sup>2</sup> /(мото-год) <sup>2</sup>	4,166	1,166
Коефіцієнт варіації	0,089	0,09

Таким чином для двигунів, відремонтованих і обкатаних за стандартною технологією середнє значення швидкості надходження заліза у картерне масло складає  $0,23 \cdot 10^{-3}$  кг/мото-год з коефіцієнтом варіації 0,089, а за пропонованою технологією –  $0,12 \cdot 10^{-3}$  кг/мото-год з коефіцієнтом варіації 0,09.

Прогнозований та експлуатаційний ресурси двигунів, відремонтованих з застосуванням при обкатці композиційного масла з реалізацією ЕТХП, наведено у табл. 3.13.

Таблиця 3.13 – Прогнозований і експлуатаційний ресурс відремонтованих двигунів з використанням ЕТХП

№ двигуна за протоколом випробувань	Ресурси	
	Прогнозований, мото-год	Експлуатаційний, мото-год
1	3780	3200
2	3850	3310
3	3800	3180
4	3740	3280
5	3730	3230

$$R_{гр.пр.} = 3780 \text{ мото-год}$$

$$R_{гр.експ.} = 3240 \text{ мото-год}$$

Відносний показник точності:

$$\alpha_R = \frac{3780 - 3240}{3780} \cdot 100\% = 14,28\%$$

## ВИСНОВКИ

Результати проведених стендових та експлуатаційних випробувань відремонтованих двигунів на агропідприємствах Кіровоградській області і техніко-економічна оцінка запропонованої технології обкатки з використанням ЕТХП, дають можливість сформулювати наступне:

1. Величина зносу гільз циліндрів дизельних двигунів випробуваних на композиційному маслі з реалізацією ЕТХП у 1,5 рази менше, ніж на базовому, а інтенсивність зношування верхніх компресійних кілець у 1,4 рази менший. При цьому момент механічних втрат знизився на 14,3 %.

2. За результатами спектрального аналізу моторного масла виявлено, що вміст заліза збільшився з 7 до 38 г/т у пробах масла М-10Г<sub>2</sub>, масла композиційного з використанням ЕТХП – з 5 до 22 г/т, а вміст хрому (показник зносу верхнього компресійного кільця) – збільшився відповідно з 0 до 3 г/т і з 0 до 1 г/т, тобто знос ресурсовизначаючого сполучення "гільза циліндра – поршневе кільце" дизельних двигунів у 1,3...1,6 рази знижується у порівнянні з обкаткою на базовому маслі.

5. Середнє напрацювання відремонтованих дизельних двигунів на базовому маслі М-10Г<sub>2</sub> склало 2510 мото-год, а на композиційному маслі з ЕТХП – 3240 мото-год.

6. Зміщення в напрямку більшого напрацювання графіків диференціальної й інтегральної функцій розподілу міжремонтного ресурсу двигунів обкатаних за запропонованою технологією свідчать про суттєве підвищення довговічності двигуна. Середній міжремонтний ресурс двигуна, розрахований за математичною моделлю прогнозування довговічності, становить 3780 мото-год, а за експлуатаційними випробуваннями – 3240 мото-год.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Крагельский Н. В. Трение и износ. Москва : Машиностроение, 1972. 150 с.
2. Крагельский Н. В., Добычин М. Н., Комбаков В. С. Основы расчетов на трение и износ. Москва : Машиностроение, 1977. 526 с.
3. Ремонт дизельних двигунів / За ред. Л.С. Єрмолова. Киев : Издательство Урожай, 1991. 248 с.
4. Бабусенко С. М. Ремонт тракторов и автомобилей. Москва : Агропромиздат, 1987. 351 с.
5. Акопов В. А., Строков В. Л. Повышение надежности автомобильных двигателей. Ташкент: Фан, 1990. 136 с.
6. Шержуков И. Г., Тридуб А. Г., Сидашенко А. И., Скобло Т. С., Назаренко А. В. Ремонт цилиндров автотракторных малолитражных автомобильных двигателей /Сб. научн. Трудов. Повышение надежности восстанавливаемых деталей машин. 1996. 105 с.
7. Дизели СМД-60, СМД-62, СМД-64, СМД-72. Технические требования на капитальный ремонт. Москва : ГОСНИТИ, 1982.
8. Дизели комбайновые СМД-17К, СМД-18 КМ, СМД-19, СМД-20, СМД-21, СМД-22, СМД-22В. Технические требования на капитальный ремонт. Москва : ГОСНИТИ, 1988. 96с.
9. Spalvins T., and Buzek B. "Frictional and Morphological Characteristics of Ion-plated Soft Metallic Films". Thin Solid Films, Vol.84, №3, 1981., P. 266.
10. Suh Y. M., Iang S. I., Zheng L. Q. A kinetic study of interface reactions for an organic molybdenum compound as a lubricant additive // Tribology international. 1990. Vol. 23, № 6. P. 438-442.
11. Терхунов А. Г., Мороз В. Е., Черновол М. И. Ускоренная приработка двигателей. Техника в сельском хозяйстве. 1979. №10. С. 61-63.
12. Стрельцов В. В. Способ повышения качества и ускорения

приработки деталей цилиндропоршневой группы в период холодной обкатки двигателей с помощью присадок к воздуху // *Техн. сервис в агропром. комплексе. Сб. научн. трудов.* 1993. С. 39-44.

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

14. Кондратенко Б. Д., Савченко Н. З., Вознюк Л. Ф., Кравец И. А. Критерии прирабатываемости основных сопряжений двигателя. *Научные труды УСХА, Механизация сельскохозяйственного производства.* 1971. вып.43. 4 с.