

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Допускається до захисту

Завідувач кафедри

Андрій ВОЙТІК

“ ” 2023

ДИПЛОМНА РОБОТА

магістр

(освітній ступінь)

на тему: «ПІДВИЩЕННЯ МІЖРЕМОНТНОГО РЕСУРСУ ДВИГУНІВ
ЕЛЕКТРОХІМІКО-МЕХАНЧНИМ ПРИПРАЦЮВАННЯМ ЦИЛІНДРО-
ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ»

Виконав: студент 2 курсу, групи 21м-3-ім,
спеціальність 208 «Агроінженерія»

Станіслав ФЕРЕНЧУК

Керівник: Олександр ПУШКА

м. Умань - 2023

ЗМІСТ

Реферат.....	6
ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ І ПРИЧИНИ НИЗЬКОГО РЕСУРСУ ДВИГУНІВ СІЛЬСЬКО-ГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ	9
1.1. Особливості умов експлуатації двигунів сільськогосподарської техніки і їх вплив на ресурс.....	9
1.2. Стан деталей і складальних одиниць, що поступають на складання при ремонті, і його вплив на показники роботи двигунів.....	10
1.3. Необхідність обкатки двигунів, суть прироблення і її вплив на зміну початкового стану поверхонь деталей.....	13
1.4. Аналіз існуючих способів прискорення прироблення сполучень і їх вплив на міжремонтний ресурс.....	19
Висновки і завдання досліджень.....	21
2. ОБГРУНТУВАННЯ МОЖЛИВОСТІ МАКРОГЕОМЕТРИЧНОГО ПРИРОБЛЕННЯ СПОЛУЧЕННЯ КІЛЬЦЕ – ЦИЛІНДР.....	23
2.1. Теоретичне обґрунтування електрохіміко-механічного прироблення (доведення) поршневих кілець до дзеркала гільзи циліндрів.....	23
2.2. Розрахунок тривалості макроприпрацювання кільця до дзеркала гільзи циліндрів з урахуванням електрохімічних властивостей.....	34
Висновки до другого розділу.....	36
3. ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЕХМП(Д) ОСНОВНИХ З'ЄДНАНЬ ТРАКТОРНИХ І КОМБАЙНОВИХ ДВИГУНІВ.....	38
3.1. Результати досліджень по оптимізації технологічних чинників процесу ЕХМП(Д) деталей ЦПГ.....	38
3.2. Удосконалення технології ЕХМП(Д) циліндро-поршневої групи.....	53
3.3. Стендові випробування відремонтованих двигунів.....	54
Висновки до третього розділу.....	62
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ...	64
4.1. Аналіз стану охорони праці у ремонтних підприємствах.....	64

4.2. Аналіз стану протипожежної безпеки.....	64
4.3. Запобіжні заходи щодо усунення екологічного забруднення при ремонті сільськогосподарської техніки.....	65
Висновки до 4 розділу.....	66
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	67
Висновки до п'ятого розділу.....	75
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	79

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Освітній рівень _____ магістр _____
Спеціальність _____ 208 «Агроінженерія» _____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Андрій ВОЙТІК
“ _____ ” _____ 2023

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

_____ Вишневський Анатолій Михайловичі _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «ПІДВИЩЕННЯ МІЖРЕОНТНОГО РЕСУРСУ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОХІМІКО-МЕХАНЧНИМ ПРИПРАЦЮВАННЯМ ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВОЇ ГРУПИ»

керівник роботи Олександр ПУШКА, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджена наказом вищого навчального закладу від

“ 09 ” листопада 2023 № 01-06/256

2. Строк подання студентом роботи _____ 20.11.2023 _____

3. Вихідні дані до роботи: завдання на дипломну роботу; науково-технічна література з ремонту двигунів внутрішнього згоряння; авторські свідоцтва і патенти на винаходи з ремонту двигунів внутрішнього згоряння; результати випробувань двигунів внутрішнього згоряння; вимоги охорони праці; методика визначення економічного ефекту.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): аналіз і причини низького ресурсу двигунів сільськогосподарської техніки; обґрунтування можливості макроеометричного прироблення сполучення кільце-циліндр; оптимізація технології ЕХМП(Д) основних з'єднань тракторних і комбайнових двигунів; випробування циліндро-поршневої групи відремонтованих двигунів внутрішнього згоряння; охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях; техніко-економічна ефективність від впровадження результатів досліджень.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Актуальність теми роботи та проблема дослідження; мета, об'єкт, предмет дослідження; завдання роботи; схема прироблення кільця; схема проведення дослідів для визначення зношування; одноциліндрова установка для вивчення процесу ЕХМП(Д) сполучень ЦПГ; схема підключення джерела струму і

осцилографів до деталей ЦПГ при ЕХМП(Д); підключення джерела струму і осцилографа до деталей ЦПГ при ЕХМП(Д) спосіб установки голки профілографа-профілометра при вимірі шорсткості бічної поверхні кільця; схема проходження струму по сполученнях деталей ЦПГ; електрохіміко-механічне прироблення (доведення) деталей циліндро-поршневої групи на повному двигуні за схемою блок-блок; розрахунок балансової вартості і питомих витрат; розрахунок річного економічного ефекту; загальні висновки по роботі

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., к.с.-г.н., доцент		
Економічне обґрунтування проекту	Пушка О.С., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання « » 2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	При-мітка
	Вступ	24.04.2023	
1.	Аналіз і причини низького ресурсу двигунів сільськогосподарської техніки	19.05.2023	
2.	Обґрунтування можливості макрогеометричного прироблення сполучення кільце-циліндр	23.06.2023	
3.	Оптимізація технології ЕХМП(Д) основних з'єднань тракторних і комбайнових двигунів	15.09.2023	
4.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	06.10.2023	
5.	Техніко-економічна ефективність від впровадження результатів досліджень	03.11.2023	
	Загальні висновки	17.11.2023	
	Список використаних джерел	17.11.2023	

Студент

(підпис)

Станіслав ФЕРЕНЧУК

Керівник роботи

(підпис)

Олександр ПУШКА

РЕФЕРАТ

Дипломна робота магістра складається з пояснювальної записки, виконаної машинописним способом на 80 аркушах формату А4, яка вміщує 5 розділів, 12 таблиць, 7 рисунків, 20 найменувань використаних джерел і презентаційного матеріалу на 10 аркушах.

Метою дипломної роботи є підвищення міжремонтного ресурсу і поліпшення техніко-економічних показників тракторних і комбайнових двигунів сільськогосподарського призначення, що піддаються капітальному ремонту з використанням електрохіміко-механічного прироблення (доведення) деталей циліндро-поршневої групи.

У роботі розроблено технологію електрохіміко-механічного прироблення деталей циліндро-поршневої групи, яка покращує ущільнюючу здатність кілець. У результаті досліджень чад масла знижується в 1,2...1,7 рази і нижче за значення, відповідним вимогам, що пред'являються до двигунів, підданих капітальному ремонту.

Експериментально доведено, що в процесі прироблення поршневих кілець до дзеркала гільзи циліндрів на в'язкому електроліті при русі поршня виникають різні види мастила: від граничної до гідродинамічної.

Склад електроліту чинить вплив на знос деталей тертя, що формують мікрошорсткість і умовний анодний вихід металів по струму. З цих позицій найприйнятніше електроліт, що містить у своєму складі нітрит натрію.

Об'єктом дослідження є підвищення ресурсу двигунів сільськогосподарського призначення шляхом електрохіміко-механічного припрацювання (доведення) деталей ЦПГ.

Предметом дослідження є вивчення закономірностей процесу електрохіміко-механічного макроприроблення деталей ЦПГ рядних і V-подібних двигунів СМД і Д-240.

ВСТУП

Одним з основних, складних і дорогих агрегатів тракторів і комбайнів є двигун, термін служби якого в порівнянні з іншими агрегатами є найменшим. З усіх відмов комбайнів на двигун внутрішнього згорання припадає до 30%. Двигуни тракторів і комбайнів за увесь термін служби ремонтують до 5 разів, а їх міжремонтний ресурс складає лише 30-50% ресурсу нових. Тому підвищення ресурсу двигунів мобільної сільськогосподарської техніки - важлива проблема.

У двигуні найбільш навантаженою і відповідальною є циліндро-поршнева група (ЦПГ), деталі якої визначають його доремонтний і міжремонтний ресурс. Тому в умовах реальної експлуатації, для продовження ресурсу двигуна, вимушені замінювати поршневі кільця вже при поточному ремонті, що веде до значного збільшення експлуатаційних витрат.

Існуюча обкатка двигунів при ремонті слабо вирішує проблему підвищення міжремонтного ресурсу. Використовуючи ці технології, ремонтні підприємства не можуть за час стендової обкатки (1,5...3,5 год) досягти такого стану припрацьованих поверхонь, який забезпечить можливість сприймати нормальні експлуатаційні навантаження.

Труднощі вирішення цієї проблеми зв'язані з низькою якістю деталей, що поступають на збірку двигунів. У ремонтному виробництві використовуються деталі, що були в експлуатації, у яких знижена точність за рахунок зношування, відновлені і нові запасні частини низької точності [9].

Використання технології електрохіміко-механічного припрацювання (ЕХМП) дозволяє вирішити це завдання вже на стадії складання двигуна. Ранні проведені дослідження [10] показали ефективність цього способу з точки зору матеріальних витрат при ремонті двигунів і підвищення їх міжремонтного ресурсу. Недостатня вивченість процесу електрохіміко-механічного припрацювання деталей ЦПГ і відсутність обґрунтованого вибору оптимального поєднання технологічних чинників схеми подачі технологічного струму, і його величини, в'язкість електроліту, швидкісних характеристик і так далі, є

необхідними для проведення подальших досліджень по оптимізації режиму ЕХМП деталей ЦПГ, що дозволить удосконалювати технологію електрохіміко-механічного припрацювання (доведення) основних сполучень тракторних і комбайнових двигунів при капітальному ремонті у напрямі підвищення їх міжремонтного ресурсу при фактично наявній якості деталей.

Підвищення міжремонтного ресурсу двигунів мобільної сільсько-господарської техніки у край ускладнене у зв'язку з низькою точністю деталей, що поступають на складання. Особливо негативно впливають макрогеометричні відхилення поверхонь зв'язаних деталей ЦПГ. Тому цілком актуальним є забезпечення підвищення міжремонтного ресурсу двигунів, працюючих в екстремальних умовах сільськогосподарського виробництва при їх зборці в процесі ремонту з деталей фактичної якості. Видається можливим вирішити це завдання шляхом використання електрохіміко-механічного прироблення (доведення) деталей в процесі зборки [11]. Процес дозволяє виправити макрогеометрію зв'язаних деталей, пристосовувавши їх поверхні один під одного. Дослідження показали, що деталі отримують необхідну якість поверхонь з мінімальним зношуванням, придбавають високу зносостійкість і працездатність, що сприяє підвищенню їх міжремонтного ресурсу.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ І ПРИЧИНИ НИЗЬКОГО РЕСУРСУ ДВИГУНІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

1.1. Особливості умов експлуатації двигунів сільськогосподарської техніки і їх вплив на ресурс.

Один з чинників, що впливають на ефективність виробництва зерна, стан механізації його збирання. Близько 35...46% урожаю зернових культур втрачається в результаті несвоєчасного збирання, незадовільної якості регулювання механізмів, низького рівня транспортування і зберігання [12]. Якщо врахувати, що за 25 днів в полі втрачається до 30% зерна, то скорочення термінів збирання за рахунок підвищення надійності комбайнів і тракторів має першочергове значення. За даними спостережень за 5700 комбайнів, тракторів і автомобілів, що знаходяться в гарантійному обслуговуванні, в процесі експлуатації відмовив кожен п'ятий зернозбиральний комбайн, кожен сьомий трактор [13]. Надійність, в т.ч. довговічність, вірогідність безвідмовної роботи мобільної сільськогосподарської техніки залежить від надійності двигуна, трансмісії, що несе системи, рульового управління. Ресурс машин обмежується перш за все ресурсом двигуна [2]. Так, до 30% відмов комбайнів доводиться на ДВС, 28% - на гідросистему, 18% - на робочі органи.

Причини зниження довговічності, вірогідність безвідмовної роботи залежать як від якості ремонту машин, так і умов їх експлуатації [3]. Аналіз матеріалів обстеження 4703 відремонтованих машин і устаткування показав, що до 66% відмов сталися з вини організацій технічного сервісу і 34% - з вини споживачів.

Відомо, що основна маса дизелів, використовуваних в сільському господарстві, - це дизелі сімейства СМД, які також експлуатуються в умовах річкового, авто- і залізничного транспорту і на дизельних електроагрегатах. Експлуатація двигунів мобільної сільськогосподарської техніки відбувається в поганих умовах [4].

На надійність тракторного і комбайнового дизеля чинять вплив три основні експлуатаційні чинники: механічні, теплові навантаження і забрудненість повітря. В умовах реальної експлуатації часто мають місце підсоси нефільтрованого повітря і неакуратна заправка дизеля маслом, що сприяє посиленню абразивного зношування деталей двигунів. Відомо, що поліпшення очищення повітря застосуванням високоефективних повітроочисників з картонними елементами, що фільтрують, на дизелях СМД-14НГ зменшувало зношування компресійних кілець в 2 рази. При цьому слід зазначити, що на дизелях таких сільськогосподарських тракторів, як МТЗ, ДТ-75М, Т-4А, повітроочисники з картонними елементами, що фільтрують, ще не застосовуються [3].

Реальна експлуатація 227 двигунів Д-240 і А-41 показала, що внаслідок зношування деталей ЦПГ і кривошипно-шатунного механізму (КШМ) в капітальний ремонт було відправлено відповідно до 56 і 16 % двигунів Д-240, 51 і 21 % - А-41. Аналіз двигунів СМД-62, А-41, ЯМЗ-240 і Д-240, які поступили в капремонт, показав, що відповідно у 14, 20, 35 і 44 % з них відмови виникли внаслідок граничного зношування деталей ЦПГ [2].

Таким чином, двигуни сільськогосподарської техніки працюють у важких умовах, відмінних від умов роботи в інших галузях. В результаті ресурс дизелів, що експлуатуються в реальних умовах сільськогосподарського виробництва складає 26...47% від ресурсу двигунів, встановлених на техніці, працюючою в інших галузях народного господарства.

1.2. Стан деталей і складальних одиниць, що надходять на складання при ремонті, і його вплив на показники роботи двигунів

Відремонтовані двигуни займають велику частину серед використаних в сільському господарстві тракторних і комбайнових двигунів, а їх моторесурс складає 30-50 % від ресурсу нових [1, 13]. Причинами цього є те, що ремонтне виробництво характеризується низьким рівнем технологічних процесів, використовувані деталі мають розширені допуски, або виходять за них за рахунок

зношування, недосконалої технології відновлення, а значна доля запасних частин не відповідають технічним умовам (ТУ) [11].

Численними дослідженнями відзначається низька точність деталей, що поступають на складання на ремонтних підприємствах [11,15]. Проведені А.Ш.Рабиновичем виміри циліндрів двигуна Д-144 показують, що вони найчастіше мають форму овалу або стають овальними в процесі роботи, через неточне виготовлення кілець мають місце просвіти між кільцем і круглим калібром номінального розміру. Результати контролю 237 нових поршневих кілець двигуна Д-144 показали, що проміжок в одному місці мали 29% кілець, в двох - 25%, а в трьох і більше місцях - 20% [16]. Контроль 116 верхніх поршневих кілець, що поступають на збірку при ремонті рядних СМД показав, що 35,34% кілець не відповідають вимогам ГОСТ 621-87 по прикладанню до дзеркала гільзи циліндра. Із загального числа гільз циліндрів не відповідали технічним умовам 4,8...9,5%, кількість дефектних поршнів складало 60...92%, а поршневих кілець - 4,2...78,9% [11].

За даними роботи [16] при вимірі нових гільз з ремонтних комплектів двигунів ЗИЛ-130 виявилось, що 21% із загальної кількості мали овальність більше 0,02 мм, абсолютна величина якої для окремих гільз досягала 0,06 мм. В результаті монтажу у блок з порушеними розмірами і макроеометрії посадочних місць спотворення форм гільз ще більше збільшилося. На зміну форми гільз впливає також затягування болтів голівки блоку циліндрів. Після затягування болтів голівок циліндрів усереднена величина овальності гільз склала 0,042 мм, з них 7% мали овальність більше 0,1мм. Початкова овальність у 47% верхніх і 27% нижніх посадочних місць склала більше 0,02 мм.

Дослідженнями двигунів різних моделей з макроспотвореннями встановлено, що початкова макроеометрія ряду поверхонь деталей у значній мірі визначає наступну довговічність двигунів. При початковій овальності циліндрових гільз двигунів ЗМЗ-24 понад 0,04 мм, після 400 год. стендових випробувань під навантаженням, вона прогресує до 0,10...0,12 мм, тоді як при початкових значеннях до 0,025 мм наступна овальність не перевищує 0,05...0,06

мм [17]. Усунення макрогеометричних відхилень пов'язане зі зношуванням поверхонь поршневих кілець і гільз циліндрів, при цьому, чим більше відхилення, тим більше вимагається зняти металу для забезпечення надійного газового ущільнення в циліндрі [14, 17].

Макрогеометрія циліндрів, в основному, чинить вплив на щільність прилягання поршневих кілець до стінок циліндра, прорив газів в картер, витрату масла, характер зношування деталей ЦПГ і зміна проміжку між поршнем і гільзою. Якщо овальність гільз двигуна СМД-14 перевершує 0,15...0,18 мм, то відбувається різке збільшення цих показників [17]. При овальності 0,2 мм різниця прориву газів в картер доходить до 60%, а витрата масла збільшується в 1,5...1,6 разу в порівнянні з нульовою. Овалізація у верхній частині гільзи двигуна СМД-14 більшою мірою впливає на прорив газів в картер, чим овалізація в нижній половині. Витрата масла на чад більша, якщо овалізується нижня частина гільзи.

За даними фірми Geotze АО (ФРН) при величині овальності гільзи циліндра 0,03 мм неможливо отримати "досить надійного газового ущільнення циліндра". Від ефективності ущільнення газового стику залежить прорив газів в картерів, внаслідок чого руйнується масляна плівка і створюються умови для перегрівання, задиру і підвищеного зношування деталей сполучень циліндропоршневої групи (ЦПГ). При овальності гільз циліндрів двигуна СМД-14 до 0,08 мм (після складання), стабілізація чаду масла настає тільки через 450 годин роботи двигуна.

Погорілий І.П. вказує, що існує також зв'язок між величиною чаду і наявністю проміжку між гільзою і кільцем, викликаними дефектами гільзи і самих кілець. Ущільнюючі властивості поршневих кілець погіршуються зі збільшенням деформації циліндра і різко погіршується, якщо гільза придбає ограновування перерізів. Чим більше проміжки, тим вище чад і триваліше час його стабілізації в початковий період роботи. С. М. Левіт встановив, що збільшення проміжку в сполученні поршень-гільза дизеля 8Ч12/12 з 0,16 до 0,23 мм привело до зростання витрати масла на чад на 38%.

Разом з тим, що самі деталі частенько мають дефекти, великий вплив на взаєморозташування поверхонь деталей робить і недотримання правил монтажу.

За даними Н.Т.Голубничего при складанні двигунів на ремонтних підприємствах спостерігаються значні (у 3...5 разів допустимі, що перевищують) погрішності взаємного розташування (перекоси) деталей.

Найбільш характерними показниками, що відбивають вплив перекосу деталей ЦПГ на якість їх прироблення являється прорив газів в картер і чад масла [21]. Після обкатки двигуна з вказаними значеннями перекосу величина прориву газів в картер збільшується на 40 - 50%, а чад картерного масла, зростає в два і більше раз у порівнянні з двигуном, що обкатаний з допустимим перекосом.

Доведено, що при перекосі зменшення ресурсу пропорційне величині недовикористаного матеріалу при зношуванні від початкового до граничного проміжків, тому макровідхилення не повинні перевищувати величину граничних проміжків.

Якщо врахувати, що найбільш відповідальними парами тертя, що визначають моторесурс двигуна є сполучення канавка поршня - кільце і кільце, - гільза [10], те очевидно, що приведені вище відхилення їх макрогеометрії приведуть до зниження ресурсу ЦПГ і двигуна в цілому.

1.3. Необхідність обкатки двигунів, суть прироблення і її вплив на зміну початкового стану поверхонь деталей

Міжремонтний ресурс двигунів залежить від величини приробленого зношування деталей ЦПГ і інтенсивності їх нормального зношування у важких умовах експлуатації сільськогосподарської техніки. Рядом дослідників було встановлено, що при роботі машин існує три періоди зношування деталей: початковий, сталий і посилений. Перший період - відповідає періоду прироблення поверхонь. Швидкість зношування в цьому періоді найбільша і увесь час змінюється з поступовим наближенням до величини, характерної для тієї, що встановлюється в період експлуатації. Від величини зношування в цей період більшою мірою залежить ресурс сполучення. У другому періоді, при експлуатації двигуна, в процесі експлуатаційних і максимальних навантажень, двигуни

працюють з постійною (мінімальною) швидкістю зношування поверхонь. В цей період ресурс сполучення залежить від інтенсивності нормального зношування деталей. Третій період - період посиленого або аварійного зношування. Експлуатація двигуна в цьому періоді недопустима через появу додаткових ударних навантажень, інтенсивного зношування і погіршення мастила поверхонь тертя. Тому, для підвищення ресурсу двигуна, необхідно прагнути до зменшення як приробленого зношування, так і інтенсивності нормального зношування в експлуатації.

У циліндро-поршневій групі порушуються нормальні умови мастила циліндрів, поршнів, поршневих кілець, оскільки газ, здуваючи масло в картер, створюють умови виникнення напівсухого тертя верхніх компресійних поршневих кілець на стінках циліндра.

У початковий період роботи такого сполучення бере участь невелика кількість контактуючих між собою виступів, внаслідок чого питомі навантаження на майданчиках, що утворилися, великі, тому відбувається інтенсивне руйнування нерівностей, їх дроблення і пластична деформація. У цей період сполучення працюють в умовах підвищеного тертя і високих навантажень, що викликає інтенсивне підвищення температури як на окремих виступаючих мікронерівностях, так і на цілих ділянках поверхні. Це приводить до схоплювання, задиру, а іноді і до поломки деталей».

Згідно стандартів "прироблення - це зміна геометрії поверхні тертя і фізико-механічних властивостей поверхневих шарів матеріалу в початковий період тертя, що проявляється при постійних зовнішніх умовах в зменшенні сили тертя, температури і інтенсивності зношування". Під "геометрією поверхні тертя" розуміють макрогеометрію і мікрогеометрію, відповідно форму і мікрошорсткість поверхні деталі.

Вдосконалення процесу прироблення є важливим резервом підвищення довговічності двигунів, оскільки правильне його проведення сприяє збільшенню надійності і міжремонтного ресурсу двигунів, що використовуються в сільському господарстві [7]. Розкриття механізму прироблення двох або декількох деталей,

що розбираються, знаходиться на низькому рівні. Як вважають А.Ю.Ішлинський і И.В.Крагельский із співробітниками, «наші знання в цій галузі обмежуються гіпотезами, створені моделі характеризують масштаби несумірні менше висот мікрошорсткостей за умови пружної деформації шару». Вирішення цієї проблеми, як відмічає Б.И.Костецкий «можливо тільки за умови створення загальної, досить повної і непротиворечної теорії поверхневої міцності, що зв'язує параметри тертя і зношування з усім комплексом фізико-хімічних властивостей матеріалів, що труться, і робочих середовищ».

Частенько хід прироблення оцінюють по зміні мікрошорсткості (висота, форма і напрям мікронерівностей) поверхонь тертя, а її закінчення - по близькості параметрів мікрошорсткості до параметрів, що отримані в експлуатації.

У початковий період роботи сполучення площі фактичного контакту деталей, у міру їх приробленості, збільшується, а середній питомий тиск і середня температура на площі фактичного контакту знижуються. Після закінчення прироблення виникає "рівномірна шорсткість поверхні". Як відмічає И.В. Крагельский, вона не залежить від величини і характеру шорсткості поверхні у початковому стані. Шорсткість поверхні деталі чинить вплив на зносостійкість тільки в період прироблення. И.А.Кравець розглядає прироблення як незворотній, перехідний, саморегулюючий процес. При цьому, незалежно від початкової шорсткості, у кінці прироблення поверхні отримують тільки властиву їх робочим умовам експлуатаційну або "рівномірну" шорсткість.

На думку В.А.Валетова в процесі роботи двигуна характер мікрорельєфу поверхонь деталей ЦПГ постійно змінюється: "первинний, наприклад платоподібний мікрорельєф, поступово руйнуючись, перетворюється на гостровершиний; гострі вершини, що утворюються, в процесі роботи пари тертя зношуються, перетворюючи мікрорельєф поверхні знову в платоподібний". Такий циклічний характер роботи пар тертя повторюється з певним періодом, який у свою чергу визначає інтенсивність зношування ЦПГ. Від шорсткості залежить також тривалість цього періоду. Тому оптимальною вважають шорсткість, близьку до "рівномірної".

Разом з трансформацією геометричних характеристик змінюється вихідна структура і фізико-механічні властивості поверхневих шарів з'єднаних деталей. В результаті фізико-хімічних процесів при терті утворюються вторинні структури. Під впливом навантажень і температур відбувається пластична деформація тонкого поверхневого шару. При цьому зростає його міцність і твердість. Зміцнення поверхневих шарів є засобом підвищення їх жорсткості і зменшення взаємного впровадження при механічній і молекулярній дії.

Крім того, утворення оксидів заліза, є твердим мастилом і значно знижує рушійну міцність молекулярного з'єднання і зменшує молекулярну складову сили тертя, що істотно впливає на збільшення зносостійкості сполучень. У процесі початкового зношування мікротвердість поверхневих шарів прагне до свого оптимального значення, оскільки кожній шорсткості відповідає визначена мікротвердість.

Значну роль в протіканні процесу прироблення грає мастильний матеріал, який розділяє поверхні, що труться, відводить тепло і абразивні частки із зони тертя. При приробленні сполучень двигунів змінюються фізико-хімічні властивості мастильних масел. У них утворюються вторинні структури, що мають антифрикційну і протизношувальну дію. Як відомо, в механіко-хімічній моделі нормального зношування Б.І.Костецкого [6] єдиним елементом трибосистеми, властивістю мінімального виробництва ентропії, що володіє, є вторинні структури. Тільки вони являються зміцнюючим і екрануючим чинником при зношуванні деталей. Тому можна відмітити, що не лише поверхні тертя, але і масло має властивість структурної пристосованості.

Дослідженнями В.А. Дідура встановлено, що на мастильні властивості моторних мастил великий вплив здійснюють забруднення мастильного середовища. При цьому, у разі яких-небудь змін в якості мастильного середовища, виникають прироблені явища.

Як відмічає Н.В.Храмцов в звичайних умовах на прироблення деталей в сполученнях великий вплив чинить товщина масляної плівки і процес прироблення сполучень протікає тільки в умовах "напівгідродинамічного і

граничного тертя і практично відсутній при гідродинамічному терті". В ЦПГ умови граничного тертя спостерігаються для поршневих кілець при положенні поршня поблизу верхньої і нижньої мертвих точок, де швидкість поршня мінімальна, при цьому затверджується що масляна плівка в парі кільце-гільза не має об'ємних властивостей рідини, а представляє еластичний покрив поверхні тертя що пружно деформується під поршневим кільцем і відновлюється після його проходження.

Існують різні думки про наявність і тривалість гідродинамічного режиму тертя в сполученнях ЦПГ, проте у вказаних роботах не заперечується наявність розділових плівок мастильного матеріалу між поверхнями, що труться, у вигляді шару, що уривається, чи змінюється в часі товщиною.

Завдяки саме періоду початкового зношування деталей - приробленню, відбувається трансформація початкового стану і перехід до сталого (експлуатаційного) періоду роботи сполучення [5]. В процесі прироблення відбувається два одночасні процеси - макро- і мікроприроблення, причому тривалість першої значно більше, чим другий. У початковий момент часу макронерівності чинять основний вплив на прироблення поверхонь.

Вплив макрогеометричних погрішностей сполучень значною мірою може бути ослаблений обкаткою як на стенді, так і в експлуатації.

Обкатка є тривалою і складною операцією ремонту двигунів внутрішнього згорання. Але в теж час, як показали дослідження Г. Р. Ардашева та інший ресурс двигунів не підданих технологічній обкатці склав усього 25% від ресурсу двигунів, що пройшли обкатку.

За час технологічної обкатки неможливо здійснити повну прироблення основних сполучень двигуна, тому її завданнями є: підготовка поверхонь деталей до сприйняття експлуатаційних навантажень і виявлення та усунення відмов, що виникли через відхилення в якості запасних частин, відновлених деталей, складанні сполучень і вузлів двигунів.

В умовах ремонтного виробництва тривалість обкатки більша, ніж на машинобудівних заводах в 1,2...2,8 рази, а навантаження на останніх етапах

складають не більше 80...90% номінальних. Згідно з вимогами ГОСТ 18523-89 ремонтні підприємства зобов'язані при капітальному ремонті обкатувати кожен тракторний і комбайновий двигун. На ремонтних підприємствах застосовується трьохстадійна технологічна обкатка, що складається з холодної обкатки, холостого ходу і обкатки під навантаженням. Під час холодної обкатки, в основному, приробляються деталі ЦПГ.

За даними, після 30 хв. холодної обкатки, ущільнююча здатність поршневих кілець зростає в 2-9 разів. В цей час прироблене зношування досягає до 70% від зношування за увесь період обкатки. При загальноприйнятій схемі обкатки двигунів, процеси, які відбуваються на її початкових стадіях - прокрутці від стороннього джерела і холостому ході ймовірно неправомірний відносити до прироблення. На думку більшості дослідників в цей час відбувається притирання поверхонь. Притирання, як відомо, є фінішною операцією оброблення поверхонь. Тому, природно, що на долю цих стадій приходить найбільше зношування деталей ЦПГ.

Режим холостого ходу (гаряча обкатка без навантаження) призначений, на думку багатьох дослідників [18], для прогрівання двигуна, прослуховування і регулювання перед обкаткою під навантаженням. Якість прироблення деталей в цей період мало покращується, спостерігається збільшення їх зношування, при цьому тривалість цієї стадії не перевищує 30 хвилин.

Обкатка двигунів під навантаженням проводиться з поступовим наростанням швидкісного і навантаження режимів тертя, які, в основному, змінюються ступінчасто в межах 10...98% номінальних.

За технологічною (стендовою) обкаткою йде експлуатаційна обкатка. Для тракторних і комбайнових дизелів вона зазвичай складає 60 годин. Така тривалість обкатки викликана, передусім, повільним протіканням макроприроблення. Храмцов Н.В. розрізняє два поняття: повне припрацювання (30...60 мото-годин) і повна обкатка (400...600 мото-годин).

У першому випадку завершують прироблення основних сполучень, в другому, крім того, виявляють і усувають закладені технологією ремонту прироблені відмови.

Згідно досліджень відхилення макрогеометрії деталей сполучень знижують здатність поверхонь, що несе, і не можуть бути усунені в період прироблення (30...60 год.), а деякі погіршеності не усуваються і впродовж міжремонтного терміну служби двигуна [8, 10]. Макроприроблення пов'язане з неточністю виготовлення, погіршеністю складання, неспівпаданням поверхонь, деталей, що сполучаються, і т. д. Зниження якості макроприроблення стає помітним при перекосі поршнів, в 2-3 рази допустимий. Перевищення перекоосу в 4 рази що перевищує проміжок робить неможливим прироблення поршня до гільзи. При 10-ти кратному перевищенні допустимих значень вигину шатуна ускладнено прироблення верхнього поршневого кільця до гільзи циліндра .

Досвід експлуатації і дані досліджень свідчать про те, що основні робочі параметри двигунів (потужність механічних втрат, питома витрата палива, витрата масла на чад, прорив газів в картер) в період прироблення покращуються внаслідок зменшення макрогеометричних відхилень і мікронерівностей, і формування оптимальних фізико-механічних властивостей поверхонь тертя.

1.4. Аналіз існуючих способів прискорення прироблення сполучень і їх вплив на міжремонтний ресурс

Аналіз показав, що деталі, що поступають на зборку, і технології зборки деталей забезпечують низьку якість зборки двигуна з точки зору їх макрогеометрії [18].

Це призводить до зниження ресурсу двигунів і погіршенню його техніко-економічних показників. Тому цілком природно коштує питання про використання технологічних прийомів, які дозволять нейтралізувати цей недолік.

Оскільки операція обкатки витратна, не продуктивний процес, то багато дослідників прагнуть до скорочення тривалості технологічної обкатки за рахунок

інтенсифікації процесу прироблення [8] і завершенню її, в основному проводиться на ремонтному заводі. Проте тривалість технологічної обкатки повинна визначатися не лише умовами забезпечення заданих технічних характеристик і показників надійності, але і міркуваннями економічної доцільності. Це завдання особливо актуальне для ремонтуючих двигунів, коли мають місце вказані вище макрогеометричні відхилення.

Для прискорення обкатки двигунів використовується ряд технологічних прийомів, таких як підбір раціональних швидкісних для навантаження режимів, застосування безступінчатого режиму зміни швидкості і навантаження і обкатка дизелів динамічним навантаженням, підбір режимів мастила, нанесення покриттів або проведення хіміко-термічного оброблення контактуючих поверхонь важкоприроблених деталей (поршневі кільця, гільзи циліндрів, використання прироблених присадок до мастильного масла і палива, зміна електромагнітного стану деталей, отримання початкових плосковершинних і маслоємких рельєфів механічними, хімічними і електрохімічними способами).

Залежно від того, які види зношування (механічні, корозійно-механічні, під дією електричного струму) переважають, проходять зміни в мастильному середовищі і на поверхні деталей при приробленні і відповідно досягається якість прироблення з'єднань циліндропоршневої групи.

Особливий інтерес представляють різні способи прискорення прироблення з точки зору поліпшення макрогеометрії зв'язаних поверхонь.

Одним з найбільш поширених і вивчених видів механічного зношування є абразивне зношування. До нього в з'єднаннях циліндропоршневої групи приводить взаємне механічне зрізання мікровиступів зв'язаних поверхонь.

Особливо інтенсивно процес абразивного зношування протікає при холодній обкатці двигунів через нестачу мастила в з'єднаннях і незадовільній змиваності продуктів зношування холодним, в'язким маслом. За даними С.Л. Клейтмана інтенсифікація прироблення ЦПГ під час холодної обкатки можлива підбором оптимальних режимів по зміні моменту опору тертю двигуна. Застосування цього методу дозволяє зменшити зношування деталей ЦПГ за

рахунок зниження тривалості холодної обкатки, яка у капітально відремонтованих двигунів займає до 70% загального часу.

Виходячи з викладеного можна зробити висновок, що ЕХМД(Д) є одним з найбільш перспективних способів прироблення деталей, що мають макрогеометричні відхилення, і відхилення взаємного розташування поверхонь.

Використання електрохімічних процесів дозволяє робити локальне знімання матеріалів деталей сполучень ЦПГ і виносити продукти знімання в електроліт у вигляді іонів, що перешкоджає забрудненню кільцевих ущільнень поршня продуктами зношування. Застосування при технологічній обкатці експлуатаційних масел сприяє переходу до нормального механіко-хімічному зношуванню деталей сполучень і утворення ювенільних поверхонь здатних сприймати експлуатаційні навантаження.

Висновки і завдання досліджень

1. Існуюча технологія ЕХМД(Д) пов'язує режими прироблення з якістю хромового покриття верхніх поршневих кілець. Відзначається їх низька якість і необхідність ділення на чотири групи чи відбракування, як у випадку з кільцями, бічна поверхня яких була покрита шаром полуди, під яким знаходився нерівномірний і неякісний хром з глобульним рельєфом, що виготовлене до підвищеного зношування гільз циліндрів.

2. Досягнення оптимальної мікрошорсткості за наявності макровідхилень не дає ефекту, оскільки спотворення макрогеометрії не усуваються протягом повної експлуатації двигуна [10], те це заздалегідь програмує неможливість забезпечення високого міжремонтного ресурсу двигунів при використанні відомих способів прироблення деталей, оскільки за наявності макровідхилень деталей ЦПГ порушуються умови забезпечення нормальною прилягаємості кілець до дзеркала гільзи [37],

3. Стендові випробування показали, що ЕХМД(Д) сприяє формуванню зносостійких поверхонь і високої ущільнюючої здатності деталей ЦПГ. Проте

розроблена технологія побудована без урахування особливостей протікання процесу ЕХМД(Д) в сполученнях ЦПГ;

4. Недостатньо досліджені особливості прироблення компресійних кілець до канавки поршня і поршня до гільзи циліндра. Не досліджено вплив схем підключення струму до деталей ЦПГ на прироблення деталей, і отриману в результаті ЕХМД(Д) шорсткість.

5. Наявні дослідження характеризують, як правило, шорсткість, що виходить, зносостійкість, але без урахування макрогеометрії. Ці дослідження виконувалися в основному однофакторним експериментом, на основі чого розроблялися практичні рекомендації. Але режими ЕХМД(Д) вимагають своєї оптимізації, а це призводить до необхідності уточнення технології ЕХМД(Д) деталей ЦПГ.

Виходячи із сказаного були поставлені наступні завдання досліджень:

1. Визначити виникаючі види тертя (мастила) в сполученні поршневе кільце - гільза циліндрів і можливість виправлення макрогеометрії деталей сполучення як що визначають ресурс двигуна.

2. Розкрити механізм процесу виправлення макрогеометрії сполучень канавка поршня - поршневе кільце - гільза циліндрів при ЕХМД(Д), визначити фактори управління процесом і підвищенням ресурсу сполучень.

3. Оптимізувати технологічні чинники, скоректувати технологічний процес ЕХМД(Д) сполучень при ремонті двигунів.

4. Оцінити техніко-економічні показники відремонтованих тракторних і комбайнових двигунів з використанням ЕХМД(Д) і визначити їх міжремонтний ресурс.

5. Оцінити економічну ефективність результатів досліджень в т.ч. по підвищенню міжремонтного ресурсу відремонтованих двигунів сільськогосподарського призначення.

РОЗДІЛ 2. ОБГРУНТУВАННЯ МОЖЛИВОСТІ МАКРОГЕОМЕТРИЧНОГО ПРИРОБЛЕННЯ СПОЛУЧЕННЯ КІЛЬЦЕ - ЦИЛІНДР

2.1. Теоретичне обґрунтування електрохіміко-механічного прироблення (доведення) поршневих кілець до дзеркала гільзи циліндрів

Найбільш важкоприробленим сполученням в ДВЗ є сполучення хромоване кільце - дзеркало гільзи циліндрів [1]. Тому критерієм закінчення макроприроблення поршневих кілець до дзеркала циліндра може служити досягнення повного прилягання бічної поверхні хромованого кільця до дзеркала. При цьому важливо мінімізувати прироблене зношування (знімання металу) деталей з метою збільшення міжремонтного ресурсу двигуна.

На прироблення деталей ЦПГ в звичайних умовах великий вплив здійснює наявність і товщина масляної плівки в сполученнях. Власне сам процес прироблення сполучень, на думку Н.В.Храмцова, протікає тільки в умовах перехідного і граничного тертя і практично відсутній при гідродинамічному терті. В той же час існують різні думки про наявність і тривалість гідродинамічного режиму тертя в сполученнях ЦПГ.

Наявність і товщина розділового шару мастильного матеріалу (електроліту) між бічною поверхнею кільця і дзеркалом гільзи (див. рис. 2.1) визначають умови тертя сполучення при ЕХМП(Д). Режим тертя характеризується критерієм Зоммерфельда S_m :

$$S_m = \frac{\mu \cdot V}{P_N \cdot b}, \quad (2.1)$$

де S_m - критерій Зоммерфельда;

μ - динамічна в'язкість мастильного матеріалу (електроліту), Па·с;

V - швидкість переміщення поршня, м/с;

P_N - тиск кільця на дзеркало циліндра від сил пружності, Па;

b - висота кільця, м.

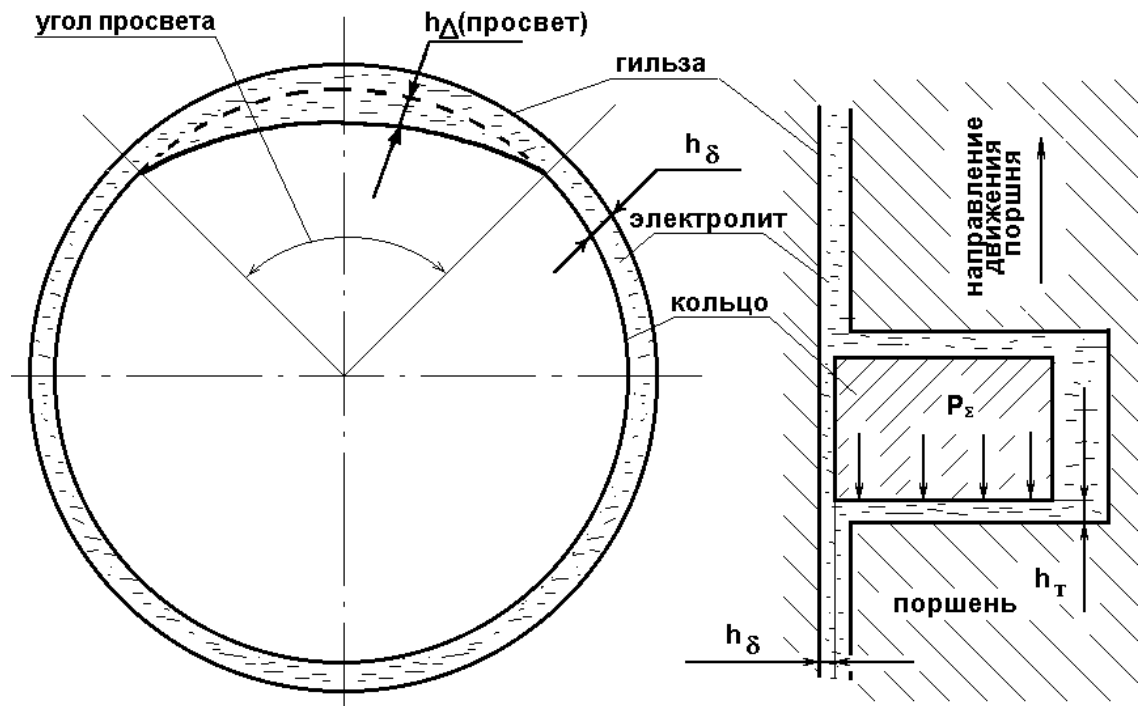


Рисунок 2.1- Схема прироблення кільця

де h_δ і h_τ - відповідно товщина шару електроліту в сполученнях поршневе кільце - дзеркало гільзи циліндра і канавка поршня - торцева поверхня кільця.

З огляду на те, що кількісний аналіз усієї сукупності явищ, що відбуваються при течії шарів електроліту в проміжках сполучень канавка поршня - кільце, - циліндр при ЕХМП(Д) надзвичайно складний, аналітичне дослідження проведене на моделі, що ідеалізується, включає наступні допущення: кільце рухається співісній гільзі циліндра, тобто гладка робоча поверхня кільця переміщається гладкої гільзи (не враховуються скручування або перекіс кільця в канавці поршня), що паралельно утворює, усі проміжки ЦПГ заповнені електролітом, властивості якого незмінні упродовж часу прироблення і не враховується вплив теплового проміжку в замку кільця на режим тертя і розподіл струму.

Оскільки для кращої пристосованості компресійним кільцям надають грушовидну епюру радіальних тисків кільця на стінку циліндра, які нерівномірні і описуються усіченим рядом Фур'є, а швидкість V поршня є функцією кута повороту колінчастого валу ($V=f(\alpha)$) [40], тоді формула (2.1) набере вигляду:

$$S_m = \frac{\mu \cdot \pi \cdot n \cdot r \cdot (2 \sin \alpha + \lambda \cdot \sin 2\alpha)}{P_0 \cdot (1 + m_2 \cdot \cos 2\psi + m_3 \cdot \cos 3\psi + \dots + m_k \cdot \cos k\psi) \cdot b}, \quad (2.2)$$

де S_m - критерій Зоммерфельда;

μ - динамічна в'язкість електроліту, Па·с;

n - частота обертання колінчастого валу, с⁻¹;

r - радіус кривошипа, м;

α - кут повороту колінчастого валу, град.;

$\lambda=r/L_{ш}$ - число, що характеризує КШМ двигуна,

$L_{ш}$ - довжина шатуна, м;

b - висота кільця, м;

P_0 - середній тиск кільця на стінку циліндра, Па;

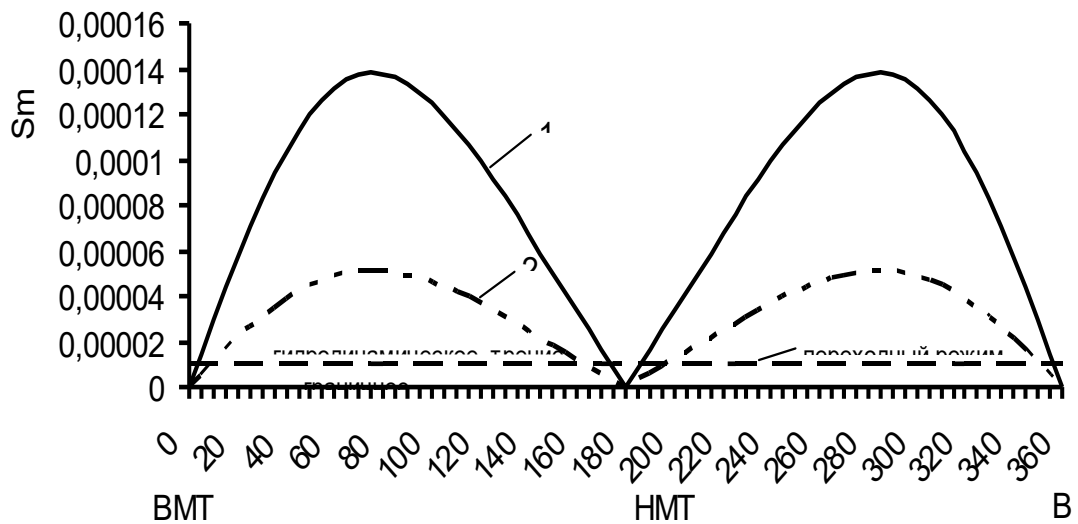
ψ - одиничний кут, рівний 15° при відліку його від спинки до замку стислого кільця;

k - порядковий номер члена ряду Фур'є (число розбиваних кутів ψ), для досліджуваної епюри з характеристикою $P_{\max}/P_0=2,86$, $k=1 \dots 12$;

m_k - відоме відношення змінного тиску до середнього, $m_k=P_k/P_0$ [4],

де P_k - тиск кільця в одиничному куті ψ , Па. Для досліджуваної епюри з відношенням максимального тиску $P_{\max}$ до середнього тиску P_0 $P_{\max}/P_0$ рівне 2,86 цей вираз записується у вигляді [4]:

$$\begin{aligned} P/P_0 = & 1 + 0,309 \cos 2\psi - 0,436 \cos 3\psi + 0,288 \cos 4\psi - 0,196 \cos 5\psi + \\ & + 0,141 \cos 6\psi - 0,109 \cos 7\psi + 0,097 \cos 8\psi - 0,09 \cos 9\psi + \\ & + 0,080 \cos 10\psi - 0,071 \cos 11\psi + 0,041 \cos 12\psi. \end{aligned}$$



Кут повороту колінчастого валу

Рисунок 2.2 - Зміна режимів тертя в сполученні кільце - гільза при ЕХМП(Д) залежно від кута повороту колінчастого валу за один подвійний хід поршня, де 1 і 2 - значення критерію Зоммерфельда відповідно в спинці і замку кільця.

Умови граничного тертя спостерігаються для поршневих кілець при положенні поршня у верхній і нижній мертвих точках, де швидкість поршня мінімальна. В.С. Семенов стверджує, що для граничного режиму тертя досить товщини плівки до 0,1 мкм, при цьому масляна плівка в парі кільце-гільза не має об'ємних властивостей рідини, а представляє еластичний покрив поверхні тертя, що пружно деформується під поршневим кільцем і відновлюється після його проходження.

Тоді, за вищезазначених умов, граничний режим тертя повинен мати місце при куті повороту колінчастого валу $0,0012^{\circ}$, $179,9979^{\circ}$, $180,0021^{\circ}$ і $359,9988^{\circ}$.

Отже, від 0 до $0,0012^{\circ}$, від $179,9979$ до $180,0021^{\circ}$ і від $359,9988$ до 360° матиме місце механічний контакт деталей сполучення.

Отримані розрахункові дані свідчать про те, що за подвійний хід поршня двигуна 4Ч12/14 гідродинамічне мастило повинне мати місце при куті повороту колінчастого валу від $3,37^{\circ}$ до $174,02^{\circ}$ і від $185,98^{\circ}$ до $356,63^{\circ}$. Епюра радіальних тисків чинить незначний вплив на зміну режиму тертя по колу кільця.

В той же час гірші умови мастила, при яких зменшується доля гідродинамічного тертя, матимуть місце в районі замку кільця (крива 2, рис. 2.2). Розрахунки показали, що значне збільшення долі гідродинамічного режиму тертя в сполученні кільце-гільза буде в районі 45° від замку кільця, що особливо чітко проявляється за умови підвищення частоти обертання колінчастого валу до $3,33 \text{ с}^{-1}$ і в'язкість електроліту до $0,1526 \text{ Па}\cdot\text{с}$.

Апріорі можна стверджувати, що розподіл поверхонь, що труться, шаром електроліту при пропусканні струму викличе електрохімічну реакцію і знімання металу. За наявності роздільного шару електроліту між кільцем і гільзою, швидкість знімання металу з кільця, або дзеркала гільзи можна визначити по формулі:

$$Ve = \kappa \cdot \frac{C}{\rho} \cdot \eta_A \cdot (U - \Delta\phi) \frac{\chi}{h}, \quad (2.3)$$

де Ve - швидкість електрохімічного розчинення анода, м/с;

κ - коефіцієнт, що враховує змінний струм, $\kappa=0,5$

C - електрохімічний еквівалент розчинення металу, $\text{кг}/\text{А}\cdot\text{с}$;

ρ - щільність оброблюваного металу, $\text{кг}/\text{м}^3$;

η_A - анодний вихід металу по струму;

U - робоча напруга, В;

$\Delta\phi = \phi_a - \phi_{\text{до}}$ - сума анодного і катодного потенціалів, В;

χ - питома електропровідність електроліту, $\text{Ом}^{-1}\cdot\text{м}^{-1}$;

h - міжелектродний проміжок, м.

На ділянці прилягання кільця до дзеркала гільзи міжелектродний проміжок дорівнює гідродинамічному (розрахунковому), а на ділянці неприлягання - сумі проміжку на ділянці прилягання і просвіту кільця (див. рис. 2.1) :

$$h = h_\delta + h_\Delta, \quad (2.4)$$

де h - міжелектродний проміжок, м;

h_δ - проміжок в сполученні кільце - гільза при гідродинамічному мастилі в зоні прилягання кільця до дзеркала гільзи, м;

h_{Δ} - величина просвіту в зоні неприлягання кільця до дзеркала гільзи, м.

Проміжок в сполученні кільце - гільза або товщина шару мастила (електроліту), при ЕХМП(Д) залежить від режиму тертя [30]:

$$h_{\delta} = b \cdot \sqrt{S_m}, \quad (2.5)$$

де h_{δ} - проміжок в сполученні кільце - гільза, м;

b - висота кільця, м;

S_m - критерій Зоммерфельда.

З розрахунків видно, що величина проміжку h_{δ} менше, або дорівнює реальному просвіту кільця h_{Δ} [42]. Отже, виходячи із закону Фарадея і формул (2.3), (2.5) можна припустити, що при ЕХМП(Д) на ділянці неприлягання швидкість знімання металу з кільця буде менше, ніж на ділянці прилягання кільця до дзеркала гільзи. Тому зніманням металу на ділянці неприлягання кільця до гільзи можна нехтувати.

Виразимо товщину шару мастильного матеріалу (електроліту) h_{δ} через опір мастила (електроліту) R :

$$h_{\delta} = R \cdot \chi \cdot S_6, \quad (2.6)$$

де h_{δ} - проміжок в сполученні кільце - гільза, м;

R - опір шару мастильного матеріалу (електроліту), Ом;

χ - питома електропровідність мастильного матеріалу, Ом⁻¹·м⁻¹;

S_6 - площа бічної поверхні кільця, м²;

Тоді формула (2.3), за умови прилягання ділянки кільця до дзеркала гільзи, набере вигляду:

$$V_{\text{э}} = k \cdot \frac{C}{\rho} \cdot \eta_A \cdot \frac{(U - \Delta\phi)}{R \cdot S_6} \quad (2.7)$$

Представимо швидкість макроприроблення хромованого кільця $V_{\text{э}}$ у виді:

$$V_{\text{э}} = \frac{dH}{d\tau}, \quad (2.8)$$

де $V_{\text{э}}$ - швидкість електрохімічного розчинення анода, м/с;

H - товщина підбурюваного хрому з кільця, м;

τ - тривалість макроприроблення, с.

Тоді, згідно закону Ома :

$$I = \frac{(U - \Delta\phi)}{R}, \quad (2.9)$$

де I - сила струму, що пройшов через сполучення, А;

U - робоча напруга, В;

$\Delta\phi$ - сума анодного і катодного потенціалів, В;

R - опір шару мастильного матеріалу (електроліту), Ом;

Вирішуючи рівняння (2.8), отримаємо:

$$dH = k \cdot \frac{C}{\rho \cdot S_6} \cdot \eta_A \cdot I \cdot d\tau, \quad (2.10)$$

де dH - елементарна товщина хрому, що підбурюється з кільця, м;

k - коефіцієнт, що враховує змінний струм, $k=0,5$;

C - електрохімічний еквівалент розчинення металу, кг/А·с;

ρ - щільність оброблюваного металу, кг/м³;

S_6 - площа бічної поверхні кільця, м²;

η_A - анодний вихід металу по струму;

$I \cdot d\tau$ - кількість електрики, що пройшла через деталі, А·с;

I - сила струму, що пройшов через сполучення, А.

Проінтегрував обидві частини рівняння (2.9), отримаємо товщину підбурюваного шару металу з поверхні деталі:

$$H = k \cdot \frac{C}{\rho \cdot S_6} \cdot \eta_A \cdot \int_0^{\tau} I \cdot d\tau \quad (2.11)$$

Помножимо обидві частини рівняння (2.11) на щільність хрому ρ і площу бічної поверхні кільця S_6 . Тоді в лівій частині рівняння отримаємо масу металу, підбуреного з кільця:

$$M = H \cdot \rho \cdot S_6 \quad (2.12)$$

де: M - маса металу, підбуреного з кільця, кг;

ρ - щільність оброблюваного металу, кг/м³;

S_6 - площа бічної поверхні кільця, м².

У результаті рівняння (2.11) набере вигляду:

$$M = k \cdot C \cdot \eta_A \cdot \int_0^{\tau} I \cdot dt \quad (2.13)$$

За наявності неприлягання кільця до дзеркала гільзи, маса підбуреного металу з бічної поверхні кільця буде менше з урахуванням впливу величини просвіту і складе:

$$M = k \cdot C \cdot \eta_A \cdot \int_0^{\tau} I \cdot dt - S_{\text{пр}} \cdot b \cdot \rho, \quad (2.14)$$

де: M - маса металу, підбуреного з кільця, кг;

k - коефіцієнт, що враховує змінний струм, $k = 0,5$;

Z - електрохімічний еквівалент розчинення металу, кг/А·с;

η_A - анодний вихід металу по струму;

I - сила струму, що пройшов через сполучення, А;

$S_{\text{пр}}$ - площа просвіту кільця в гільзі, м²;

b - висота кільця, м;

ρ - щільність хрому, кг/м³.

Сила струму залежить від товщини шару електроліту і, відповідно, від кута повороту колінчастого валу, і епюри радіальних тисків кільця. Це видно з формули (2.15), отриманої спільним рішенням формул (2.2), (2.5), (2.6) і (2.10) :

$$I = \frac{(U - \Delta\phi) \cdot \chi \cdot S_6 \sqrt{P_0 \cdot (1 + m_2 \cdot \cos 2\psi + m_3 \cdot \cos 3\psi + \dots + m_K \cdot \cos K\psi)}}{\sqrt{b \cdot \mu \cdot \pi \cdot n \cdot r \cdot (2 \sin \alpha + \lambda \cdot \sin 2\alpha)}} \quad (2.15)$$

Продиференціювавши обидві частини, отримаємо:

$$dI = \frac{(U - \Delta\varphi) \cdot \chi \sqrt{P_0 \cdot (1 + m_2 \cdot \cos 2\psi + m_3 \cdot \cos 3\psi + \dots + m_K \cdot \cos k\psi)}}{\sqrt{b \cdot \mu \cdot \pi \cdot n \cdot r \cdot (2 \sin \alpha + \lambda \cdot \sin 2\alpha)}} dS_6 \quad (2.16)$$

Елемент площі бічної поверхні кільця рівний:

$$dS_6 = b \cdot dL, \quad (2.17)$$

де: dS_6 - елементарна площа бічної поверхні кільця, m^2 ;

b - висота кільця, м;

dL - елементарна довжина кола бічної поверхні кільця, м.

Виразимо довжину кола бічної поверхні L через кут ψ епюри кільця:

$$L = \frac{D_{\text{ц}}}{2} \psi, \quad (2.18)$$

де: L - довжина дуги кута ψ , м;

$D_{\text{ц}}$ - діаметр гільзи циліндра, м;

ψ - кут, епюри кільця, рад.

Продиференціювавши обидві частини формули (2.18), отримаємо елементарну довжину кола бічної поверхні кільця :

$$dL = \frac{D_{\text{ц}}}{2} d\psi, \quad (2.19)$$

Тоді формула (2.17) запишеться у виді:

$$dS_6 = b \cdot \frac{D_{\text{ц}}}{2} \cdot d\psi, \quad (2.20)$$

Підставимо отримане значення dS_6 в рівняння (2.16) і отримаємо:

$$dI = \frac{(U - \Delta\varphi) \cdot \chi \cdot b \cdot D_{\text{ц}} \sqrt{P_0 \cdot (1 + m_2 \cos 2\psi + m_3 \cos 3\psi + \dots + m_K \cos k\psi)}}{2 \cdot \sqrt{b \cdot \mu \cdot \pi \cdot n \cdot r \cdot (2 \sin \alpha + \lambda \cdot \sin 2\alpha)}} d\psi \quad (2.21)$$

Проінтегрував обидві частини рівняння (2.21), отримаємо силу струму, що проходить через частину кільця від його спинки до замку (половина кільця) при положенні поршня в гільзі, залежному від кута повороту колінчастого валу α :

$$I = \int_0^{\psi} \frac{(U - \Delta\varphi) \cdot \chi \cdot b \cdot D_{\text{ц}} \sqrt{P_0 \cdot (1 + m_2 \cos 2\psi + m_3 \cos 3\psi + \dots + m_K \cos k\psi)}}{2 \cdot \sqrt{b \cdot \mu \cdot \pi \cdot n \cdot r \cdot (2 \sin \alpha + \lambda \cdot \sin 2\alpha)}} d\psi \quad (2.22)$$

Отже, підставивши (2.22) замість I у формулі (2.14), отримаємо масу хрому, підбуреного з кільця за час прироблення :

$$M = \frac{k \cdot C \cdot \eta_A \cdot (U - \Delta\varphi) \cdot \chi \cdot \sqrt{b \cdot P_0} \cdot D_{\text{ц}}}{\sqrt{\mu \cdot \pi \cdot n \cdot r}} \times \int_0^{\tau} \int_0^{\psi} \frac{\sqrt{1 + m_2 \cdot \cos 2\psi + m_3 \cdot \cos 3\psi + \dots + m_K \cdot \cos k\psi}}{\sqrt{2 \sin \alpha + \lambda \cdot \sin 2\alpha}} d\psi d\tau - S_{\text{пр}} \cdot b \cdot \rho \quad (2.23)$$

де: M - маса хрому, підбуреного з кільця, кг;

k - коефіцієнт, що враховує змінний струм, $k=0,5$;

C - електрохімічний еквівалент розчинення хрому, кг/А·с;

η_A - анодний вихід металу по струму;

U - робоча напруга, підведена до деталей В;

$\Delta\varphi$ - сума анодного і катодного потенціалів, В;

χ - питома електропровідність електроліту, Ом⁻¹·м⁻¹;

μ - динамічна в'язкість електроліту, Па·с;

n - частота обертання колінчастого валу, с⁻¹;

r - радіус кривошипа, м;

α - кут повороту колінчастого валу, рад.;

$\lambda=r/L_{\text{ш}}$ - число, характеризує КШМ двигуна, $L_{\text{ш}}$ - довжина шатуна, м;

P_0 - середній тиск кільця на стінку циліндра, Па;

b - висота кільця, м;

$D_{\text{ц}}$ - діаметр гільзи циліндра, м;

k - порядковий номер члена ряду Фур'є (число розбитих кутів ψ), (див. формула (2.2));

ψ - одиничний кут, рівний 150 при відліку його від спинки до замку стислого кільця;

m_k - відоме відношення змінного тиску до середнього, $m_k = P_k / P_0$ (формула (2.2));

$S_{пр}$ - площа просвіту кільця в гільзі, m^2 ;

ρ - щільність хрому, $кг/м^3$.

Для вирішення інтеграла перейдемо до нової змінної інтеграції, виразив тривалість прироблення τ через кут повороту колінчастого валу α . Час повороту колінчастого валу на кут α буде рівний:

$$\tau_\alpha = \frac{\alpha}{2 \cdot \pi \cdot n}, \quad (2.24)$$

де: τ_α - час повороту колінчастого валу на кут α , з;

α - кут повороту колінчастого валу, рад;

n - частота обертання колінчастого валу, $з^{-1}$.

Продиференціювавши обидві частини формули (2.24), отримаємо:

$$d\tau = \frac{d\alpha}{2 \cdot \pi \cdot n}. \quad (2.25)$$

Після заміни змінною формула (2.23) прикмет вид:

$$M = \frac{k \cdot C \cdot \eta_A \cdot (U_{кг} - \varphi_{Cr} + \varphi_{Fe}) \cdot \chi \cdot \sqrt{b \cdot P_0} \cdot D_{ц}}{2 \cdot \sqrt{\mu \cdot \pi^3 \cdot n^3 \cdot r}} \times \\ \times \int_0^\alpha \int_0^\psi \frac{\sqrt{1 + m_2 \cdot \cos 2\psi + m_3 \cdot \cos 3\psi + \dots + m_k \cdot \cos k\psi}}{\sqrt{2 \sin \alpha + \lambda \cdot \sin 2\alpha}} d\psi d\alpha - S_{пр} \cdot b \cdot \rho, \quad (2.26)$$

де M - маса хрому, підбуреного з кільця, кг;

$U_{кг}$ - робоча напруга, що підводиться до кільця і гільзи, В, $U_{кг} = \text{const}$;

φ_{Cr} і φ_{Fe} - відповідно анодний потенціал хрому і катодний потенціал заліза, В.

При приробленні кільця, за період в один оборот колінчастого валу, відбувається періодична зміна режиму тертя з граничного до гідродинамічного. Виходячи з цього формула (2.26) набере вигляду:

$$M = \frac{N_{об} \cdot \kappa \cdot C \cdot \eta_A \cdot (U_{кг} - \varphi_{Cr} + \varphi_{Fe}) \cdot \chi \cdot \sqrt{b \cdot P_0} \cdot D_{ц}}{2 \cdot \sqrt{\mu \cdot \pi^3 \cdot n^3 \cdot r}} \times \\ \times \int_0^{\alpha=2\pi} \int_0^{\psi=\pi} \frac{\sqrt{1 + m_2 \cdot \cos 2\psi + m_3 \cdot \cos 3\psi + \dots + m_K \cdot \cos K\psi}}{\sqrt{2 \sin \alpha + \lambda \cdot \sin 2\alpha}} d\psi d\alpha - S_{пр} \cdot b \cdot \rho , \quad (2.27)$$

де M - маса хрому, кг;

$N_{об}$ - кількість подвійних ходів поршня за час прироблення.

$$N_{об} = \frac{\tau}{\tau_{об}} , \quad (2.28)$$

де τ - тривалість прироблення сполучення, з;

$\tau_{про}$ - час повороту колінчастого валу на один оберт, с.

Час повороту колінчастого валу на один оберт, (один подвійний хід поршня), буде рівне $\tau_{про} = 1/n$ і з урахуванням цього формула (2.27) запишеться:

$$M = \frac{\kappa \cdot \tau \cdot C \cdot \eta_A \cdot (U_{кг} - \varphi_{Cr} + \varphi_{Fe}) \cdot \chi \cdot \sqrt{b \cdot P_0} \cdot D_{ц}}{2 \cdot \sqrt{\mu \cdot \pi^3 \cdot n \cdot r}} \times \\ \times \int_0^{\alpha=2\pi} \int_0^{\psi=\pi} \frac{\sqrt{1 + m_2 \cdot \cos 2\psi + m_3 \cdot \cos 3\psi + \dots + m_K \cdot \cos K\psi}}{\sqrt{2 \sin \alpha + \lambda \cdot \sin 2\alpha}} d\psi d\alpha - S_{пр} \cdot b \cdot \rho , \quad (2.29)$$

2.2 Розрахунок тривалості макроприпрацювання кільця до дзеркала гільзи циліндрів з урахуванням електрохімічних властивостей

Оскільки умовою протікання електрохімічних процесів є наявність міжелектродного проміжку, то необхідно, щоб деталі ЦПГ, що приробляються, при ЕХМП(Д) були розділені шаром електроліту велику частину часу за один оберт колінчастого валу. Для пари тертя кільце - гільза ця умова апіорі дотримується при гідродинамічному режимі тертя. При перехідному режимі (напіврідинному терті) спостерігається як гідродинамічне, так і граничне тертя. Проте відомо, що гідродинамічні властивості рідини проявляються також при граничному мастилi, в зоні зупинки кільця в мертвих точках, при товщині плівки більше 0,1 мкм .

Л.М.Бурштейн і С. В. Кобяков наводять дані, що під кільцем утворюються плівки завтовшки більше, ніж 0,1 мкм. Це вказує на розвиток гідродинамічних процесів в зоні контакту і можливості їх опису загальними законами гідромеханіки рідин. І хоча про механізм тертя цієї пари немає єдиної думки [30], але у вказаних роботах не заперечується наявність розділових плівок мастильного матеріалу між поверхнями, що труться. Проте, при режимі граничного тертя можливе протікання електрохімічних реакцій в западинах шорсткостей поверхонь, що приробляються, що може сприяти приробленню кільця до гільзи циліндра.

Згідно з дослідженнями Замоти Т. Н., для гідродинамічного режиму тертя анодний вихід хрому по струму максимальний і складає 50...72%, а для граничного тертя, коли відбувається механічне активування поверхонь, вихід хрому по струму складає 4...12%, залежно від кількості електрики що пройшло через деталі. З рисунка 2.2 видно, що за один оборот колінчастого валу гідродинамічний режим тертя кільця з гільзою виникає двічі: при русі поршня від ВМТ до НМТ і вгору від НМТ до ВМТ. Отже, кількість знятого хрому з кільця, в течії русі поршня за один оберт колінчастого валу в процесі ЕХМП(Д) при різних режимах тертя, буде неоднакове і залежить від режиму тертя:

Щоб визначити значення кута повороту колінчастого валу, при яких виникають умови граничного і гідродинамічного мастила, виразимо кут α через критерій Зоммерфельда S_m :

$$2 \sin \alpha + \lambda \sin 2\alpha = \frac{S_m \cdot b \cdot P_o \cdot (1 + m_2 \cdot \cos 2\psi + m_3 \cdot \cos 3\psi + \dots + m_k \cdot \cos k\psi)}{\mu \cdot \pi \cdot n \cdot r} \quad (2.30)$$

Оскільки найбільший тиск кільця на дзеркало гільзи і відповідно гірші умови мастила спостерігаються в замку кільця, то приймемо $\psi = \pi$. Тоді формула (2.30) набере вигляду:

$$2 \sin \alpha + \lambda \sin 2\alpha = \frac{S_m \cdot b \cdot 2,86 \cdot P_o}{\mu \cdot \pi \cdot n \cdot r} \quad (2.31)$$

Представимо формулу (2.32) як нелінійне рівняння з однією змінною у вигляді $F(x)=0$:

$$2 \sin \alpha + \lambda \sin 2\alpha - \frac{S_m \cdot b \cdot 2,86 \cdot P_o}{\mu \cdot \pi \cdot n \cdot r} = 0 \quad (2.32)$$

В даному випадку функція $F(x)$ не є алгеброю, тобто ми маємо справу з трансцендентним рівнянням і вирішити його можна тільки чисельними методами. Отже, завдання зводиться до визначення значень коренів рівняння із заданою точністю.

Завдання чисельного знаходження дійсних коренів рівняння (2.32) складається з двох етапів: відділення коренів, тобто знаходження досить малих околиць даної області, в яких міститься одно значення кореня, і уточнення коренів, тобто обчислення коренів із заданою мірою точності в деякій околиці. Зважаючи на громіздкість обчислень, була розроблена програма для ПЕОМ на мові «DELPI», в якій обидва етапи поєднано. Уточнення коренів виконувалося методом половинного ділення, оскільки він не вимагає попередніх досліджень умов збіжності.

Висновки до другого розділу

1. Теоретично показано, що в процесі електрохіміко-механічної прироблення (доведення) поршневих кілець до дзеркала гільзи циліндрів в сполученні виникають раз-особисті види мастила - від граничної до гідродинамічної.

2. Впливати на види мастила можна технологічними параметрами електрохіміко-механічної прироблення (доведення) - частотою обертання колінчастого валу і в'язкістю електроліту : зі збільшенням частоти обертання колінчастого валу і в'язкості електроліту доля гідродинамічного режиму тертя в дорозі рухи кільця зростає.

3. За рахунок розподілу поверхонь кільця і гільзи, що труться, шаром електроліту створюються умови для того, що електрохімічного труїть зв'язаних поверхонь. Швидкість знімання металу обернено пропорційна до товщини розділового шару електроліту, яка, у свою чергу, залежить від режиму тертя.

4. Запропонована математична залежність знімання металу з кільця з урахуванням епюри тиску кільця на дзеркало гільзи і зміни режиму тертя в сполученні за один оборот колінчастого валу.

5. Виходячи з уявлення про найбільшу швидкість знімання матеріалу в зоні замку запропонована залежність мінімальної тривалості макроприпрацювання кільця до дзеркала гільзи циліндрів з урахуванням електрохімічних властивостей, щільності матеріалу поверхні, що приробляється, властивостей електроліту (в'язкість, електропровідність), електричних і швидкісних параметрів електрохіміко-механічної прироблення (доведення) і максимальної величини просвіту.

6. Показано, що мінімальне зношування кільця в процесі електрохіміко-механічної прироблення (доведення) визначається щільністю матеріалу покриття, геометричними розмірами і неприлеглістю кільця до гільзи.

РОЗДІЛ 3. ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЇ ЕХМП(Д) ОСНОВНИХ З'ЄДНАНЬ ТРАКТОРНИХ І КОМБАЙНОВИХ ДВИГУНІВ

3.1. Результати досліджень по оптимізації технологічних чинників процесу ЕХМП(Д) деталей ЦПГ

Приведені вище результати досліджень показали, що чинниками, які визначають протікання процесу ЕХМП(Д) є: склад і в'язкостні властивості електроліту, сила струму, що проходить через деталі, що приробляються, відносна швидкість переміщення протруєних поверхонь, їх початкова шорсткість. Управляючи вказаними чинниками, можна мінімізувати припрацювання зношування, формувати потрібну макро- і мікрогеометрію поверхонь сполучень, що відповідають за ресурс двигуна.

У існуючій технології використовуються режими, встановлені однофакторними експериментами. Тому ні в'язкість електроліту, ні сила струму, ні швидкісний режим (частота обертання колінчастого валу) не є оптимальними, їх взаємодії не враховані. Тому є необхідність виконати дослідження по оптимізації вказаних чинників відповідно до сполучень ЦПГ, що обмежують ресурс двигуна. До таких сполучень відноситься передусім бічна поверхня кільця - гільза циліндрів.

Абсолютно зрозуміло, що встановлені оптимальні режими мають бути випробувані на розгорнутому двигуні з виконанням необхідного контролю сполучень ЦПГ і особливе кільце - гільза, кільце - канавка поршня, поршень - гільза. При позитивних результатах випробувань необхідно скоректувати технологію ЕХМП(Д) деталей ЦПГ.

У зв'язку з викладеним в цьому розділі мають бути розглянуті наступні питання:

1. Оптимізація режимів електрохіміко-механічного прироблення сполучення кільце - гільза.

2. Апробація знайдених оптимальних режимів на розгорнутому двигуні з вивченням прироблення сполучень кільце - гільза, кільце - канавка поршня і поршень - гільза.

3. Коригування технології ЕХМП(Д) деталей ЦПГ і проведення її випробування.

Дослідження по оптимізації технологічних чинників процесу ЕХМП(Д) деталей ЦПГ проводилися на одноциліндровій установці. Для досліджень використовувалися гільзи циліндрів що відповідають ТУ з шорсткістю $R_{\max} = 1,8...2,2$ мкм.

Верхні поршневі кільця мали на бічній поверхні точкову пористість хромового покриття. До дослідів допускалися хромовані кільця з дугою просвіту $10...45$ градусів і нижні компресійні кільця з хвилинною конусністю бічної поверхні і дугою просвіту $40...85$ градусів. Спочатку кільця перевірялись на прилягання в калібрі, потім вимірювалася висота кільця (для визначення відповідності ТУ осьового проміжку між кільцем і канавкою поршня [37]). Відібрані кільця перевірялися на пружність і середній тиск на гільзу. Перевірка кілець на прилягання, пружність і середній тиск на стінку циліндра проводилася згідно з вказівками стандартів. При цьому, для визначення середнього тиску кілець на стінку циліндра, вимірювалася сумарна висота робочої частини кільця по лінії контакту. У дослідях брали участь верхні компресійні кільця з середнім тиском на стінку циліндра $P_{cp} = 0,165...0,187$ МПа і нижні компресійні кільця з $P_{cp} = 0,094...0,138$ МПа.

Дослідження показують, що спосіб підключення джерела струму впливає на величину струму, що проходить через сполучення кільце - гільза. Знаючи значення струму в сполученні кільце - гільза, можна визначити значення струму що підводиться до деталей ЦПГ за потрібною схемою. Для визначення оптимального значення сили струму, що проходить через сполучення верхнє поршневе кільце, - гільза циліндра при ЕХМП(Д) до деталей ЦПГ підключались джерело струму і осцилографи за схемою. Сила струму, що проходить через кожне з чотирьох сполучень поршень - кільце - гільза і юбка поршня - гільза,

фіксувалася швидкодіючим самописцем НЗ27-5 безперервно за один оборот колінчастого валу. При цьому відмітчик подій самописця фіксував положення поршня у ВМТ.

У дослідженнях застосовувався електроліт, що складається з суміші 20% водного розчину нітриту натрію (NaNO_2) і гліцерину. Зміною об'ємного змісту гліцерину і розчину солі отримували необхідну в'язкість електроліту. Електроліт подавався в надпоршневий простір через ковпак самопливно. Час досліду - 5 хв.

У дослідженні змінні чинники були позначені: X_1 - сила струму, що підводиться до деталей ЦПГ, X_2 - динамічна в'язкість електроліту і X_3 - частота обертання колінчастого валу. Рівні і інтервали варіювання чинників представлені в табл.3.1.

Таблиця 3.1 - Рівні чинників і інтервали варіювання

Рівні чинників	Умовні позначення	X_1 Сила струму, I, А	X_2 В'язкість електроліту, μ , Па.с	X_3 Частота обертання, n , хв^{-1}
Основний рівень	0	125	0.0808	120
Інтервал варіювання	ΔX	75	0.0718	80
Верхній рівень	+1	200	0.1526	200
Нижній рівень	-1	50	0.0090	40

Рівні чинників були прийняті на підставі раніше проведених досліджень [7] і результатів досліджень по розділу 4 цих роботи. Основним параметром оптимізації - Y_1 являлося зменшення дуги просвіту компресійних кілець (у процентах). Зменшення дуги просвіту визначалося по формулі:

$$Y_1 = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{\alpha_1} 100\%, \quad (3.1)$$

де α_1 і α_2 - відповідно кут дуги просвіту до і після ЕХМП(Д).

Додатковими параметрами були вибрані: зношування кілець по масі - Y_2 і лінійний зношування кілець - Y_3 . Крім того оцінювалася сила струму що проходить через сполучення кільце-дзеркало гільзи циліндра, при положенні поршня: у ВМТ і НМТ при $V_n=0$ - Y_4 і - Y_6 (при положенні поршня відповідно),

$V_{\text{п}}=\text{мах}$ при русі поршня від ВМТ до НМТ - Y5 і $V_{\text{п}}=\text{мах}$ при русі поршня від НМТ до ВМТ - Y7. Зношування кілець по масі визначався по зміні маси кілець до і після досвіду. Лінійний зношування кілець визначався по зміні зімкнення замку. Для цього до і після досвіду визначалася відстань між торцями замку кільця, встановленого в калібр.

Матриця планування і умови дослідів представлені в табл. 3.2. Досліди проводилися в послідовності збільшення чисел сьомого стовпця вказаної таблиці. Виходячи з матриці планування, було проведено 15 дослідів з триразовою повторністю.

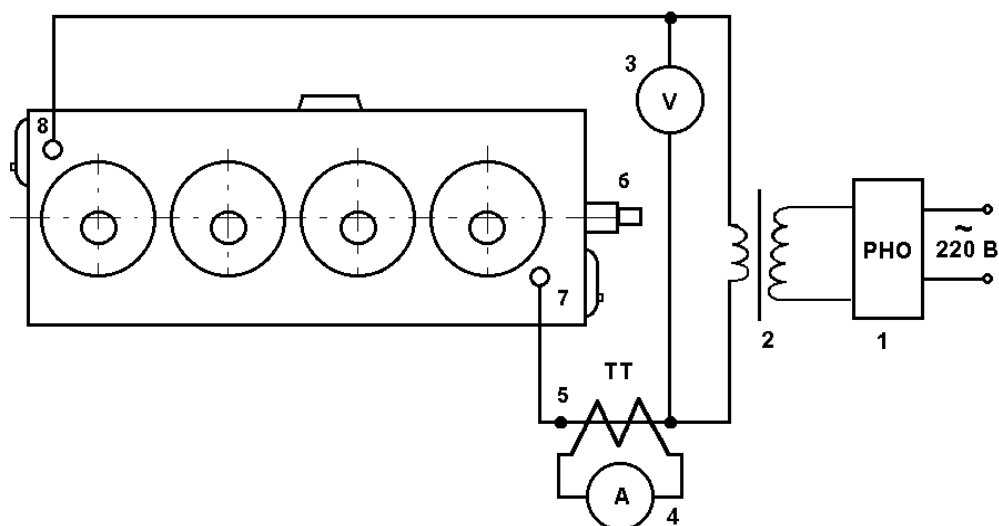
Технологічні випробування оптимізованих режимів технології ЕХМП(Д) деталей ЦПГ проводилися на розгорнутих рядних двигунах СМД і СМД-62. Дослідження проводилися на обкатувально - гальмівному стенді КИ 4893Б. У дослідах використовувався електроліт на основі нітриту натрію (оптимізованого складу). Для забезпечення оптимальної сили струму в сполученні хромоване кільце - гільза проводилися попередні досліди по встановленню залежності зміни значень струму в цьому сполученні від значень загального струму, що підводиться за схемою блок - блок. Технологічний струм підводився до крайніх шпильках кріплення голівки циліндрів з торців блоку рядного двигуна СМД.

Для визначення струму в сполученні кільце - гільза використовувався дослідний поршень з струмовідводом від верхнього компресійного кільця, який установлюється в четвертому циліндрі і підключався до третього каналу осцилографа за схемою.

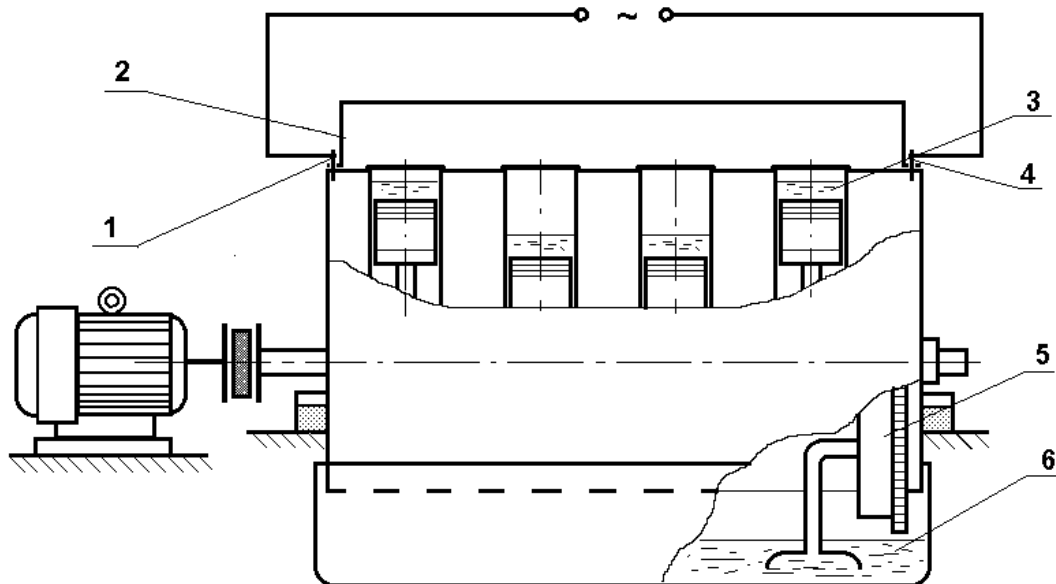
Таблиця 4.2 - Матриця планування і умови дослідів

№ Точки плану	X0	X1	X2	X3	X1 * X2	X1 * X3	X2 * X3	X1 ²	X2 ²	X3 ²	Чинники в досліді			Рандомізація	
											X1, I, A	X2, μ , Па·с (% гліцерину)	X3, п, хв ₁		
1	+1	+1	+1	0	+1	0	0	+1	+1	0	200	0,1526 (86%)	120	58	7
2	+1	+1	-1	0	-1	0	0	+1	+1	0	200	0,0090 (50%)	120	33	8

3	+1	-1	0	0	-1	0	0	+1	+1	0	50	0,1526 (86%)	120	17	12
4	+1	-1	0	0	+1	0	0	+1	+1	0	50	0,0090 (50%)	120	81	10
5	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	0,0808 (80%)	120	16	2
6	+1	+1	0	+1	0	+1	0	+1	0	+1	200	0,0808 (80%)	200	85	11
7	+1	+1	0	-1	0	-1	0	+1	0	+1	200	0,0808 (80%)	40	07	15
8	+1	-1	0	+1	0	-1	0	+1	0	+1	50	0,0808 (80%)	200	47	6
9	+1	-1	0	-1	0	+1	0	+1	0	+1	50	0,0808 (80%)	40	16	9
10	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	0,0808 (80%)	120	25	3
11	+1	0	+1	+1	0	0	+1	0	+1	+1	125	0,1526 (86%)	200	00	5
12	+1	0	+1	-1	0	0	-1	0	+1	+1	125	0,1526 (86%)	40	56	14
13	+1	0	-1	+1	0	0	-1	0	+1	+1	125	0,0090 (50%)	200	21	4
14	+1	0	-1	-1	0	0	+1	0	+1	+1	125	0,0090 (50%)	40	72	13
15	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	0,0808 (80%)	120	08	1



а



б

Рисунок 3.1 - Електрохіміко-механічне прироблення (доведення) деталей циліндро-поршневої групи на повному двигуні за схемою блок-блок:

а - схема підключення джерела струму (вигляд зверху): 1 - регулятор напруги, 2 - знижувальний трансформатор, 3 - вольтметр, 4 - амперметр, 5 - трансформатор струму, 6 - колінчастий вал двигуна, ТТ - трансформатор струму;
 б - схема макроприроблення сполучень ЦПГ при ЕХМП(Д): 1, 4 - крайні шпильки блоку двигуна (відповідають точкам 7 і 8 на рис. 3.1 а), 2 - надставка, 3 - електроліт, 5 - маслонасос двигуна, 6 - моторне експлуатаційне мастило.

Двигун був скомплектований так, щоб гільзи були однієї розмірної групи шорсткістю $R_{\max}=2,0\pm0,2$ мкм, а проміжки в з'єднаннях ЦПГ відповідали ТУ. Дослід проводився в наступному порядку. Напівзібраний двигун без голівки циліндрів і паливного насоса встановлювали на обкатувально-гальмівному стенді. Потім через ізолятор на верхній роз'єм блоку встановлювалася надставка 2 для утримання електроліту 3 в гільзах (рис. 3.1 б). У кожную гільзу заливалося по 0,25 л електроліту, а в піддон двигуна - моторне мастило М10-Г2. Джерело струму вмикалося до двигуна згідно схеми, по амперметру встановлювався струм силою 100 А і включався привод колінчастого валу. Під час досліду частота обертання колінчастого валу підтримувалася в межах 130 ± 10 хв⁻¹. Загальний струм, що підведений до деталей ЦПГ, збільшувався ступінчасто від 100 до 600 А, кроком в 100 А. Тривалість кожного ступеня складала 10 секунд. Тривалість макроприроблення складала 60 секунд. Запис осцилографом проводився безперервно впродовж досліду. За результатами досліду визначалося значення струму, що проходить через з'єднання кільце-гільза при ЕХМП(Д).

Власне при технологічних випробуваннях оптимізованих режимів технології ЕХМП(Д) деталей ЦПГ на розгорнутих двигунах рядних СМД загальний струм за схемою блок - блок (рис. 3.1 б, або точки 7 і 8 на рис. 3.1 а) підводився силою 250 А (двигун №4). Двигуни були скомплектовані так, щоб в кожному були гільзи однієї розмірної групи, а проміжки в сполученнях ЦПГ відповідали ТУ. Гільзи підбиралися шорсткістю $R_{\max}=2,0\pm0,2$ мкм. До і після дослідів проводилося мікрометрування деталей ЦПГ, зважування кілець, перевірка їх на прилягання до дзеркала гільзи і профілографування зв'язаних поверхонь згідно методики, викладеної в розділі 4. Верхні поршневі кільця мали на бічній поверхні точкову пористість хромового покриття. До дослідів допускалися хромовані кільця з дугою просвіту 10...45 градусів і нижні компресійні кільця з хвилинною конусністю бічної поверхні і дугою просвіту 40...85 градусів. Досліди проводилися в одному блоці, з використанням одних і тих же деталей КШМ (колінчастий вал, шатуни і пальці), а поршні, кільця і гільзи в кожному досліді встановлювалися нові. Дослід проводився в приведенному вище порядку.

Джерело струму підключалося до двигуна згідно схеми рис. 3.1 а, по амперметру 4 встановлювався струм силою 250 А. Під час досліду частота обертання колінчастого валу підтримувалася в межах 130 ± 10 хв⁻¹. Тривалість макроприроблення складала 5 хвилин.

Для порівняння прироблення сполучень ЦПГ проводилася холодна обкатка рядного двигуна СМД на маслі М10-Г2 по типових режимах (двигун №5) тривалістю 50 хв. Комплектування двигуна проводилося по приведеній вище методиці, тільки з тією відмінністю, що використовувалися гільзи з різною шорсткістю. Після досвіду двигуни розбиралися для контролю стану деталей ЦПГ.

Для дослідження припрацювання сполучень ЦПГ, з використанням оптимізованих режимів ЕХМП(Д) деталей ЦПГ на двигуні СМД-62 (двигун №1), струм силою 250 А підводився тільки до шпильок правого ряду поршневих груп за схемою блок-блок впродовж 5 хв. В кожен циліндр через закриті ковпаки, що повідомляються між собою, заливалося по 0,6 л електроліту. Частота обертання колінчастого валу встановлювалася рівною 190 ± 10 хв⁻¹. Порядок проведення досвіду приведений вище.

Для порівняння один двигун СМД-62 (двигун №2) пройшов прироблення деталей ЦПГ упродовж 25 хвилин на режимах холодної обкатки. Перші 5 хвилин при частоті 75 ± 5 хв⁻¹ кільця припрацьовувались до дзеркала гільз з компресією, а потім упродовж 20 хвилин при частоті 300 ± 10 хв⁻¹ без компресії. Прироблення деталей ЦПГ проводилося на маслі М10-Г2к. В усіх дослідях на двигуні СМД-62 змінними були тільки поршні, кільця і гільзи. Для проведення дослідів встановлювався масляний насос і штатний піддон, в який заливалося моторне мастило і таким чином до підшипників ковзання колінчастого вала воно подавалося під тиском.

Для оцінки припрацювання сполучень канавка поршня – компресійне кільце і юбка поршня - дзеркало гільзи, до і після досвіду робилося мікрометрування поршня (замірялася ширина канавок поршня під компресійні кільця і зовнішній діаметр поршня), гільзи (вимірювався внутрішній діаметр гільзи циліндра) і

компресійних кілець (замірялася висота кілець) і знімалися профілограми торцевих поверхонь канавок поршня і компресійних кілець, а також знімалися профілограми юбки поршня і дзеркала гільзи.

Після реалізації матриці планування були отримані результати по зміні прилягання і зношування кілець. Досліди показали, що у другого і третього компресійних кілець досягалася повне прилягання до дзеркала гільзи в 12 точках плану, а в інших істотно покращувалася. Тому, зважаючи на хорошу припрацювання цих кілець, розгляд математичних моделей процесу ЕХМП(Д) не представляв практичного інтересу.

Результати по зміні прилягання і зношування хромованих кілець вводилися в комп'ютер, за програмою якого вираховувалися коефіцієнти рівняння регресії другого порядку. Для зручності користування табл. 4.3 дослідів представлені в нерандомізованому вигляді.

Таблиця 3.3 - Зміни кута просвіту і величини зношування хромованого кільця

№ точки плану	Зменшення дуги просвіту Y1, %				Масовий зношування хромованого кільця, Y2, міліграм				Лінійний зношування хромованого кільця, Y3, мкм			
	I	II	III	Ср	I	II	III	Ср	I	II	III	Ср
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	100,0	100,0	100,0	100,0	16,9	17,5	18,4	17,6	84	91	97	90,67
2	50,0	70,0	64,3	61,43	10,5	11,4	12,5	11,47	84	95	76	85,0
3	50,0	59,0	60,0	56,33	9,4	10,4	11,5	10,43	56	66	78	66,67
4	50,0	55,0	58,3	54,43	9,3	10,0	11,2	10,17	28	42	49	39,67
5	100,0	100,0	97,7	99,23	8,5	9,6	10,6	9,57	42	56	66	54,67
6	100,0	100,0	100,0	100,0	15,2	14,4	16,0	15,2	98	84	90	90,67
7	71,4	50,0	100,0	73,8	7,8	8,8	7,2	7,93	98	70	84	84,0

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
8	100,0	100,0	61,5	87,17	13,1	13,7	14,6	13,8	70	76	84	76,67
9	50,0	55,2	55,8	53,67	6,3	6,9	7,6	6,93	28	42	56	42,0
10	98,7	100,0	97,0	98,54	9,6	8,8	10,7	9,7	64	49	70	61,0
11	50,0	77,8	83,3	70,37	16,4	17,2	17,6	17,07	70	84	90	81,33
12	59,3	50,0	63,2	57,5	10,4	11,5	12,0	11,3	42	52	64	52,67
13	50,0	66,0	62,5	59,5	15,0	16,2	15,5	15,57	70	66	77	71,04
14	50,0	50,0	57,1	52,37	5,0	4,6	5,5	5,03	42	56	49	49,0
15	89,9	100,0	97,0	95,63	11,7	9,2	10,4	10,43	56	42	49	49,0

Загалом математична модель об'єкту дослідження мала вигляд:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2, \quad (3.2)$$

де b_0 , b_i , b_{ij} , b_{ii} - шукані коефіцієнти рівняння регресії.

Коефіцієнти кореляційно взаємопов'язані і модель адекватна. Були отримані математичні моделі макроприпрацювання верхніх (хромованих) поршневих кілець :

$$Y_1 = 97.8111 + 10.4542 * X_1 + 7.0583 * X_2 + 9.9625 * X_3 + 9.1667 * X_1 * X_2 - 1.8250 * X_1 * X_3 + 1.4333 * X_2 * X_3 - 5.518 * X_1^2 - 24.243 * X_2^2 - 13.6347 * X_3^2 \quad (3.3)$$

$$Y_2 = 9.9 + 1.3583 * X_1 + 1.7708 * X_2 + 3.8042 * X_3 + 1.4667 * X_1 * X_2 + 0.1 * X_1 * X_3 - 1.1917 * X_2 * X_3 + 0.6208 * X_1^2 + 1.8958 * X_2^2 + 0.4458 * X_3^2 \quad (3.4)$$

$$Y_3 = 54.8889 + 15.6667 * X_1 + 5.8333 * X_2 + 11.5 * X_3 - 5.333 * X_1 * X_2 - 7.0 * X_1 * X_3 + 1.6667 * X_2 * X_3 + 12.7222 * X_1^2 + 2.8889 * X_2^2 + 5.7222 * X_3^2 \quad (3.5)$$

$$Y_4 = 7.8133 + 3.6789 * X_1 + 1.0947 * X_2 + 0.5233 * X_3 + 0.4887 * X_1 * X_2 + 0.5192 * X_1 * X_3 - 1.4308 * X_2 * X_3 - 0.304 * X_1^2 - 0.1507 * X_2^2 - 0.6035 * X_3^2 \quad (3.6)$$

$$Y_5 = 7.93 + 3.5358 * X_1 + 0.9971 * X_2 + 0.8596 * X_3 + 0.9617 * X_1 * X_2 + 0.65 * X_1 * X_3 - 0.2308 * X_2 * X_3 - 0.1688 * X_1^2 - 0.1413 * X_2^2 - 1.7812 * X_3^2 \quad (3.7)$$

$$Y_6 = 7.7689 + 3.6833 \cdot X_1 + 0.6604 \cdot X_2 + 0.2488 \cdot X_3 + 0.7308 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0.3725 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0.725 \cdot X_2 \cdot X_3 + 0.8756 \cdot X_1^2 - 0.8869 \cdot X_2^2 - 1.4453 \cdot X_3^2 \quad (3.8)$$

$$Y_7 = 10.87 + 5.9892 \cdot X_1 + 3.905 \cdot X_2 + 1.9467 \cdot X_3 + 3.195 \cdot X_1 \cdot X_2 + 2.3 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0.6933 \cdot X_2 \cdot X_3 - 0.02 \cdot X_1^2 - 0.1483 \cdot X_2^2 - 1.2467 \cdot X_3^2 \quad (3.9)$$

Для знаходження оптимального значення прилягання кільця (Y_1) складена система рівнянь, бралися приватні похідні від чинників X_1 , X_2 , X_3 .

$$\begin{cases} \frac{dY_1}{dX_1} = 10,4542 - 11,096X_1 + 9,1667X_2 - 1,825X_3 = 0 \\ \frac{dY_1}{dX_2} = 7,0583 + 9,1667X_1 - 48,486X_2 + 1,4333X_3 = 0 \\ \frac{dY_1}{dX_3} = 9,9625 - 1,825X_1 + 1,4333X_2 - 27,2694X_3 = 0 \end{cases}$$

В результаті розрахунків отримані наступні оптимальні значення факторів, які забезпечують найкраще зменшення кута просвіту (Y_1): сила струму, що подається на один циліндр (X_1), рівна 215,6 А; в'язкість електроліту (X_2) - 0,1082 Па·с; частота обертання колінчастого валу (X_3) - 144,4 хв⁻¹. При цих значеннях чинників зменшення кута просвіту (Y_1) складає 100%, масовий (Y_2) і лінійний (Y_3) зношування кільця відповідно - 15,2 міліграм і 94,2 мкм.

Двовимірні перерізи функцій відгуку представлені на рисунках 3.2, 3.3 і 3.4.

Очевидно, що оптимальними є точки дотику мінімальних значень відгуків Y_2 і Y_3 з відгуком Y_1 . Так з рисунка 4.2 видно, що при частоті обертання колінчастого валу 120 хв⁻¹ оптимальними є сила струму 135,5 і 134,75 А і в'язкість 0,09875 і 0,09516 Па·с відповідно для масового і лінійного зношування. Повне прилягання кілець досягається і при збільшенні сили струму і в'язкості електроліту, проте, при цьому зростає масовий і лінійний зношування. Зменшення сили струму і в'язкості електроліту від оптимального рівня призводить до зниження зношування, проте при цьому кільце не матиме повного прилягання до дзеркала гільзи циліндра.

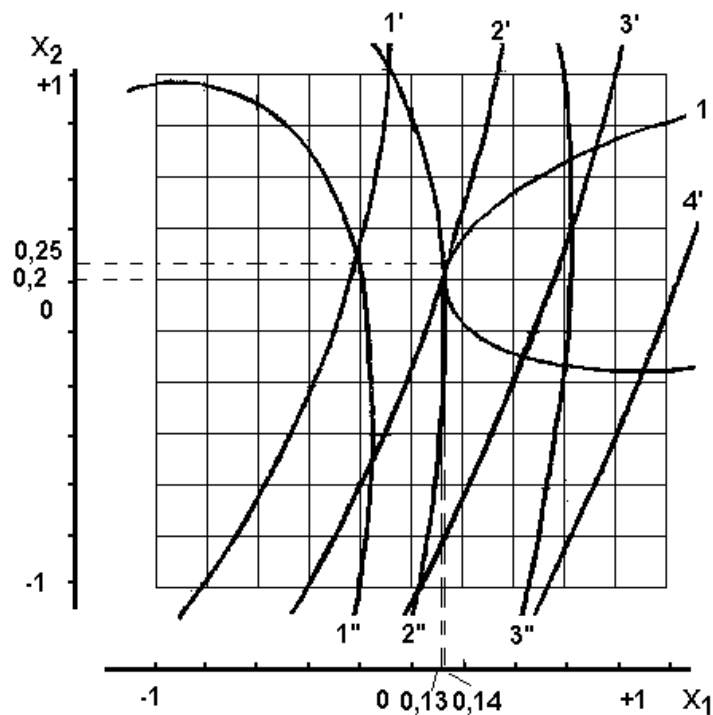


Рисунок 3.2 - Двовимірні перерізи поверхонь відгуків Y_1 , Y_2 , і Y_3 при $X_3=0$:
 1 - зменшення дуги просвіту кільця, рівне 100% (повне прилягання кільця до дзеркала гільзи); 1', 2', 3', 4' - масовий зношування кілець відповідно до 10, 11.1, 13, 16 міліграм; 1'', 2'', 3'' - лінійний зношування кілець відповідно до 67, 75, 92 мкм.

Така ж закономірність простежується на рисунку 3.3. При в'язкості електроліта 0,0808 Па·с оптимальними були сила струму 152 і 140 А і частота обертання колінчастого валу 112,8 і 122,4 хв⁻¹ відповідно для масового і лінійного зношування.

З рисунка 3.4 видно, що при силі струму 125 А кільця стають безпросвітними лише в інтервалах: в'язкість - 0,089...0,096 і 0,085...0,099 Па·с і частота обертання - 142,8...156,0 і 146,4...152,8 хв⁻¹ відповідно для масового і лінійного зношування. Причому оптимальними є нижні значення інтервалів.

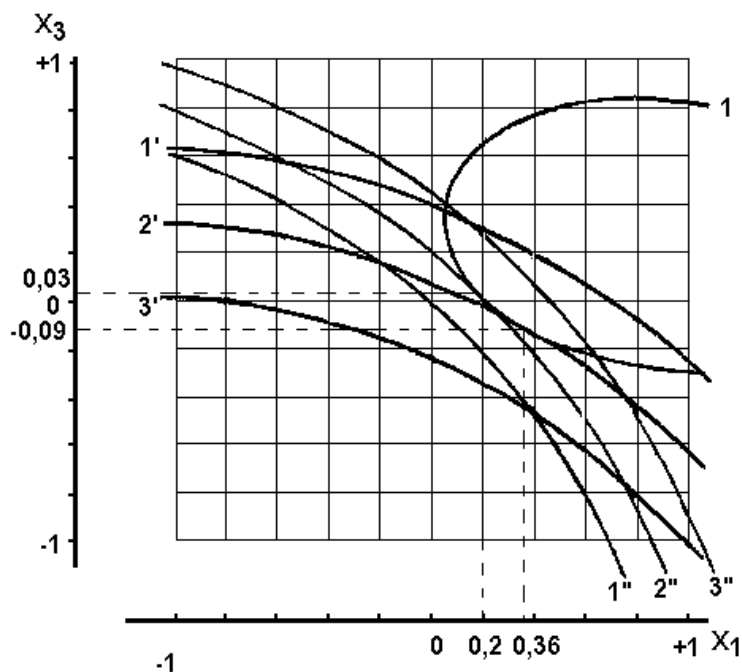


Рисунок 3.3 - Двовимірні перерізи поверхонь відгуків U_1 , U_2 , і U_3 при $X_2=0$: 1 - зменшення дуги просвіту кільця, рівне 100%; 1', 2', 3' - масове зношування кільця відповідно до 7, 8, 9 міліграм; 1'', 2'', 3'' - лінійне зношування кільця відповідно до 130, 139, 150 мкм.

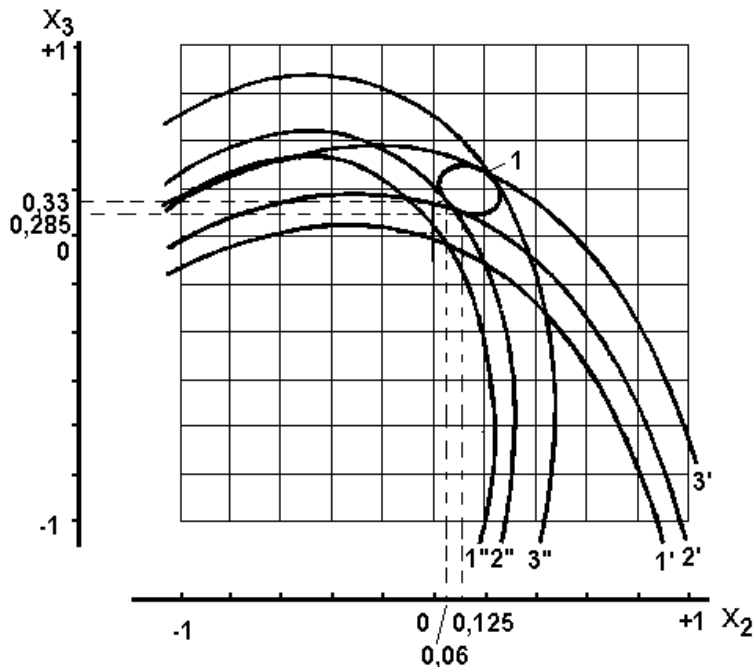


Рисунок 3.4 - Двовимірні перерізи поверхонь відгуків U_1 , U_2 , і U_3 при $X_1=0$: 1 - зменшення дуги просвіту кільця, рівне 100%; 1', 2', 3' - масовий зношування кільця відповідно до 10,5, 11,1, 12 міліграм; 1'', 2'', 3'' - лінійне зношування кільця відповідно до 53, 53,9, 56 мкм.

Оптимальні значення сили струму, що проходить через сполучення хромоване кільце, - дзеркало гільзи циліндра, визначалися рішенням рівнянь (3.6, 3.7, 3.8, 3.9) з підстановкою оптимальних значень чинників і знаходженням середнього арифметичного від отриманих результатів (див. табл. 3.4).

Таблиця 3.4 - Режими, що забезпечують повне прилягання хромованого кільця до дзеркала гільзи при його мінімальному зношуванні

Чинники			Відгуки			
X_1 Сила струму, А	X_2 В'язкість електроліту, Па·с	X_3 Частота обертання, хв ⁻¹	Y_1 Зменшення дуги просвіту, %	Y_2 Масове зношування хромованого кільця, мг	Y_3 Лінійне зношування хромованого кільця, мкм	$(2Y_4+Y_5+Y_6+Y_7)/5$ Середнє значення сили струму в сполученні хр. кільце-гільза, А
135,5	0,098	120	99,7	10,7	58,8	9,43
134,8	0,095	120	99,8	10,6	58,3	9,3
152	0,080	112,8	99,9	10,1	61,4	9,81
140	0,080	122,4	100,0	10,3	58,8	9,29
125	0,089	142,8	100,0	11,2	59,5	8,74
125	0,085	146,4	100,0	11,3	59,7	8,66

Отримані оптимальні значення чинників представлені в табл. 3.4. З таблиці видно, що оптимальним є режим: сила струму, що підводиться до поршня і блоку, - 140 А, в'язкість електроліту 0,0808 Па·с і частота обертання колінчастого валу 122,4 хв⁻¹. Цьому режиму відповідає середнє значення струму, що проходить через сполучення хромоване кільце-дзеркало гільзи за подвійний хід поршня, рівне 9,29 А.

При накладенні інтервалів оптимальних значень чинників функцій Y_2 і Y_3 при $Y_1=100\%$ визначений розрахунковий інтервал, який задовольняє як масовому так і лінійному зношуванню: сила струму 125...140 А, в'язкість електроліту 0,08...0,095 Па·с і частота обертання колінчастого валу 120..142,8 хв⁻¹.

Розрахункові оптимальні значення сили струму, що проходить через сполучення хромоване кільце - дзеркало гільзи за один оберт колінчастого валу, знаходяться в інтервалі 8,47...9,75 А.

Розрахункові дані, отримані підстановкою оптимальних значень факторів в рівняння (3.3, 3.4 і 3.5), підтверджені постановкою контрольних дослідів. Розбіжність розрахункових і експериментальних даних не перевищує 4,3%.

Оскільки макроприробленню піддаються ЦПГ трьох різних типорозмірів двигунів (рядні СМД, Д-240 і СМД-62), то найкращий розрахунковий інтервал частоти обертання колінчастого валу складе $112,8...146,4 \text{ хв}^{-1}$ (оптимальне значення - $122,4 \text{ хв}^{-1}$) при силі струму блоку, що підводиться до торців, рівним 250 А, в'язкість електроліту $0,0808 \text{ Па}\cdot\text{с}$ і тривалість процесу 5 хв.

Технологічні випробування оптимізованих режимів технології ЕХМП(Д) деталей ЦПГ рядних СМД (двигун №4) підтвердили результати макроприпрацювання сполучень ЦПГ на одноциліндровій установці (розділ 4), причому середній зношування хромованих кілець знизився до 10,3 міліграма. Після холодної обкатки контрольного двигуна (двигун №5), кільця також поліпшили своє прилягання до повної, але при середньому зношуванні хромованого кільця в 4,9 разу більшому, ніж у двигуна №4 (див. табл.3.5). При цьому дзеркало гільзи у відмінності від дослідного двигуна придбало вигладжений рельєф по усьому ходу кілець.

Випробування режимів вдосконаленої технології ЕХМП(Д) деталей ЦПГ на двигуні СМД-62 показали, що з підключенням струму зношування хромованих кілець зменшується. Підведення струму до правого ряду циліндрів за схемою блок - блок зменшив середній зношування хромованих кілець до 9,3 міліграма в порівнянні з 18,5 міліграмом по лівому ряду, де прироблення здійснювалося на тому ж електроліті без струму. В результаті макроприроблення хромовані кільця з початковою неприлягаємістю поліпшили її до повної. Такі ж результати отримані на рядних двигунах СМД.

Таблиця 3.5 - Показники макроприпрацювання поршневих кілець рядного двигуна СМД

№ двигуна (схема підключення джерела струму)	№ ЦПГ	Прилягання хромованого кілця до гільзи, град.		Масовий зношування поршневих кілець, міліграм			
		Початкова	Після досвід у	1 (хромоване)	2	3	Масло- знімне
4 (схема блок- блок)	1	342	360	10,1	6,5	4,9	2,3
	2	327	360	9,9	5,6	4,2	2,5
	3	315	360	10,4	4,3	5,7	1,9
	4	325	360	10,8	5,5	6,2	2,4
	Ср.	-	-	10,3	5,5	5,3	2,3
5 (холодна обкатка по режиму)	1	350	360	43,9	17,0	18,0	14,4
	2	340	360	67,0	69,6	51,0	41,1
	3	336	360	37,1	40,1	32,8	28,2
	4	350	360	55,6	49,7	41,6	25,4
	Ср.	-	-	50,9	44,1	35,9	27,3

3.2. Удосконалення технології ЕХМП(Д) циліндро-поршневої групи

Дослідження нового, технологічного способу ЕХМП(Д) сполучень ЦПГ, проведення досліджень за оцінкою впливу в'язких електролітів на мастильні властивості моторного мастила при обкатці двигунів [13], проведення досліджень ЕХМП(Д) сполучень ЦПГ (див. розділи 4, 5) з метою відшукування оптимальних режимів процесу прироблення дозволили скоректувати технологічний процес ЕХМП(Д) деталей ЦПГ. В результаті усунення вказаних недоліків і коригування технологічного процесу ЕХМП(Д) деталей ЦПГ було розроблено технологічне оснащення для проведення ЕХМП(Д) основних сполучень двигунів Д-240, рядних і "V"- подібних СМД.

За новою схемою струм підводиться до деталей ЦПГ з торців блоку до крайніх шпильок кріплення голівки. Це дозволяє проводити ЕХМП(Д) деталей ЦПГ, в майже зібраному двигуні, перед установкою на блок голівки циліндрів. За цією схемою в'язкий електроліт на основі нітриту натрію подається в над поршневий простір, а в картер двигуна заливається моторне мастило, яке використовується потім припрацювання як обкатувальне. Дослідженнями встановлено, що наявність електроліту в маслі, навіть після повторного його використання для обкатки, не погіршило його змащуючі властивості. Тому повторне використання моторного мастила для обкатки дозволить значно зменшити собівартість обкатувальних робіт.

Перераховані заходи дозволили значно поліпшити технологічність процесу ЕХМП(Д) деталей ЦПГ і скоротити витрати часу на підготовчі операції. Для реалізації нового способу при капітальному ремонті двигунів мобільної сільськогосподарської техніки, у зв'язку з виконанням НДР по темі «Розробка конструкції технологічного оснащення процесу електрохіміко - механічного припрацювання деталей двигунів для впровадження технології у виробництво», була розроблена конструкція стенду для ЕХМП(Д) деталей ЦПГ, використання якого знижує трудомісткість в три рази і дозволить приробити за одну годину 6 двигунів. При новій послідовності операцій процес ЕХМП(Д) основних сполучень двигунів проводиться на двох робочих місцях: на першому приробляються корінні підшипники ковзання, на другому - деталі ЦПГ. Операції по підготовці до ЕХМП(Д) і приробітку корінних підшипників ковзання не зазнали значних змін у зв'язку з розробкою стенду по ЕХМП(Д) і виконуються по відомій технології.

3.3 Стендові випробування відремонтованих двигунів

Стендові випробування дослідних двигунів, що пройшли ЕХМП(Д) деталей ЦПГ проводилися на обкатувально-гальмівних стендах КИ-4893Б (для рядних двигунів СМД №7и Д-240 №4, №6, №7) і КИ-4935 (для СМД-62 №1, №3). В

процесі випробувань визначалися техніко-економічні показники двигунів: потужність, крутний момент, витрата палива, прорив газів в картер.

Підготовка дослідних двигунів до ЕХМП(Д) деталей ЦПГ і її проведення по скоректованих режимах не відрізнялась від методики досліджень. Макроприроблення деталей ЦПГ виконувалося з використанням приводу бкаточно-гальмівного стенду КИ-4893Б. Після макроприроблення деталей ЦПГ двигуни дозбиралися відповідно до існуючої технології, піддавалися стендовій обкатці по скорочених режимах і після чого визначалися техніко-економічні показники. Для порівняння були зібрані і обкатані двигуни по режимах типової технології (контрольні двигуни: Д-240 №1, рядний СМД №6, СМД-62 №2, №4).

Перевірка стану циліндро-поршневої групи по кількості газів, що прориваються в картер двигуна здійснювалася за допомогою індикатора витрати газів КИ-13671. Після закінчення обкатки двигун зупинявся, і спеціальними пробками закривалися отвори сапуна і масломірної лінійки. Індикатор за допомогою перехідника приєднувався до маслозаливної горловини картера двигуна, а кришка індикатора проверталася в положення максимальної витрати газів. Двигун запускався і при номінальній частоті обертання колінчастого валу, визначалася витрата газів за шкалою приладу. Після триразового виміру визначалося середнє значення витрати картерів газів. Отримане значення витрати газів порівнювалося з граничними значеннями.

Визначення потужності двигуна і витрати палива виконувалося по методиці ГОСТ 18509-88. Визначення витрати палива здійснювалося масовим способом за допомогою пристрою для виміру витрати палива, яке входить в комплект обкатувально-гальмівного стенду.

Після стендової обкатки двигуни розбиралися для контролю стану деталей ЦПГ. Оцінювалися масовий зношування поршневих кілець і припрацювання сполучень кільце - гільза, канавка поршня - компресійне кільце і спідниця поршня - дзеркало гільзи двигунів. По запропонованій вище методиці робилося профілографування поверхонь, що прироблялися, і мікрометраж деталей ЦПГ .

Таблиця 3.6 - Режими стендової обкатки двигунів

Етапи обкатки	Частота обертання кол. валу, хв ⁻¹	Крутний момент, кг·м		Витрати часу, с	
		Технологія ЕХМП(Д)	Типова	Технологія ЕХМП(Д)	Типова
1	2	3	4	5	6
Двигун Д-240 і його модифікації					
Холодна обкатка	500...600	0	0	120	600
	700...800	0	0	120	600
	900...1000	0	0	60	600
Холостий хід	1000	0	0	120	300
	плавно (1400...1800)	0	0	180	600
	2380	0	0	300	300
Гаряча обкатка під навантаженням	При максимальній подачі палива (2200±50)	5	5(4)	300	600
		10	10(7)	300	600
		20	20(10)	300	900
		30	26(17)	300	1200
		34...35		180	
		0		120	
Загальна тривалість, хв				40	105
Двигун СМД-14Н і його модифікації					
Холодна обкатка	600...700	0	0	120	900
	900...1000	0	0	120	900
	1300...1400	0	0	60	1200
Холостий хід	1500±50	0	0	300	600
	1900±50	0	0	300	600
Гаряча обкатка під навантаженням	При максимальній подачі палива (1800±50)	12	11	300	1200
		20	19	900	1200
		30	27	1200	1200
		43	29	1200	1200
Загальна тривалість, хв				75	150
Двигуни СМД-60, - 62 і їх модифікації					
Холодна обкатка	400...500	0	0	30	300
	700...800	0	0	30	300
	1000...1100	0	0	30	300
	1400...1500	0	0	30	300
Холостий хід	Плавно (800.2100)	0	0	180	600
Гаряча обкатка під навантаженням	При максимальній подачі палива	10		300	
		20	20(5)	300	900
		50	50(10)	300	900
		80	80(20)	300	1200
		120	120(30)	300	1200
		150	150(40)	300	600
		160 ^{+5*}	160 ^{+5*}	300	600
		(175 ⁺⁵)**	(175 ⁺⁵)**	(300)	(600)
Загальна тривалість, хв				40	120

Примітки: *- визначення техніко-економічних показників для двигунів

СМД-60 [11]* ;

**- визначення техніко-економічних показників для двигунів СМД-62 [11].

Шестидесятигодинним стендовим випробуванням і визначенню витрати масла на чад піддавалися комплекти ЦПГ №8...11 рядних двигунів СМД. Випробування проводилися 10-ти годинними циклами. Їх структура рекомендована методикою. Під час випробувань використовувалася одна і та ж паливна апаратура, деталі ЦПГ встановлювались і той же блок, без заміни деталей КШМ. У кожному досліді заміні підлягали тільки поршні, комплект кілець і гільзи. Заздалегідь робився відбір деталей дослідних ЦПГ відповідно до вдосконаленої технології ЕХМП(Д). Підготовка деталей до досліду не відрізнялася від методики, приведеної в розділі 4. Деталі ЦПГ двигунів №8...10 піддавалися макроприробленню по режимах вдосконаленої технології ЕХМП(Д). Після макроприроблення деталей ЦПГ досвідчені двигуни дозбиралися і піддавалися скороченій стендовій обкатці. Після закінчення стендової обкатки визначалися техніко-економічні показники двигунів: потужність, крутний момент, витрата палива, прорив газів в картер. Після цього двигуни приступали до шестидесятигодинних стендових випробувань, і потім визначенню витрати масла на чад. Деталі ЦПГ двигуна №11 (контрольний двигун) піддавалися стендовій обкатці по типових режимах шестидесятигодинним стендовим випробуванням і визначенню витрати масла на чад.

Витрата масла на чад визначалася по спаду масла з картера при роботі впродовж 5 годин під навантаженням, складовою 90% від номінальної. Підготовка до випробувань і оцінка витрати масла здійснювалась за рекомендованою методикою. Свіже масло заливалося в піддон картера до верхньої мітки на масломірному щупі.

Перед випробуванням на чад дизель прогрівався до робочої температури охолоджуючої рідини і масла. Потім двигун зупинявся, поршень першого циліндра встановлювався у ВМТ і через 5 хв починався злив масла з картера. Тривалість зливу масла складала 45 хв. Злите масло зважувалося з точністю до 0,1 г і знову заливалося в картер двигуна.

На початку і кінці випробувань, впродовж 15 хв на холостому ходу проводились прогрів і охолодження двигуна. У решту часу двигун працював з навантаженням 90% від номінальної.

Після шестидесятигодинних стендових випробувань і визначення витрати масла на чад, деталі ЦПГ знімалися з двигуна для контролю. Визначалися масове і лінійне зношування кілець, а також замір проміжків в сполученнях поршень-гільза і кільце - канавка поршня.

З метою встановлення міжремонтного ресурсу двигунів, відремонтованих із застосуванням вдосконаленої технології ЕХМП (дослідні двигуни), останні передавалися в сільськогосподарські господарства Хмельницької області для проведення експлуатаційних випробувань.

Після контролю стану деталей ЦПГ, рядні двигуни СМД №6, №7, Д-240 №1, №4, №6, №7, а також СМД-62 №1. №4 знову збиралися і піддавалися короткочасній обкатці і випробуванням для визначення техніко-економічних показників: потужності двигуна, витрати палива і витрати газів картерів. Потім двигуни передавалися в експлуатацію.

Дослідні двигуни розділялися на дві партії: в першій партії були двигуни, належні ЕХМП(Д) по існуючих режимах (Д-240 №2, СМД-14НГ №2)[115], а в другій - по скоректованих режимах (Д-240 №9, №10; СМД-14НГ №12, №13; СМД-62 №1, №3). Підготовка двигунів до ЕХМП(Д) деталей ЦПГ і її проведення по існуючих режимах відрізнялася від методики представленої в розділі 4, що підключення технологічного струму здійснювалось до блоку і до поршнів двигуна силою 400 А, колінчастий вал обертався з частотою 130 ± 10 хв⁻¹, а тривалість прироблення складала 180 секунд. Після макроприроблення по існуючих і скоректованих режимах ЕХМП(Д) деталей ЦПГ, двигуни дозбиралися, піддавалися стендовій обкатці по скорочених режимах і визначенню техніко-економічних показників. Для порівняння були зібрані двигуни і обкатані по режимах типової технології. Після закінчення стендових випробувань двигуни передавалися в експлуатацію .

Виведення двигунів із експлуатації здійснювалося при появі відмов 3 групи складності або настання граничних значень таких показників, як витрата масла картера на чад у відсотках до витрати палива і кількості газів, що прориваються в картер в одиницю часу. Основним параметром технічного стану ЦПГ була витрата масла картера на чад. Але оскільки спостерігалися випадки, коли чад масла надмірно великий, а кількість газів, що прориваються в картер, не перевищує допустимих значень, те саме по другому параметру приймалося остаточне рішення про зняття двигуна з експлуатаційних випробувань.

Перевірка стану циліндро-поршневої групи по кількості газів, що прориваються в картер двигуна, здійснювалася за вищевикладеною методикою. Отримане значення витрати газів порівнювалося з граничними значеннями.

Виведені з експлуатації двигуни розбиралися, робилося очищення деталей ЦПГ і визначався їх стан.

Після мікрометрування деталей ЦПГ визначалися проміжки в сполученнях, порівнювалися з граничними значеннями і по формулі прогнозувався залишковий ресурс сполучень ЦПГ :

$$T_{\text{ост}} = T_{\text{исп}} \left[\left(\frac{I_{\text{п}}}{I} \right)^{\frac{1}{\alpha}} - 1 \right]$$

де $T_{\text{ост}}$ - залишковий ресурс сполучення ЦПГ, мото-годин;

$T_{\text{ост}}$ - ресурс, використаний сполученням від початку експлуатації до моменту виміру, мото-годин;

$I_{\text{п}} = P_{\text{п}} - P_{\text{н}}$ – граничне змінне значення параметра (проміжку в сполученні ЦПГ);

$I = P - P_{\text{н}}$ – змінне значення параметра до моменту виміру;

$P_{\text{п}}$ - граничне значення параметра;

$P_{\text{н}}$ – номінальне значення параметра;

P - значення параметра, виміряне у момент контролю;

α - показник міри, що характеризує закономірність зміни значень контрольованого параметра, для проміжків в ЦПГ $\alpha \approx 1,2$.

За залишковий ресурс двигуна брався залишковий ресурс найбільш зношеного сполучення ЦПГ.

Стендовою обкаткою двигунів встановлено, що досягнуте в результаті ЕХМП(Д) якість поверхонь покращується: зношування протікає в межах найбільшої висоти нерівностей мікрорельєфів, бічна поверхня хромованих кілець і дзеркала гільзи, по усій площі набувають плосковершинності.

Стенові випробування двигунів Д-240 показали, що ущільнююча здатність ЦПГ у дослідних двигунів значно вище ніж у контрольних. У дослідних двигунів прорив газів в картер складав 28 л/хв проти 85 л/хв у контрольних, тобто в три рази менше. Мікрометрування показало, що у дослідних двигунів зношування юбки поршня склав 22,5 мкм (в середньому по двигуну), а проміжок в сполученні канавка поршня - кільце встановити було неможливо внаслідок його зміни, в той же час у контрольного двигуна ці величини склали відповідно до 7,5 мкм і 6,25 мкм.

У нижніх компресійних кілець дослідного двигуна на бічних поверхнях знизу утворювався вузький, місцями до 1 мм, прироблений дзеркальний поясок. У контрольного двигуна на бічній поверхні нижніх компресійних кілець виявлені сліди абразивного зношування у виді численних подряпин різної глибини. Підсилення абразивного зношування в ЦПГ контрольного двигуна привело до значного зношування торцевої поверхні нижніх компресійних і маслоснімних кілець у вигляді глибоких царапин і поглиблень. В той же час у дослідного двигуна спостерігалися лише неглибокі короткі риски на торцевій поверхні цих кілець.

Середнє сумарне зношування поршневих кілець у дослідних двигунів склав 55,8 міліграм проти 104,3 міліграма у контрольного двигуна, що менше в 1,86 рази менше (див. табл. 3.7. Середнє зношування дзеркала гільз циліндрів в районі ВМТ реверсу хромованого кільця у дослідних двигунів склав 15,8 мкм, а у контрольного - 21,7 мкм (рис.3.5).

Таблиця 3.7 - Результати 60-ти годинних випробувань і випробувань на чад масла рядних СМД.

Параметр	№ кільця від днища поршня	№ двигуна СМД-14НГ			
		8	9	10	11
		(дослідний)	(дослідний)	(дослідний)	(контрольний)
		Тривалість випробувань			
		66 ч. 18 хв	66 ч. 25 хв	66 ч. 22 хв	67ч. 32 хв
		У т. ч. тривалість стендової обкатки, хв			
		75	75	75	150
Масовий зношування кілець, міліграм	1	54,3	56,7	56,4	104,3
	2	21,0	19,3	22,1	47,2
	3	13,1	15,2	12,7	23,8
	МК	9,2	8,5	9,5	30,1
Зміна проміжку в замку кільця, мм	1	0,14	0,15	0,14	0,14
	2	0,07	0,07	0,08	0,09
	3	0,04	0,05	0,04	0,06
Ефективна потужність, кВт	-	67,2	67,7	67,6	62,8
Витрата газів картерів, л/хв	-	30	28	29	62
Витрата масла на чад, %	-	0,612	0,596	0,601	0,916

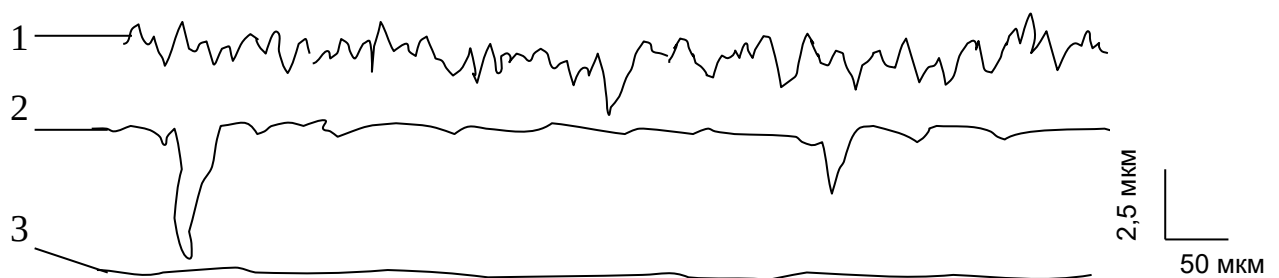


Рисунок 3.5 - Профілограми дзеркала гільзи циліндра:

1 - початковий мікро-рельєф, 2, 3 - мікрорельєф після стендової обкатки відповідно дослідного і контрольного двигунів

Аналіз техніко-економічних показників рядних двигунів СМД виявив, що середня ефективна потужність дослідних двигунів складала 67,5 кВт, а у контрольного двигуна дещо нижче - 62,8 кВт.

Середня витрата масла на чад у відсотках від витраченого палива у дослідних двигунів склав 0,603, а у контрольних 0,916% (допустиме значення витрати масла на чад для двигунів, що пройшли капітальний ремонт, складає 1% від витраченого палива [41]).

Менші витрата масла на чад і зношування компресійних кілець у дослідних двигунів в порівнянні з контрольним може говорити про кращу ущільнюючу здатність поршневих кілець і про можливе збільшення міжремонтного ресурсу двигунів, відремонтованих із застосуванням скоректованої технології ЕХМП(Д) деталей ЦПГ.

Висновки до третього розділу

1. Оптимізовані чинники управління процесом ЕХМП(Д), що забезпечують повне прилягання хромованого кільця до дзеркала гільзи циліндрів за 5 хвилин при мінімальному зношуванні. Оптимальне поєднання чинників: сила струму, що підводиться до крайніх шпильок кріплення голівки блоку, - 250 А; в'язкість електроліту - 0,0808 Па.с; частота обертання колінчастого валу - $122,2 \text{ хв}^{-1}$ і шорсткість дзеркала гільзи циліндра $R_{\text{max}} = 2,0 \pm 0,2 \text{ мкм}$. При цьому оптимальне значення сили струму, що проходить через сполучення верхнє поршневе кільце - гільза циліндра рівне 9,29 А.

2. Вдосконалена технологія ЕХМП(Д) циліндро-поршневої групи, що передбачає використання оптимальних режимів і подачу електроліту в надпоршневий простір, а в масляний піддон заливку моторного мастила. Технологічний струм підводиться до шпильок кріплення голівки, розміщених у торців блоку.

3. Для реалізації вдосконаленої технології при капітальному ремонті двигунів мобільної сільськогосподарської техніки, розроблена конструкція стенду ЕХМП(Д) деталей ЦПГ, використання якого знижує трудомісткість в три рази в порівнянні з існуючим стендом і дозволяє приробити за одну годину до шести двигунів.

4. За результатами експлуатаційних випробувань встановлено, що розроблені режими вдосконаленої технології ЕХМП(Д) деталей ЦПГ сприяють підвищенню міжремонтного ресурсу двигунів мобільної сільськогосподарської техніки. Прогнозований ресурс дослідних ЦПГ, прироблених по режимах вдосконаленої технології ЕХМП(Д) зріс на 10% в порівнянні з досвідченими ЦПГ, приробленими по існуючих режимах і в 3,27...3,33 рази, - в порівнянні з двигунами, обкатаними за типовою технологією без застосування ЕХМП(Д).

5. Встановлено, що умови реальної експлуатації двигунів впливають на їх міжремонтний ресурс. Експлуатація дослідних рядних двигунів СМД, встановлених на комбайнах, понизила прогнозований ресурс ЦПГ до 3436 мото-годин, що на 27,5 % менше в порівнянні з їх експлуатацією на тракторах, а у двигуна Д-240 - до 2980 мото-годин, що на 38,1% менше, ніж у двигуна, встановленого на тракторі. Експлуатаційні випробування двигунів Д-240, встановлених на тракторах показали, що у контрольних двигунів прогнозований середній міжремонтний ресурс склав 1443 мото-годин, а дослідних - 4811 мото-годин.

6. Стендові випробування дослідних двигунів, що пройшли макроприроблення по оптимізованих режимах, показали кращу ущільнюючу здатність деталей ЦПГ. Прорив газів картерів у дослідних двигунів в 2,1...3,0 рази менше в порівнянні з двигунами, відремонтованими за типовою технологією. При більшій потужності дослідних двигунів Д-240 -58,5 кВт, у них менше питома витрата палива - 235,8 г/кВт·год проти 256,8 г/кВт·год у контрольного з потужністю 56,8 кВт. У дослідних двигунів СМД-62 і СМД-14НГ також середня ефективна потужність була вища - 128,7 і 67,5 кВт проти 124,6 і 62,8 кВт у контрольних.

7. Після стендової обкатки втрати на тертя до рівня 240 Н·м у дослідного СМД-62 знижувалися за 40 хв, тоді як у контрольного - за 120 хв, у дослідного двигуна СМД-14НГ знижувалися до рівня 110 Н·м за 75 хв, а у контрольного - за 150 хв.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Аналіз стану охорони праці у ремонтних підприємствах

Стан охорони праці у ремонтних підприємствах викликає стурбованість і занепокоєння. Через неплатоспроможність більшості у ремонтних підприємств постійно скорочуються обсяги коштів, що витрачаються на заходи з охорони праці. Не оновлюються технологічне обладнання, машинно-тракторний парк, працівники не забезпечуються засобами індивідуального захисту та спеціальним обладнанням. Умови праці у ремонтних майстернях господарства не відповідають сучасним вимогам безпеки та гігієни праці. Але головною причиною виробничого травматизму в агропромисловому комплексі є людський фактор, а точніше — недостатньо свідоме ставлення до питань охорони праці більшості керівників (роботодавців) підприємств, зневажливе сприйняття найманими працівниками виконання вимог безпеки праці, грубе порушення ними трудової дисципліни, виконання робіт на несправних транспортних засобах.

Для сучасного сільськогосподарського виробництва характерним є вплив на організм людини різних технічних, хімічних, біологічних та інших факторів. До цього спричиняє застосування машин і механізмів, енергетики, матеріалів і речовин, значні рівні шуму, вібрації, електромеханічного, інфрачервоного, ультрафіолетового, іонізуючого випромінювання, а також забрудненість повітря робочої зони.

4.2. Аналіз стану протипожежної безпеки

Пожежна безпека в ремонтних майстернях забезпечується дотриманням встановлених правил пожежної безпеки.

В ремонтній майстерні є такі ділянки як ковальня, зварювальна, розділені стінами із негорючим матеріалом. Місткість з легкозаймаючими рідинами ремонтують після проливки концентричною содою, продувки паром, зварювання, або мийку проводять при відкритих отворах бензобаків і заповнення з водою.

Основну пожежну і вибухову небезпеку представляють ділянки із зварювальних робіт, так як в них можуть знаходитись кисневі балони, або ацетиленові генератори, із яких можливе витікання газу. Тому ацетиленові генератори повинні встановлюватись в окремих приміщеннях без стелі з негорючою підлогою, а не на робочому місці.

Наступним недоліком у порушенні пожежної безпеки є: фарбування, миття, обезжирювання деталей, виконують не в окремих приміщеннях, які були б обладнаними ефективними засобами пожежотушіння і шляхом евакуацій, а в місцях не відповідаючих вищесказаному.

На території майстерні розміщений протипожежний шкаф, який укомплектований багром, відрами, вогнигасником, лопатами, піском.

Місця для куріння обладнанні об'ємною місткістю з піском для окурків.

Ящики з піском і діжки з водою розміщуються по таких ділянках: розбирально-складальній; ковальсько-зварювальній.

Один ящик з піском і діжку з водою розміщуємо біля проходів.

4.3. Запобіжні заходи щодо усунення екологічного забруднення при ремонті сільськогосподарської техніки

В сільськогосподарському виробництві до об'єктів, що тим чи іншим шляхом впливають на стан навколишнього середовища, поряд з іншими відносять також споруди ремонтно-обслуговуючої бази та саму техніку, що на них базується, обслуговується, ремонтується.

Розлиті на місцях зберігання, стоянки, обслуговування машин нафтопродукти, змиті дощовими та талими водами, потрапляють в водойми і спричиняють різні форми їх забруднення: плаваючу на воді нафтову плівку, розчинені та емульговані у воді нафтопродукти, осілі на дно важкі фракції.

Пости миття, очистки та консервації машин можуть бути джерелом забруднення водойм нафтопродуктами, синтетичними мийними засобами, а також мінеральними добривами та пестицидами, що змиваються з машин.

Крім водоймищ, забруднюються навколишні поля, особливо при аварійних розливах нафтопродуктів, мийних розчинів, залишених в машинах мінеральних добрив та пестицидів.

Джерелом забруднення навколишньої території можуть бути виробничо-побутові стічні води з приміщень ремонтно-обслуговуючих баз. Крім нафтопродуктів, різних хімічних сполук, в таких водах міститься до 60 % органічних речовин, що спричиняють поширення інфекцій.

Випаровування та вивітрювання нафтопродуктів, мінеральних добрив, пестицидів забруднюють навколишнє повітря. Забруднення повітря може бути особливо значним на постах діагностики та випробування машин.

Залежно від токсичного впливу того чи іншого компонента на людину, а також з врахуванням часу можливого перебування людини в цьому середовищі встановлені гранично допустимі концентрації токсичних речовин в атмосфері, їх значення для деяких шкідливих речовин, у тому числі і тих, що входять до складу відпрацьованих газів двигунів.

Контроль чистоти повітря за допомогою спеціальних газоаналізаторів здійснюють органи санітарно-технічного нагляду після аналізу технологічних процесів і виявлення небезпечних виробничих факторів.

Вміст окису вуглецю у відпрацьованих газах двигунів визначають способом допалювання та вибіркового поглинання окисом вуглецю інфрачервоного випромінювання.

Висновки до четвертого розділу

1. Проведено аналіз стану охорони праці у ремонтних підприємствах, а також розглянули основні нормативні документи з пожежної безпеки.
2. Проведено аналіз стану протипожежної безпеки.
3. Розроблені запобіжні заходи щодо усунення екологічного забруднення при ремонті сільськогосподарської техніки.

РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІД ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

Економічний ефект від впровадження вдосконаленої технології ЕХМП(Д) і обкатки досягається за рахунок зниження собівартості обкатувальних робіт, зменшення витрати масла картера на чад і підвищення моторесурсу відремонтованих двигунів.

Річний економічний ефект за рахунок зниження собівартості обкатувальних робіт визначений по формулі:

$$E_p = [(C_i + E_n \cdot K_c) - (C_p + E_n \cdot K_n)] \cdot A_n, \quad (5.1)$$

де E_p - річний економічний ефект, грн.;

C_i, C_p - собівартість обкатки двигуна по існуючому і розрахунковому варіантам технології, грн.;

K_c, K_n - питомі капітальні вкладення в існуючому і розрахунковому варіанті, грн.;

E_n - нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, дорівнює 0,2;

A_n - річна програма ремонту двигунів, шт.

Кількість випробувальних стендів, необхідних для обкатки двигунів по існуючому і розрахунковому режиму, підраховується по формулі:

$$N_{n(c)} = \frac{t_{нвп(c)} \cdot \eta_o}{T_{об} \cdot K}, \quad (5.2)$$

де $t_{нвп}, t_{нвс}$ - норма часу на обкатку і випробування двигуна по розрахунковому або існуючому режиму, год;

η_o - коефіцієнт, що враховує повернення двигунів для повторної обкатки, рівне 1,05;

K - коефіцієнт використання стенду - 0,90;

$T_{об}$ - загальний такт виробничого процесу, год;

$T_{об}$ - визначається по формулі:

$$T_{об} = \frac{\Phi_{об}}{A}, \quad (5.3)$$

де $\Phi_{об}$ - річний фонд часу обкатувального відділення, рівний 4015 год.;

A_n - річна програма ремонту двигунів, шт.

Норма часу $t_{нв}$ включає: час на прийом і установку двигуна на стенді, підключення систем забезпечення, регулювання двигуна на початку і в процесі обкатки, власне обкатку, контрольні випробування і зняття двигуна із стенду. Норма часу на обкатку двигунів, минулих ЕХМП(Д) визначена по формулі:

$$t_{нвн} = t_{нвс} - (t_c - t_n), \quad (5.4)$$

де t_c - час стендової обкатки по існуючому режиму, год.

t_n - час стендової обкатки по скороченому режиму, після проведення операцій ЕХМП(Д), год.

Для двигуна Д - 240 $t_{нвн} = 5,54 - 1,75 + 0,67 = 4,46$ год.

Для рядних СМД $t_{нвн} = 5,50 - 2,5 + 1,25 = 4,25$ год.

Для V-подібних СМД $t_{нвн} = 5,40 - 2,0 + 0,67 = 4,17$ год.

При програмі ремонту 1000 двигунів в рік

$$T_{об} = \frac{4015}{1000} = 4,015 \text{ год}$$

Розрахункова кількість обкатувальних стендів рівна:

$$\text{Для двигуна Д - 240} \quad N_c = \frac{5,54 \cdot 1,05}{4,015 \cdot 0,9} = 1,61 \text{ шт};$$

$$\text{Для рядних СМД} \quad N_n = \frac{5,50 \cdot 1,05}{4,015 \cdot 0,9} = 1,60 \text{ шт.}$$

$$\text{Для V-подібних СМД} \quad N_c = \frac{5,40 \cdot 1,05}{4,015 \cdot 0,9} = 1,57 \text{ шт.}$$

Приймаємо 2 шт.

Після впровадження ЕХМП(Д) :

$$\text{Для двигуна Д - 240} \quad N_n = \frac{4,46 \cdot 1,05}{4,015 \cdot 0,9} = 1,29 \text{ шт}$$

$$\text{Для рядних СМД} \quad N_n = \frac{4,25 \cdot 1,05}{4,015 \cdot 0,9} = 1,23 \text{ шт}$$

$$\text{Для V-подібних СМД} \quad N_n = \frac{4,17 \cdot 1,05}{4,015 \cdot 0,9} = 1,21 \text{ шт}$$

Приймаємо 1 шт.

Початкові дані до розрахунку економічної ефективності приведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Початкові дані до розрахунку економічної ефективності

Найменування показника	Позначення	Од. виміру	Варіанти технології ремонту		
			типова	існуюча ЕХМП(Д)	вдосконалена ЕХМП(Д)
1	2	3	4	5	6
1. Річна програма ремонту	A_n	шт	1000	1000	1000
2. Вартість випробувального стенду	C_c	грн.	19365	19365	19365
3. Вартість стенду ЕХМП(Д), для двигунів: Д-240 рядних СМД V-подібних СМД	C_o	грн.	- - -	8718 125322 -	5500
4. Витрати часу на ЕХМП(Д), для двигунів: Д-240 рядних СМД V-подібних СМД		год	- - -	0,5 0,48 -	0,3 0,3 0,4
5. Обслуговуючий персонал моторист оператор		люд люд	1 -	1 1	1 1
6. Годинна тарифна ставка моториста оператора	C_m C_o	грн грн	73,1 -	73,1 67,5	73,1 67,5
7. Витрата електроліту, для двигунів: Д-240 рядних СМД V-подібних СМД		л	- - -	0,12 0,12 -	1,0 1,0 1,0
8. Вартість 1 кг електроліту	$C_{ел}$	грн	-	792,3	798,6
9. Вартість 1 кг палива	C_T	грн	170	170	170
10. Встановлена потужність стенду, для двигунів: Д-240 рядних СМД V-подібних СМД		кВт	55 55	55 55 -	55 55 130

продовження табл. 5.1.

1	2	3	4	5	6
11. Встановл. потужн.. стенду ЕХМП(Д), для двигунів: Д-240 рядних СМД V-подібних СМД		кВт	- - -	4,0 6,0 -	4,5 4,5 4,5
12. Тривалість ЕХМП(Д), для двигунів: Д-240 рядних СМД V-подібних СМД		ч.	- - -	0,15 0,11 -	0,11 0,11 0,11
13. Вартість 1 кВт· год	С _е	грн	18,0	18,0	18,0
14. Площа: випробувального стенду стенду для ЕХМП(Д), для двигунів: Д-240 рядних СМД V-подібних СМД		м ² м ²	31,28 - - -	31,28 4,5 10,8 -	31,28 4,02 4,02 4,02
15. Вартість 1 м ² виробничих площ	Цп	грн.	125,0	125,0	125,0
16. Норма амортизаційних відрахувань (від залишкової вартості) на устаткування на приміщення	Н _о К _{ап}	% %	15 5	15 5	15 5
17. Відрахування на зміст і поточний ремонт(у % від балансової вартості) : устаткування приміщень	К _{об} Д _о	% %	16 3	16 3	16 3
18. Коефіцієнт, що враховує додаткову заробітну плату	К _д		1,25	1,25	1,25
19. Коефіцієнт нарахування на соцстрах	К _{сс}		1,32	1,32	1,32
20. Накладні витрати від заробітної плати	К _н	%	125	125	125

Собівартість обкатувальних робіт визначена по формулі:

$$C_c = C_z + C_{np} + C_a + C_o + C_m + C_{эз}, \quad (5.5)$$

де С_с - собівартість обкатувальних робіт, грн.;

C_3 - заробітна плата моториста і оператора з нарахуваннями, грн.;

C_{np} - накладні витрати, грн.;

C_a - амортизаційні відрахування на устаткування і приміщення, грн.;

C_o - відрахування на зміст і поточний ремонт устаткування і приміщень, грн.;

C_m - витрати на паливо, моторне мастило і електроліт, грн.;

$C_{ээ}$ - витрати на електроенергію, грн.

Питомі капітальні витрати визначаємо по формулі

$$K = \frac{\sum B}{A_n}, \quad (5.6)$$

Де K - питомі капітальні витрати, грн.;

$\sum B$ - балансова вартість виробничих приміщень і устаткування, грн.;

A_n - річна програма ремонту двигунів, шт.

Розрахунок питомих капітальних вкладень приведений в табл.5.2.

Таблиця 5.2- Розрахунок балансової вартості і питомих витрат, грн.

Найменування показника	Варіанти		
	типова	існуюча ЕХМП(Д)	вдосконалена ЕХМП(Д)
1. Балансова вартість - обкатувальних стендів - стенду ЕХМП(Д), для двигунів: Д-240	42603	21302	21302
рядних СМД	-	9589,8	6050
V-подібних СМД	-	137854,2	6050
- виробничих приміщень для двигунів: Д-240	7820	-	6050
рядних СМД	7820	4472,5	4412,5
V-подібних СМД	7820	5260,0	4412,5
2. Питомі витрати для двигунів: Д-240	7820	-	4412,5
Рядних СМД	50,42	35,36	31,76
V-подібних СМД	50,42	164,41	31,76
	50,42	-	31,76

Витрати на дизельне паливо визначені по формулі:

$$C_{д.т.} = G \cdot C_t, \quad (5.7)$$

Де $C_{д.т.}$ - витрати на дизельне паливо, грн.;

G - витрата палива при обкатці на холостому ході і під навантаженням, кг;

Ст - вартість 1 кг дизельного палива, грн.

За даними при обкатці двигунів Д - 240 до впровадження G = 11,51 кг, після G = 3,38 кг, при обкатці рядних СМД до впровадження ЕХМП(Д) G = 13,6 кг, після G = 11,65 кг

Витрати на електроенергію визначені по формулі:

$$C_o = A \cdot C_s, \quad (5.8)$$

Де C_o - витрати на електроенергію, грн.;

A - витрата електроенергії при ЕХМП(Д) і обкатці двигунів, кВт·ч;

C_s - вартість 1 кВт·ч електроенергії, грн.

У [11] приведені наступні дані: до впровадження для двигуна Д - 240 витрачене 54,43 кВт·год, після впровадження - 10,37 кВт; для рядних СМД - 100 кВт·ч до впровадження і 52,55 кВт. год потім.

Розрахунок собівартості обкатувальних робіт представлений в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 - Розрахунок питомих експлуатаційних витрат, грн.

Найменування показника	Варіанти		
	типова	існуюча ЕХМП(Д)	вдосконалена ЕХМП(Д)
1	2	3	4
1. Заробітна плата моториста			
Д - 240	668,21	395,62	395,62
рядних СМД	663,38	452,30	452,30
V-подібних СМД	663,38	-	502,97
Оператора			
Д - 240	-	55,69	33,41
рядних СМД	-	53,46	33,41
V-подібних СМД	-	-	44,55
Всього:			
Д - 240	668,21	451,31	429,03
рядних СМД	663,38	505,76	485,71
V-подібних СМД	663,38	-	547,52
2. Накладні витрати			
Д - 240	835,26	829,23	536,29
рядних СМД	829,23	632,2	607,14
V-подібних СМД	829,23	-	684,4

Продовження табл.5.3

1	2	3	4
3. Витрати на паливо			
Д - 240	1381,2	405,6	405,6
рядних СМД	1632,0	1398,0	1398,0
V-подібних СМД	3171,6	-	853,2
4. Витрати на електроліт			
Д - 240	-	95,1	798,6
рядних СМД	-	95,1	798,6
V-подібних СМД	-	-	798,6
5. Витрати на моторне мастило	3600	3600	1650
Д - 240	4500	4500	2100
рядних СМД	6000	-	2850
V-подібних СМД			
6. Витрати на електроенергію	598,73	114,07	110,2
Д - 240	1100,0	578,05	576,1
рядних СМД	1650,0	-	864,5
V-подібних СМД			
7. Амортизаційні відрахування на устаткування			
Д-240	766,85	556,05	492,34
рядних СМД	766,85	2864,81	492,34
V-подібних СМД	766,85	-	492,34
на приміщення			
Д-240	23,46	13,42	13,24
рядних СМД	23,46	15,78	13,24
V-подібних СМД	23,46	-	13,24
8. Відрахування на зміст і поточний ремонт			
Д-240	681,64	494,27	437,63
рядних СМД	681,64	2546,5	437,63
V-подібних СМД	681,64	-	437,63
приміщень			
Д-240	23,46	13,42	13,24
рядних СМД	23,46	15,78	13,24
V-подібних СМД	23,46	-	13,24
9. Собівартість обкатки :			
Д - 240	8578,81	6572,47	4886,17
рядних СМД	10220,02	13151,98	6922,0
V-подібних СМД	13809,62	-	7554,67

Річний економічний ефект від впровадження вдосконаленої технології в порівнянні з типовою:

- при ремонті двигунів Д-240

$$E_p = [(85,79 + 0,2 \cdot 50,42) - (48,86 + 0,2 \cdot 31,76)] \cdot 1000 = 40662 \text{ грн.}$$

- при ремонті рядних СМД

$$E_p = [(102,2 + 0,2 \cdot 50,42) - (69,22 + 0,2 \cdot 31,76)] \cdot 1000 = 36712 \text{ грн.}$$

- при ремонті V-подібних СМД

$$E_p = [(138,1 + 0,2 \cdot 50,42) - (75,55 + 0,2 \cdot 31,76)] \cdot 1000 = 66282 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект від впровадження вдосконаленої технології в порівнянні з існуючою технологією ЕХМП(Д) :

- при ремонті двигунів Д-240

$$E_p = [(65,72 + 0,2 \cdot 35,36) - (48,86 + 0,2 \cdot 31,76)] \cdot 1000 = 17580 \text{ грн.}$$

- при ремонті рядних СМД

$$E_p = [(131,52 + 0,2 \cdot 164,41) - (69,22 + 0,2 \cdot 31,76)] \cdot 1000 = 88830 \text{ грн.}$$

Економія коштів за рахунок підвищення міжремонтного ресурсу і зниження витрати масла на чад двигунів, відремонтованих за новою технологією визначена по формулі:

$$E_p = \left(\frac{C_{\text{дв}}}{H_{\kappa}} - \frac{C_{\text{дв}}}{H_o} \right) \cdot (H_o - H_{\kappa}) \cdot A_n + E_m \cdot A_n, \quad (5.9)$$

де $C_{\text{дв}}$ - ціна ремонту двигуна, грн.;

Але - напрацювання, відповідно, контрольного і досвідченого (після ЕХМП(Д)) двигуна до наступного капітального ремонту, мото-годин;

E_m - економія коштів за рахунок зниження витрати масла на чад експлуатуючим господарством на одному двигуні, відремонтованим за новою технологією, визначається по формулі:

$$E_m = (q_c - q_n) \cdot C_m \cdot H_{o2}, \quad (5.10)$$

де q_c, q_n - витрата масла на чад у двигуна, відремонтованого за існуючою і пропонованою технологією, відповідно, кг/год (табл.6.2);

$N_{ог}$ - гарантійне напрацювання двигуна, мото-год;

C_m - вартість одного кілограма моторного мастила, грн. ($C_m = 3$ грн.).

Гарантійне напрацювання капітально відремонтованих двигунів має бути не менше 2500 год. Для двигунів Д-240, відремонтованих з ЕХМП(Д) $q_{п}=0,096$ кг/год, без ЕХМП(Д) $q_c = 0,122$ кг/год, а для двигуна СМД-14НГ відповідно до 0,09 і 0,137 кг/ год, тоді

$$E_{мД-240} = (0,122 - 0,096) \cdot 3 \cdot 2500 = 195 \text{ грн.}$$

$$E_{мСМД-14НГ} = (0,137 - 0,09) \cdot 3 \cdot 2500 = 352,5 \text{ грн.}$$

Фактичне напрацювання двигунів Д-240, що пройшли експлуатаційні випробування в порівнянних умовах до першої відмови III групи складності склала: для контрольних - 1518, дослідних - 2365 мото-годин (для двигуна СМД-14НГ відповідно до 1212 і 1770 мото-годин), з урахуванням залишкового ресурсу: для контрольних - 1443, дослідних - 4811 мото-годин (для двигуна СМД-14НГ відповідно до 1449 і 4738 мото-годин). Тоді при середній вартості ремонтів двигунів Д-240 і СМД-14НГ відповідно до 1500 і 1950грн, і програмі 1000 ремонтів в рік:

$$E_{рД-240} = (2450,95+195) \cdot 1000 = 2645950 \text{ грн.}$$

$$E_{рСМД-14НГ} = (3072,55+352,5) \cdot 1000 = 3425050 \text{ грн.}$$

Висновки до п'ятого розділу

7. Поліпшення прилягання нижніх компресійних (чавунних) кілець до дзеркала гільзи при ЕХМП(Д) завжди покращується до повної за час прироблення. Тому при ЕХМП(Д) особлива увага має бути звернена на припрацювання верхнього кільця.

8. При граничному терті зблизька ВМТ і НМТ проходить механічне активування поверхонь тертя. При напіввідкомому терті мають місце обидва процеси: електрохімічне труєння і механічне активування. Завдяки цим процесам забезпечується швидке виправлення макрогеометрії кільця і пристосування його до дзеркала гільзи.

9. Скоректована на основі досліджень технологія передбачає використання наступних режимів: сила струму - 250 А, склад електроліту - 1 об'ємна частина 20% водного розчину нітриту натрію і 4 об'ємних частин гліцерину, частота обертання колінчастого валу - $112,8 \dots 146,4 \text{ хв}^{-1}$, при встановленій тривалості процесу - 5 хв.

10. Економія коштів за рахунок зниження витрати масла на чад і підвищення моторесурсу на одному двигуні Д-240, відремонтованому по новій технології складе 2645,95 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що міжремонтний ресурс двигунів мобільної сільськогосподарської техніки в умовах реальної експлуатації підвищується за рахунок використання технології електрохіміко-механічного прироблення деталей циліндро-поршневої групи. Міжремонтний ресурс дослідних двигунів з ЦПГ по такому приробленню був вище на 28...32% в порівнянні з ресурсом контрольних двигунів з ЦПГ, приробленими при звичайній обкатці. Міжремонтний ресурс ЦПГ дослідних двигунів, прироблених по режимах вдосконаленої технології, на 10% більше, ніж у ЦПГ, приробленим по режимах існуючої технології ЕХМП(Д). Прогнозований ресурс дослідних ЦПГ, прироблених по режимах вдосконаленої технології ЕХМП(Д) зріс на 70,3...72,1%, - в порівнянні з двигунами, відремонтованими за типовою технологією.

2. Використання вдосконаленої технології електрохіміко-механічного прироблення деталей ЦПГ покращує ущільнюючу здатність кілець. У результаті чад масла знижується в 1,2...1,7 рази і нижче за значення, відповідним вимогам, що пред'являються до двигунів, підданих капітальному ремонту.

3. Випробуваннями підтверджено, що міжремонтний ресурс ЦПГ обмежується величиною зносу сполучення канавка поршня - верхнє хромоване поршневе кільце - гільза. При електрохіміко-механічному приробленні (доведенню) деталей ЦПГ макрогеометричне прироблення нижніх компресійних кілець відбувається значно швидше чим верхнього (хромованого) компресійного кільця. Поліпшення прилягання нижніх компресійних (чавунних) кілець до дзеркала гільзи при ЕХМП(Д) завжди покращується до повної за час прироблення. Тому при ЕХМП(Д) особлива увага має бути звернена на припрацювання верхнього кільця.

4. Теоретичними розрахунками і експериментально показано, що в процесі прироблення поршневих кілець до дзеркала гільзи циліндрів на в'язкому електроліті при русі поршня виникають різні види мастила: від граничної до гідродинамічної.

5. Початкова шорсткість дзеркала гільзи циліндрів впливає на припрацювання хромованої поверхні кільця і ростравляння дзеркала гільзи. З ростом шорсткості посилюється гідродинамічне мастило, що призводить до збільшення знімання металу з кільця і роз'ятрення гільзи. Найкращою умовою припрацювання при малому зношуванні кільця і прийнятному труєнні гільзи є шорсткість $R_{\max} = 1,8 \dots 2,2$ мкм.

6. Сила струму, що проходить через сполучення кільце - гільза, впливає на припрацювання кільця. Найкращі результати по макроприпрацювання кільця при малому зносі забезпечуються при проходженні струму через сполучення кільце - гільза силою 8,66...9,81 А. Найпростіше такі значення струму забезпечуються при підключенні джерела за схемою блок - блок.

7. Склад електроліту чинить вплив на знос деталей тертя, що формують мікروشорсткість і умовний анодний вихід металів по струму. З цих позицій найприйнятніше електроліт, що містить у своєму складі нітрит натрію.

8. Скоректована на основі досліджень технологія передбачає використання наступних режимів: сила струму - 250 А, склад електроліту - 1 об'ємна частина 20% водного розчину нітриту натрію і 4 об'ємних частин гліцерину, частота обертання колінчастого валу - $112,8 \dots 146,4$ хв⁻¹, при встановленій тривалості процесу - 5 хв. ЕХМП(Д) циліндро-поршневої групи проводиться за наявності моторного мастила в піддоні двигуна і здійснюється на спеціально розробленому стенді.

9. Економічний ефект від впровадження вдосконаленої технології ЕХМП(Д) основних сполучень двигуна Д-240 складає 40,66 грн., рядних СМД - 36,71 грн. і V - подібних СМД - 66,28 грн. Економія коштів за рахунок зниження витрати масла на чад і підвищення моторесурсу на одному двигуні Д-240, відремонтованому по новій технології складе 2645,95 грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Колокатов А.М., Підзоров А.Н., Соловійов А.В. Прискорення припрацювання деталей циліндро-поршневої групи // Трактори і сільськогосподарські машини. - 1998. - №9. - С. 43-45.
2. Велічкін І.Н., Зубієтова М.П., Антоников А.А., Морозов А.В. Експлуатаційні режими – основа прискорених досліджень тракторних дизелів // Трактори і сільськогосподарські машини. -1989. - №11. - С. 34-37.
3. Мещеряков И.К., Шуринов В.А., Колтунов В.А. Вдосконалення структури управління надійністю зернозбиральних машин // Трактори і сільськогосподарські машини. - 1990. - №11. - С. 25-29.
4. Велічкін І.Н., Коварский Е.К. Шляхи підвищення надійності парку тракторів // Трактори і сільськогосподарські машини. - №6. - С. 32-36.
5. Костецкий Б.І. Тертя, змащування і зношування в машинах.- К.: Техніка, 1980.
6. Костецкий Б.І., Носовский І.Г., Бершадский Л.І., Караулов А.К. Надійність та довговічність машин. - К.: Техника, 1991. - 405 с.
7. Болдар Л.Н. Розробка технології електрохіміко-механічного припрацювання основних спряжень автотракторних двигунів при їх ремонті.: Автореф. дис. ... канд. техн. наук.- Кишинів, 1994. - 27 с.
8. Алексеев В.П., Болдарь Л.Н. Оценка качества электрохимико-механической приработки (доводки) деталей цилиндрико-поршневой группы // Совершенствование конструкций, улучшение ремонта и эксплуатации сельскохозяйственной техники.: Межвуз. тематич. сб. научн. Трудов / Харьковский сельскохозяйственный ин-т. им. В.В.Докучаева. - Харьков, 1996. - С.92-102.
9. Халвін М.А., Александровский І.А. Шляхи відновлення парку зернозбиральної техніки // Трактори і сільськогосподарські машини. - 2001. - №6. - С.7-10.
10. Керчер Б.М. Исследование макрогеометрии гильз цилиндров и ее влияние на работу быстроходных автотракторных двигателей: Автореф. дис... канд. техн.

наук.- Харьков, 1991. - 23 с.

11. Голубничий Н.Т. Підвищення якості ремонту кривошипно-шатунних механізмів ДВЗ // Автомобільний транспорт. - 1996. - №11. - С. 5-6.

12. Поверхнева міцність матеріалів при терті / Костецкий Б.І., Носовский І.Г., Караулов Д.К. и др. - К.: Техніка, 1996. - 292 с.

13. Кравец І.А. Исследование процесса приработки деталей тракторных дизельных двигателей.: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. - К., 1990. - 23 с.

14. Бурштейн Л.М., Кобяков С.В. Дослідження процесів змащуванні і тертя поршневих кілець ДВЗ // Двигунобудування. - 1990. - №11. - С. 56-59.

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

16. Абрамчук Ф.І. Автомобільні двигуни: Підручник / Ф.І. Абрамчук, Ю.Ф. Гутаревич, К.Є. Долганов, І.І. Тимченко. – К.: Арістей, 2004. – 476 с.

17. Абрамчук Ф.І. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т. 6. Надійність ДВЗ / Ф.І. Абрамчук, М.К. Рязанцев, А.Ф. Шеховцов. – Х.: Видавництво ХНАДУ, 2004. – 324 с.

18. Марченко А.П. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т. 3. Комп'ютерні системи керування ДВЗ / А.П. Марченко, М.К. Рязанцев, А.Ф. Шеховцов. – Х.: Прапор, 2004. – 344 с.

19. Гутаревич Ю.Ф. Двигуни автомобільні (основні терміни та визначення з відповідниками англійською та російською мовами): [навчальний посібник] / Ю.Ф. Гутаревич, Л.П. Мержиєвська, В.І. Дмитренко, А.О. Корпач, А.А. Лісовал. - К.: НТУ, 2016. – 65 с.

20. Транспортні енергетичні установки (традиційні, нетрадиційні та альтернативні), принцип роботи та особливості будови: [навч. посіб.] / Ю.Ф. Гутаревич, Л.П. Мержиєвська, О.В. Сирота, Д.М. Трифонов. - К.: НТУ, 2015. – 244с.