

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд та технологій
(повна назва факультету)

Кафедра Кафедра автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Ляшук О.Л.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«29» вересня 2020 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»
(шифр і назва спеціальності)

студенту Іваноньківу Михайлу Богдановичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проект дільниці ремонтного цеху для технічного обслуговування та ремонту двигунів з дослідженням технології покращення триботехнічних характеристик гільзи циліндрів 60-01102.10 дизелів обкаткою.

Керівник роботи Рогатинький Р.М., д.т.н., проф.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «29» вересня 2020 року № 4/7-690

2. Термін подання студентом завершеної роботи 14 грудня 2020

3. Вихідні дані до роботи Характеристика підприємства, базовий технологічний процес відновлення випускних клапанів двигунів ЯМЗ

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Загально-технічний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ.

4 Науково-дослідний розділ. 5 Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

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

Пристосування для ви пресування і запресування поршневих пальців – 1А1.

Режими обкатки дизелів – 1А1.

Обкаточно-гальмівний стенд – 1А1.

Підведення електричного струму до деталей ЦППГ – 1А1.

Класифікація трибо логічних методів прискорення обкатки – 1А1.

Механізм формування покриття при ЕТХП – 1А1.

Вплив ЕТХП на тривалість обкатки – 1А1.

Планування дільниці – 1А1.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н. доц. Ткаченко І.Г.		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	ст. викл. Клепчик В.М.		

7. Дата видачі завдання 29.09.2020**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально-технічний розділ	15.10.2020	
2	Технологічний розділ	29.10.2020	
3	Конструкторський розділ	11.11.2020	
4	Науково-дослідний розділ	25.11.2020	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	09.12.2020	
6	Оформлення графічної частини	11.12.2020	
7	Захист кваліфікаційної роботи магістра	21.12.2020	

Студент

_____ (підпис)

Іваноньків М.Б.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Рогатинський Р.М.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи магістра на тему: «Проект ділянки ремонтного цеху для технічного обслуговування та ремонту двигунів з дослідженням технології покращення триботехнічних характеристик гільзи циліндрів 60-01102.10 дизелів обкаткою.».

Робота виконана на кафедрі автомобілів Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Керівник кваліфікаційної роботи магістра д.т.н., професор Рогатинський Р.М.

Пояснювальна записка складається з п'яти розділів і 63 сторінок формату А4 та 8 аркушів формату А1 графічної частини 1 сторінка додатків.

Ключові слова: гільза, кільця, обкатування, блок циліндрів, компресія.

ЗМІСТ

Вступ	7
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Характеристика конструктивно-технологічних особливостей деталі, що відновлюється.....	8
1.2 Висновки та постановка завдання на магістерську роботу.....	10
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	11
2.1 Виявлення можливості використання електротрибохімічного методу в процесі припрацювання деталей ЦПГ при обкатці дизельних двигунів.....	11
2.2 Схема підключення та розподілення електричного струпу по основним деталям двигуна.....	12
2.3 Технологічний процес обкатки двигуна.....	15
2.4 Обґрунтування та вибір технологічного оснащення, ріжучого, вимірювального, контрольного інструментів та ремонтних матеріалів.....	16
2.5 Розрахунок кількості основних робітників, складання штатного розкладу робочих дільниць по складанню двигунів.....	19
2.6 Розрахунок виробничих площ.....	26
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	28
3.1 Призначення пристосування і його будова.....	28
3.2 Принцип дії пристосування.....	29
3.3 Розрахунок вихідного зусилля на штоці пневмоциліндра пристосування для випрування-запресування поршневих пальців.....	30
4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ	32
4.1 Процес формування мікрогеометрії поверхонь тертя деталей ЦПГ при електротрибохімічному методі обкатки двигуна.....	32
4.2 Енергостабілізація системи "гільза циліндра – поршневе кільце" подачею постійного електричного струму.....	39
4.3 Характер та величина спрацювання сполучень деталей ЦПГ при використанні присадок в маслі.....	44

4.4 Вплив електротрибохімічного методу на тривалість обкатки та довговічність двигуна.....	47
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	55
5.1 Техніка безпеки при обкатці та випробуванні.....	55
5.2 Визначення режимів радіаційного захисту особового складу.....	57
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	62
БІБЛІОГРАФІЯ.....	63
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Значна частина деталей двигунів, що поступають в ремонт, придатна до повторного використання. Величезна частина з них не вимагає відновлення. Решта деталей, що подаються на збірку, володіє зниженою точністю і за рахунок процесу зносу – спотвореною макрогеометрією, а так само в результаті безграмотного і недосконалого процесу відновлення. Запасні частини, що поступають на ремонтне виробництво, так само володіють низькою точністю.

Компенсувати неточності взаємного розташування деталей основних сполучень двигунів можна в процесі обкатки. Під час обкатки відбувається припрацювання поверхонь тертя, і підготовка їх до сприйняття експлуатаційних навантажень.

На сучасному ремонтному виробництві припрацювання двигуна здійснюється за рахунок тривалої стендової обкатки і подальшою обкаткою в експлуатаційних умовах, що вимагає великих витрат часу і коштів.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Характеристика конструктивно-технологічних особливостей деталі, що відновлюється

На двигуні СМД встановлені з'ємні гільзи циліндрів, які виготовлені з сірого чавуну (табл 1.1). Внутрішню поверхню гільзи ретельно оброблюють до чистоти не нижче 9-го класу. На цій поверхні не допускаються риски та подряпини. Елепсність та конусність нової гільзи не повинні перевищувати 0,02 мм.

Таблиця 1.1 Хімічний склад чавуну СЧ-18

Хімічний склад, %							
C _{заг.}	C _{зв.}	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
3,1	0,5	1,2	0,6	0,2	0,1	0,2	0,3

Зазор між гільзою та блок-картером в верхньому та нижньому поясах 0,05...0,13 мм.

При затягуванні головки циліндрів гільза щільно притискується до блок-картеру, завдяки чому верхній торець фланця виступає над площиною блок-картера на 0,06...0,16 мм.

Нижній кінець гільзи може вільно рухатись в осьовому напрямку, що компенсує різницю в подовженні гільзи та блок-картеру при їх нагріву та запобігає надлишковому термічному напруженню в конструкції.

Для того, щоб зазор між поршнем та гільзою на новому двигуні було витримано у вузьких межах, які потрібно забезпечити допусками на механічну обробку, готові гільзи по внутрішньому діаметру сортують на дві розмірні групи і проводять маркірування (позиція 1 рис. 1.3 та табл. 1.2).

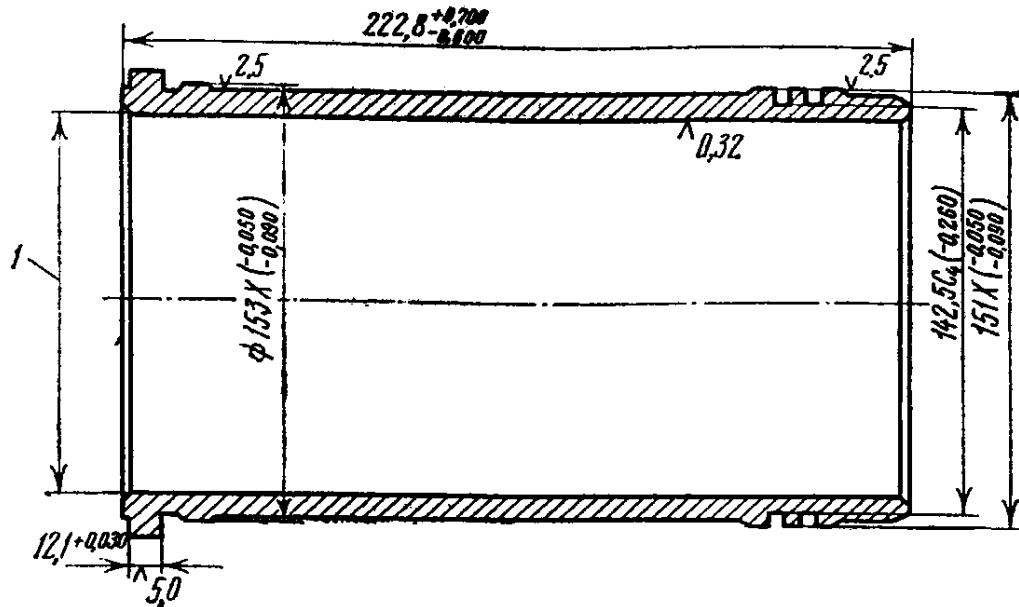


Рисунок 1.1 – Робоче креслення гільзи циліндрів двигуна СМД-60

Таблиця 1.2 Маркірування гільз

Позначення групи	Внутрішній діаметр, мм
Б	$130^{+0,04}_{+0,02}$
М	$130^{+0,02}_{+0,00}$

Поршень, робоче креслення якого наведено на рис. 1.2, виготовлено із алюмінієвого сплаву АЛ-25, з підвищеним вмістом кремнію (біля 13%), який надає сплаву жаростійкість та зменшує величину коефіцієнта лінійного подовження. Остання властивість дозволяє зменшити зазор між поршнем та гільзою циліндра. Твердість поршня після термічної обробки НВ 90...130.

В циліндричній частині поршня розрізняють верхню ущільнюючу частину з канавками для поршневих кілець та нижню направляючу, яка ковзається по дзеркалу циліндра.

Три верхні кільцеві канавки трапецієвидного розрізу призначені для встановлення компресійних кілець, четверта канавка прямокутного розрізу для маслоз'ємного кільця.

Верхнє поршневе кільце виготовляють з високоміцного чавуну з кульковим графітом, а його циліндричну поверхню піддають пористому хромуванню. Інші поршневі кільця виготовляють з спеціального сірого чавуну.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Виявлення можливості використання електротрибохімічного методу в процесі припрацювання деталей ЦПГ при обкатці дизельних двигунів

Електротрибохімічний процес, який відбувається в зонах тертя, поєднує в собі сукупність процесів, пов'язаних з руйнуванням виступів поверхні, виділення теплової енергії, плакування шару металу та інших. Це дає змогу розробити метод прискореного припрацювання сполучених поверхонь деталей ЦПГ.

Основною причиною вибору таких реакцій є те що, при електротрибохімічній обробці перенос речовини здійснюється електрично зарядженими компонентами через електропровідне середовище (електроліт). Тобто, якщо підібрати електроліт і механічно активувати поверхню що, оброблюється, можливо досягти спрямованої доставки на поверхню тертя зносостійких компонентів. Щоб збільшити швидкість нанесення необхідних компонентів на робочу поверхню і упорядкувати рух заряджених частинок, необхідно використовувати джерело електричної енергії.

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

Виявлені основні фактори, які впливають на електротрибохімічну реакцію.

Виходячи з вищезазначеного цей метод в даній магістерській роботі покладено в основу прискорення обкатки дизельних двигунів.

2.2 Схема підключення та розподілення електричного струму по основним деталям двигуна

Для реалізації ЕТХП при обкатці двигунів була запропонована схема підключення електричного струму до деталей ЦПГ дизельних двигунів (рис. 2.1).

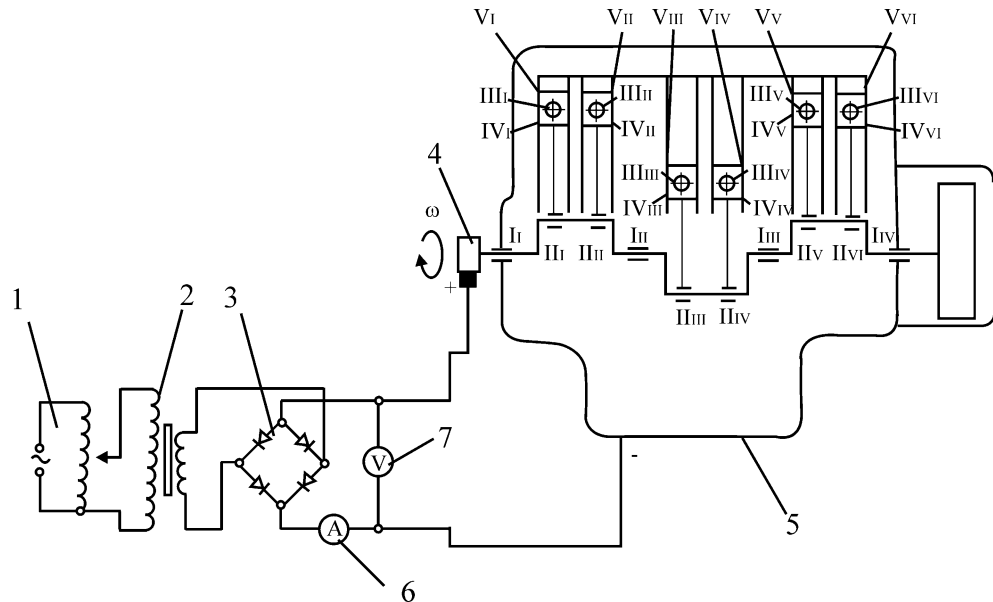


Рисунок 2.1 – Схема підключення електричного струму до деталей ЦПГ дизельних двигунів

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

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

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

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

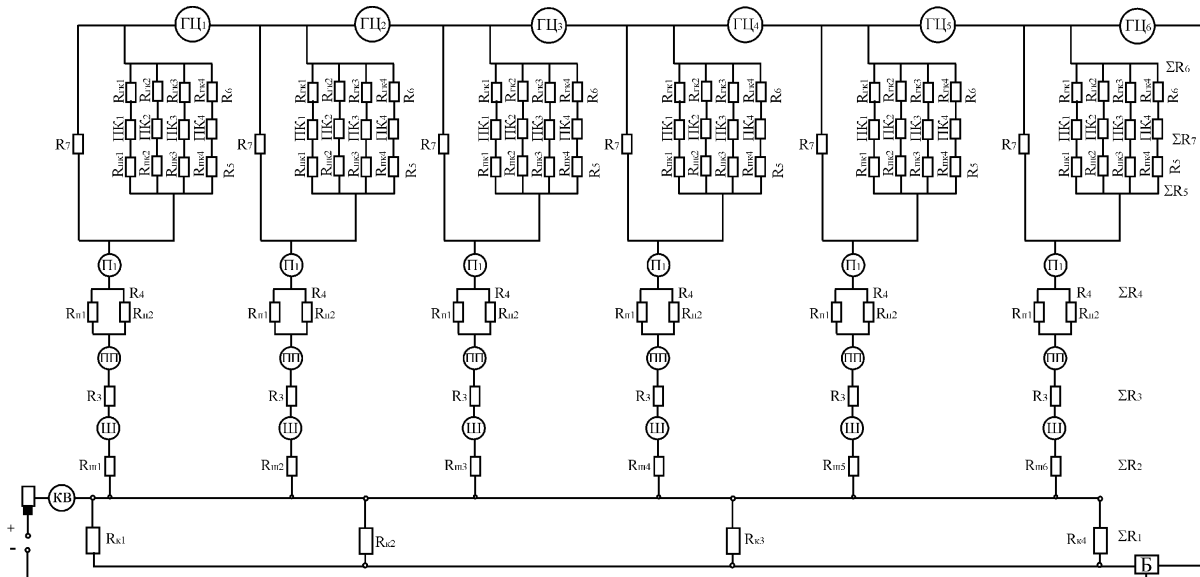


Рисунок 2.2 – Схема розподілення електричного струму по деталям ЦПГ
дизельних двигунів

КВ – колінчатий вал; Б – блок циліндрів (корінні підшипники); Ш – шатун (шатунні вкладиши); ПП – поршневий палець; П – поршень (бобишки поршня); ПК – поршневі кільця; ГЦ – гільза циліндрів; R_1 – сумарний опір між корінною шийкою і корінними вкладишами; R_2 – сумарний опір між шатунною шийкою і шатунними вкладишами; R_3 – сумарний опір між втулкою верхньої головки шатуна і поршневими пальцями; R_4 – сумарний опір між поршневими пальцями і бобишками поршнів; R_5 – сумарний опір між поршнем і кільцем; R_6 – сумарний опір між кільцем і гільзою; R_7 – сумарний опір між поршнями і гільзами.

Найбільший опір буде, виходячи з літературних джерел у першому ланцюзі (опір R_1), оскільки при роботі двигуна колінчатий вал ніби "вспливає" в масляному середовищі в корінних підшипниках ковзання. Електричний струм буде шукати шлях найменшого опору згідно закону Ома та Кірхгофа, то найбільша його частина пройде другою ланкою – через деталі ЦПГ.

Дослідженнями В.П. Алексеева, Л.М. Болдаря, В.А. Ізюмського показують, що при підключенні струму до колінчатого валу та блоку через деталі ЦПГ проходить до 95% струму.

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

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

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

Аналогічно розраховується сумарний опір між колінчатим валом та шатунами:

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

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

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

2.3 Технологічний процес обкатки двигуна

В загальному вигляді процес обкатки представлений в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 Технологічний процес обкатки двигуна

№ операції	Назва операції	Зміст операції	Час
005	Підготовча	Перевірити роботу механізму електростенду.	5 хв.
010	Прокручування	Прокручувати двигун без компресії при 700...800 об/хв	10...15 хв.
015	Прокручування	Прокрутити двигун з компресією на електростенді, доводячи оберти двигуна до 1400...2000 об/хв,	15...20 хв.
020	Холодна безступінчаста обкатка	Підключити постійний електричний струм і продовжувати обкатування. До струмознімача під'єднати провід від плюсової клеми випрямника, довести показники струму до струму $U=1,2V$, $I=10 A$.	20...25 хв.
025	Випробувальна	Провести випробування двигуна на газу без навантаження з поступовим збільшенням числа обертів від min до max	10 хв.
030	Випробувальна	Провести випробування двигуна на газу під навантаженням з поступовим збільшення обертів від min до max	10...15хв.
035	Контрольна	Прослухати двигун для виявлення ненормальних стуків і шумів в вузлах і механізмах двигуна. Перевірити потужність двигуна.	10хв.
040	Перевірочна	Провести два-три пробних пуски двигуна. Двигун повинен заводитись від стартера при не більше як п'ятикратній спробі і температурі навколинього повітря не нижче 5°C	5×15с. з перервами по 1хв.
Всього			85...105 хв.

Приймаємо тривалість технологічного процесу обкатки дизелів 105 хв.
або 1год. 45 хв.

2.4 Обґрунтування та вибір технологічного оснащення, ріжучого, вимірювального, контрольного інструментів та ремонтних матеріалів

Прилади, устаткування й інструмент, за допомогою яких у процесі досліджень здійснювалися виміри, представлені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 Контроль факторів і відгуків процесу ЕХТП деталей ЦПГ

Фактор, відгук	Найменування приладів, устаткування, інструмента.	Клас, погрішності
Сила струму	Амперметр Э514, 0...2 А	0,5
	Амперметр Э514, 0...200 А	1,0
	Трансформатор струму УТТ-6М2 (200/5 А)	0,2
	Амперметр АСТ, 0...5А	0,5
Напруга	Прилад комбінований Щ4313,	
	Швидкодіючий самописний прилад Н327-1 (0,02...5 В/див, 0...100 Гц)	2; 4%
	Швидкодіючий самописний прилад Н327-3 (0,02...5 В/див, 0...100 Гц)	2; 4%
	Швидкодіючий самописний прилад Н327-5 (0,02...5 В/див, 0...100 Гц)	2; 4%
	Швидкодіючий самописний прилад Н338-6П (0,02...6 В/див, 0...100 Гц)	2; 4%
	Трансформатор ТС-1,5/0,5 Регулятор напруги РНО-10-250	
Навантаження	Машина тертя СМЦ-2 (гирі 3 кл., 0,375...3,75 кгс)	
	Стенд обкаточно-гальмівний КИ4893Б-ГОСНИТИ	±5%
	Стенд обкаточно-гальмівний КИ4935-ГОСНИТИ	±5%
Биття ролика	Штатив 6СТ ГОСТ10197-70, індикатор ИЧ-10 (0...10 мм)	0,01 мм

	індикаторна головка вимірювальна пружинна типу ИГПГ ГОСТ 6933-72	0,001 мм
Час	Секундомір СОС пр. 26-2 (0...60 з, 0...60 хв)	±0,3 сек
Температура	Термометр ртутний ГОСТ 215-57 (0...50 ⁰ С)	±0,1 ⁰ С
В'язкість	Віскозиметр ВУ ГОСТ 1532-81	
Візуальний аналіз	Мікроскоп МБС-10 Мікроскоп МБС-1 Установка для визначення прилеглості кілець до дзеркала гільзи циліндра Калібр 110±0,01мм, калібр 120±0,01мм	
Частота обертання	Тахометр ТЧ10П, 0...10 тис.	±1 хв ⁻¹
Електропро- відність	Кондуктометр ОК 102/1 (0...500 мкс, 0...500 мс)	0,05
Маса	Терези аналітичні (А-31 (0...200 г) Терези важільні РН-10Ц13В (0...10 кг) Терези ВЛТ-20-1	0,1 мг 5 м 0,1 м
Мікрошорст- кість	Профілометр-профілограф мод. 201	10%

Мікрометраж деталей ЦПГ виконувався приладами й інструментом згідно рекомендацій ГОСТ 18509-88 (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 Прилади й інструмент для мікрометражу деталей ЦПГ двигуна

Місце виміру	Найменування приладу, інструмента	Припустима погрішність, мм	
		звітної пристрою	за ДСТ 18509-88
Внутрішній діаметр гільзи циліндра	Нутромір індикаторний НІ100...160 мм, №2530, індикатор 1МИГ №71868	0,002	±0,002

Зовнішній діаметр поршня	Мікрометр МК100-125 №38822 ГОСТ 6507-60	0,005	±0,005
Ширина канавок поршня під поршневі кільця	Кінцеві міри довгі набір 1, №100488, ГОСТ9078-73 Мікроскоп МБС-10	0,005 0,001	±0,002
Висота поршневих кілець	Скоба індикаторна 0...25 мм	0,002	±0,01
Вигин і скрученість шатуна	Плита вертикальна, призма індикаторна	0,002	
Зазор у замку поршневих кілець	Мікроскоп МБС-10, калібр 110 й 120 мм	0,01	±0,05

2.5 Розрахунок кількості основних робітників, складання штатного розкладу робочих дільниці по складанню двигунів

Розрахунок виробничих робочих на дільниці здійснюємо за формулами

$$P_y = \frac{T}{\Phi_n \cdot k} \text{ – для явочних робочих;}$$

$$P_c = \frac{T}{\Phi_d \cdot k} \text{ – для списочних робочих,}$$

де T – трудомісткість робіт, люд·год;

Φ_n – номінальний фонд часу робочого;

Φ_d – дійсний фонд часу робочого;

k – коефіцієнт перевиконання норм виробітку ($k=1\dots5$).

$$P_y = \frac{14550}{2085 \cdot 1} = 6,9, \text{ приймаємо 7 чоловік;}$$

$$P_c = \frac{14550}{1764 \cdot 1} = 8,25, \text{ приймаємо 9 чоловік.}$$

Визначаємо кількість допоміжних робітників, у відсотковому відношенні від основних робітників

$$P_g = 0,1 \cdot 9 = 0,9 \text{ роб., приймаємо 1 робітника;}$$

$$P_{imp} = 0,1 \cdot (9 + 3) = 1,2 \text{ роб., приймаємо 2 робітника;}$$

$$P_{mon} = 0,02 \cdot (9 + 3) = 0,24 \text{ роб., приймаємо 1 робітника;}$$

$P_{ски} = 0,02 \cdot (9 + 3) = 0,24$ роб., приймаємо 1 робітника.

Складаємо штатну відомість дільниці по складанню двигунів СМД-60.

Таблиці 2.4 Штатна відомість дільниці складання двигунів СМД-60

Найменування професії	Кількість	Кількість робітників по розрядам				
		II	III	IV	V	VI
Слюсар-складальник	9	-	7	-	-	-
Слюсар-складальник	7	-	-	9	-	-
Слюсар-складальник	6	-	-	-	6	-
Слюсар-складальник	4	-	-	-	-	4
Всього основних робітників	26	-	7	9	6	4
Допоміжні робітники	3	3	-	-	-	-
ІТР	3	-	-	-	-	-
СКП	1	-	-	-	-	-
МОП	1	-	-	-	-	-
Разом	34	3	7	9	6	4

Кількість робочих місць на дільниці складання двигунів СМД-60 визначаємо по трудомісткості робіт, що виконуються на дільниці, враховуючи, що на кожному робочому місці працює один робітник:

$$n_{pm} = \frac{T}{\Phi_{од} \cdot \kappa_3} = \frac{46075}{3962 \cdot 0,85} = 13,68, \text{ приймаємо } 14 \text{ роб. місць,}$$

де T – трудомісткість робіт, що виконуються на дільниці;

$\Phi_{од}$ – дійсний річний фонд обладнання при двозмінному режимі роботи підприємства;

κ_3 – коефіцієнт завантаження робочого місця по часу.

Побудовою лінійного графіка узгодження складальних найбільш точно визначається тривалість циклу складання двигуна.

Вихідними даними для побудови графіку є послідовний перелік операцій, що складають технологічний процес складання двигуна із зазначенням трудомісткості та розряду по кожній укрупненій операції (табл. 2.5).

Визначимо такт складання двигуна, під яким розуміємо період часу, на

протязі якого об'єкт проходить всі операції технологічного процесу складання. Загальний такт складання двигуна розраховується за формулою:

$$\tau = \frac{\Phi_{он2}}{N} = \frac{4170}{9500} = 0,439 \text{ год.}$$

Знаючи трудомісткість кожної укрупненої операції та визначивши такт виробництва τ визначаємо кількість робочих, що виконують дану операцію за формулою:

$$P_p = \frac{T_{он}}{\tau},$$

де $T_{он}$ – трудомісткість конкретної операції, чол/год;

τ – такт складання двигуна.

Розрахунок кількості робітників приводимо в табл. 2.5. Оскільки розрахункова кількість робочих по кожній укрупненій операції не може бути цілим числом, то прийняту кількість робочих визначають на пости, які об'єднують декілька робочих місць, схожі по виконуваним роботам та по розряду виконуваних робіт. При визначенні прийнятої кількості робочих слід враховувати, що недовантаження робочого допускається не менше 90%, а перевантаження не більше 10...20%.

Ступінь завантаження робітника визначаємо за формулою:

$$K_{з2} = \frac{P_{np}}{P_{роз}} \cdot 100\%,$$

де P_{np} , $P_{роз}$ – відповідно прийнята та розрахункова кількість робітників на дільниці.

Після цього визначаємо тривалість виконання кожної операції у часі:

$$t_i = \frac{T_{oni}}{P_{npi}},$$

де t_i – тривалість виконання i -ї операції;

T_{oni} – трудомісткість виконання i -ї операції, чол/год;

P_{npi} – прийнята кількість робочих на i -й операції (укрупненої), чол.

Розрахунок по приведеним формулам зведений в табл. 2.5.

Для зменшення тривалості циклу необхідно прагнути, щоб можлива більша кількість операцій виконувалася паралельно, враховуючи при цьому технологічні можливості підприємства. Будуємо лінійний графік узгодження

технологічних операцій складання двигуна графічно. З графіка маємо тривалість в годинах складання одного двигуна $n = 3,6$ год.

Таблиця 2.5 Перелік робіт та результати розрахунків для побудови лінійного графіку узгодження робіт по складанню двигунів СМД-60

Найменування операції	Трудомісткість, чол/год	Розряд робітника	Кількість робочих		Завантаження робітника, %
			розрах.	прийнят.	
1. Складання блоків циліндрів	0,42	IV	0,95	1	95,7
2. Встановити штовхач	0,04	V	1,12	1	112
3. Встановити розподільчий вал	0,06	V	1,12	1	112
4. Встановити колінчастий вал	0,08	V	1,12	1	112
5. Встановити кришку шестерні розподільника	0,12	IV	0,97	1	97,9
6. Встановити шків та ремінь приводу вентилятора та водяного насосу	0,06	IV	0,97	1	97,9
7. Встановити картер маховика та маховик	0,25	IV	0,97	1	97,9
8. Встановити сапун, фільтр грубого очищення та відцентрового очищення масла, паливний фільтр тонкого очищення	0,21	IV	1,02	1	102
9. Встановити ТНВД та його привод і	0,24	IV	1,02	1	102

трубопроводи високого та низького тиску					
10. встановити гільзи циліндрів	0,13	V	1,98	2	99
11. Встановити ШПГ	0,5	V	1,98	2	99
12. Встановити зливний клапан системи мащення, масляний насос, піддон блоків циліндрів	0,24	V	1,98	2	99
13. Встановити головки циліндрів	0,46	V	2,0	2	100
14. Встановити штанги штовхачів та коромисла	0,18	V	2,0	2	100
15. Встановити форсунки	0,24	V	2,0	2	100

Далі визначаємо фонд складання двигуна, тобто кількість двигунів, що одночасно знаходяться в ремонті у за формулою:

$$f = \frac{n}{\tau} = \frac{3,6}{0,439} = 8,2.$$

Після цього визначаємо пропускну здатність дільниці складання. Пропускна здатність дільниці складання показує, яку кількість двигунів можливо скласти на дільниці за визначений період часу

$$B_{np} = \frac{\Phi_d \cdot m \cdot c}{n} = \frac{2085 \cdot 14 \cdot 2}{3,6} = 5608,3,$$

де Φ_d – фонд часу складальної дільниці;

m – кількість робочих місць на складальній дільниці;

c – кількість змін складальної дільниці.

Для підвищення продуктивності складання на дільниці передбачено використання конвеєра для складання двигунів.

Робочу довжину конвеєра визначимо за формулою:

$$L = (A + a) \cdot n_{pm} - a,$$

де $A=1,1$ м – довжина одного двигуна;

$a=2$ м – відстань між двигунами, що складаються;

$n_{pm}=14$ – кількість робочих місць на складанні двигуна.

$$L = (1,1 + 2) \cdot 14 - 2 = 41,4 \text{ м.}$$

Основне обладнання дільниці по складанню двигунів СМД-60 підбрано по типовим проектам, виходячи з програми складання, кількості робітників, встановленої кількості робочих місць, пости складання, виробничої необхідності.

Відомість необхідного технологічного обладнання приведена в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 - Відомість технологічного обладнання дільниці складання двигунів СМД-60

Найменування обладнання	Марка	К-сть	Габарити	Площа, м ²	Потужність, кВт
Машина мийна	ОМ3999	1	10×2,0	20	5,5
Підставка для агрегатів	ОРГ1468	2	2,0×1,2	4,8	-
Стенд-підставка для встановлення заглушок	ОРГ2468	1	1,4×0,5	0,7	-
Ящик для інструментів	-	1	0,4×0,6	0,24	-
Прес пневматичний	ОЖК-4	2	0,5×0,5	0,25	-
Площадка для накопичення блоків циліндрів	-	1	4,0×2,5	10	-
Конвеєр складання двигунів	501.00	1	4,5×2,5	0,14	22,0
Стіл контролю	ОРГ1468-01	1	1,6×0,7	1,12	-
Стелаж для колінчатих валів	ОПР1862	2	3,0×1,4	4,2	-
Кран-балка	1829	2	-	-	2,4

Підставка	ОРГ1468-02	2	1,5×0,1	1,6	-
Стенд для розкручування шатунів	ОПР-1678	1	0,8×0,5	0,4	1,7
Стіл металевий	ОРГ14×68-05	1	1,5×0,9	1,35	-
Стелаж для масляних насосів	ОРГ1468-05	1	2,0×1,0	2,0	-
Площадка для накопичення гільз циліндрів	-	1	3,0×2,0	6,0	-
Підставка для картеру маховика	ОРГ1468-012	9	1,8×0,7	1,26	-
Верстак слюсарний	ОПР2280	9	1,8×0,7	1,26	-
Підставка під картер маховика	ОРГ1468012-05	1	3,5×1,5	5,25	-
Підставка під маховик	ОРГ1468006-025	1	3,5×1,8	5,25	-
Стелаж	ОРГ1468007-035	1	1,3×0,5	0,65	-
Стелаж для піддонів	ОРГ1468007-045	1	3,0×0,9	2,7	-
Стелаж для головок блоків	ОРГ1468009-055	2	2,5×0,8	2,0	-
Стелаж для коромисел і штанг штовхачів	ОРГ1468010-055	1	2,0×0,5	1,0	-
Стіл металевий	ОРГ1408-05	1	1,5×0,9	1,35	-
Стелаж для масляних насосів	ОРГ1468-010	1	2,0×1,0	2,0	-
Площадка для	-	1	3,0×2,0	6,0	-

накопичення циліндрів	гільз					
Підставка під маховика	картер	ОРГ14680 12-05	1	3,5×1,5	5,25	-
Верстак слюсарний		ОПР2280	9	1,8×0,7	1,96	-
Підставка під маховик		ОРГ14680 06-025	1	3,5×1,8	5,25	-
Стелаж		ОРГ14680 07-035	1	1,3×0,5	0,65	-
Стелаж для піддонів		ОРГ14680 07-045	1	3,0×9,0	2,7	-
Стелаж для головок блоків		ОРГ14680 09-055	2	3,5×0,8	2,0	-
Стелаж для коромисел і штанг штовхачів		ОРГ14680 10-065	1	2,0×0,5	1,0	-
Стелаж для ТНВД		ОРГ14680 04-035	1	2,5×0,5	1,25	-
Стелаж для деталей		ОРГ14680 03-025	2	1,8×0,5	0,9	-
Тумбочка інструментальна		В/в	2	0,4×0,8	0,32	-
Кран-балка		2189	2	-	-	5,5
Кран-укошина		КПК-05	2	0,5×0,6	0,36	1,0
Разом					96,95	

До основного механічного обладнання ділянки складання двигунів СМД-60 слід віднести:

- складальний конвеєр для складання двигунів;
- мийну машину для мийки корпусних деталей перед складанням.

Число одиниць основного обладнання визначають як правило по трудомісткості виконання операцій на даному обладнанні за формулою:

$$n = \frac{T \cdot N}{\Phi_o},$$

де T – трудомісткість виконання операцій на даному обладнанні;

N – програма ремонту;

Φ_o – дійсний річний фонд часу обладнання. При кількості змін $c = 1$
 $\Phi_o = 2022$ год; $c = 2$; $\Phi_o = 3962$ год.

Кількість мийних машин визначають виходячи з маси деталей та продуктивності машини за формулою:

$$n_m = \frac{Q \cdot t}{\Phi_o \cdot q \cdot \eta_0 \cdot \eta_1},$$

де Q – загальна маса корпусних деталей, що підлягають миттю за 1 год,

$$Q = m \cdot N = 90 \cdot 9500 = 855 \text{ т},$$

де m – маса деталей, що підлягають мийці на один двигун;

$t = 0,5$ год. – час мийки деталей;

$q = 250$ кг/год – продуктивність мийної машини;

$\Phi_o = 3962$ год. – дійсний річний фонд часу обладнання при двозмінній роботі;

$\eta_0 = 0,7$ – коефіцієнт, що враховує завантаження мийної машини по масі;

$\eta_1 = 0,85$ – коефіцієнт використання мийної машини по часі;

Тоді:

$$n_m = \frac{855000 \cdot 0,5}{3962 \cdot 250 \cdot 0,7 \cdot 0,85} = 0,7 \text{ – приймаємо одну мийну машину.}$$

2.6 Розрахунок виробничих площ

До виробничої площі дільниці відносяться площі, що займає основне технологічне обладнання, допоміжне обладнання, деталі та складальні одиниці а також проходи, робоча зона робочих місць та підйимально-транспортні засоби.

Розрахунок виробничої площі дільниці складання двигунів визначаємо за формулою:

$$F = f_o \cdot \kappa_s,$$

де $f_o=97 \text{ м}^2$ – сумарна площа, що займає обладнання;

$k_z=4,0$ – коефіцієнт робочої зони для складальної ділянки.

Тоді:

$$F = 97 \cdot 4 = 388 \text{ м}^2.$$

Обладнання на ділянці складання двигунів розташовуємо у відповідності з переміщенням базисних деталей двигуна і зокрема блоків циліндрів. Проектуємо технологічне планування ділянки складання виходячи з розрахованої площі, враховуючи вимоги техніки безпеки та промсанітарії.

Підібране технологічне обладнання розташовуємо вздовж конвеєра у відповідності з напрямком його руху.

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Призначення пристосування і його будова

Пристосування, спроектоване в магістерській роботі, є по цільовому призначенню розбірно-складальним. Воно призначено для випресування й запресування поршневих пальців. Пристосування за своєю будовою є універсальним, тому що дозволяє працювати з поршнями й пальцями будь-яких діаметрів за допомогою заміни оправки і штока під необхідний розмір.

Використання даного пристосування в технологічних процесах розбирання і складання циліндро-поршневої групи дозволить механізувати процес, знизить час виконання технологічних операцій, підвищить якість встановлення поршневих пальців, що забезпечить їх надійність в процесі експлуатації.

Пристрій (рис. 3.1) складається з плити 1, кронштейнів 2, пневмоциліндра 3, з'єднувальних шлангів 4, крана керування 5, оправки 6, штока 7, стандартних кріпильно-складальних виробів, змінних вузлів і стандартних одиниць.

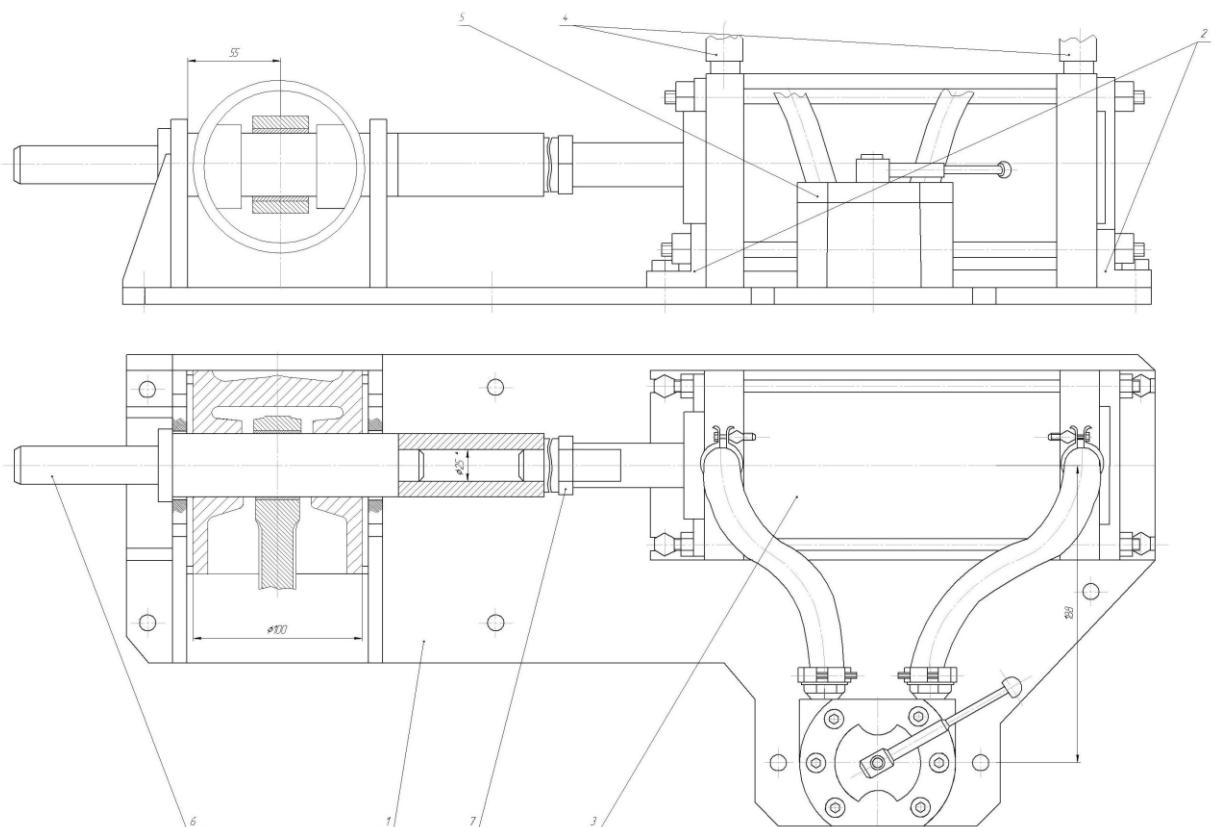


Рисунок 3.1 – Пристосування для випресування й запресування

поршневих пальців

1 – плита; 2 – кронштейни; 3 – пневмоциліндр; 4 – з'єднувальні шланги; 5 – кран керування; 6 – оправка; 7 – шток.

До змінних вузлів відносяться: оправка і шток, для запресовування поршневого пальця; оправка, плунжер, шток, пружина і гайка, при випресуванні поршневого пальця.

3.2 Принцип дії пристосування

Пристрій встановлюють на верстак і кріплять болтами. Верстак повинен знаходитися поруч з компресором або магістраллю стисненого повітря.

При запресовуванні поршневого пальця в поршень, останній нагрівають до 85 °С і встановлюють на опори пристосування. Потім центрують оправку 6 призначену для запресовування з протилежної сторони від циліндра просовують в отвір стійки через отвір у бобишці поршня, через отвір верхньої голівки шатуна, що знаходиться між отворами в бобишках і вийти вона повинна з отвору в стійці з боку циліндра. Поршневий палець одягається на виступ оправки, що centruє, і виходить із стійки, з однієї сторони і на centruючий виступ оправки, з'єднаної із штоком 7, з другої сторони.

До штуцера крана керування приєднано шланг від компресора, при цьому кран повинний бути закритим. При повороті ручки крана керування повітря з компресора під тиском надходить у робочу камеру пневмоциліндра і давить на поршень, що переміщається в робочій камері. Поршень пневмоциліндра жорстко зв'язаний зі штоком, тому при переміщенні поршня шток, палець і оправка переміщуються разом із ним. При цьому оправка, що centruє, видаляється з поршня, а палець входить у поршень і займає своє посадкове місце.

При повному запресовуванні пальця ручку крана керування повертають в іншу сторону й шток циліндра з оправленням, що кріпиться до нього, повертається у вихідне положення.

При випресуванні поршневого пальця знімаємо стопорні кільця з поршня, нагріваємо його до 85 °С і укладаємо на опори пристрою. Оправку,

призначену для випресовки, встановлюємо в отворі стійки з боку, протилежної до циліндра до упора в поршневий палець, з сторони циліндра в отвір стійки встановлюється інша оправка з плунжером і пружиною.

При установці цієї оправки пружину стискають руками й один кінець упирають в шток циліндра, а інший - встановлюють в отвір у стійці. Пружина піджимає оправку до поршневого пальця. При повороті ручок крана керування шток циліндра давить на плунжер, а плунжер, у свою чергу, давить на оправку. Оправка входить в отвір у поршні і видавлює поршневий палець. З боку, протилежного до циліндра, спочатку виходить з отвору оправка, що центрує, а потім і палець. Після випресовки поршневого пальця поворотом ручки крана керування повертаємо шток циліндра і закріплену на ньому оправку у вихідне положення.

3.3 Розрахунок вихідного зусилля на штоці пневмоциліндра пристосування для випрування-запресування поршневих пальців

При запресуванні і випресуванні поршневих пальців зусилля, що прикладається до пальця, повинне знаходитися в межах 70-150 кгс.

Вибираємо пневмоциліндр із діаметром робочої камери $D_u = 100$ мм з одним гумовим ущільнювальним кільцем на поршні.

Розрахунок вихідного зусилля на штоку пневмоциліндра:

$$Q = \frac{\pi D_u^2}{4} P - (T_k \pi D_u + g), \quad (3.1)$$

де D_u – діаметр робочої частини циліндра, мм;

P – тиск повітря, подаваного на циліндр, приймаємо 3 кгс/см^2 ;

T_k – сила тертя, що залежить від твердості кільця, що ущільнює. $T_k=0,2$ кгс;

g – твердість пружини, що повертає поршень:

$$g = T_k \pi D_u k, \quad (3.2)$$

де k – коефіцієнт твердості пружини, $k = 1,2$;

$$g = 0,2 \cdot 3,14 \cdot 10 \cdot 1,2 = 7,536.$$

Тоді:

$$Q = \frac{3,14 \cdot 10^2}{4} \cdot 3 - (0,2 \cdot 3,14 \cdot 10 + 7,536) = 221,7 \text{ кгс.}$$

Вихідне зусилля на штоку пневмоциліндра відповідає технічним вимогам для пристосування.

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Процес формування мікрогеометрії поверхонь тертя деталей ЦПГ при електротрибохімічному методі обкатки двигуна

Припрацювання сполучених деталей ЦПГ відремонтованих двигунів характеризується переносом й перерозподілом речовини, відкладеної з композиційного масла на поверхнях тертя в процесі взаємодії елементів трибосистеми. При цьому в структурі поверхневого шару спостерігаються специфічні зміни. Поверхні тертя сполучень деталей при обкатці двигуна формуються в результаті різноманітних технологічних, трибологічних та електромагнітних впливів, набувають необхідної шорсткості. Окрім цього, виникає ряд явищ, що впливають на властивості поверхневого шару деталі: динаміка формування мікрогеометрії поверхні; зміна величини і характеру розподілу напружень, що виникають на окремих ділянках поверхні і мікрооб'ємах; пластична деформація та пластифікація, теплові і окислювальні процеси та інші.

Розглянемо процес формування мікрогеометрії поверхні гільзи циліндрів і поршневих кілець, як елементів трибосистеми, яку символічно позначимо $\Gamma\alpha K$ (рис. 4.1), де Γ – гільза циліндра, K – поршневе кільце, α – шар масла.

Мікрорельєф поверхневого шару характеризується висотою нерівностей R_z або середнім арифметичним відхиленням профілю від середньої лінії R_a й являє собою складне чергування западин і виступів (рис. 4.1, а), характер яких змінюється з часом при відповідній відносній швидкості руху $v_{\text{відн}}$ елементів сполучення "гільза циліндра – поршневе кільце" (рис. 4.1, б).

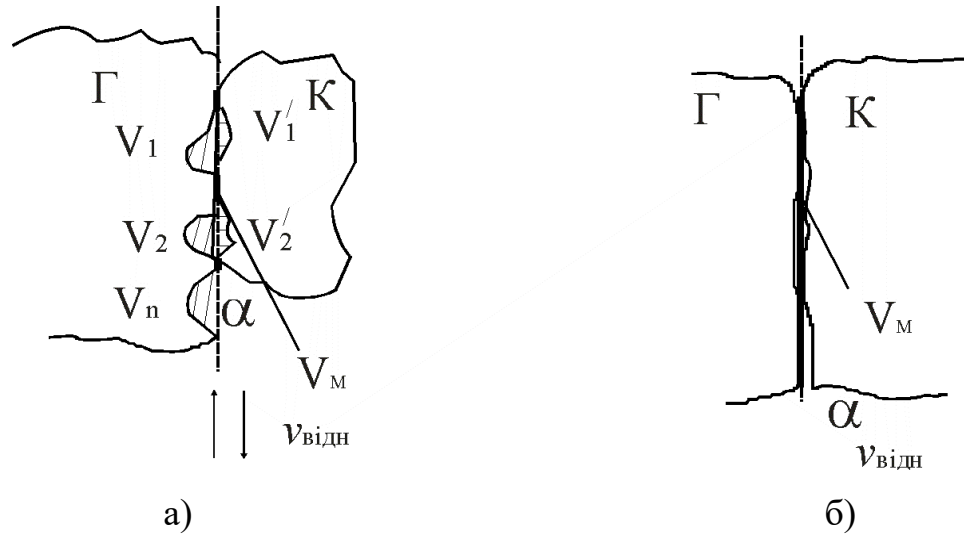


Рисунок 4.1 – Схема сполучення "гільза циліндра – поршневе кільце" як трибосистема $\Gamma\alpha K$

Γ – гільза циліндра, K – поршневе кільце та α – шар масла в початковий момент (а) та в момент припрацювання (б).

Для певного моменту часу сума усіх мікрооб'ємів нерівностей для гільзи циліндра V_Γ і кільця V_K відповідно дорівнюють:

$$V_\Gamma = \sum_{i=1}^n V_i(t); \quad V_K = \sum_{i=1}^m V'_i(t), \quad (4.1)$$

де $V_i(t)$ – об'єм i -ої мікронерівності поверхні гільзи циліндра у певний момент часу t ;

$V'_i(t)$ – відповідно об'єм i -ої мікронерівності поверхні поршневого кільця.

Підсистеми V_Γ і V_K заповнені компонентами робочої рідини разом із продуктами зношування, а також розчиненими в них повітрям і газами. За рахунок механічного і теплового руйнування в результаті мікроконтактного схоплювання й локального підвищення температури та за рахунок окислювального руйнування в результаті взаємодії поверхнево-активних речовин композиційного масла й кисню розчиненого повітря спостерігаються суттєві зміни мікрогеометрії робочої поверхні. Ці зміни можуть суттєво ініціюватися і при протіканні електромагнітних явищ в межах трибосистеми.

Систему $\Gamma\alpha K$ можна розглядати як багатофазну: перша фаза – матеріал гільзи; друга – композиційне мастильне середовище з частками зносу; третя фаза – матеріал кільця. Відповідно до цього в системі $\Gamma\alpha K$ (рис. 4.1) в будь-

який момент часу можна виділити наступні об'єми: V_I – об'єм зазору між гільзою й поршневим кільцем; V_{II} – об'єм масляної плівки на робочій поверхні гільзи; V_{III} – об'єм перехідної зони.

Під час руху кільця в місцях щільного дотику його з гільзою масляна плівка може перериватися. Мастильне середовище, в залежності від напрямку руху поршневого кільця, може переходити з одного об'єму в інший через вузькі щілини мікроповерхонь деталей, що припрацьовуються.

Об'єми V_I і V_{III} змінюються в залежності від тривалості припрацювання. Об'єм V_{III} значно менший об'ємів V_I і V_{II} . Об'єм V_I складається з $V_G + V_K$ і V_M , де V_M – об'єм масла між гільзою й кільцем.

Розглянемо динаміку змін зазначених об'ємів на якісному рівні з урахуванням фізики процесів формування мікрогеометрії поверхонь деталей сполучень в системі $Г\alpha K$ (рис. 4.2) в середовищі базового масла (1), композиційного масла з реалізацією ТХП (2) та композиційного масла з реалізацією ЕТХП.

З характеру кривих можна бачити, що початковий період припрацювання сума $V_G + V_K$ має максимальне значення, а з плином часу вона буде зменшуватися, в той час як загальний об'єм V_I зі збільшенням тривалості припрацювання буде збільшуватися. Збільшується і об'єм масла між гільзою циліндра і поршневим кільцем завдяки зміні об'єму мікронерівностей.

В кінці припрацювання ці об'єми прямують до постійних значень, що свідчить про завершення формування поверхні, а отже про закінчення періоду припрацювання.

Крім цього можна бачити більшу ефективність процесів припрацювання сполучених поверхонь деталей в композиційному маслі при реалізації ЕТХП, тобто зменшення його тривалості ($t_{пр1} < t_{пр2} < t_{пр3}$) і покращення якості у порівнянні з припрацюванням в середовищі композиційного масла з реалізацією ТХП, а також в середовищі базового масла.

Розглянемо більш детально процес формування шару міді на поверхнях тертя трибосистеми "гільза циліндра – поршневе кільце" при електротрибохімічному методі припрацювання із застосуванням органічної присадки до базового масла – гліцерату міді.

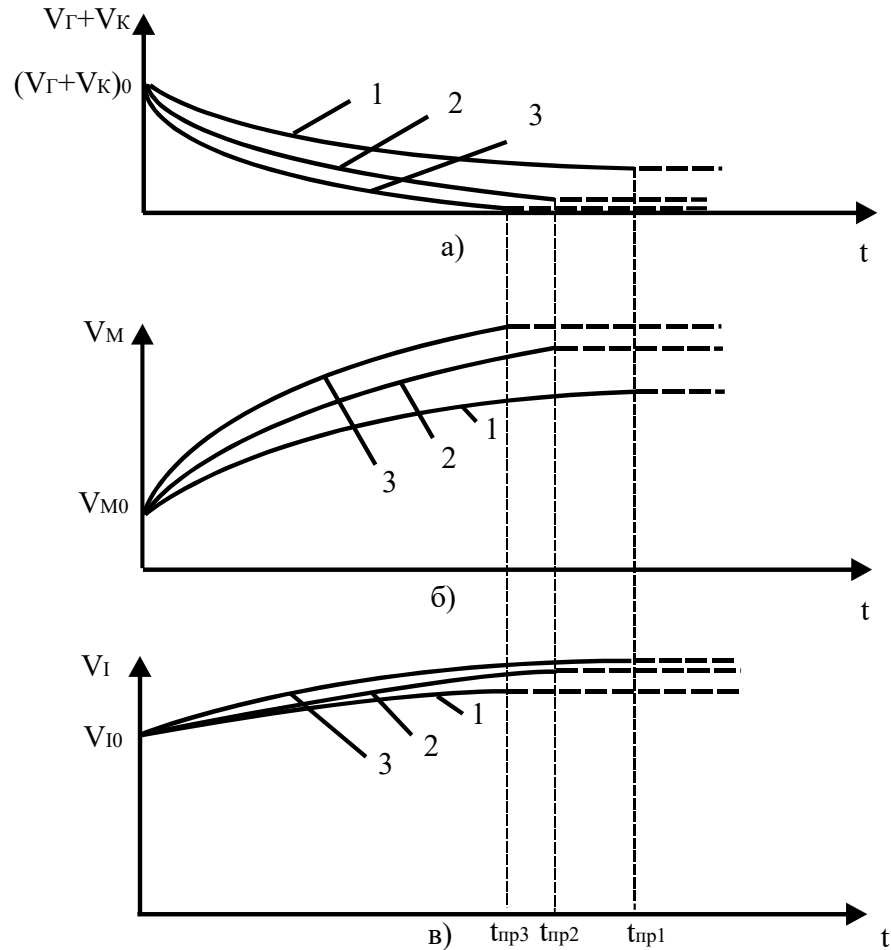


Рисунок 4.2 – Схема динаміки зміни об'ємів в системі $\Gamma\alpha K$ в залежності від тривалості припрацювання

а) об'єм мікронерівностей на поверхні циліндра і поршневого кільця; б) об'єм масла між гільзою циліндра і поршневим кільцем; в) загальний об'єм ($V_{\Gamma} + V_{K}$)₀, V_{M0} , V_{I0} – початкові значення об'ємів мікронерівностей на поверхні циліндра і кільця, масла, загального.

При взаємодії елементів трибосистеми в процесі зносу відбувається руйнування мікронерівностей (рис. 4.3, а-б), змінюється шорсткість поверхні (рис. 4.3, в).

Робота сил тертя спрямована на деформування поверхневих шарів сполучених деталей і виділення теплової енергії. Температура в трибосистемі досягає величини 473...493 К.

Виділена тепла енергія спричиняє розпад гліцерату міді $Cu_3(C_3H_5O_3)_2$ на іони міді Cu^{++} та активні радикали гліцерату $(C_3H_5O_3)^{3-}$ (рис. 4.4).

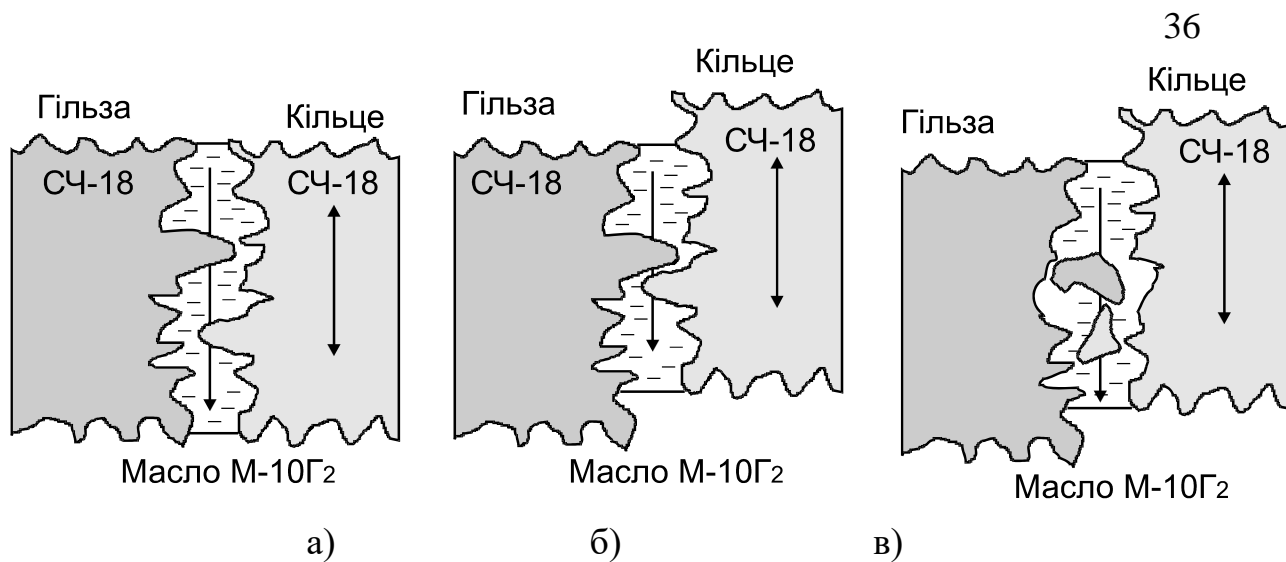


Рисунок 4.3 – Характер механічної взаємодії поверхонь тертя в трибосистемі "гільза циліндра – поршневе кільце"

а – вихідний стан; б – процес руйнування мікронерівностей; в – процес зміни шорсткості поверхонь.

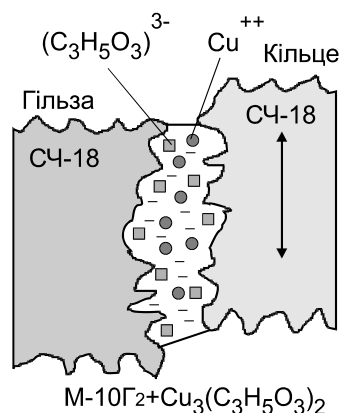


Рисунок 4.4 – Характер трибохімічної взаємодії поверхонь тертя в системі "гільза циліндра – М-10Г₂+Cu₃(C₃H₅O₃)₂ – поршневе кільце"

Активні радикали гліцерату $(C_3H_5O_3)^{3-}$ адсорбуються поверхнею (рис. 4.5, а), утворюючи гліцерат заліза $Fe_3(C_3H_5O_3)_2$, (рис. 4.5, б). Слід зазначити, що ця сполука має низький опір зсуву і обумовлює прискорення процесу припрацювання робочих поверхонь (рис. 4.5, в).

Одночасно із зазначеним процесом відбувається виділення іонів міді Cu^{++} при реалізації трибохімічної реакції розпаду гліцерату міді (рис. 4.4), а також плакування на поверхнях тертя вільної міді Cu^0 , що сприяє зниженню коефіцієнта тертя, утворенню захисного шару, тобто мідь виконує роль твердого мастила.

Цей процес можна прискорити як внутрішнім так і зовнішнім електричними полями.

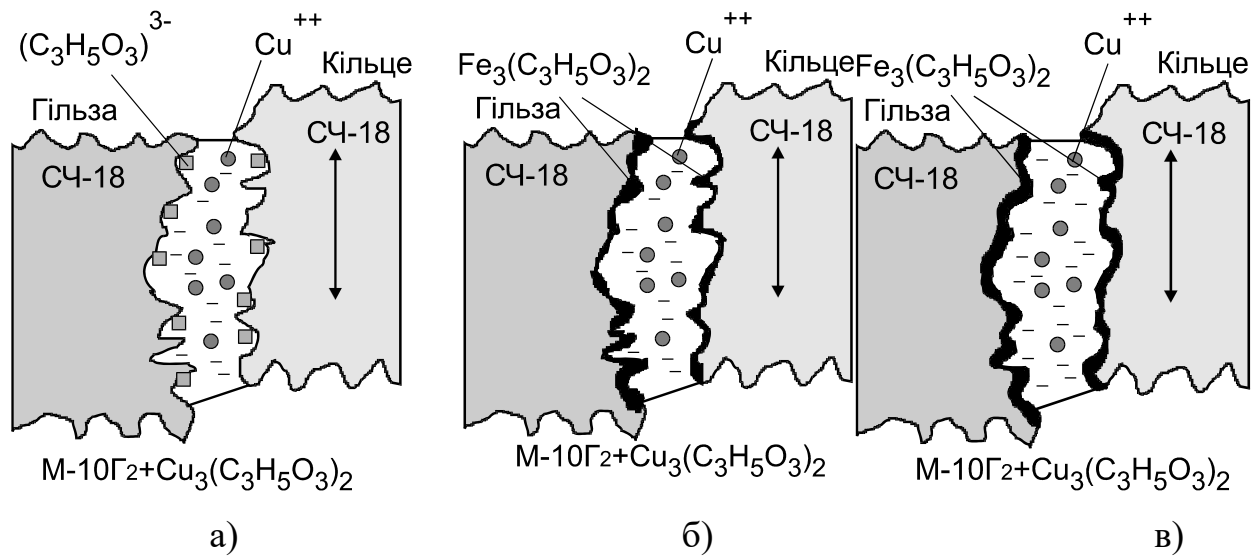


Рисунок 4.5 – Трибохімічна взаємодія поверхонь тертя

а – адсорбування активних радикалів гліцерату; б – утворення гліцерату заліза; в – процес припрацювання поверхонь.

Відомо, що у зоні контакту сполучених деталей генерується слабе електричне поле, яке є наслідком термоелектронного процесу, але його напруженість незначна – $10^{-4} \dots 10^{-2}$ В/м. Для активації і локального спрямування процесів відкладення міді в даній трибосистемі використовується зовнішнє електричне поле постійного струму з такими параметрами: $I = 0,5 \dots 5,0$ А; $U = 0,4 \dots 1,2$ В. Від'ємний потенціал подано на гільзу циліндра, а додатній на поршневе кільце (рис. 4.6).

Крім зазначених процесів, спостерігається дифузія міді вглиб кристалічної решітки заліза, яка забезпечує створення зносостійкого інтерметалевого сполучення FeCu в зонах контакту, що суттєво підвищує адгезійні властивості покриття.

Наведені процеси можна звести до загальної схеми механізму формування металоплакуючих покриттів на робочих поверхнях сполучених деталей при реалізації електротрибохімічного процесу (рис. 4.7).

Таким чином, процеси формування покриттів плакованого металу на робочих поверхнях сполучених деталях ЦПГ приводять до прискорення згладжування мікронерівностей і до оптимальної мікрогеометрії поверхонь. Це суттєво буде впливати на динаміку зміни об'ємів мікронерівностей поверхонь

тертя гільзи V_G , поршневого кільця V_K і масла V_M в сполученні, а також їхнього загального об'єму.

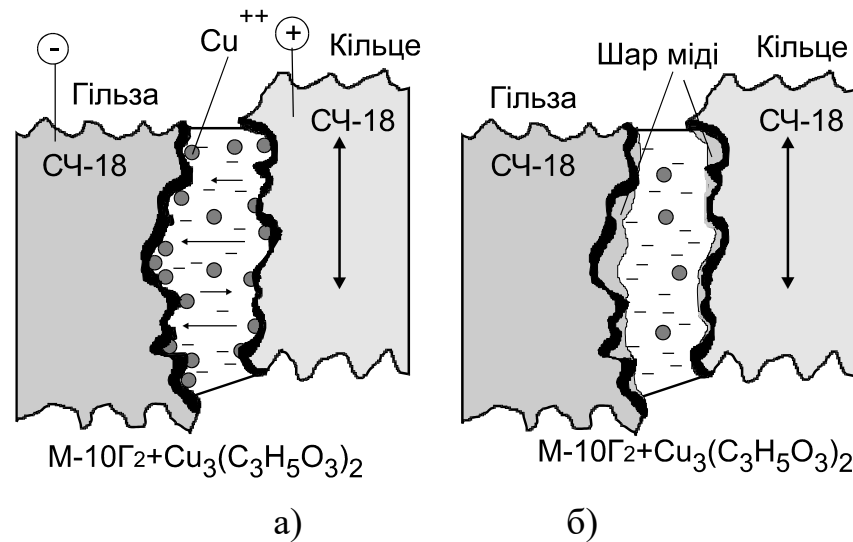


Рисунок 4.6 – Схема процесу формування шару міді (а) та оптимальної мікрогеометрії поверхонь тертя (б) сполучених деталей трибосистеми "гільза циліндра – поршневе кільце"

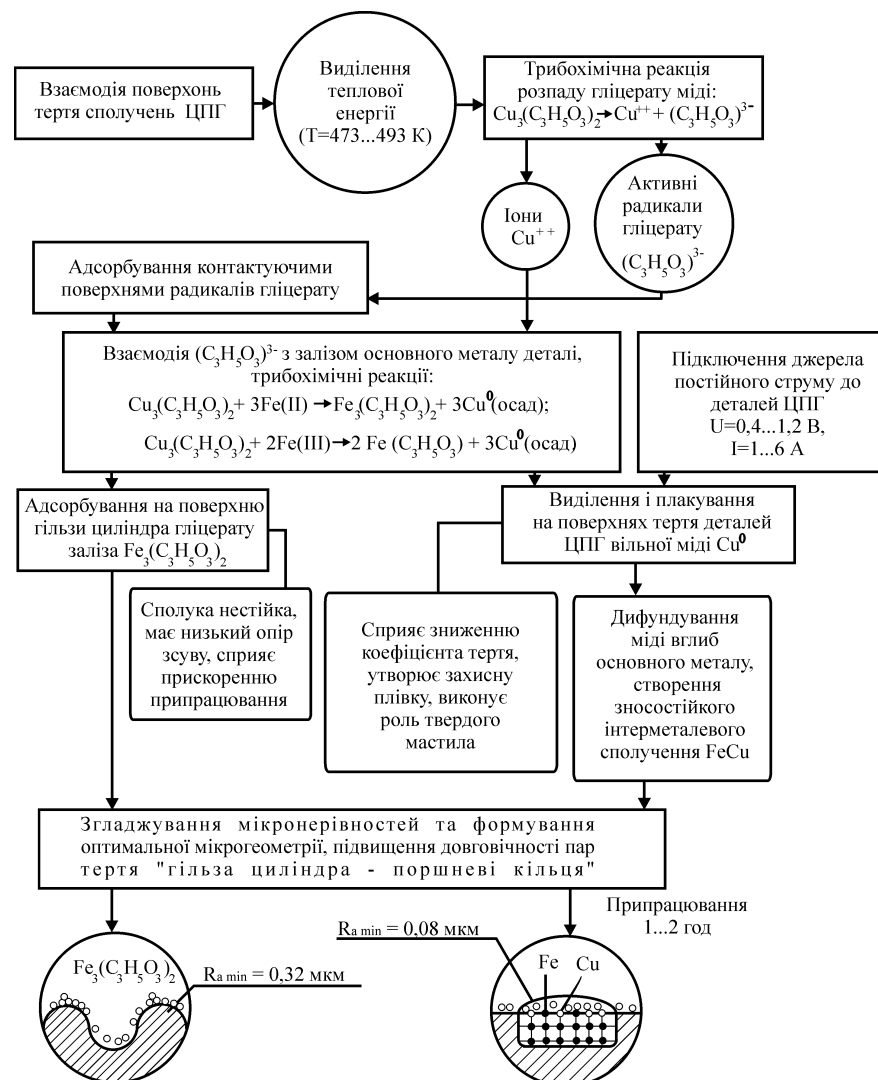


Рисунок 4.7 – Схема механізму формування покриття при ЕТХП

4.2 Енергостабілізація системи "гільза циліндра – поршневе кільце" подачею постійного електричного струму

Щоб керувати процесами в системі $\Gamma\alpha K$ при терті і зношуванні необхідно мати дані про механізм взаємодії масла з вихідною металевою поверхнею деталей. Численними дослідженнями показано, що процеси, відбуваються в результаті взаємодії елементів трибосистеми на атомно-молекулярному рівні як електромагнітної взаємодії заряджених частинок (іонів, електронів, активних радикалів) та електричних і магнітних полів.

Для визначення якісних і кількісних характеристик взаємодії композиційного масла з поверхнями тертя деталей ЦПГ, крім загальних положень електромагнетизму, необхідно знати фізико-хімічні характеристики масла і поверхонь тертя та здійснити, користуючись термінологією І.А. Кравця, процес електрохімічної енергорепарації певним способом. В даній дисертаційній роботі енергорепарація здійснюється подачею постійного електричного струму на сполучення зразків чи деталей.

Це дає можливість прискорити рух заряджених частинок (передусім іонів міді) в об'ємі масляного шару та спрямувати їх на відновлювану поверхню тертя. Крім цього змінюючи напругу і щільність струму або силу струму можна керувати силою, що діє на іони плакуючого металу, а також напрямом і швидкістю їх руху. Як показують експериментальні дослідження й теоретичні оцінки для здійснення цього впливу достатньо невеликі значення електричних характеристик: напруга – 0,4...1,2 В; сила струму – 0,5...5,0 А.

Відновлення поверхонь тертя хімічними елементами і функціональними групами, з яких складається композиційне масло, здійснюється в зоні тертя завдяки і дії електричного поля.

Енергетичні ефекти тертя постійно супроводжуються змінами параметрів внутрішніх і зовнішніх електричних полів. Стан елементів трибосистеми, що є відкритою термодинамічною системою, є основою автоматичного керування із зворотним зв'язком електрохімічними та трибохімічними реакціями відновлення деталей в процесі зношування з використанням речовини і енергії від зовнішніх джерел.

Енергостабілізацію трибосистем "гільза циліндра – поршневе кільце" з накладеним електричним полем постійного струму здійснюють іони міді, які утворюються в процесі протікання трибохімічних реакцій в композиційному маслі і взаємодіють з поверхнями тертя деталей.

Як було зазначено, на іони міді при русі їх в масляному шарі діє цілий комплекс сил, у тому числі і електричних. Рух іонів металу в масляному шарі товщиною h і при різниці потенціалів $\Delta\varphi$ буде здійснюватися переважно під впливом градієнту потенціалу величиною $\Delta\varphi/h$, тобто наявна електрична сила:

$$F_e = -ze\Delta\varphi/h, \quad (4.2)$$

де $\Delta\varphi = \varphi_K - \varphi_T$ – різниця потенціалів між поверхнями гільзи циліндра і поршневого кільця;

ze – заряд іону металу.

В залежності від знаку $\Delta\varphi$, можна регулювати потоком іонів міді на кільце чи на гільзу.

Але рух іонів металу гальмується силою опору мастильного середовища, тобто швидкість іону залежить від напруженості електричного поля і в'язкості масла.

В стані врівноваженого руху швидкість іонів є усталеною швидкістю дрейфу:

$$6\pi r\eta V_{el} = ze \frac{U}{h}. \quad (4.3)$$

Звідки величину швидкості дрейфу можна оцінити за виразом:

$$V_{el} = \frac{ze}{6\pi r\eta} \frac{U}{h}, \quad (4.4)$$

де r – радіус іона плакуючого металу;

η – динамічна в'язкість масла;

U – електрична напруга.

У переважній більшості трибосполучень деталей ЦПГ спостерігається граничне тертя, яке забезпечує товщина плівки масла процесу 0,01...1,0 мкм. Величина напруги, що має місце в електричних ланцюгах автотракторного

електроустаткування знаходиться в межах 1,0...12,5 В. Цей діапазон напруг є сприйнятним для реалізації ЕТХП.

Сила опору переміщенню потоку іонів металу в свою чергу складається з двох доданків: опору тиску R і опору тертю T :

$$R = CS \frac{\rho V_{ycm}^2}{2} ; \quad (4.5)$$

$$T = B\eta V_{ycm} L, \quad (4.6)$$

де C – коефіцієнт опору;

S – площа найбільшого перерізу масляної плівки, перпендикулярно напрямку руху;

ρ – густина рідини;

V_{ycm} – відносна швидкість руху іона по відношенню до рідини;

B – безрозмірний коефіцієнт;

L – характерний розмір контакту.

При дуже малих швидкостях руху іонів сила опору тертю, що пропорційна швидкості в першому степені, буде значно більше сили опору тиску, яка пропорційна квадрату швидкості руху іонів. Звісно, що при великих швидкостях справедливо зворотне співвідношення.

З метою конкретної визначеності в цьому питанні в роботі вводиться спеціальний критерій:

$$\frac{R}{T} = \frac{C}{2B} \cdot \frac{\rho \cdot V_{ycm}^2 \cdot S}{\eta \cdot V_{ycm} \cdot L} = \frac{\rho \cdot V_{ycm} \cdot L}{\eta} = Re, \quad (4.7)$$

де Re – число Рейнольдса.

Характерним є те, що при $Re < 1$, можна знехтувати силами тиску і враховувати тільки сили тертя. При великих значеннях числа Рейнольдса Re слід враховувати тільки сили тиску, відкидаючи сили тертя. В нашому випадку $Re \ll 1$.

Для певного проміжку часу рівняння динаміки руху іонів металу в масляному шарі трибосистеми дає можливість отримати вираз для його усталеної швидкості:

$$V_{уст} = \frac{g \left(m - \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho_m \right)}{6\pi\eta r}, \quad (4.8)$$

де m – маса іону плакуючого металу; r – його радіус; ρ_m , η – відповідно густина та динамічна в'язкість композиційного масла; $g=9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

Знаючи характеристики іона металу і масляного середовища, за виразом (4.8) можна оцінити усталену швидкість руху іону.

Коли розділені шаром масла сполучені деталі при терті ковзання переміщуються одна відносно іншої, молекули масла здійснюють складний рух. Іони металів, що знаходяться в маслі, переміщуються разом з шаром масла.

З урахуванням витрат масла можна прийняти, що через зазори в сполученнях двигуна СМД протікає приблизно 60 л/хв. масла, тобто середня швидкість масла дорівнює 500 мкм/с.

Результуючу швидкість V_p руху іонів металу від дії електричного поля струму і подачі масла до поверхонь тертя можна оцінити врахувавши вплив електромагнітного поля на характер руху іонів міді в шарі масла, товщина якого забезпечує нормальну роботу сполучених деталей.

Рух іонів міді, обумовлений електричним полем струму, направлений перпендикулярно до поверхонь тертя сполучення "гільза циліндра – поршневе кільце", а подачею масла до поверхонь тертя (перебіг Пуазейля) – вздовж дотичної. Тобто, результуюча швидкість двох взаємно перпендикулярних складових рухів дорівнює:

$$V_p = \sqrt{V_{под}^2 + V_{ел}^2}, \quad (4.9)$$

де $V_{под}$ – швидкість подачі масла;

$V_{ел}$ – швидкість іонів металу спричинене електричним полем.

При наявності магнітного поля індукції B на іон металу діє сила Лоренца, яка змінює траєкторію його руху. При цьому радіус кривизни дорівнює:

$$r_{mp} = \frac{p_{іон}}{q \cdot B} = \frac{20\pi m V_p h}{q \mu_0 I_{ел}}, \quad (4.10)$$

де $p_{іон} = m \cdot V_p$ – імпульс іона металу;

μ, μ_0 – магнітна проникність масла та магнітна сила ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\Gamma_{\text{H}}}{\text{м}}$).

Аналізуючи вирази (4.4), (4.9) та (4.10) можна виявити ефективність зміни руху іонів металу при їх доставці на відновлювану поверхню деталей сполучення розділених шаром масла товщиною h :

– якщо діаметр $2r_{mp}$ траєкторії буде більше товщини шару масла ($2r_{mp} > h$), то рухомий іон негайно досягне поверхні;

– якщо ж $2r_{mp} < h$, то іон рухатиметься у напрямі результуючої швидкості і практично виключається можливість керування його доставкою на поверхню деталі.

Зазначимо, що зменшуючи напругу в електричному колі і швидкість подачі потоку масла можна зменшити радіус руху іона. Але зменшення напруги в ланцюгу електричного струму можливо тільки в певних межах, оскільки напруга, або різниця потенціалів, повинні бути не нижчими за електрохімічний потенціал відновлюваних металів. В протилежних випадках осадження металів на деталі з композиційного масла не відбувається.

Як показують оцінки, проведені в роботі, у випадку товщини шару масла рівного подвоєній величині Ларморова радіусу ($h=2r_L$) спостерігається рух іона металу при напрузі порядку 1 вольт. В цьому випадку індукція магнітного поля дорівнює:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I_{el}}{20\pi h} = \frac{\mu\mu_0 I_{el}}{40\pi r_L}, \quad (4.11)$$

де I_{el} – сила електричного струму, що подається на сполучення деталей.

Врахувавши (4.10) у виразі (4.11) та знаючи масу, заряд і швидкість іону металу в шарі масла, можна оцінити необхідну силу струму:

$$I_{el} = \frac{40\pi m V_p}{\mu\mu_0 z e}. \quad (4.12)$$

4.3 Характер та величина спрацювання сполучень деталей ЦПГ при використанні присадок в маслі

На практиці більший інтерес викликають металовмісні присадки. Це пов'язано з тим, що відновлення поверхонь тертя деталей машин, що зношуються, передбачається здійснювати іонами металів, певним чином введених в масло, у тому числі і з металовмісними присадками.

Використовуючи масло як рідкий електроліт, передбачається підтримувати в ньому необхідну концентрацію іонів металу. Це дасть можливість запобігти спрацюванню металовмісних присадок і тим самим збільшити термін служби масла.

Таким чином, аналізуючи дані загальної характеристики масел з погляду електропровідності, можна зробити висновок про те, що до числа полярних груп, які входять як до складу молекул вуглеводнів, так і їх похідних масел, є основними складовими, і які можуть бути передумовою для пояснення електропровідності масел відносно перш за все карбоксильної групи COOH , а також гідроксильної групи OH , і карбонільної групи CO . Ці групи містять атоми вуглецю, водню і кисню. Крім того, якщо у вуглеводневих групах містяться атоми сірки, азоту і деяких інших хімічних елементів, то молекули складових масла з такими групами також проявляють полярну активність. На відміну від полярних метиленових (CH_2) і метильних (CH_3) вуглеводневі групи полярно інертні і їх дипольний момент дорівнює нулю.

У складному поєднанні фізико-хімічних явищ насичення поверхні металу полярними молекулами масла і завдяки їх здатності до орієнтованої адсорбції і утворення міцних граничних шарів, що приводять до рівноваги або насичення мономолекулярного шару, процес змочування стає стаціонарним.

Теоретичне обґрунтування впливу процесу змочування поверхонь тертя маслом на основі експериментальних даних проведені в роботі дає можливість диференційовано підійти до питання взаємодії масла з поверхнею металу і зробити наступний висновок: крайовий кут змочування обернено пропорційний кінематичній в'язкості масла, тривалості його розтікання по поверхні твердого тіла, а також тривалості роботи масла в двигуні.

Багаточисельні експериментальні дані з використанням присадок свідчать проте що для зменшення зношуванню створюють захисні металеві (мідні) покриття на поверхнях тертя.

Виявлено також, що в області малих концентрацій присадок подавлення процесу спрацювання превалює над його ініціюванням. Це пояснюється тим, що утворення хімічно-активних й адсорбційно-активних речовин, що сприяють адсорбційному диспергуванню та протіканню інших процесів, намагається протидіяти руйнуванню робочих поверхонь основних трибосполучень двигуна.

В області малих концентрацій присадок c в маслі залежність інтенсивності зношування I_1 від концентрації присадки можна описати диференціальним рівнянням:

$$\frac{dI_1}{dc} = -K_1 I_1, \quad (4.13)$$

де I_1 – інтенсивність зношування матеріалу в маслі з присадкою; c – концентрація присадок; K_1 – коефіцієнт, що характеризує швидкість подавлення процесу зношування, який визначається емпіричним шляхом.

Проінтегрувавши праву і ліву частини рівняння (4.13), враховуючи початкові умови: при $t = 0$; $I = I_0$; $c = 0$, маємо:

$$I_1 = I_0 \exp(-K_1 c), \quad (4.14)$$

де I_0 – інтенсивність зношування матеріалів в маслі без присадок.

В області концентрацій присадки, що перевищують оптимальні значення, реалізуються переважно фізико-хімічні процеси, що приводять до ініціювання подальшого процесу зношування. В цьому випадку залежність інтенсивності зношування I_2 від концентрації присадки можна описати диференціальним рівнянням:

$$\frac{dI_2}{dc} = \frac{K_2 I_2}{c}. \quad (4.15)$$

де K_2 – коефіцієнт, що характеризує швидкість ініціювання спрацювання робочих поверхонь трибосистеми і визначається експериментально.

Проінтегрувавши рівняння (4.15), і врахувавши початкові умови, маємо:

$$\int_B^{I_2} \frac{dI_2}{I_2} = K_2 \int_0^c \frac{dc}{c},$$

або остаточно:

$$I_2 = Bc^{K_2}, \quad (4.16)$$

де $B=I_{02}$ – початкова інтенсивність зношування, що характеризує реакційну здатність середовища до матеріалів поверхонь тертя.

Оскільки обидва процеси мають місце при будь-яких концентраціях присадки, то враховуючи (4.15) і (4.16), залежність інтенсивності зношування від концентрації присадки можна описати сумою розв'язків диференціальних рівнянь (4.13) і (4.15):

$$I = I_{01} \exp(-K_1c) - Bc^{K_2}. \quad (4.17)$$

В умовах врівноваженості зазначених процесів, маємо:

$$I_{01} \exp(-K_1c) = Bc^{K_2}. \quad (4.18)$$

Умова (4.18) свідчить про те, що процеси спрацювання робочої поверхні компенсуються процесами її реновації (відновлення). Це дає можливість визначити оптимальну концентрацію присадки.

Для цього прологарифмуємо рівність (4.18):

$$\ln(\exp(-K_1c)) = \ln\left(\frac{B}{I_{01}} c^{K_2}\right).$$

Після деяких перетворень, маємо:

$$-K_1c = \ln \frac{B}{I_{01}} + K_2 \ln c. \quad (4.19)$$

Для отримання аналітичного виразу концентрації присадки, введемо заміну $c = 1 - c_x$, де c_x вважаємо змінною величиною. Тоді рівняння (4.19) набуває вигляду:

$$-K_1(1 - c_x) = \ln \frac{B}{I_{01}} + K_2 \ln(1 - c_x). \quad (4.20)$$

Розкладемо функцію $\ln(1 - c_x)$ в ряд і візьмемо в ньому перші два його доданки, а потім врахувавши це в рівнянні (4.20), маємо наступне:

$$-K_1(1 - c_x) = \ln \frac{B}{I_{01}} + K_2 \left(1 - c + \frac{(1 - c)^2}{2}\right). \quad (4.21)$$

Після деяких перетворень і переходу до змінної c рівняння (4.21) набуває вигляду:

$$K_1 c = -\ln \frac{B}{I_{01}} + \frac{K_2}{2} (c^3 - 4c + 3), \quad (4.22)$$

Зазначимо, що в рівнянні (4.22) величини K_1 , K_2 , I_{01} , і B є сталими і такими, що можна визначити із експерименту. Після деяких перетворень це рівняння трансформується в квадратне рівняння відносно концентрації присадки:

$$K_2 c^2 - (4K_2 + K_1)c + \left(3K_2 - 2\ln \frac{B}{I_{01}}\right) = 0. \quad (4.23)$$

Розв'язавши рівняння (4.23), одержимо оптимальне значення концентрації присадки в маслі, з урахуванням процесів в трибосистемі:

$$c = \frac{b - (b^2 - 4K_2 d)^{\frac{1}{2}}}{2K_2}, \quad (4.24)$$

$$\text{де} \quad b = 4K_2 + K_1; \quad d = 3K_2 - 2\ln \frac{B}{I_{01}}. \quad (4.25)$$

Зауважимо, що вираз (4.24) має зміст при умові:

$$b \geq 2\sqrt{K_2 d}. \quad (4.26)$$

4.4 Вплив електротрибохімічного методу на тривалість обкатки та довговічність двигуна

Згідно рекомендацій, даних в роботах, подачу електричного струму здійснюють таким чином: на колінчастий вал подається плюсова полярність, а на гільзи циліндрів мінусова.

При цьому сумарне спрацювання трибопари "гільза-поршневе кільце" дорівнює:

$$u(t) = u_{\text{тр}}(t) + u_{\text{ел}}(t), \quad (4.27)$$

де $u_{\text{тр}}(t)$ – спрацювання, пов'язане з тертям;

$u_{\text{ел}}(t)$ – спрацювання, при прикладанні зовнішнім електричним полем.

Для трибопари "гільза циліндра – поршневе кільце":

$$u_{\text{ел}}(t) = u_{\text{ел.Г}}(t) + u_{\text{ел.К}}(t), \quad (4.28)$$

де $u_{\text{ел.Г}}$, $u_{\text{ел.К}}$ – відповідно знос гільзи циліндрів та поршневого кільця в результаті додаткової подачі струму, мкм.

Зазор між гільзою циліндрів і поршневим кільцем δ з плином часу зростає, забезпечуючи певну товщину шару масла:

$$\delta = u_{\text{ел.Г}}(t) + u_{\text{ел.К}}(t). \quad (4.29)$$

При збільшенні прошарку масла зміна електричного опору R між гільзою і поршневим кільцем згідно роботи описується виразом:

$$R = R_0 + K_R t, \quad (4.30)$$

де R_0 – опір на ділянці "гільза циліндра – поршневе кільце" в початковий момент часу;

K_R – коефіцієнт швидкості спрацювання поршневих кілець;

$$K_R = K_{\text{зм}} \rho_M v_K / S, \quad (4.31),$$

де $K_{\text{зм}}$ – коефіцієнт пропорційності, залежний від умов змащування;

ρ_M – питома електропровідність мастила;

v_K – швидкість переміщення поршневого кільця;

S – площа робочої поверхні кілець:

$$S = \pi D n_i h, \quad (4.32)$$

де D – діаметр гільзи;

n_i – число поршневих кілець;

h – висота поршневого кільця.

Враховуючи (4.50) у виразі (4.49), маємо:

$$K_R = \frac{K_{\text{зм}} \rho_M v_K}{\pi D n_i h}, \quad (4.33)$$

Можна бачити, що опір електричного контакту є складною функцією таких параметрів як питомий опір матеріалів, контактний тиск, шорсткість і т.д.

Сучасні дизельні двигуни мають на поршні від 2 до 5 кілець. Кожне кільце зменшує опір пари "гільза циліндра – поршень". Якщо поршень має три компресійні кільця і два маслосборні, опір пари "гільза циліндра – поршневе кільце" розглядати як систему паралельно включених в коло кожного з опорів.

Аналіз стану шорсткості і зносу за період припрацювання деталей показує їх стабільність. Це забезпечує отримання техніко-економічних параметрів дизеля у відповідності з технічними вимогами. За період обкатки стабілізується також, такі параметри як потужність механічних втрат, опір в колі "колінчастий вал – блок " та ін.

Найбільш поширеною функцією зв'язку величини спрацювання зазначених робочих поверхонь із напрацюванням агрегату чи машини є функція виду:

$$u = K_p \cdot t^\alpha, \quad (4.34)$$

де K_p – коефіцієнт, що залежить від режиму роботи сполучення деталі;

t – термін напрацювання;

α – показник зміни інтенсивності спрацювання сполучення, який визначається з експерименту.

На різних етапах роботи двигуна (обкатування чи усталений режим) інтенсивність зносу сполучених деталей буде різною. Суттєвий вплив на інтенсивність зносу здійснює мастильне середовище і, особливо, композиційні масла, які є своєрідним автокомпенсаторами процесу зношування.

Тоді за цей проміжок часу маса міді в ньому зменшиться на величину:

$$\frac{m(t)}{V_M} \cdot \frac{1}{\rho_M} I \Delta t = -\Delta m, \quad (4.35)$$

де ρ_M – густина міді;

I – інтенсивність зношування робочої поверхні сполучених тіл.

Якщо перейти до граничного випадку ($\Delta t \rightarrow 0$), отримаємо диференціальне рівняння:

$$\frac{m(t)}{V_M \cdot \rho_M} I dt = -dm, \quad (4.36)$$

Розв'язуємо це рівняння для режиму усталеної інтенсивності зношування:

$$\int_{m_0}^m \frac{dm}{m} = - \int_0^t \frac{I}{V_M \rho_M} dt,$$

і остаточно маємо:

$$\ln \frac{m}{m_0} = -\frac{I}{V_M \rho_M} t,$$

або

$$m(t) = m_0 \exp\left(-\frac{I}{V_M \rho_M} t\right). \quad (4.37)$$

Аналізуючи залежність (4.37) можна бачити, що композиційне масло доцільно використати взамін моторних масел на стадії обкатування двигунів, коли необхідно за короткий проміжок часу сформувати оптимальну мікрогеометрію поверхонь тертя – при мінімальному зносі й забезпеченні підвищеного ресурсу в умовах експлуатації за рахунок нанесення протизносних шарів з антифрикційного матеріалу в процесі обкатки.

У випадку застосування композиційного масла при обкатці двигунів швидкість зносу, яка визначена за виразом (4.34), становиться меншою на величину прямопропорційну зміні масі присадки. При цьому процес описується рівнянням:

$$\frac{du}{dt} = \alpha k t^{\alpha-1} - k m(t), \quad (4.38)$$

де $k=K_p$ – коефіцієнт, що характеризує режим зношування при ЕТХП.

Перший доданок правої частини рівняння (4.38) характеризує швидкість зносу деталей двигуна при використанні базового масла, а другий доданок характеризує зворотній процес – відкладення міді на поверхні зношування.

Якщо проінтегрувати рівняння (4.38) з урахуванням виразу (4.37), будемо мати наступний розв'язок:

$$u(t) = \int_0^t \alpha k t^{\alpha-1} dt - \int_0^t k m_0 \exp\left(-\frac{I}{V_M \rho_M} t\right) dt = k t^\alpha - \frac{k m_0}{\frac{I}{V_M \rho_M}} \exp\left(-\frac{I}{V_M \rho_M} t\right).$$

Остаточно маємо:

$$u(t) = k t^\alpha - \frac{k m_0 \rho_M V_M}{I} \exp\left(-\frac{I}{V_M \rho_M} t\right). \quad (4.39)$$

Можна бачити, що підвищення довговічності двигуна в процесі експлуатації досягається за рахунок періодичного нанесення на робочі поверхні антифрикційного металу, що міститься в композиційному маслі.

Зазначимо, що при цьому загальна закономірність зміни зносу деталей в процесі напрацювання суттєво відрізняється від аналітичних залежностей при роботі двигуна без періодичної обробки композиційним маслом.

В загальному випадку закономірність зміни швидкості зношування сполучення після застосування композиційного масла в функції напрацювання можна подати у вигляді:

$$v_0(t) = v(t) - v_1(t), \quad (4.40)$$

де $v(t)$ – функція зміни швидкості зношування без періодичної обробки;

$v_1(t)$ – функція зміни швидкості після проведення обкатки двигуна в композиційному маслі.

Нехай зміна швидкості зношування сполучень двигуна після проведення обкатки описується експоненціальною функцією, тобто:

$$v_1(t) = a_1 \exp(-b_1 t), \quad (4.41)$$

де a_1 – параметр, що характеризує ступінчасту зміну швидкості зношування після проведення обкатки:

$$a_1 = v_n - v_0, \quad (4.42)$$

де v_n , v_0 – відповідно швидкості зношування до і після прискореного обкатування;

b_1 – параметр, що характеризує тривалість збереження нанесеного шару антифрикційного металу.

Враховуючи (4.42), вираз (4.41) набуває вигляду:

$$v_0(t) = v(t) - a_1 \exp(-b_1 t). \quad (4.43)$$

Якщо позначити через $\varepsilon = \frac{v}{v_n}$ – коефіцієнт, що характеризує зміну

швидкості після обробки і врахувати те, що $v(t) = \alpha K_p t^{\alpha-1} = kt^{\alpha-1}$, то маємо:

$$v_0(t) = kt^{\alpha-1} - (v_n - v_0) \exp(-b_1 t).$$

Після деяких перетворень отримаємо:

$$v_0(t) = v_n [kt^{\alpha-1} - (1 - \varepsilon) \exp(-b_1 t)]. \quad (4.44)$$

Приймаючи до уваги те, що під ресурсом сполучення розуміється його напрацювання до досягнення граничного зносу, можна записати:

$$v_{zp} = v_n \left[kt_R^{\alpha-1} - (1 - \varepsilon) \exp(-b_1 t_R) \right]. \quad (4.45)$$

Щоб оцінити ресурс, необхідно розв'язати рівняння (4.45) відносно t_R .

Оскільки розв'язок цього рівняння у явному вигляді не можна отримати, то для визначення величини t_R використовуються чисельні методи.

Для оцінки ресурсу t_R за рівнянням (4.45) можна використати графічний метод, сутність якого полягає в побудові графіків двох виразів y_1 і y_2 та їх перетині. Для цього рівняння (4.45) подаємо у вигляді:

$$v_n (1 - \varepsilon) \exp(-b_1 t_R) = kv_n t_R^{\alpha-1} - v_{zp}. \quad (4.46)$$

Введемо позначення:

$$y_1 = v_n (1 - \varepsilon) \exp(-b_1 t); \quad (4.47)$$

$$y_2 = kv_n t^{\alpha-1} - v_{zp}. \quad (4.48)$$

Для графічної інтерпретації розв'язку (перетину графіків функцій y_1 і y_2) необхідно використати інформацію випробування на зношування.

В зв'язку з тим, що на довговічність сполучень суттєво впливає число обкаток двигуна із застосуванням композиційного мастила за період до досягнення сполученням граничного зносу, доцільно виконати оптимізацію періодичності обкатки.

Розглянемо зміну швидкості зношування сполучення після обкатки:

$$\Delta v = v_n - v_n \varepsilon = v_n (1 - \varepsilon). \quad (4.49)$$

Зміну абсолютного значення швидкості зношування функцію напрацювання можна подати у вигляді:

$$\delta = (1 - \varepsilon) \exp(-b_1 t). \quad (4.50)$$

Звідси видно, що оптимальною буде така періодичність обробки, яка проводиться зразу ж, як швидкість зношування досягне початкового значення. Для цього необхідно розв'язати рівняння (4.68) відносно змінної t :

$$\exp(-b_1 t_{onm}) = \frac{\delta}{1 - \varepsilon},$$

тобто маємо:

$$t_{onm} = -\frac{1}{b_1} \ln \frac{\delta}{1 - \varepsilon} \quad (4.51)$$

Аналіз досліджень, показує, що періодичність обробки сполучень деталей композиційними маслами залежить в основному від трибологічних властивостей нанесених покриттів.

Це означає, що швидкість зношування сполучень досягне свого початкового значення в той момент, коли практично повинно проводитись планове технічне обслуговування трактора чи автомобіля.

В зв'язку з тим, що зносостійкість сполучень залежить від якості нанесення мідного покриття в роботі наведені основні стадії механізму їх утворення із композиційних масел.

Протизносні властивості композиційних масел, визначаються їх здатністю утворювати на поверхнях тертя граничний шар, що перешкоджає безпосередньому контакту поверхонь і зміни розмірів деталей в результаті механічного і хімічного впливів.

Відомо, що ресурс двигуна лімітується довговічністю деталей ЦПГ. Тому необхідно проаналізувати всі відомі діагностичні передумови, що характеризують технічний стан деталей ЦПГ і способи вимірювання с точки зору придатності для встановлення динаміки зношування в період припрацювання. Аналізом, проведеним в роботі встановлено, що для цих цілей найбільш доцільно використовувати такі прилади, які дозволяють проводити оцінку навіть без часткового розбирання двигуна: витрата масла на угар; кількість газів, що прориваються у картер; швидкість надходження продуктів зносу в картерне масло; потужність, що розвивається та питома витрата палива.

Процес зміни технічного стану можна апроксимувати аналітичним виразом:

$$P(t) = P_o + \Delta_p (1 - \exp(-\beta t)) + V_c t^\alpha + z(t), \quad (4.52)$$

де $P(t)$, P_o – відповідно поточне і початкове значення параметру;

Δ_p – випадкова величина, що характеризує ступінь зміни параметру під впливом технологічних факторів;

β – показник, що характеризує вплив на динаміку параметра технологічних факторів;

t – напрацювання;

V_c – випадкова величина, що являє собою середню швидкість зміни параметру від впливом конструктивних факторів;

α – показник ступеня, що характеризує вплив на динаміку параметру конструктивних факторів;

$z(t)$ – випадкова функція, що характеризує зміну параметру під впливом експериментальних факторів.

Коефіцієнти апроксимуючої функції визначають методом найменших квадратів на ЕОМ при обробці інформації про динаміку зміни параметру.

При цьому слід враховувати, що оцінюється відновлений в процесі ремонту ресурс і випробування проводяться в стендових умовах, де вплив зовнішніх факторів зводимо до мінімуму: $z(t)=0$, а значення V_c і α можна взяти середньостатистичними.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Техніка безпеки при обкатці та випробуванні

Загальні вимоги безпеки сформульовані по ГОСТ 12.2.003074. Безпека обладнання заключається в міцності основних та допоміжних елементів, огороження небезпечних зон, раціональних розміщеннях і конструкції органів керування, наявності захисних і сигналізуючих пристроїв.

До нього висуваються такі вимоги:

- конструкція повинна забезпечувати захист людини від враження електричним струмом;
- органи керування повинні бути: їх форма, розміри і поверхні повинні бути безпечними в роботі. Органи розташовують в робочій зоні, розміщують з врахуванням зусиль їхнього переміщення, а також послідовності і частоти використання, мати схеми і надписи, які вказують на функції цих органів;
- органи аварійного виключення повинні бути червоного кольору і мати надписи, які полегшують їх пошук, а також розташовуватись у зручних місцях;
- обладнання повинно відповідати санітарно-гігієнічним вимогам;
- конструкція повинна забезпечувати виключення або зниження до регламентованих рівнів шуму, ультразвуку, інфразвуку і вібрації;
- робоче місце і його елементи повинні забезпечувати безпечність і легкість працюючого;
- матеріали конструкції не повинні бути небезпечними і шкідливими. Робота обладнання не повинна супроводжуватися виділенням в робочу зону шкідливих речовин;
- робоче місце повинно відповідати протипожежним вимогам;
- робоче місце повинно добре освітлюватись.

Однією з причин виникнення пожежі є неправильна експлуатація електроустановки (електродвигуна).

Основними причинами пожежі є: неправильне зберігання палива, масел і т.п.; відсутність приточно-витяжної вентиляції; пристосування електродвигунів в звичайному і пилонепроникному виконанні.

Для успішного погашення пожежі застосовують густопінний вогнегасник ОУ-2, ОУ-5 і ОУ-8, які між собою відрізняються ємністю балонів (2 л, 5 л, 8 л). Час дії вогнегасників складає: ОУ-2 – 30 секунд, ОУ-5 – 50 секунд. Корисна довжина струменя дорівнює: ОУ-2 – 1,5 м і ОУ-8 – 2 м.

До обслуговуванню електроустаткування допускаються особи, які мають відповідні посвідчення. Обслуговуючий персонал електроустаткування повинен бути забезпечений запобіжним пристосуванням і монтерським інструментом з рукоятками, які ізольовані.

Найбільш надійним захистом від ураження електричним струмом є захисне заземлення неструмопровідних металевих частин обладнання, яке може опинитися під напругою.

Заземлення може бути штучним чи природнім. Загальний фактор, обумовлюючий ту чи іншу ступінь враження людини – сила струму. Для характеристики його дії на людину встановлено три критерії:

- пороговий чуттєвий струм – найменше значення струму;
- пороговий невідпускаючий струм – значення струму не дозволяє враженому звільнитися від джерела враження;
- пороговий фібриляційний струм, значення струму, який визиває фібриляцію серця.

Таблиця 5.1 Середнє значення порогового струму

Струм	Значення струму		
	порогового чуттєвого, мА	порогового невідпускаючого, мА	порогового фібриляційного, мА
Змінною частотою 50 Гц	0,5...1,5	6...10	80...100
Сталий	5,0...20	50...80	300

По ГОСТ 12.1.038-82 встановлені гранично допустимі рівні напруги дотику U_{np} для шляхів струму I від однієї руки до іншої і від руки до ніг.

Таблиця 5.2 Гранично допустимі рівні напруги і сили струму

Струм	Значення	
	U_{np} , В не більш	I , мА, не більш
Змінний, 50 Гц	2	0,3
Змінний, 400 Гц	3	0,4
Сталий	8	1

Враження людини електричним струмом може відбутися у випадках:

- дотик неізольованої від землі людини к струмопровідним частинам електроустаткування, які знаходяться під напругою;
- дотик неізольованої від землі людини до металевих частин (корпусам) електрообладнання;
- звільнення іншої людини, яка знаходиться під напругою.

Для захисту робітників від ураження електричним струмом повинні бути заземлені усі металеві частини електрообладнання, які можуть опинитися під напругою у випадку пробією фазного дроту на масу. У якості заземлювання корпусу електродвигуна використовується сталевіа полоса перерізом 20x4 мм. яка прокладаються відкрито і зварена внахлесту.

Один раз на рік перевіряють опір заземлення, який повинно бути не більше 4 Ом, і опір ізоляції дротів, який повинен бути не нижче 500000 Ом (ГОСТ 12.1.030-81).

5.2 Визначення режимів радіаційного захисту особового складу

Оцінка радіаційного захисту особового складу. Режим радіаційного захисту – це порядок дій робітників і службовців, використання ними заходів і засобів захисту в зонах радіоактивного зараження, який включає радіаційні ураження людей більше встановлених доз.

Режими радіаційного захисту передбачають послідовність і тривалість використання особовим складом захисних споруд, житлових і виробничих будинків, перебування на відкритій місцевості з використанням засобів індивідуального захисту.

Режими радіаційного захисту розраховані для використання їх в умовах радіоактивного зараження місцевості внаслідок застосування противником ядерної зброї або при виникненні аварій з викидом радіоактивних речовин на підприємствах, які їх використовують.

Режими захисту опрацьовані для типових за характером забудов населених пунктів у вигляді таблиць. Всього розроблено 8 типових режимів радіаційного захисту:

- режими №1, №2, №3 для непрацюючого населення;
- режими №4, №5, №6, №7 для захисту робітників і службовців ф виробничої діяльності об'єкту;
- режим №8 для захисту сил цивільної оборони при проведенні Р і ІНР в зонах радіоактивного зараження.

Режими захисту розроблені для умов одно або двозмінної роботи підприємства протягом 10...12 годин на добу. При розробці режимів захисту враховувались дози опромінювання за час перебування робітників і службовців у захисних спорудах, виробничих, житлових і адміністративних будинках, а також при пересуванні із місць відпочинку на робочі місця, виходячи з того, що вони не перевищують межі допустимих величин.

Типові режими захисту №1-7 складаються з трьох етапів, які виконуються у суровій послідовності:

- 1 етап – визначає час зупинки роботи об'єкту (термін безпосереднього перебування людей в захисних спорудах);
- 2 етап – визначає тривалість роботи об'єкту з використання для відпочинку робітників і службовців захисних споруд (працюють у цеху – відпочивають у сховищі, або ПРУ);
- 3 етап – визначає тривалість режиму захисту з обмеженим перебуванням людей на відкритій місцевості (не більше 2 годин на добу, працюють в цеху – відпочивають у житлових будинках (дома)).

Виконання встановленого режиму захисту включає радіаційні втрати і не допускає опромінювання людей більше встановлених доз та забезпечує виробничу діяльність об'єкту з мінімальним часом припинення роботи при різних умовах радіоактивного забруднення місцевості.

Для об'єкту, передбаченого в магістерській роботі застосовано типовий режим №6.

Типовий режим №6 радіаційного захисту робітників і службовців об'єкту в умовах радіоактивного зараження місцевості, які мешкають в цегляних будинках з $K_{\text{носл}}=10$ і використовують протирадіаційні укриття з $K_{\text{носл}}=100...200$.

Таблиця 5.3 Вимоги радіаційного захисту робітників і службовців об'єкту в умовах радіоактивного зараження місцевості

Найменування зон	Рівні радіації через 1 год. після ядерного вибуху	Умовне найменування режиму	Загальна тривалість виконання режиму, діб.	Послідовне виконання режиму захисту		
				Термін перебування в ПРУ (робота об'єкту припиняється) год.	Термін роботи об'єкту з використанням для відпочинку ПРУ, діб.	Термін роботи об'єкту з обмеженим перебуванням людей на відкритій місцевості 1...2 год. на добу
А	25	7-А-1	0,1	2	—	0,5
	50	7-А-2	1	3	—	0,9
	80	7-А-3	2	4	—	1,8
Б	100	7-Б-1	3	5	—	2,8
	140	7-Б-2	5	6	—	4,8
	180	7-Б-3	7	7	—	6,6
	240	7-Б-4	9	8	1	8,6

Визначення режиму радіаційного захисту об'єкту.

Вихідні дані:

1) Всього працюючих – 360 чоловік.

Робітники і службовці об'єкту мешкають в цегляних одноповерхових будинках, працюють у виробничих будівлях.

Визначити коефіцієнти послаблення:

2) $K_{\text{посл}} = \text{будинках?}$

3) $K_{\text{посл}} = \text{будівлях?}$

На об'єкті необхідно пристосувати і обладнати незавершену напівпідвальну будівлю.

4) Визначити $K_{\text{посл}} = \text{ховища?}$

5) Визначити рівень радіації на одну годину після викиду (вибуху), об'єкт розташований в зоні Б.

Розв'язок.

За даними таблиць [] визначаємо, що в цегляних одноповерхових будинках $K_{\text{посл}} = 10$, виробничих будівлях $K_{\text{посл}} = 7$.

Коефіцієнт послаблення сховища визначаємо за виразом:

$$K_{\text{посл.сх}} = K_p \prod_{i=1}^n 2^{h_i / d_i},$$

де K_p – коефіцієнт розташування сховища (для вбудованих $K_p = 8$);

n – кількість захисних шарів матеріалів перекриття сховища;

h_i – товщина i -го захисного шару, см ($h_1 = 65$ см; $h_2 = 40$ см);

d_i – товщина шару половинного ослаблення, ($d_1 = 5,7$ см; $d_2 = 8,1$ см).

$$K_{\text{посл.сх}} = 8 \cdot 2^{65/5,7} \cdot 2^{40/8,1} = 25369,76$$

Визначаємо рівень радіації, який буде в сховищі:

$$D_{\text{сх}} = \frac{D_{\text{місц}}}{K_{\text{посл.сх}}},$$

де $D_{\text{місц}}$ – доза випромінювання радіоактивних речовин до повного розпаду в зоні Б.

Визначаємо середню дозу в зоні Б:

$$D_{\text{місц.сеп}} = \frac{1200 + 400}{2} = 800 \text{ Р.}$$

$$D_{\text{сх}} = \frac{D_{\text{місц.сеп}}}{K_{\text{посл.сх}}}.$$

$$D_{\text{сх}} = \frac{800}{25369,76} = 0,031 \text{ Р.}$$

Так як рівень радіації в сховищі практично дорівнює нулю, то коефіцієнт послаблення сховища можна прийняти – 1000.

$K_{\text{носл.сх}}=1000$. Визначаємо за таблицею рівень радіації в зоні Б=240 Р/год.

Застосовуючи $K_{\text{носл.сх}}=1000$ і місце для переходування ($K_{\text{носл}}=10$) визначаємо номер режиму радіаційного захисту – режим №6.

За таблицею 8.1 (колонка 1) визначаємо зону радіоактивного забруднення – зона Б, в колонці 2 знаходимо цифру 240 – рівень радіації через годину після вибуху (викиду). В колонці 3 розміщене умовне найменування режиму (7-Б-4) для доповіді у вищестоящі інстанції органу ЦО, за яким режимом буде працювати підприємство. За колонкою 4 визначаємо загальну кількість режиму захисту – дев'ять діб.

Далі визначаємо послідовність виконання режиму. За колонкою 5 визначаємо що робота підприємства припиняється на 8 годин, особовий склад в цей час знаходиться у сховищах. За колонкою 6 визначаємо тривалість роботи підприємства з використанням для відпочинку непрацюючої зміни захисних споруд ЦО.

Згідно з даними, непрацюючі зміни повинні відпочивати в захисних спорудах одну добу.

Визначаємо тривалість роботи об'єкту з обмеженим перебуванням людей на відкритій місцевості до 1...2 годин на добу: робітники і службовці після зміни перебувають на роботу, а після роботи знову до дому – 8,6 доби.

Після виконання режиму радіаційного захисту (9 діб) підприємство переходить на графік роботи, який діяв до введення режиму радіаційного захисту.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз величини і характеру зношування деталей ЦПГ показав необхідність створення трибологічних методів прискореної обкатки двигунів.

2. Показано, що одним із перспективних методів покращення триботехнічних характеристик деталей ЦПГ дизелів є обкатка з використанням постійного струму.

3. Досліджено процес формування мікрогеометрії поверхонь тертя деталей ЦПГ під впливом електротрибохімічного методу. Проаналізовано тривалість обкатки при ЕТХП. Показано вплив методу на підвищення міжремонтного ресурсу двигуна.

4. Розроблено технологічний процес обкатки дизельних двигунів з використанням постійного струму та запропоновано її оптимальні режими.

5. Розроблено пристосування для випресування й запресування поршневих пальців.

6. Техніко-економічна оцінка запропонованого методу показала, що при виконанні річної програми ремонту в 1000 шт. підприємство може отримати прибуток в розмірі 1003,76 тис. грн.

7. Розроблені заходи по створенню безпечних та нешкідливих умов праці робітників, розраховано вентиляцію та захисне заземлення електрообладнання, що дозволить забезпечити проведення робіт у відповідності з вимогами ДСТУ.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Ляшук О.Л., Гудь В.З., Пиндус Ю.І., Левкович М.Г., Хорошун Р.В. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи магістра за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр» галузі знань 27 «Транспорт» спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2020. – 66 с.
2. Алексеев В.П., Замота Т.Н., Домбровский М.А., Зорин Р.В. Влияние электрохимико-механических процессов на трение и износ поверхностей в механизме ползун-цилиндр // Зб. наук. праць ЛНАУ. Технічні науки. – №31. Луганськ. – 2003. – С. 4-9.
3. Аулін В.В., Лисенко С.В. Підвищення довговічності дизельних двигунів, обкатаних з реалізацією електротрибохімічного процесу / Зб. наук. праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки: Видавництво ЛНАУ. – 2005. – №49. – С. 32-38.
4. Балабанов В. И. Безразборное восстановление трущихся соединений. М., МГАУ, 1999. – 72 с.
5. Беркович И.И., Громаковский Д.Г. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения: Учеб. Для ВУЗов / Под ред. Д.Г. Громаковского – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2000. – 268 с.
6. Власенко М.В., Аулін В.В., Лисенко С.В. Триботехнічні характеристики поверхонь тертя при електротрибохімічному методі припрацювання // Міжнародний науковий журнал "Проблеми трибології (Problems of Tribology)" / м. Хмельницький. – 2003. – №3,4. – С. 140-144.
7. Гаркунов Д.Н. Триботехника. Износ и безызносность. – М.: Машиностроение, 2001. – 616 с.
8. Клименко Л.П. Повышение долговечности цилиндров ДВС на основе принципов переменной износостойкости / Под. ред. В.В. Запорожца. – Николаев.: Изд-во НФ НаУКМА, 2001. – 294с..
9. Ю. Паливода. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки: навчально-методичний посібник / Ю. Паливода, А. Дячун, Р. Лещук. – Тернопіль, Тернопільський національний технічний університет ім.І.Пулюя, 2019. – 240с.