

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА  
РОБОТА**

**01.12 - КМР. 463 „С” 2023.03.28. 010 ПЗ**

**Балюк Богдан Андрійович**

**2023 р.**

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І

ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет

Конструювання та дизайну

УДК 631.354.022

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету  
Конструювання та дизайну

(назва факультету)

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри  
Надійності техніки

(назва кафедри)

Ружи́ло З.В.

(підпис)

(ПІБ)

2023 р.

Нови́цький А.В.

(підпис)

(ПІБ)

2023 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Обґрунтування параметрів технологічного процесу обкатування  
дизельних двигунів сімейства ЯМЗ

Спеціальність 133 – «Галузеве машинобудування»  
(код і назва)

Освітня програма «Технічний сервіс машин та обладнання

сільськогосподарського виробництва»

(назва)

Орієнтація освітньої програми

освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

Нови́цький А.В.

(підпис)

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи:

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

Ревенко Ю. І.

(підпис)

(ПІБ)

Виконав:

Балюк Б. А.

(підпис)

(ПІБ)

КИЇВ - 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет конструювання та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри надійності техніки

К.Т.Н., доцент Новицький А. В.  
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)  
“ ” 2023 року

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Балюку Богдану Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батьові)

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

(код і назва)

Освітня програма «Технічний сервіс машин та обладнання  
сільськогосподарського виробництва»

(назва)

Програма підготовки освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема роботи «Обґрунтування параметрів технологічного процесу обкатування  
дизельних двигунів сімейства ЯМЗ»

затверджена наказом ректора НУБіПУ від «28» березня 2023 р. № 463 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 7.11.2023

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи:

1. Особливості ТП для обкатки та випробувань двигунів внутрішнього

згорання.

2. Конструктивні параметри обкатки та випробувальних стендів двигунів  
внутрішнього згорання.

3. Норми витрат матеріалів при обкатці та випробуванні двигунів внутрішнього  
згорання.

Дата видання завдання «14» жовтня 2022 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

(підпис)

Ревенко Ю.І.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Балюк Б. А.

(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

	Стор.
Вступ	8
1 Передумови проведення обкатки	11
1.1 Особливості умов експлуатації двигунів сільськогосподарської техніки і їхній вплив на ресурс	11
1.2 Обґрунтування теоретичних основ обкатування двигунів	13
1.3 Порівняльні характеристики обкатувально-гальмівних стендів	18
2 Аналіз методів для проведення обкаточних робіт	20
2.1 Трибологічні методи прискореного припрацювання деталей ЦПГ	20
2.2 Формування покриттів на поверхнях тертя	25
2.3 Трибоелектрохімічний метод підвищення ресурсу вузлів тертя машин	29
2.4 Покриття для припрацювання деталей ЦПГ	31
2.5 Аналіз формування шару міді на поверхнях тертя при ЕХМП	34
3 Технологічний процес обкатки двигунів	38
3.1 Технологічний процес обкатування і випробування двигунів	38
3.2 Обґрунтування та розробка технологічного процесу обкатування дизельних двигунів	41
3.3 Обґрунтування параметрів технологічного процесу обкатування двигунів	46
3.4 Обкатувально-випробувальні роботи	50
3.5 Вибір технологічного оснащення, ріжучого, вимірювального, контрольного інструментів та ремонтних матеріалів	52
3.6 Стенд для обкатування та випробування автотракторних	54

двигунів	
3.7 Технічна характеристика та опис роботи обкатувально-гальмівного стенду	55
4 Охорона праці і техніка безпеки	59
4.1 Характеристика небезпечних і шкідливих факторів при обкатування та випробуванні двигунів	59
4.2 Заходи, щодо усунення шуму та вібрації	60
4.3 Заходи, щодо усунення шкідливих випаровувань	63
4.4 Техніка безпеки при обкатування та випробуванні	65
4.4.1 Загальні вимоги до обкатувального стенду	65
4.4.2 Заходи пожежної безпеки	66
4.4.3 Електробезпека	67
4.4.4 Вентиляція на дільниці	69
4.4.5 Рівень шуму на дільниці	69
4.4.6 Розрахунок заземлення дільниці випробування двигунів	70
4.5 Охорона навколишнього середовища	71
4.6 Техніка безпеки під час роботи на стенді	73
5 Економічна ефективність	75
5.1 Техніко-економічна ефективність технології обкатування	75
5.2 Економічний ефект за рахунок підвищення міжремонтного ресурсу двигуна технологією ЕТХП	80
5.3 Розрахунки вартості удосконалення	82
5.4 Визначення ефективності від реалізації пристосування	83
Висновки	85
Література	87

Умовні позначення  
НУБІП України

АКБ - акумуляторна батарея

КР - капітальний ремонт  
НУБІП України

МТПП - машинно-тракторний парк

ПР - поточний ремонт

РОД - ремонт і технічне обслуговування  
НУБІП України

РОР - ремонтно-технічні роботи

РТП - ремонтно-транспортна підприємство

ЦРМ - центральна ремонтна майстерня

ТО - технічне обслуговування  
НУБІП України

ЦПГ - циліндропоршнева група

ПАП - поверхнево-активні добавки

ХАД - хімічно активні добавки  
НУБІП України

ЕХМР - Електрохімічне механічне припрацювання

НУБІП України

НУБІП України

## ВТУП

НУБІП України

Поповнення машинно-тракторного парку (МТП) сільськогосподарських підприємств новими високоенергетичними пристроями висуває високі вимоги до їх надійності.

НУБІП України

Якісне та своєчасне технічне обслуговування і ремонт із застосуванням новітніх методів та засобів діагностики значно сприяє підвищенню ефективності використання МТП. Тому для підтримання обладнання в робочому стані та його ремонту було створено ряд підприємств, що мають необхідні приміщення, обладнання, інструмент, засоби транспорту, зв'язку, запаси матеріалів і трудових ресурсів, що утворюють єдину структурну одиницю ремонтно-експлуатаційну база (РОБ) агропромислового комплексу.

НУБІП України

Зниження витрат на технічне обслуговування (ТО) і ремонт обладнання можливе лише шляхом створення високонадійного обладнання та раціональної модернізації некомплектних агрегатів і відновлення складних деталей під час ремонту. Досвід показує, що в реальному житті існують найрізноманітніші форми і методи ремонту техніки. Це в першу чергу фірмовий ремонт з якісним відновленням зношених деталей, якісне обслуговування та ремонт із залученням представників заводу, а також невеликі приватні спеціалізовані майстерні з ремонту та відновлення деталей.

НУБІП України

Важливими організаційними моментами підвищення якості ремонту є:

- поставка якісних комплектів запчастин;
- зменшення різноманітності машин у домашньому господарстві;
- використання у виробництві передових досягнень науки і техніки.

НУБІП України

Від професійної підготовки інженерно-технічних спеціалістів значною мірою залежить реалізація всіх існуючих в господарстві вимог до ремонтної бази господарства.

НУБІП України

Завданнями служби технічної експлуатації АТП є постійне підтримання високої технічної експлуатаційної готовності рухомого складу з метою забезпечення його безаварійної роботи протягом заданих напружень.

Для виконання поставлених завдань необхідно широко задіяти кадри технічної діагностики, максимально механізувати виробничі ділянки та ділянки технічного обслуговування та діагностики, а також поточного ремонту транспортних засобів, обладнати їх підйомно-транспортними механізмами тощо.

Контрольно-діагностичні прилади з метою вдосконалення технології поточного ремонту та управління виробництвом. Створення належних виробничо-побутових, а також санітарно-технічних умов праці.

Виконання вищезазначених робіт та інших технологічних і організаційних завдань сприяє підвищенню продуктивності праці при технічному обслуговуванні та ремонті залізничного транспорту та забезпечує зниження трудових і матеріальних витрат.

неробочій рухомий склад через технічну несправність завдає матеріальних збитків. Передчасне та погане обслуговування доріг збільшує забруднення.

Одним з основних напрямків технічного процесу необхідно вважати зниження трудомісткості робіт, оснащення робочих місць і постів високопродуктивним обладнанням і на цій основі підвищення ступеня механізації виробничих процесів. Технічне обслуговування та ремонт залізничного транспорту при створенні або реконструкції виробничо-технічної бази підприємств автомобільного транспорту.

Механізація робіт з обслуговування і ремонту служить матеріальною основою підвищення ефективності виробництва, поліпшення умов праці, підвищення їх безпеки і, головне, сприяє підвищенню продуктивності праці.

Конверсія дає можливість збільшити потужність за менший час і з меншими капітальними інвестиціями, ніж повне будівництво, що дозволяє концентрувати рухомий склад і спеціалізувати виробництво, зменшити витрати на технічне обслуговування та ремонт, а також підвищити технічний рівень виробництва в цілому. Значну питому вагу в загальних витратах на автомобільному транспорті

складають трудові та матеріальні витрати на технічне обслуговування залізничного транспорту. Основним завданням працівників автомобільного транспорту є усунення простою існуючого залізничного транспорту через технічну несправність, що спричиняє матеріальні збитки. Ці втрати та витрати на

технічне обслуговування повинні бути значно зменшені за рахунок покращення організації та контролю виробництва.

Простої автомобілів в очікуванні поточного ремонту практично порівнянні з простоями безпосередньо під час ремонту, а часто й перевищують їх. Проте

детерміновані методи визначення кількості СТО, що діють на сьогодні, не

дозволяють врахувати цей простій, що призводить до грубих помилок розрахунків

та значних економічних втрат через зниження ефективності використання

транспортних засобів та ремонтних підприємств.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## 1 Передумови проведення обкатки

### 1.1 Характеристика умов роботи двигунів

#### сільськогосподарської техніки та їх вплив на ресурс

Одним із факторів, що впливає на ефективність виробництва зерна, є рівень механізації збирання. Від 35 до 46 % врожаю втрачається через несвочасне збирання, недостатню якість механізмів регулювання та низькі витрати на транспортування та зберігання [1]. Якщо врахувати, що за 25 днів на полі втрачається до 30% зерна, то скорочення строків збирання врожаю за рахунок підвищення надійності комбайнів і тракторів має першочергове значення. За даними спостережень за 5700 комбайнами, тракторами та автомобілями, що перебувають на гарантійному обслуговуванні, кожен п'ятий комбайн і кожен сьомий трактор вийшли з ладу під час експлуатації. Надійність, у тому числі ймовірність безаварійної роботи мобільної сільгосптехніки залежить від надійності двигуна, трансмісії, що підтримує системи та рульового керування. Ресурси машин в першу чергу обмежені ресурсами двигуна [3]. До 30% несправностей зернозбиральних комбайнів пов'язані з двигуном внутрішнього згорання, 28% – з гідравлічною системою і 18% – з робочими елементами. Особливу увагу слід звернути на низьку якість двигунів Харківського заводу «Серп і Молот», відкази яких на комбайнах «Нива» і «Снісей» становлять 50-55% [20].

Причини погіршення терміну служби та ймовірність безаварійної роботи залежать як від якості ремонту машини, так і від умов експлуатації [4]. Аналіз матеріалів обстеження 4703 відремонтованих машин і устаткування показав, що до 66% відмов виникли з вини техобслуговуючих організацій і 34% - з вини споживачів [2].

Відомо, що більшість дизельних палив, які використовуються в сільському господарстві, становлять дизелі сімейств СМД і ЯМЗ, які також використовуються на річковому, автомобільному і залізничному транспорті, а

також в дизельних агрегатах [5]. Двигуни мобільних сільськогосподарських машин експлуатуються в гірших умовах [4].

На надійність дизельних двигунів тракторів і зернозбиральних комбайнів впливають три основні фактори експлуатації: механічні, термічні навантаження та запиленість повітря. В умовах експлуатації часто відбувається засмокування нефільтрованого повітря, а дизельне паливо недбало заливається маслом, що сприяє підвищеному абразивному зносу деталей двигуна. Відомо, що підвищення ефективності очищення повітря шляхом використання в дизельних двигунах високоефективних повітроочисників з картонними фільтруючими елементами зменшило знос компресійних кілець у два рази. Водночас слід зазначити, що на дизелях сільськогосподарських тракторів типу Т-1721, МТЗ, ДТ-75М, Т-4А поки що не застосовуються очисники повітря з картонними фільтруючими елементами [3].

Дослідження показують, що робота двигунів сільськогосподарських тракторів у режимі середнього навантаження, від режиму максимальної потужності до максимального крутного моменту, викликає максимальні механічні та термічні навантаження на деталі дизельного двигуна. Наприклад, у трактора Т-4А, що використовувався для оранки, середні моменти опору, що передаються через коробку передач на ролики муфти зчеплення, становили від 0,35 до 0,7 кН·м (середній момент дизеля  $\approx 0,55$  кН·м) при середніх значеннях діапазону змінюється від 0,05 до 0,08 кН·м, а кількість зон термічних напружень порядку 70...100 °С до першого капітального ремонту для циліндрів і поршнів досягає 35 тис. [3]. Тепловий режим дизельних двигунів впливає на інтенсивність величини спрацювання деталей циліндро-поршневої групи в двигунах. Експлуатація дизелів СМД і ЯМЗ в умовах експлуатації сільськогосподарського виробництва збільшує знос деталей у 2,0-4,9 рази порівняно з їх використанням в умовах експлуатації автомобільного транспорту [3]. Експлуатацією 227 двигунів Д-240 та А-41 виявлено, що 56 та 16% двигунів Д-240, 51 та 21% двигунів А-41 через знос деталей ЦПГ та кривошипно-шатунного механізму були відправлені на ремонт відповідно. Аналіз капітально відремонтованих двигунів СМД-62, А-41, ЯМЗ-240

і Д-240 показав, що 14, 20, 35 і 44% з них відповідно мали поломки через граничний знос деталей ЦПГ [3].

Тому двигуни сільськогосподарських машин працюють у складних умовах, які відрізняються від умов роботи в інших галузях. В результаті ресурс дизелів, що працюють в умовах експлуатації сільськогосподарського виробництва, становить 26...47% від ресурсу двигунів, встановлених на машинах, що працюють в інших галузях народного господарства [6].

## 1.2 Обґрунтування теоретичних положень обкатки двигуна

Проміжні ремонтні ресурси двигунів залежать від ступеня зносу деталей ЦПГ та інтенсивності їх нормального зносу в складних умовах експлуатації сільськогосподарської техніки. Встановлено, що в процесі роботи машини відбувається три періоди зношування деталей: початковий, постійний і прискорений [8].

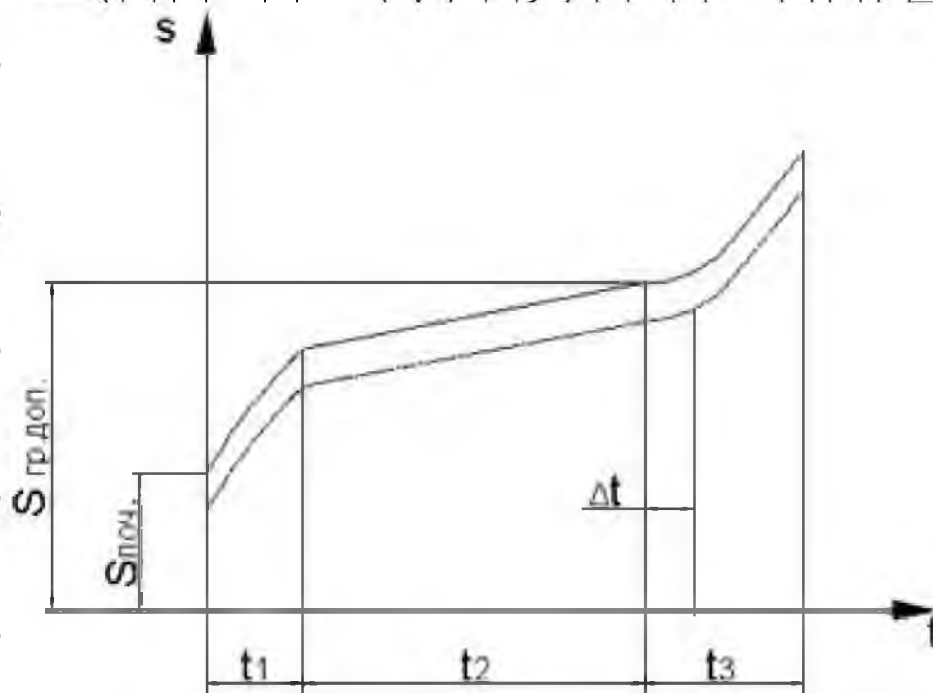


Рисунок 1 Зміна розміру зазору в з'єднанні.  
 $t_1$  - час обкатки ( $t_{\text{пр}}$ );  $t_2$  - період нормальної роботи ( $t_{\text{ек}}$ );  $t_3$  - період аварійної роботи ( $t_{\text{ср}}$ );  $S_{\text{поч}}$  - величина початкового зазору;  $S_{\text{гр. доп}}$  - максимальний допустимий зазор.

Перший період ( $t_1$ ) відповідає періоду припрацювання поверхонь тертя. З'єднання адаптується до умов навантаження. За рахунок змицання мікрорівномірностей зазор інтенсивно збільшується, тобто згладжується шорсткість поверхонь отворів і хвостовика. Швидкість зносу в цей період найбільша і постійно змінюється з поступовим наближенням до значення, визначеного в цей період, характерного для експлуатації. Термін служби з'єднання багато в чому залежить від зносу за цей період.

У другому періоді ( $t_2$ ) період нормальної роботи інтенсивність активації постійна або повільно зростає. У процесі роботи двигуни працюють в умовах робочих навантажень з постійною (мінімальною) інтенсивністю спрацювання поверхонь тертя. У цей період термін служби з'єднання залежить від швидкості нормального зносу деталей. Тривалість цього періоду становить більшу частину часу підключення.

Досягнення граничного розриву  $S_{гр.доп.}$  вказує на закінчення нормальної роботи та початок відновлювальних робіт.

Третій період ( $t_3$ ) - період підвищеного або термінового зносу.

За час аварійної роботи ( $t_{ав}$ ) зазор сильно збільшується, що зазвичай призводить до руйнування деталей або аварії.

Під час роботи тривалість другого періоду має бути якомога довшою до досягнення величини граничного зазору, тобто має бути максимальний ресурс (загальний робочий час машини до граничного стану).

Експлуатація двигуна в цей період неприпустима через виникнення додаткових ударних навантажень, інтенсивного зношування і погіршення змащення поверхонь тертя. Щоб збільшити термін служби двигуна, необхідно докласти зусиль, щоб зменшити як знос, який виникає, так і інтенсивність нормального зносу під час роботи.

Збільшити ресурс можна, зменшивши величину початкового зазору  $S_{поч}$  на величину суми висот нерівностей профілю валу та отвору.

У знову зібраному механізмі наявність макрогеометричних похибок поверхонь тертя (конусність, бочкоподібність, овальність і т. д.) і відхилення їх взаємного розташування призводять до неповного прилягання поверхонь деталей

одина до одної і, внаслідок цього в зонах контакту з'являються більш високі питомі тиски. У циліндро-поршневій парі порушуються нормальні умови змащення циліндрів, поршнів і поршневих кілець, так як гази, вигоняють масло в картер, створюють умови для напівсухого тертя-верхніх компресійних поршневих кілець об стінки циліндра. На початковому етапі експлуатації такого з'єднання задіяно невелику кількість виступів, що контактують один з одним, внаслідок чого питомі навантаження на площини, що утворюються, великі, а тому відбувається інтенсивне руйнування нерівностей та їх шліфування і пластична деформація. У цей період спраження працюють в умовах підвищеного тертя і великих навантажень, що призводить до різкого підвищення температури як на окремих виступаючих мікронерівностях, так і на цілих ділянках поверхні. Це призводить до задирів, схоплення, а іноді й до поломки деталей.

Відповідно до ГОСТ 23.002-78 «Припасування - це зміна геометрії поверхні тертя і фізико-механічних властивостей поверхневих шарів матеріалу в початковий період тертя, яка помітна на поверхні тертя при постійних зовнішніх умовах у зменшенні сили тертя, температури та інтенсивності зношування». Термін "геометрія поверхні тертя" означає макрогеометрію та мікрогеометрію, або форму та мікронерівності поверхні деталі.

Удосконалення процесу обкатки є важливим резервом збільшення ресурсу двигунів, оскільки його правильне виконання сприяє підвищенню надійності та ресурсу двигунів у сільському господарстві [13].

Серед агрегатів тракторів і автомобілів двигун найменш витривалий. Міжремонтний ресурс машин визначається їх ресурсом. Компоненти двигуна мають різні ресурси. Найшвидше зношуються поршневі кільця, поршні, циліндри, клапана, шийки колінчастого вала, шатуни і корінні підшипники. Ці елементи двигуна входять до числа відповідальних вузлів деталей, для корекції геометрії яких розроблені передові технологічні процеси. В процесі обкатки в двигунах, виникає взаємне зношування поверхонь тертя деталей, виявляють помилки ремонту, і нарешті провадять регулювання механізмів і вузлів. Випробування двигуна - це контрольний процес для оцінки якості ремонту.

У процесі виготовлення та реставрації деталям машин надають певну геометрію та фізико-механічні властивості. Однак вони не завжди оптимальні для умов експлуатації. На тергових поверхнях деталей після їх виготовлення залишаються сліди механічної обробки у вигляді виступів різної висоти. Через цей знос деталі після складання прилягають до поверхні виступів. Фактична площа контакту поверхонь тертя в сотні і тисячі разів менша за розрахункові. При навантаженні таких поверхонь у місцях контакту виникають значні питомі тиски, що призводять до локальних перевантажень, інтенсивного руйнування та заклинювання поверхонь. На тертя та роботу деталей сильно впливає шорсткість поверхонь. При менших нерівностях фактична опорна поверхня більша. Чим менше шорсткість поверхонь, тим вони менш ефективні. Щоб запобігти випадковому руйнуванню поверхонь тертя, нові або відремонтовані двигуни на першому етапі експлуатації поступово навантажують. При цьому відбувається процес, під час якого підвищується опір спрацюванню поверхонь тертя за рахунок збільшення фактичної площі контакту та покращення фізико-механічних властивостей. Процес підвищення якості поверхонь тертя деталей, що сполучаються, на початковому етапі їх експлуатації називають припрацюванням.

Процес обкатки особливо важливий для критичних деталей двигуна, де важливі надійність і економічність. До таких деталей в першу чергу відносяться гільзи циліндрів, поршневі кільця, поршні, поршневі пальці, верхні шатунні втулки, підшипники та шийки колінчастого вала. Ці деталі працюють в умовах високого питомого навантаження, високої температури, в агресивних газових середовищах, при недостатньому мастиллі і в несприятливих умовах зі зміною швидкостей ковзання.

Зношування поверхонь тертя спряжених деталей залежить від наступних факторів:

- а) визначається конструкцією двигуна (матеріал поверхонь тертя деталей, допуски і посадки в основних вузлах і знос, тип обробки поверхні деталей);
- б) зумовлені технологією виготовлення і відновлення деталей і складання двигунів в умовах ремонтного підприємства (якість поверхонь тертя, правильне складання деталей, що з'єднуються);

в) які визначають режим припрацювання (навантаження, вид введення навантаження, швидкість ковзання поверхонь тертя, умови змащування поверхонь тертя, температурні умови та їх зміна в часі).

Відхилення від цієї форми призводять до появи овалів або фасок у поперечному перерізі, що погіршує якість поверхні, а також подовжує процес припрацювання. Крім того, при овальності або огранці, наприклад, поршневих кілець, спостерігається підвищення спроможності газопроникнення, здування і прогорання масляного шару, задирки або підвищене спрацьовування з'єднаних деталей, а також збільшення витрати масла. Для змащування двигуна в період обкатки рекомендується індустріальне масло И-45 або И-50, а також суміш дизельних масел з індустріальним маслом И-12 або И-20. Для прискореної і повної обкатки двигунів в масло можна додавати спеціальні присадки з поверхнево-активних речовин. Хороші результати дає обкатка використання масла з добавками сірки (0,8-1,2%). Добавки прискорюють процес припрацювання, покращують якість поверхонь протилежностей і скорочують тривалість процесу в 2-5 і навіть 6-8 разів. Зношування поверхонь тертя зменшується в 1,2-1,5 рази в порівнянні з обкатом в маслі без добавок сірки. Обкатку та випробування слід проводити лише з пристроями джерела живлення, електророзпалу тощо, з якими вони будуть взаємодіяти під час роботи. Режими обкатки і випробування двигунів залежать від їх призначення і конструкції. Вони залежать від відповідних технічних вимог.

### 1.3 Порівняльна характеристика стендів обкатки і гальмування

Двигуни внутрішнього згоряння після ремонту повинні бути обкатані та перевірені. Обкатка і випробування відремонтованих двигунів, з одного боку, готують поверхні тертя деталей до роботи, з іншого – визначають робочі показники і характеристики двигуна для об'єктивної оцінки якості ремонту. Двигуни обкатують і випробовують на електрогальмових стендах (табл. 1.1).

При виборі стендів для роботи в дизельних двигунах пред'являються такі вимоги:

Таблиця 1.1 Технічні характеристики обкатки та випробувальних стендів

Моделі стендів	Властивості електродвигуна			Частота обертання колінчастого вала двигуна, об/хв	
	Потужність, кВт	синхронні частоти обертання, с/хв	Крутний момент, Нм	Холодна обкатка	Обкатка під навантаженням
KI-3541	55,0	700,0	726 (75)	300...710	800...1600
KI-5542	37,0	1000,0	363 (38)	400...960	1100...2400
KI-5543	55,0	1500,0	363 (38)	600...1470	1600...3100
KI-5540	20,0	1500,0	687 (72)	600...1470	1600...3100
KI-5274	160,0	1500,0	1020 (106)	600...1470	1600...3100
KI-4893	37,0	1000,0	363 (38)	500...960	1100...2100

- максимальна частота обертання колінчастого вала при випробуванні двигуна на холостому ході повинна бути близькою до величини, що дорівнює подвоєній синхронній частоті обертання ротора статорного електродвигуна, і її перевищення не допускається.

- максимальний крутний момент двигуна не повинен бути більше номінальних значень крутного моменту електродвигуна статора (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 Допустимі пускові моменти колінчастих валів двигуна

Модель двигуна	Величина крутного моменту, Н·м
ЯМЗ-238НБ, ЯМЗ-240Б	80...100 (8...12)
SMD 60, SMD 62, SMD 64, SMD 66, SMD 72	60...80 (6...10)
SMD 17, SMD 18, SMD 19, SMD 20, SMD 21, SMD 22	60...80 (6...10)
Д-240, Д-241, Д-241Л, Д-260	60...80 (6...10)
А-01, А-03, А-41	40...50 (4...6)
Д-108, Д-160	60...80 (6...10)
Д-37, Д-37М, Д-144, Д-21А1, Д-2М	40...60 (4...8)
Д-65, Д-65Н, Д-50, Д-50Л	60...80 (6...10)

При підготовці стендів перевіряють концентрацію електролітів для рідиннорегулюючого реостата. В якості електроліту використовується водний розчин соди. Для обкатки і випробувань двигунів різної (малої і середньої) потужності рекомендується використовувати розчин з концентрацією 0,5... 1,1%, а для двигунів великої потужності - використовувати концентрацію 2,1... 3,0 %.

При установці двигунів на стенд обкатки необхідно перевіряти момент повертання колінчастого вала. Колінчастий вал повинен обертатися плавно без заїздів; крутний момент не повинен перевищувати значень, зазначених у технічних вимогах на ремонт двигунів відповідних моделей. Необхідно

відрегулювати зазор між коромислами та кінцями клапанів головки блоку циліндрів двигуна. У готовому до роботи двигуні зовнішні поверхні повинні бути чистими і сухими, особливо в місцях з'єднання деталей і прокладок, а також у місцях свічок і точкового зварювання. Масляний піддон двигуна повинен бути заповнений моторним або обкатковим маслом до спеціальної мітки В «PV» на масляному щупі.

Для скорочення часу обробки та підвищення якості в маєло додають присадки, що містять сірку. Технологічна обкатка двигуна складається з трьох етапів: холодного, гарячого без навантаження (холостого ходу) і гарячого під навантаженням.

## 2 Аналіз методів злому

### 2.1 Трибологічні методи прискореної обкатки деталей КШ

Використання ревіталізаторів і спеціальних добавок до робочої рідини.

Одним із основних факторів підвищення довговічності поверхонь тертя, а отже і двигуна в цілому, є розробка нових високоякісних масел, які повинні відповідати таким вимогам: тривалий термін служби; сприяє зниженню коефіцієнта тертя; Підвищення зносостійкості поверхонь та ін.

Покращення експлуатаційних властивостей мастильних матеріалів значною мірою досягається за рахунок додавання присадок. За допомогою присадок вони намагаються досягти функціональних властивостей поверхонь тертя, таких як захист від зносу, захист від подряпин, захист від тертя, захист від корозії та інші.

Такі властивості поверхні деталей можуть призвести до того, що масла з присадками утворюють особливі плівки.

Протизношувальні та протизадірні присадки створюють на поверхнях тертя адсорбційні та хемосорбційні плівки, а також композиційні плівки хімічних сполук присадок з металом.

Основою композицій для протизносних присадок є хімічні елементи P, S, Cl. Вони утворюють захисні плівки з фосфатів, сульфідів і хлоридів. Композити, що містять як S, так і Cl, використовуються як протизадірні добавки.

При використанні добавок намагаються йти по шляху синтезу органічних речовин, які одночасно містять P, S, Cl.

Недоліком присадок на основі P, S, Cl є їх короткий термін зберігання та обмеження по температурному фактору та питомому тиску в зоні тертя.

Класифікація трибологічних методів прискорення обкатки двигуна наведена на рис. 1. 2.1.

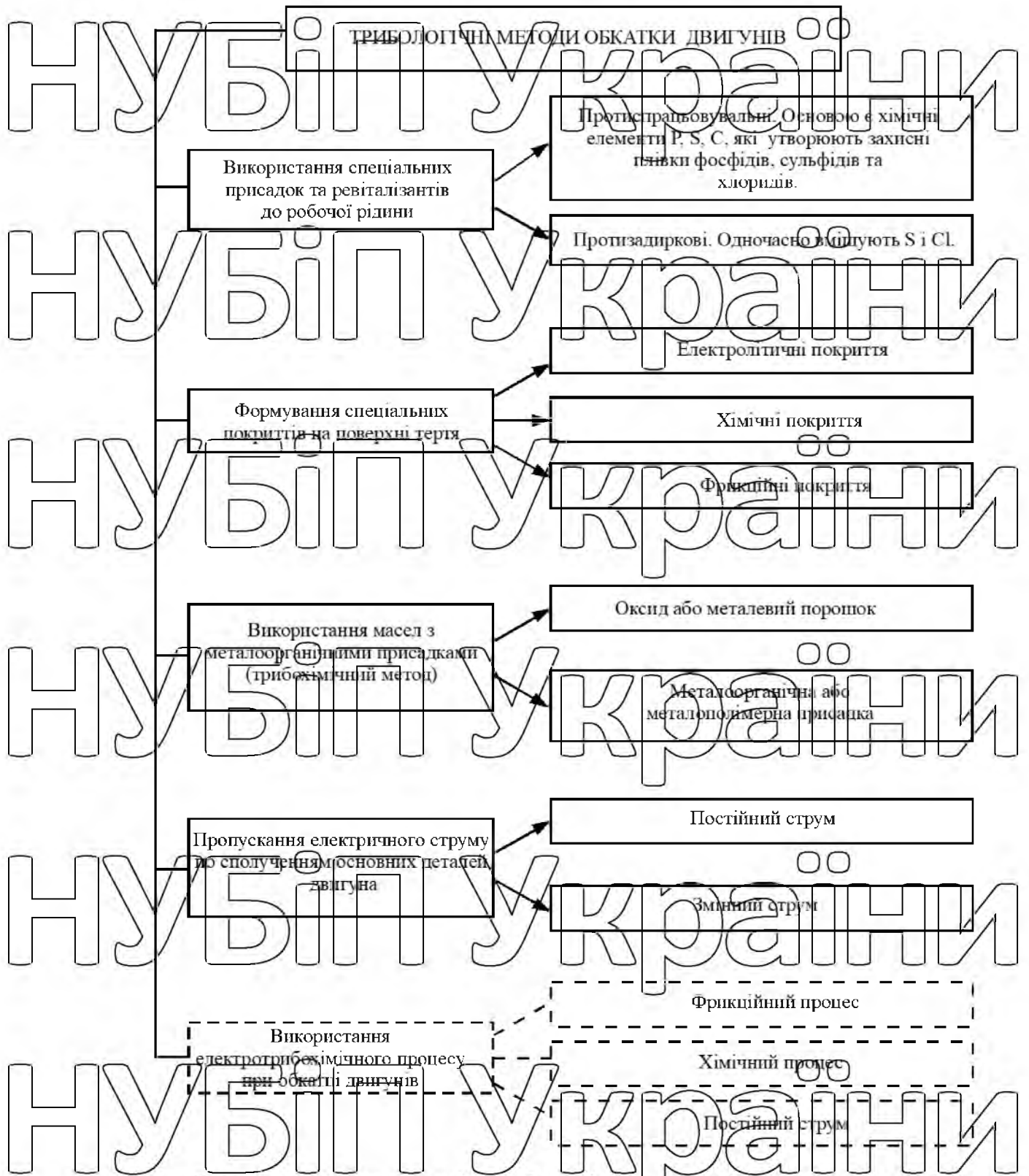


Рисунок 2 Класифікація трибологічних методів прискорення обкатки двигуна.

Існуючі металовмісні добавки поділяються на такі типи:

- добавки, що містять метал;
- комплексні (мультиметалічні) добавки;

- Добавки зі складу металів і елементарних органічних сполук.

За дією на поверхню тертя присадки поділяють на:

- поверхнево-активні добавки (ПАП),

– хімічно активні добавки (ХАП);

– неактивні добавки (П);

– Добавки для металевого покриття та пластичної деформації (МП).

До складу ПАП входять жирні кислоти (олеїнова, стеаринова і пальмітинова кислоти), ефіри органічних кислот і спиртів, технічний лецитин і ін. Їх дія полягає

в зміцненні і подальшій пластифікації поверхонь тертя. Недоліком поверхнево-активних добавок є обмеження їх використання через температурний фактор.

До складу ХАП входять P, S, Cl. Серед цих добавок найбільшого поширення набула добавка LZ-301. Це прозора рідина, що містить 50% сірки.

Рекомендований вміст такої присадки в олії 1,5...2,0%.

На практиці переважала добавка Дипроксид - це світло-жовті кристали з вмістом сірки близько 48%. Його додають в масло в концентрації 2,5%.

$MoS_2$ , графіт, тонкодисперсний каолін та ін. Ефективність даного виду присадок полягає у високому антифрикційному та протизносному ефекті.

Недоліком цих добавок є їх осідання при тривалому зберіганні.

В якості присадок МП використовують такі добавки: КЦМС-1, «Гретерин 3», ОГМ та інші, які являють собою суміші жирних кислот і солей металів (переважно олова і міді).

Присадка до дизельного палива АЛП-2 являє собою 30% розчин органополіалюмінюксу в дизельному маслі ДС-8 або ДС-11. Концентрація присадки коливається в межах 2,5...6,0% в залежності від типу двигуна. Шорсткість модифікованих поверхонь тертя  $R_a \approx 0,025$  мкм. Присадка істотно не впливає на деталі паливної апаратури.

До недоліків використання цієї присадки можна віднести псування форсунок, порушення процесу згоряння палива і зниження потужності двигуна.

У складних умовах експлуатації комбінації деталей створюється самоорганізована трибологічна система, яка без обслуговування регулює процеси зношування та регенерації поверхонь тертя (вибіркова передача).

Плівки Servovit формуються в поєднанні з м'якими металами (Cu, Zn, Pb) або пластичними матеріалами. Для цього необхідно, щоб компоненти були введені в мастило або інші технологічні середовища: паливо, миючі або охолоджувальні рідини і т.

За складом компонентів, фізико-хімічним процесом взаємодії з поверхнею, властивостями одержуваних покриттів (захисних плівок), а також за механізмом утворення всіх відомих на сьогодні методів і засобів невибіркової реставрації поділяються на три основні групи. Дія: склади металевих покриттів (реалізується ефект вибіркового переносу), полімерні та металокерамічні матеріали

В одних випадках присадки додають в масла або пластичні мастила, в інших випадках вони вводяться в паливно-повітряну суміш через карбюратори або впускні колектори у вигляді аерозолів і присадок. У деяких випадках присадка вприскується безпосередньо в зону тертя, наприклад, в ЦПГ або агрегатах трансмісії і т.д.

Згідно з роботою, полімеровмісні матеріали переводять контакт «метал-метал» в режим тертя «полімер-полімер» зі значним зниженням коефіцієнта тертя та інтенсивності зношування. Ці матеріали широко представлені на ринку виробниками DIX-600, Slik-50, Ligvid Ring, Lubrilon, Microlon та іншими.

Основним виробником є транснаціональна хімічна група DuPont de Neumou's Company.

Експлуатаційні властивості полімеровмісних покриттів можна підвищити за рахунок використання різних наповнювачів.

Відомі препарати ще однієї групи присадок — так званих шарових модифікаторів тертя. Вони складаються з елементів з низьким міжшаровим опором зсуву, таких як ди- і трисульфід молибдену, диселенід молибдену, дисульфід вольфраму та ін.

Кондиціонер Metallisant - це продукт фірм "МІЛІТЕК", "ФЕНОМ", "ЕР", "Переможець трісння" - це речовина, яка впливає на механізм доставки необхідних компонентів (середовища або енергії) до поверхні металу. Дія цих препаратів заснована на взаємодії (адсорбції) їх поверхнево-активних

компонентів. Наприклад (з'єднання на основі фторкарбонату, кварцу, складних ефірів) з поверхнями тертя.

При цьому відбувається пластифікація поверхонь тертя і утворення на них тонкого шару слідкуючої плівки, що характерно для ефекту селективної передачі.

Пошаровий модифікатор заповнює і згладжує мікронерівності поверхонь тертя, при цьому коефіцієнт тертя знижується і знос поверхні може досягати 50%.

Ці модифікатори необхідно вводити в масло при кожній заміні масла, так як при роботі з чистим маслом частинки присадки інтенсивно вимиваються з мікронерівностей і виносяться із зони тертя.

Присадки цього класу дозволяють збільшити ресурс деталей і їх з'єднань на етапі експлуатації в 3-5 разів і заощадити енергоресурси на 10-40%. Беззаперечним лідером у виробництві препаратів цього класу є EMTECH Corporation (США) (продукція «ER»).

Незважаючи на значні переваги, присадки мають наступні недоліки:

- їх дія зберігається до тих пір, поки вони присутні в маслі в достатній концентрації;

- Такі присадки зазвичай не тільки не знижують тертя, але навіть здатні підвищувати опір тертя;

- Високі концентрації цих речовин природно впливають на реологію мастила;

- Через складність фізико-хімічних процесів перетворення кондиціонери металу не універсально підходять для матеріалів і механізмів елементів автомобіля.

Геомодифікатори тертя (ГМТ) (ревіталізатори) принципово відрізняються за характером впливу на поверхню. Ревіталізуючі активні інгредієнти засновані на природних мінералах з ультраосновних порід. Виробниками продукції цього класу є НВО «РЦС Промремонт» (Росія) і компанія «ХАДО» (Україна).

При наявності в маслі ревіталізаторів за рахунок енергії тертя в зоні контакту відбувається відрив дефектного металевого шару, текстурування поверхні тертя і одночасне твердіння матеріалу-носія на значну глибину. При обкатці зношених поверхонь тертя поступово відновлюється їх мікрогеометрія і

створюється на них оптимальний мікрорельєф (збалансована шорсткість), виходячи з реальних умов експлуатації.

Залежно від хімічного та фазового складу ревіталізанти зазвичай являють собою суміш класичного магнеєво-залізного силікату (серпентин  $Mg_6 \{(Si_4O_{10})(OH)_8\}$ , тобто форму цілого ряду мінеральних руд з олівіну класу, кінцевими фазами якого є форстерит ( $Mg_2SiO_4$ ) і фаяліт ( $Fe_2SiO_4$ ), в невеликих кількостях діоксид кремнію  $SiO_2$  і доломіт  $CaMg(CO_3)_2$ .

Хімічна складова металокерамічного шару (МК), сформованого з ревіталізаторів, добре розроблена, а фізико-механічні та реологічні властивості цього шару практично не вивчені.

Поглиблених металофізичних досліджень поверхневих і приповерхневих шарів деталей з використанням добавок не виявлено. Також відсутні дослідження динаміки утворення та руйнування металевих шарів. Також немає інформації про стійкість покриттів, які досягаються за допомогою добавок.

## 2.2 Утворення відкладень на поверхнях тертя

Для підвищення довговічності та прискорення зношування та відновлення поверхонь тертя деталей КПГ широко застосовуються електролітичні, хімічні, фрикційні та інші способи формування спеціальних покриттів.

Пористе хромування покращує експлуатаційні властивості хрому, особливо його працездатність. Крім того, пори (отвори) хрому служать мастилом. Такі покриття отримують із звичайних електролітів, деталь попередньо обробляють механічним, хімічним або електрохімічним методами.

Пористе хромування використовується для хромування гільз циліндрів і поршневих кілець в двигунах внутрішнього згорання. Зверніть увагу, що один елемент трибологічної системи потребує хромування: гільза або кільце.

Хромувані поршневі кільця добре підходять для сірого чавуну і азотованої сталі.

Кажуть, що електролітичне нікелювання підвищує зносостійкість і відновлює поршневі пальці та гільзи циліндрів.

Обміднення використовується для отримання тонкого шару міді і

відновлення таких деталей, як бронзові втулки верхньої головки шатуна.

Недоліком наведених вище способів формування покриттів є складність технологічного процесу, а також необхідність попередньої та додагкової обробки робочих поверхонь трибокомбінованих деталей.

#### *Проходження електричного струму через з'єднання деталей двигуна*

Електрорушійна сила (ЕРС) у твердих тілах, пов'язана зі збільшенням елементарних носіїв електричного заряду, пов'язана з хвильовим характером механічних напружень. Ділянки фактичного контакту сполучених поверхонь у початковий період припрацювання деформуються, що призводить до появи ЕРС.

Гребені на шорсткій поверхні, де зосереджено максимальний заряд, слід розглядати як термопару і як джерело утворення ЕРС пари тертя в обкатуваних двигунах.

Підключення зовнішнього джерела живлення тієї ж полярності може призвести до розряду, що супроводжується локальним підвищенням температури в мікромасштабі та відривом частини металу, що призведе до утворення кратера на обробленій поверхні (гільзи циліндра). Цей ефект використовується для прискорення процесу обкатки відремонтованих двигунів.

струму, що подається від зовнішнього джерела, показує, що його величина однакова на всіх циліндрах.

Для вимірювання впливу електричного струму на поверхню тертя гільз циліндрів і проведення осцилографічних записів на дослідній установці доцільно обкатувати двигуни з ізольованими гільзами.

Для цього використовують шар металу товщиною 1 мм. Потім сидіння покриваються епоксидною смолою, а після затвердіння гільзи просвердлюються до номінального розміру.

Для реєстрації електричних параметрів ( $U$ ,  $I$ ) використовують осцилограф К12-21. На осцилограмі записуються характерні точки режиму обкатки в залежності від частоти обертання колінчастого вала, напруги, температури води і масла.

Пари тертя – корінні підшипники колінчастого вала і вкладишів, шатунні шийки і вкладиші колінчастого вала; поршневі пальці і втулки верхнього шатуна;

поршневі пальці і поршневі головки; Гільзи циліндрів, поршни та поршневі кільця.

Типові режими обкатки дизелів електричним струмом здійснюються у наступному порядку: пуск двигуна без компресії ( $n = 700 \dots 800$  об/хв,  $t = 10 \dots 15$  хв.); пуск двигуна з компресією ( $n = 1200 \dots 1300$  об/хв,  $t = 10 \dots 15$  хв.); пуск двигуна від електроживлення ( $n = 1200 \dots 1300$  об/хв,  $t = 30$  хв.,  $U = 0,4$  В,  $I = 1 \dots 2$  А, плюс на колінчастому валу); Зняття живлення і гарячий пуск без навантаження ( $n = 1700 \dots 1800$  об/хв,  $t = 20 \dots 25$  хв.); Випробування газового двигуна ( $N = 55,2$  кВт,  $t = 10$  хв.).

До недоліків методу з використанням електричного струму можна віднести те, що процес інтенсифікації припрацювання двигуна, або формування оптимальної мікрогеометрії, відбувається лише на самому початку припрацювання, коли виступи мікрорівномірності закриваються. Зруйновано. Після руйнування виступів на робочій поверхні припиняється посилення обкатки двигуна.

#### *Електрохімічна механічна клізма (ЕНМР)*

Суть процедури полягає в тому, що в зону тертя в якості мастила подається спеціальний електроліт і пропускається змінний електричний струм між деталями, що обробляються. Завдяки механічній та електрохімічній взаємодії деталей можна швидко обробити сполучаються поверхні.

Цей процес дозволяє виконувати процес мікромеханічної обробки вже під час складання двигуна, скорочуючи період обкатки порівняно з обкаткою за типовою технологією GOSNITA та збільшуючи термін служби між ремонтами.

При цьому формуються зносостійкі поверхні, забезпечується висока герметичність деталей ЦПГ, а хід типового технологічного процесу складання двигуна практично не змінюється.

Макрогеометрична усадка з ЕНМР(D) відбувається в більш м'якому режимі, ніж холодна усадка, що особливо важливо з огляду на недостатню структурну термостійкість гальванічного хрому.

Застосування ЕНМР(D) при обкатці двигунів різних типів підтверджує ефективність методу: збільшення проміжного ремонтного ресурсу, зменшення

прориву газів у картер і зменшення кількості масла, що витрачається на згоряння в порівнянні з двигунами для обкатки з технологією GOSNITA.

Успішно використовується процес і в ремонтному виробництві, особливо при обкатці двигунів після капітального ремонту.

Працюючи на поверхні тертя деталей, що з'єднуються, вони набувають певної пристосованості в екстремальних умовах роботи (перевантаження, недостатнє змащування, перегрів тощо).

Забезпечення оптимальної шорсткості поверхні має другорядне значення.

Однією з головних причин нестачі ресурсів, безперечно, є невиконання технічних вимог щодо виготовлення та відновлення деталей і, загалом, ремонту двигунів.

Застосування електрохімічних процесів дозволяє локально зняти шари матеріалу з частин з'єднань КПШ і видалити ці продукти в електроліт у вигляді іонів металу, запобігаючи забрудненню ущільнень поршневих кілець продуктами зносу. Застосування експлуатаційних масел при технологічній обкатці сприяє переходу до нормального механічного і хімічного зношування деталей з'єднання і формуванню молодих поверхонь, здатних сприймати експлуатаційні навантаження.

### 2.3 Трибоелектрохімічний спосіб підвищення ресурсу вузлів тертя машин

З метою підвищення ресурсу вузлів тертя машин і механізмів запропоновано стабілізувати усталений стан, склад і експлуатаційні характеристики поверхонь тертя деталей і мастильних середовищ шляхом їх трибоелектрохімічного відновлення (репаративної регенерації трибосистем).

Відновлення деталей під час їх експлуатації за його методом полягає в тому, що на зношену поверхню деталей трибоелектрохімічним процесом осаджуються іони металу. Чому металева вставка ізольована від відповідників, розміщених у зоні тертя? До вузла тертя подається постійний електричний струм напругою 1...2 В, так що вставка стає анодом, а деталі вузла тертя — катодом. При проходженні струму анод піддається електрохімічному розчиненню, іони якого в електричному полі переносяться на поверхню тертя деталей, де відбувається їх

трибоелектрохімічне осадження. Цей процес зумовлює формування нових зносостійких структур у поверхневих шарах деталей трибологічної системи.

Стабілізація стаціонарного стану трибосистеми (пари тертя) забезпечується шляхом відновлення об'єктів (елементів трибосистеми) зі швидкістю, що дорівнює швидкості їх зношування.

Наявність зворотного зв'язку за станом об'єктів трибосистеми дозволяє запровадити автоматичне керування трибоелектрохімічними процесами, тобто автоматичне керування ресурсами машини за допомогою електричної енергії від внутрішніх або зовнішніх джерел.

Для забезпечення контрольованого ресурсу машини і зниження витрат на використання, технічне обслуговування, ремонт і зберігання з використанням трибоелектрохімічних процесів замість вуглеводневих масел нафтового походження використовується маслозамінне електропровідне мастильне середовище. Основними компонентами такого середовища є вода - основа, багатоатомні спирти та полімерні загусники (поліамфоліти тощо), силікати та інші функціональні компоненти.

Таким чином, практичне застосування трибоелектрохімічних методів усталеної стабілізації, складу та експлуатаційних характеристик поверхонь тертя і мастильних середовищ, а також застосування електропровідних мастильних середовищ дозволяє істотно підвищити надійність, довговічність і експлуатаційні характеристики загальнотехнічний рівень, спростити технологію технічного обслуговування, ремонту і зберігання, здешевити виробництво і підтримку в робочому стані деталей і вузлів машин, забезпечити їх роботу в керованому ресурсному режимі.

Електротрибохімічний процес, що протікає в зонах тертя, поєднує ряд процесів, пов'язаних з руйнуванням поверхневих виступів, виділенням теплової енергії, наплавленням шару металу та ін. Це дає можливість розробити метод прискореного з'єднання поверхонь з'єднання деталей КПГ. Як уже було показано, тонка захисна плівка повинна обмежувати тертьові поверхні основних з'єднань деталей КПГ.

Для цього найкраще підходять два способи обробки: електролітичне напilenня на поверхню металу і трибохімічний метод з композитним маслом. В основі електроосадження металів лежить утворення заряджених частинок — іонів — у водних розчинах солей, кислот і основ (електролітах) при пропусканні через них постійного електричного струму. Але електролітичне осадження нетехнологічне, трудомістке і, головне, його неможливо провести на двигуні без його розбирання.

Тому в цьому відношенні найбільш перспективним є використання електротрибохімічного методу, який ґрунтується на електротрибохімічних реакціях, що відбуваються в умовах механічної активації в системі «метал-електроліт (композиційне масло)». Основною причиною вибору таких реакцій є те, що при електротрибохімічній обробці масообмін електрично заряджених компонентів відбувається через електропровідне середовище (електроліт). Тобто, якщо вибрати електроліт і механічно активувати поверхню, що обробляється, можна досягти цілеспрямованої доставки зносостійких компонентів на поверхню тертя. Щоб збільшити швидкість нанесення необхідних компонентів на робочу поверхню і регулювати рух заряджених частинок, необхідно використовувати джерело електричної енергії.

Взаємодія між робочою поверхнею і провідним середовищем відбувається на атомно-молекулярному рівні. Оскільки взаємодія атомів і молекул є електромагнітною, то взаємодія поверхні з навколишнім середовищем також є електромагнітною. Тому зовнішнє електромагнітне поле, яке створюється при проходженні електричного струму від зовнішнього джерела через поверхню взаємодії, може впливати на атоми і молекули зносостійких компонентів.

Визначено основні фактори, що впливають на електротрибохімічну реакцію. Найбільший вплив мають такі фактори: густина електричного струму, що підводиться до з'єднаних частин; концентрація електроліту (робоче середовище); відносна швидкість руху поверхні тертя.

Найбільш перспективним видається електротрибохімічний метод приєднання з'єднання та відновлення робочих поверхонь деталей трибоз'єднань, оскільки він включає трибохімічний метод з використанням

компандного масла та електролітичного осадження металу, це виходить, але на відміну від останнього не має свої недоліки кожного з них. Виходячи з вищесказаного, цей метод є основою для прискорення обкатки дизельних двигунів у цій магістерській роботі.

## 2.4 Покриття для усадочних частин КШ

Використання благородних ковзних і протизадирних покриттів прискорює усадку. Деталі циліндропоршневої групи покривали оловом, свинцем, кадмієм, міддю, індієм, псевдосплавами та утворювали фосфідні, сульфідні, оксидні шари тощо.

Для підвищення врожайності проводять, зокрема, механічне розпушування і протруювання поверхневого шару.

Існує багато способів нанесення робочих шарів на поверхню деталей тертя.

Найпоширенішими є хімічні, електрохімічні, механічні та плазмові процеси. Електрохімічним способом осаджують чисті метали і багатокомпонентні сплави.

Використовуються композитні плівки на основі епоксидної смоли, кремнійорганічної смоли та ін., що містять речовини, здатні утворювати на поверхнях тертя розділові сухі мастильні шари з низькою міцністю на зсув.

Поршнєві кільця іноді фосфатують або лудять, і хоча ці покриття мають різну природу і по-різному виконують свою роль при обкатці, вони дуже ефективні в поєднанні з негартованими та хромованими поверхнями (табл. 2.1).

Як показано в таблиці 2.1, електролітичне міднення зменшує час обкатки та підвищує стійкість до задирок.

Фосфатні покриття значно підвищують міцність зчеплення. На початковому етапі знос муфт з покриттями, отриманими з гарячих ванн, різко зростає, оскільки поверхні мають дуже високий рівень шорсткості ( $R_z = 6-10$  мкм).

Покриття фосфатованої поверхні дисульфідно-молібденовою композицією на основі епоксидної смоли товщиною 10..12 мкм дозволяє значно підвищити ефективність нанесення.

Покриття оловом забезпечує хороше зчеплення з основою деталі, локалізує процес контактного пошкодження поверхонь в шарі олова і запобігає прилипанню столу під значним тиском. 2.1 і ефективно виконує розминку

Важливою властивістю лудженого покриття є відсутність перерозподілу матеріалу покриття на поверхні тертя, заповнення западин і нормалізація тиску, що виключає виникнення критичних навантажень. Наявність олова в гарячих зонах викликає різке зниження коефіцієнта тертя (0,04)

Таблиця 2.1 Результати випробувань на знос обкатки і зносостійкі покриття на зразках поршневих кілець

покриття	час витримки, хв	$\gamma \cdot 10^2$ , мг/год		Задіроутворююче навантаження, кг/см <sup>2</sup>	
		розетки	кільця	початок пошкодження	хуліган
Чавун Ч-21 без покриття	125	68.1	45	152	195
фосфат, холод	89	72.4	49.4	160	228
фосфат, гарячий	40	84,0	66,9	210	310
Sn	64	58.5	36,6	195	230
Cd	78	64.2	43.5	123	226
b	67	66,0	41.8	135	218
cu	86	62.1	43.7	107	201
Cu+ Sn	53	55.7	38.4	220	255
Cu+MoS <sub>2</sub>	72	58,0	34.1	204	271
VAR (MoS <sub>2</sub> )	55	63.8	42,0	230	294
ВНИИ НП 220(MoS <sub>2</sub> )	60	25,0	44.3	155	230
фосфат + MoS <sub>2</sub>	32	72.3	54.5	236	344
сер	460	49,0	26.4	160	234
Cr+ Sn	263	44.5	22.5	198	260
Cr+ Cu	330	42.3	20,0	176	265
Cr+ Cu+ Sn	280	41,0	19,4	203	280
Cr+ Cu+ MoS <sub>2</sub>	286	40,0	18.6	230	302
Mo (плазмове покриття)	145	62.4	32.5	230	298
Mo (газополум'яне перекриття)	160	65.3	38.1	210	265
Mo (плазмовий композит)	180	56,0	28,3	255	314

Досить пластичне і легкоплавке свинцеве покриття відносно швидко окислюється в циліндрі машин, недовговічний і в чистому вигляді іноді використовується як інструмент для роботи в кільцях. Кадмій має властивості, подібні до олова, але менш пластичний.

## 2.5 Аналіз утворення шару міді на поверхнях тертя під час ЕММП

При додатку сил тертя температура в зонах контакту підвищується. Це визначає перебіг трибохімічної реакції руйнування гліцерату міді в маслі компаунду та осадження шару міді товщиною 0,5...10 мкм на поверхнях тертя.

Залежно від вмісту добавки, щільності електричного струму і поверхневого тиску тертя металу може мати різний коефіцієнт і швидкість наповнення (наростання).

Таблиця 2.2 Залежність швидкості накопичення міді Шар із параметрів процесу ЕММП

№	Щільність струму $j$ , А/м <sup>2</sup>	Сила струму $I$ , А	Тиск $P$ , МПа	Швидкість росту мідного шару 10-3 мкм/с
1	70,5	0,5	1,0	0,83
2	141,0	1,0	2,0	1,17
3	211,5	1,5	3,0	1,61
4	282,0	2,0	4,0	2,00
5	352,5	2,5	5,0	2,02
6	423,0	3,0	6,0	2,00
7	493,5	3,5	7,0	1,96
8-й	564,0	4,0	8,0	1,82
9	634,5	4,5	9,0	1,76

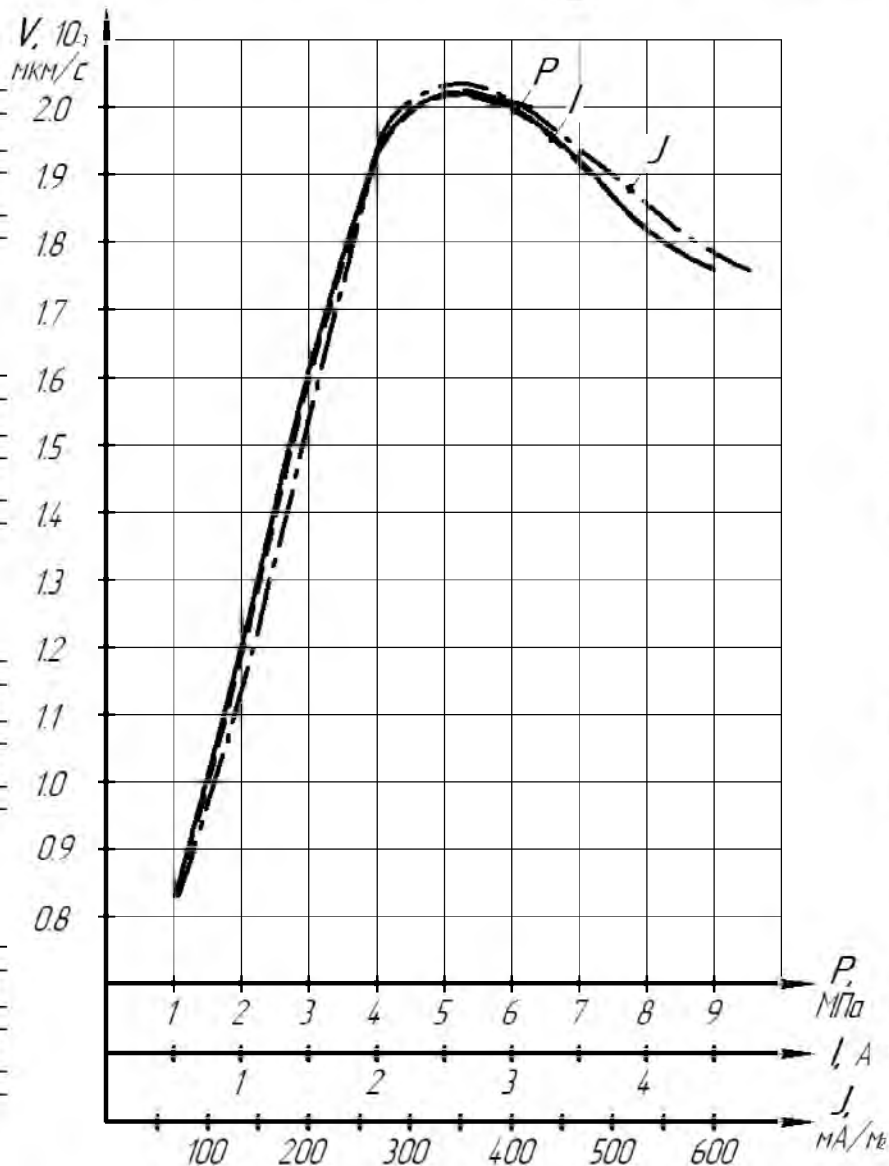
При ЕММП в результаті трибохімічної реакції в компаундному маслі та спрямованій дії електричного струму на поверхню тертя утворюється якісно нова речовина (проміжний метал), яка є хімічно неактивною, але підвищує фізико-механічні та антикорозійні властивості реакційні властивості робочих поверхонь деталей.

Товщина шару збільшується із збільшенням тривалості процесу і змною концентрації добавок, що містять мідь. Його максимальна товщина формується

при 4,5% рівня добарки під час ЕНМР. Збільшення навантаження практично не сприяє збільшенню товщини шару міді (рис. ХХ).

Твердість поверхні нанесеного мідного шару змінювалася від 180 до 230 Н<sup>2</sup>.

Мікротвердість на поверхні зразків у зоні тертя та поза її межею відрізняється в 1,25-1,40 рази. Встановлено, що мікротвердість покриттів з ЕГМП змінюється з глибиною поверхневого шару: зростає від 200 до 320 МПа при товщині до 10 мкм, далі її значення не змінюється. Рівень мікротвердості безпосередньо залежить від навантаження на трибосистему.



Рисунк 3. Залежність швидкості нарощування мідного шару в ЕГМП :  
 $J$  - від щільності струму,  $A/m^2$ ;  $I$  - від сили струму,  $A$ ;  $P$  - від тиску,  $MПа$ .

Зі збільшенням густини струму мікротвердість поверхні змінюється нерівномірно.

Збільшення твердості в зоні тертя можна пояснити збільшенням щільності дислокацій, зменшенням розміру блоку та збільшенням спотворення кристалічної решітки міді в поверхневому шарі нанесеного покриття.

Показано ефект пластифікації мідного шару під час ЕММП, який впливає на дію сил тертя та виділення кількості тепла, яка залежить від питомого тиску в трибосистемі.

Міцність зчеплення нанесеного мідного шару залежить нелінійно від його товщини. На міцність фрикційного зчеплення впливає також дифузія атомів міді в матриці (чавун СЧ-18). Відзначено формування ефективного дифузійного потоку атомів міді в основу деталі на глибину 0,5-0,8 мкм та утворення сполуки FeCu.

Залежно від глибини нанесеного наплавлення міді спостерігається зміна елементного складу.

Під час припрацювання в процесі ЕТНШ шорсткість поверхонь змінюється, досягає збалансованого стану, а інтенсивність зношування набуває мінімального значення. За таких умов можна керувати граничними умовами тертя і концентрувати деформації зсуву не тільки в масляному шарі, а й в наплавленому

тонкому шарі пластифікованого металу, особливо при значних питомих навантаженнях.

Зі збільшенням густини струму швидкість осадження міді починає зменшуватися від певного значення, погіршується якість поверхонь і, відповідно, збільшується шорсткість. При високій концентрації іонів міді в маслі відбувається інтенсивне відкладення міді на поверхні тертя, починає зростати шорсткість поверхні і спостерігаються локальні мікрозадирки. При густині струму понад 350 А/м<sup>2</sup> тип мікрогеометрії поверхні тертя нагадує тип її зношування.

Тонкий шар міді, нанесений під час ЕНМР, також заповнює поглиблення мікронерівностей поверхні. Це збільшує фактичну площу контакту і зменшує питомий тиск у зоні тертя. Це запобігає утворенню задирок і задирів. Також зменшується процес мікрорізання та утворення оксидів, тобто спостерігається переважання процесу пластифікації.

Результати досліджень процесу зношування зразків, вирізаних з деталей ЦПГ, показали, що при навантаженнях  $P = 6,0, 10,0$  МПа зношування в середовищі компаунду мастила з використанням ЕКС МП у 2,5...3,5 рази менше, ніж в основі. масла М10 -G<sub>2</sub>.

Характер робочої зміни залежно від концентрації присадки в олії можна пояснити тим, що при концентраціях вище оптимальних у зонах контакту хімічна енергія починає перевищувати трибохімічну.

У ЕММП зі зміною часу і збільшенням густини постійного електричного струму змінюються властивості компаундної олії: підвищуються електропровідність, лужність КОН та ін.

Проведені ЕТНР експериментальні дослідження дозволили запропонувати технологію прискореної обкатки відремонтованих дизелів.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

### 3 Технологічний процес обкатки двигуна

#### 3.1 Технологічний процес обкатки та випробування двигуна

Технологічний процес обкатки і випробування двигуна в ремонтній майстерні включає, крім стаціонарних і робіт з підготовки двигуна, холодну і теплу обкатку без навантаження (на холостому ході) і під навантаженням, а також контрольне випробування. Після обкатки і випробувань проводиться контрольний огляд і перевірка роботи двигуна. Потім його оброблюють і фарбують. Двигуни можна обкатувати в холодному вигляді з індустріальним маслом № 20 (ГОСТ 1707-51). У процесі холодної обкатки тиск масла в магістралі прокритого двигуна має бути не менше  $1 \text{ кгс/см}^2$  при мінімальній частоті обертання колінчастого вала, потрапляння масла, палива або води в місця з'єднань не допускається. Нагрівання тертьових поверхонь деталей перевіряють на дотик (перегрів не допускається). Різкі шуми і стуки в механізмі двигуна не допускаються. Тиск масла в магістралі двигунів повинен бути не менше  $0,2 \text{ МПа}$ , температура води і масла  $+60 \text{ }^\circ\text{C}$ . Якщо під час холодної обкатки не виявлено несправностей або вони усунуті на стенді, то двигун готують до гарячої обкатки (ретельно перевірити, затягнути гайки кріплення ГБЦ).

При роботі в холодному режимі зі спеціальною обкатковою оливою її необхідно злити, промити масляний фільтр і залити в двигун дизельну оливу або підключити до системи циркуляції змащення. Перед запуском двигуна для обкатки бажано коротко прокрутити його на низькій частоті обертання колінчастого вала, щоб заправити систему змащення свіжим маслом, а паливну систему - дизельним паливом.

Тепла обкатка двигуна без навантаження відбувається без використання пускової енергії від зовнішнього джерела. При цьому обкатка двигуна не віддає енергію (тобто працює на холостому ході). Гаряча обкатка без навантаження готує двигун до роботи в більш тепловому температурному діапазоні обкатки під навантаженням. При необхідності перевіряють кут початку подачі палива і циліндрів навколо кута повороту колінчастого вала на вміст. Пуск двигунів при тиску масла в магістралі не менше  $3 \text{ кгс/см}^2$ . Герметичність з'єднань перевіряють

при прогрітому двигуні без навантаження. Тиск в магістраці повинен бути оптимальним, температура води і масла 80-95 °С. Поверхні тертя деталей не повинні перегріватися. Під час обкатки двигун повинен працювати рівномірно на мінімальній і максимальній частоті обертання колінчастого вала відповідно до технічних вимог.

При зміні ходостого ходу двигун повинен реагувати добре. Не допускається всмоктування повітря в місцях приєднання всмоктувальної труби та випуск газів у місцях приєднання вихлопних труб. Після обкатки без навантаження проводиться

огляд двигуна, усунення несправностей, перевірка затяжки гайок кріплення

головки блоку циліндрів, а також зазорів між коромислами та кінцями стрижнів клапанів, що відповідають технічним вимогам до прогрів двигуна. У верхній мертвій точці поршня між клапаном і коромислом повинен бути зазор, який

забезпечує посадку клапанів на сідла, компенсує теплове розширення деталей

газорозподного механізму і забезпечує їх надійну роботу.. Зазори в клапанах

дизелів СМД-14, СМД-60 і ЯМЗ регулюють при холодному двигуні, у Д-50 і Д-

240 - при прогрітому. Слідкуйте за коромислами клапанів першого циліндра та

повільно повертайте колінчастий вал, поки обидва клапани (випускний, а потім

впускний) відкриваються та закриваються. На дизелях Д-240 положення поршня

біля верхньої мертвої точки визначається установочним гвинтом (щупом). Після

закриття впускного клапана болт викручується з різьбового отвору заднього листа

і вставляється в цей же отвір нерозрізаним кінцем. Введення гвинта в отвір на

маховику відповідає положенню поршня в дизелі Д-240 -26° до верхньої мертвої

точки. Перевірте зазор між штоком клапана і толкателем коромисла (0,25-0,30 мм

на холодному двигуні) і при необхідності відрегулюйте обидва клапана першого

циліндра. Для цього послабте контргайку регульовального гвинта та встановіть

потрібний зонд між коромислом і головкою штока клапана. Повертаючи

регульовальний гвинт за допомогою викрутки, перемістіть щуп, доки він не буде

притиснутий коромислом. Утримуйте гвинт у цьому положенні та затягніть

контргайку. Після цього ще раз перевіряється зазор. Зонд не повинен проникати

вільно. Потім відрегулюйте клапани в інших циліндрах у тому ж порядку.

Послідовність роботи поршнів двигуна така: 1-3-4-2. Тепловий зазор 0,25-0,30 мм при холодному двигуні.

Після такої обкатки енергія, що виробляється двигуном, передається гальмівному пристрою. На відміну від холодної і гарячої обкатки без навантаження, при яких в основному змінюються швидкості відносно руху, процес гарячої обкатки під навантаженням характеризується зміною гальмівного моменту, створюваного на валу працюючого двигуна.. в.

При обкатці без навантаження з підвищеною частотою обертання валу і під навантаженням робота двигуна повинна відповідати таким технічним вимогам:

максимальна частота обертання колінчастого вала на холостому ході 2250-2350 об/хв, мінімальна 600 об/хв; Тиск масла в магістралі 2,7-3,5 МПа при 2200 об/хв. І не менше 0,8 МПа при 600 об/хв, температура масла в картері двигуна 80-90 °С і охолоджуючої води в системі 80-95 °С; Не допускається сторонній шум і стукіт в механізмах двигуна; Нагрівання механізмів і агрегатів двигуна має бути рівномірним. Не допускається перегрів тертьових частин. Витік палива, масла і води в місцях з'єднання і через ущільнення не допускається.

Допускаються: запотівання, утворення масляних плям і поодинокі краплі в місцях розташування сальників (не більше однієї краплі за 5 хвилин у будь-якому режимі роботи двигуна; витік масла і конденсату через вихідний патрубок системи вентиляції картера (не допускається), більше двох крапель за хвилину при 1700 об/хв), Стікання масла через дренажну трубку паливного насоса (не більше 3 см 3 за 5 хв.); Стікання окремих крапель води зі зливного отвору водяного насоса при роботі двигуна. зупиняється Перегрів двигуна відбувається

під навантаженням, коли важіль регулятора паливного насоса встановлений на максимальну частоту обертання колінчастого вала (повна подача палива)

Максимальне навантаження не повинно перевищувати 90 % номінальної потужності двигуна Під час роботи і після обкатки двигуна виявлені несправності

усуваються. Після зупинки двигуна гайки кріплення головки блоку циліндрів необхідно затягнути моментом 16-18 Н м. Не раніше ніж через 10 хв після зупинки двигуна необхідно відрегулювати зазори клапанів. відрегулювати і перевірити кут початку подачі палива ( $26 \pm 2^\circ$ ).

### 3.2 Обґрунтування та розробка технологічного процесу обкатки в дизелях

Процес обробки покриттів на основі міді має свої особливості. Обміднення спочатку піддається сильній пластичній деформації за рахунок утворення, переміщення і взаємодії дислокацій між собою та іншими дефектами субструктури. Вихід дислокаційних ступенів і активних центрів на поверхню збільшує мікрозаїди, перенесення міді на контртіло і збільшує інтенсивність зношування покриття. Потім відбувається різке зниження інтенсивності зношування пари тертя і зниження коефіцієнта тертя. Це пов'язано з утворенням на поверхні спряженості тонкого шару, насиченого міддю, і плівки міді на ній, яка характеризується високим ступенем дефектності та має властивості псевдорідкого тіла з низьким опором зсуву. За цих умов повною мірою спрацьовує механізм, який пояснюється адгезійно-деформаційною теорією.

Заїдання відбувається під час вибіркового перенесення в більш м'якому матеріалі, ніж матеріал чавунного або хромованого кільця, і локалізується в тонкому шарі дефектної міді без глибокого пошкодження основного металу.

Важливим фактором, який значною мірою сприяє схваленню навіть за наявності екрануючих плівок, є підвищення температури в місцях утворення центрів дислокаційних вакансій.

Термічна активація сприяє молекулярному переносу, але рухливість іонів міді, їх міграція до молодих поверхонь, знову утворює буферний шар. При цьому мідна плівка запобігає пошкодженню контактних поверхонь від прилипання і забезпечує мінімальну інтенсивність зношування і коефіцієнт тертя в заданому діапазоні температур і потужностей. Однак при нестационарних режимах тертя, характерних для роботи циліндропоршневого вузла, створюються умови для прояву вибіркового перенесення і захисту основного металу тертьових поверхонь від пошкоджень, викликаних мікроконтактними задирами при використанні чистої міді не завжди передбачено.

Він стійкий до задирок і зберігає свої властивості протягом тривалого часу. Наприклад, на хромованих і ущільнювальних кільцях тепловозів композитне покриття витримує 100...300 годин. Шар олова на кільцях дизельного двигуна повністю зношується протягом 2-4 годин.

Всі покриття для додаткової роботи усувають критичні моди (задири) в початковий момент і збільшують несучу здатність пар тертя. У майбутньому стійкість до зношування і задири поверхонь буде визначатися властивостями матеріалів композитних деталей.

Дуже вдало двошарове покриття поршневих кілець міддю і оловом, які володіють позитивними властивостями. На початку нанесення олово перешкоджає утворенню критичних центрів тиску великих вузлів зчеплення і деякий час служить буферним шаром.

Мідь, яка знаходиться під шаром олова, «розпорошує» теплові спалахи на «гарячі поверхні» завдяки своїй високій теплопровідності. Очевидно, за цей час олово дифундує в мідь і покращує її властивості ковзання. Після зносу шару олова на частково обробленій поверхні при менших тисках на фактичних контактних площинах може виникнути ефект вибіркового перенесення, що сприятливо впливає на знос.

Розроблено метод електрохімічного механічного наповнення (ЕХМП) основних з'єднань двигуна. Суть процедури полягає в тому, що в зону тертя в якості мастила подається спеціальний електродит і між робочими органами пропускається змінний електричний струм. Завдяки механічній та електрохімічній взаємодії деталей поверхні швидко адаптуються одна до одної. Процедура забезпечує процес макрообкатки на етапі складання двигуна, скорочується час обкатки в порівнянні з типовою технологією GOSNITY і збільшується міжремонтний ресурс відремонтованих двигунів. Описаний процес сприяє формуванню зносостійких поверхонь, забезпечує високу ущільнювальну здатність деталей КПП і дещо змінює хід типового технологічного процесу складання двигуна.

Макрогеометрична клізма в ЕНМР відбувається в більш м'якому режимі, чим холодніша клізма, що особливо важливо, враховуючи недостатню структурну

термостійкість гальванічного хрому. Макрообробка з'єднань ЦПГ в одноциліндровому агрегаті на електроліті, зазначеному в роботах з підключенням технологічного струму до блоку і шатунів показала, що повне наближення першого поршневого кільця до дзеркала циліндра. За 5 хвилин було досягнуто низького зносу. Проведення досліджень прикладних двигунів Д-50, 240 і рядних SMD дозволило тимчасово вирішити ряд технологічних проблем, таких як з'єднання з і СРГ.

Використання ЕНМР перед використанням у різних типах двигунів підтвердило ефективність методу. Зокрема, спостерігається збільшення проміжного ремонтного ресурсу, зменшення прориву газу в картер і зменшення вигорання масла в порівнянні з обкаткою двигуна за типовою технологією GOSNITU без використання ЕНМР.

Аналіз стану поверхонь деталей головних з'єднань двигунів після ЕММР та експлуатації в нормальних умовах експлуатації показав, що мікрорельєфи, отримані ЕММР, зберігаються протягом сотень і тисяч мотогодин. Такий же суттєвий ефект досягається при окремому тестуванні комбінації СРГ і КСНМ (NI NASA-Lewis Center (Goetze AO (Germany))), але в умовах високої точності та оптимальної шорсткості поверхні деталей. Різноманітність способів прискорення роботи двигуна в пояснюється відсутністю теоретичних основ процесу обкатки та єдиної науково обгрунтованої методики побудови швидкісних і навантажувальних режимів при первинній експлуатації капітально відремонтованого двигуна, на думку Н.З.Савченко Н.А.Буше та співавт. більша частка «спадкової частини» краще

Значна частина методів і заходів, зазначених вище, використовується в ремонтному виробництві. Незважаючи на це, міжремонтний ресурс відремонтованих двигунів значно поступається новим.

Процес обкатки в загальному вигляді показано в таблиці. 3.1.

Таблиця 3.1 Технологічна послідовність обкатки двигуна

операції	Назва операції	зміст операції	час

005	підготовчий	Перевірити роботу механізму електропідставки.	5 хвилин.
010	Прокрутка	Прокрутіть двигун на 700-800 об/хв без стиснення, потім прокрутіть двигун із стисненням на силовому стенді та доведіть оберти двигуна до 1200-1300 об/хв.	10...15 хв
015	Холодне плавне втягування	Підключіть DC і продовжуйте працювати. Підключіть кабель від позитивного полюса випрямляча до струмоприймача і доведіть напругу на випрямлячі до 0,4 В.	30 хвилин.
020	судове засідання	Випробувати двигун на газу і без навантаження з поступовим збільшенням обертів до номінальних (1500...1600 об/хв).	10 хв.
025	судове засідання	Випробувати двигун з дроселем, під навантаженням і з поступовим навантаженням до номінальної потужності (32,4 кг. на ваговому механізмі).	10...15 хв
030	КОНТРОЛЬ	Прислухайтесь до двигуна, щоб виявити незвичні стуки та шуми в вузлах і механізмах двигуна. Перевірити роботу двигуна.	10 хв.
035	обстеження	Провести 2...3 пробних пуску двигуна. Двигун можна запускати стартером після максимум п'яти спроб, температура навколишнього повітря не повинна бути нижче 5 °С.	5х15с. з перервами по 1 хв.
Загалом			80...90 хвилин

Звідси, ймовірно, випливає, що поверхні необхідно надати певну пристосованість до екстремальних умов роботи (перевантаження, недостатнє змащування, перегрів тощо) шляхом обкатки. Ці вимоги давно сформульовані до з'єднання поршневе кільце - гільза циліндра, але питання забезпечення точності і оптимальної шорсткості поверхні відходить на другий план. Однією з основних причин низького ресурсу, безсумнівно, є невиконання вимог технічних умов на виготовлення, відновлення деталей і загальний ремонт двигунів. Низька точність деталей основних з'єднань унеможливує оптимізацію властивостей шорсткості поверхні та їх форми. Так, якщо висота рельєфних поверхонь деталей не перевищує декількох мікрон, то допустимі відхилення їх розмірів складають кілька десятків мікрон, а в зібраному вигляді розміри, що характеризують взаємне розташування деталей, досягають сотень мікрон. Ці відхилення навіть при

порушенні режиму обкатки зводять до нуля проведені заходи з оптимізації рельєфу.

Приймемо, що тривалість технологічного процесу при роботі в дизелях становить 80 хв. або 1 година 20 хвилин.

Звідси можна зробити висновок, що ЕММП є одним із найперспективніших методів опрацювання деталей з макрогеометричними відхиленнями та відхиленнями у взаємному розташуванні поверхонь. За допомогою електрохімічних процесів можна локально видалити матеріали з частин з'єднувачів CNG і видалити продукти зносу у вигляді іонів в електролітах, тим самим запобігаючи забрудненню ущільнень поршневих кілець продуктами зносу. Застосування експлуатаційних масел при технологічній обкатці сприяє переходу до нормального механічного і хімічного зношування деталей з'єднання і формуванню молодих, експлуатаційно пружних поверхонь.

### 3.3 Обґрунтування параметрів технологічного процесу обкатки двигуна

Вибір електроліту для дослідження здійснювався з урахуванням ступеня зносу робочих частин (зняття матеріалу), анодного виходу металу в залежності від сили струму та отриманої мікроскоросткості робочих поверхонь деталей.

На приводний вал машини встановлювався спеціальний тримач із закріпленим у ньому хромованим кільцем, а на верхній вал – тримач із накладкою (рис. 3). Хромоване кільце 2 кріпилося між двома фланцями з текстоліту за допомогою гвинтового з'єднання. Для живлення кільця на внутрішній стороні фланця 3 були розміщені два контакти з мідної фольги, які припаяні до кріплення мідного контакту 5, розміщеного на зовнішній стороні фланця. Накладка 1 була закріплена в кільці 2 за допомогою гвинтів і хомутів. Тримач був ізольований від маси машини тертя за допомогою текстолітової втулки. Джерело живлення, зображене на рис. 3, було з'єднане з мідним кронштейном 5 тримача кільця та гвинтом 4 тримача колодки через підпружинену мідно-графітову щітку (рис. 4).

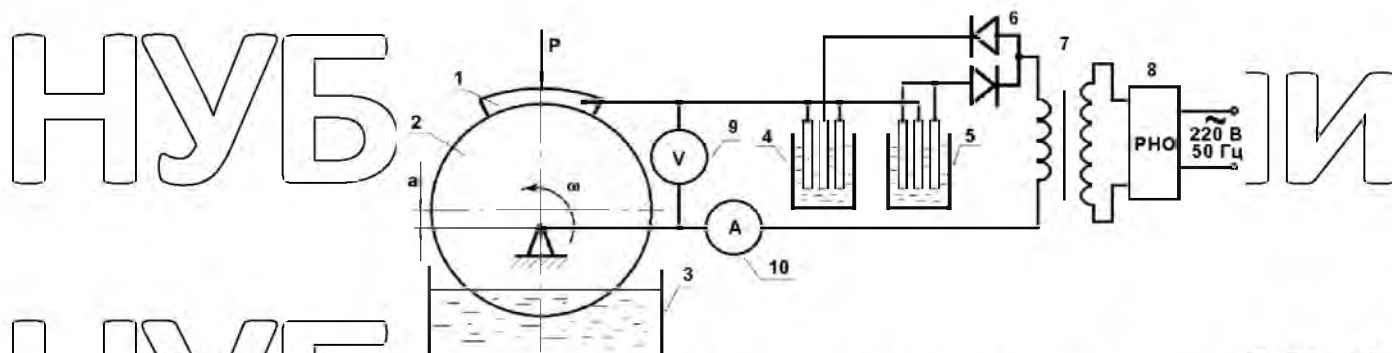


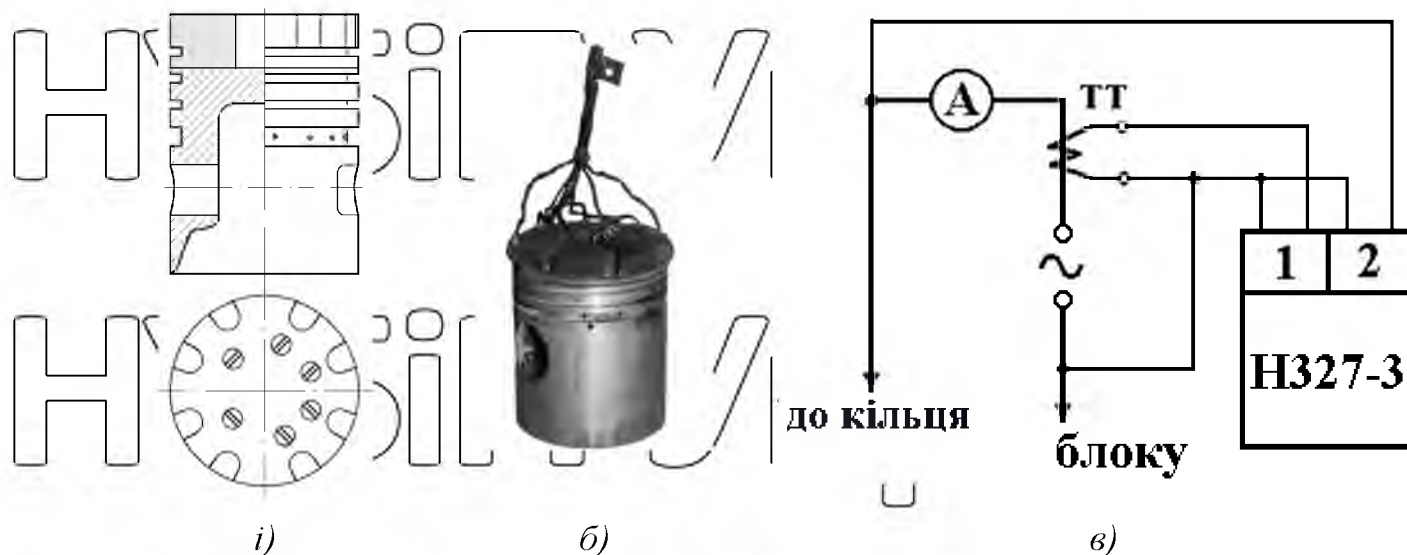
Рисунок 3. Схеми установки для визначення зносу та анодних показників металу за струмом при накладанні хромове кільце - чавунний блок на машині тертя СМК-2.

1 - колодка, 2 - хромове кільце; 3 - ванна з електролітом; 4 - Кулонометр №1; 5 - Кулонометр №2; 6 - діоди Д-242; 7 - понижуючий трансформатор ТС-1,5/0,5; 8 - регулятор напруги РНО-10-250; 9 - вольтметр; 10 - амперметр Е514

Потужність розраховували за загальноприйнятою методикою. Величина струму, що використовується для травлення деталей, оцінювалася за допомогою мідних кулонометрів 4 і 5 (рис. 3). Для ізоляції анодної складової в схему кулонометра включені діоди 6.

Частота обертання колінчастого вала на установці регулювалася електродвигуном з фазним ротором шляхом зміни опору змінних реостатів у колі ротора.

Зміну режиму тертя та його вплив на працездатність з'єднань КІП визначали за зміною параметрів струму ( $I$ ,  $U$ ). Використання частин СРГ виключає можливість прямого вимірювання падіння напруги та струму в з'єднаннях під час ЕНМР. Насправді зміна режиму тертя в стикі кільце-гільза визначалася зміною електричного опору електроліту в зазорі між хромовим кільцем і втулкою під час ЕГМІП. Шляхом порівняння отриманих закономірностей зміни опору електроліту в комбінаціях кільце-гільза та поршень-кільце-гільза зроблено висновок про зміну опору комбінації поршень-кільце під час ЕГМІП.



Малюнок 4. Схема підключення ЕНМР хромоване кільце циліндра дзеркала гільзи

циліндра:  
 а, б - часткові поршні, кожен з хромованим кільцем і без нього; в - електрична схема підключення джерела живлення та осцилографа до частин КПГ: ТТ - трансформатор струму; 1 і 2 - канали осцилографа НЗ27-3; А - амперметр

Деталі контролювали за величиною зазору в канавці кільце-поршень і з'єднаннях поршень-гільза і підбирали відповідно до вимог. Прилеглисть компресійних кілець у втулці визначали за методиками ГОСТ 621-87Е і ГОСТ

7295-81. Шорсткість поверхонь тертя вимірювали профілометром Profilograph model 201. Висоту, крок і параметри конструкції визначали за профілограмами (ГОСТ 2789-73).

Для зняття профілограми з бічної грані кільця її кріпили до торця призми з встановленим столиком. За допомогою мікроскопа тонким гострим інструментом в «отвір» у верхній частині хромованого кільця точно встановлювали голку приладу. При профілюванні дзеркала гільзи циліндра воно розташовувалося безпосередньо на призмі, встановленій на рухомій пластині. Спідницю поршня також профілювали за допомогою призми, встановленої на рухомій пластині. При вимірюванні поперечної шорсткості на обох кінцях канавки поршня він був встановлений безпосередньо на рухомому валіку. Профілографію торців кільця проводили в поздовжньому та поперечному напрямках.

За результатами проведених досліджень надано рекомендації щодо вдосконалення існуючої технології ЕММЗ основних з'єднань автотракторних двигунів при їх капітальному ремонті. Було вирішено компромісне завдання - повне прилягання хромованого кільця до шарнірної втулки з мінімальним зносом.

Удосконалена технологія ЕНМР циліндро-поршневої групи двигунів була перевірена в детальних дослідженнях, а привід колінчастого вала здійснювався за допомогою модернізованого стенду обкатки і гальм КІ-4893В від GOSMITY. Досліди проводилися в блоці картера без заміни деталей КПП, змінними були тільки поршні, кільця і гільзи циліндрів.

Випробування досліджуваних двигунів, які пройшли ЕММД для деталей КПП, проводили на модернізованих обкатково-гальмівних стендах КІ-4893Б м. Госнिति та КІ-4935 м. Госнिति. Під час випробувань були визначені техніко-економічні показники двигунів: крутний момент, витрата палива, прорив газу в картер і після 60 чергових випробувань згоряння масла. Після макрообробки за налагодженими режимами ЕНМД деталей КПП двигуни були зібрані за існуючою технологією ГОСНІТА та піддані стендовому обкату за скороченими режимами. Для порівняння було зібрано та обведено три двигуни за режимами типової технології GOSNITY (управляючі двигуни).

Шістдесятигодинні стендові випробування та випробування на горіння масла проводили згідно з вимогами ГОСТ 18509-88 на модернізованому стенді обкатки та гальмування КІ-4893Б фірми ГОСНІТИ. Після макрообробки за скоригованими режимами ЕНМР деталей СРГ двигуни були зібрані за існуючою технологією ГОСНІТА, піддані динамометричному прогону в скорочених режимах, 60-годинним динамометричним випробуванням і випробуванням на вигорання. Після цього двигуни розібрали для перевірки деталей ЦПГ. Для порівняння були протестовані набори КПП, які були обкатані за типовою технологією ГОСНІТИ (контрольні КПП). Деталі ЦПГ випробували в тому ж блоці картера, без зміни деталей КПП, деталей і вузлів системи паливопостачання, змащення, охолодження і газорозподілу. При цьому були змінені тільки гільзи циліндрів, поршні і поршневі кільця.

Для проведення експлуатаційних випробувань дослідні двигуни розділили на дві партії. Двигуни першої партії оснащувалися ЦЦП, що пройшли ЕГМП за адаптованими режимами, а двигуни другої партії були оснащені ЦЦП, що пройшли ЕГМП за існуючими режимами. Для порівняння були протестовані двигуни, зібрані та обкатані за типовою технологією GOSNITY.

У ході стендових випробувань для підготовки КПГ до експлуатаційних випробувань визначали техніко-економічні показники двигунів: крутний момент, витрата палива, прорив газу в картер і т.д. згідно з ДСТ 18509-88. Для визначення міжремонтного ресурсу після стендових випробувань двигуни були передані в господарства для проведення експлуатаційних випробувань. Оцінку ефективності експериментальних і контрольних двигунів проводили в нормальних умовах експлуатації.

### 3.4 Обкатка та тестові роботи

На стенді обкатки і гальмування можна проводити обкатки холодних двигунів, обкатки двигунів на газі без навантаження і з навантаженням, а також випробування двигунів на потужність і витрату палива.

Режими обкатки двигунів повинні відповідати діючим на підприємстві технічним умовам.

Після складання і кріплення подаючого двигуна до стійок і підключення двигуна до приводного валу стенду необхідно:

- Наповніть водяну сорочку двигуна водою;
- заповнити картер двигуна мастилом;
- Підключіть паливопровід до двигуна та заповніть паливну систему паливом.
- З'єднайте шток важеля управління подачею палива з важелем регулятора паливного насоса двигуна (на карбюраторних двигунах з важелем дросельної заслінки карбюратора).
- Встановіть на двигун дистанційні датчики термометрів води та масла та трубку манометра.

- З'єднайте вихлопну трубу двигуна з вихлопною трубою.

### **Обкатка холодного двигуна**

При запуску електромашини для обкатки холодного двигуна необхідно:

- Увімкнути блок вимикача запобіжників на шафі управління;
- увімкнути електромашину натисканням кнопки «Пуск» на шафі

керування;

- Натиснувши кнопку «занурення» на шафі керування, занурити електроди реостата в розчин до досягнення необхідної частоти обертання ротора електромашини за електротахометром.

Подальше регулювання частоти обертання ротора електричної машини здійснюється зміною занурення електродів реостата, що досягається натисканням кнопок «занурення» або «підйому» на шафі керування.

### **Обкатка двигуна без навантаження**

Для того щоб перевести двигун з холодної обкатки на гарячу, вам знадобляться:

- встановити за електротахометром мінімальну частоту обертання ротора електромашини (600...700 об/хв);

- Відкрити кран подачі палива з бака і встановити триходовий кран в положення «Двигун».

Відкрийте подачу палива в двигун, перевівши важіль подачі палива (педаць акселератора) в середнє положення.

Як тільки зламаний двигун починає працювати на газі (про це свідчить відхилення стрілки вагового механізму), варто зменшити подачу палива, обмеживши частоту обертання двигуна до 600...700 об/хв і вимкнути електричної машини через Натисніть кнопку «стоп» на шафі керування.

Надалі планується регулювання частоти обертання колінчастого вала відповідно до режиму обкатки за допомогою важеля подачі палива (педаль акселератора).

### **Обкатка двигуна під навантаженням (гальма)**

Обкатка двигуна під навантаженням на стенді можлива тільки при частоті обертання ротора електромашини вище 1500 об/хв.

Для обкатки двигуна під навантаженням знадобиться:

- Увімкнути електромашину натисканням кнопки «Пуск» на шафі керування.

- Встановить важіль подачі палива (педаль акселератора) в положення, відповідне режиму обкатки.

- Встановить потрібне навантаження, натиснувши кнопку «занурення» на шафі керування.

Регулюють навантаження, змінюючи глибину занурення електродів реостата і положення важеля подачі палива.

При роботі в гарячих карбюраторних двигунах під навантаженням необхідно бути особливо уважним при встановленні навантаження і частоти обертання двигуна. Зверніть увагу, що перевищення частоти обертання ротора електричної машини понад 3000 об/хв може призвести до нещасного випадку.

#### перевірка двигуна

Випробування двигуна, яке проводиться після обкатки під навантаженням (без вимкнення двигуна), служить для перевірки якості ремонту і регулювання механізмів двигуна. При випробуванні двигуна визначають його продуктивність і витрату палива. Для цього триходовий кран переводять в положення «Бухта».

Після наповнення скляної банки на вагах необхідною кількістю палива ручку крана слід встановити в положення «відміряти». При цьому паливо в двигун потрапляє тільки з корабля.

Після вимірювання витрати палива триходовий кран слід встановити в положення «Двигун».

#### Охолодження припливного двигуна

Охолодження обкатки двигуна можна здійснити одним із способів:

- за допомогою радіатора трактора (автомобіля) з вентилятором;
- Використання центральної системи охолодження (рекомендовано, якщо ремонтна компанія має більше 5 стендів).

- Користування водопровідною мережею.

При використанні водопровідної мережі для охолодження двигуна, що надходить, доцільно використовувати водозмішувач, який автоматично підтримує необхідну температуру води, що надходить у двигун.

### 3.5 Підбір технологічного обладнання, ріжучого, вимірювального, контрольного інструменту та ремонтних матеріалів

Прилади, прилади та інструменти, за допомогою яких проводилися вимірювання в процесі дослідження, представлені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 Контрольні фактори та реакція процесу ЕНТР частин CNG

фактор, зворотній зв'язок	Назви приладів, обладнання, інструментів	клас, помилка
сила струму	Амперметр Е514, 0...2 А	0,5
	Амперметр Е514, 0...200 А	1,0
	Трансформатор струму УТТ-6М2 (200/5 А)	0,2
	Амперметр АСТ, 0...5А	0,5
НАПРУГА	Комбінований пристрій ИИ4313,	
	Швидкісний реєстратор НЗ27-1 (0,02...5 В/дим, 0...100 Гц)	2; 4%
	Швидкісний реєстратор НЗ27-3 (0,02...5 В/дим, 0...100 Гц)	2; 4%
	Швидкісний самописець НЗ27-5 (0,02...5 В/ді, 0...100 Гц)	2; 4%
	Швидкісний реєстратор НЗ38-6Р (0,02...6 В/ді, 0...100 Гц)	2; 4%
	Трансформатор ТС-1, 5/0,5 Регулятор напруги РНО-10-250	
завантаження	Машина тертя СМК-2 (гирі 3 кл, 0,375...3,75 кгс)	±5%
	Автопідставка КУ4893В-GOSNITY В'їзна підставка КУ4935-GOSNITY	±5%
Натиснути на котушку	Штатив 6СТ ГОСТ 10197-70, Індикатор ІЧ-10 (0...10 мм)	0,01 мм
	Головка індикаторна мірна пружинна типу ИГП ГОСТ 6933-72	0,001 мм
час	Секундомір SOS Пр.26-2 (0...60 с, 0...60 хв)	±0,3 сек
температура	Термометр ртутний ГОСТ 215-57 (0...50 °С)	±0,1 °С
в'язкість	Віскозиметр ВУ ГОСТ 1532-81	
візуальний аналіз	Мікроскоп МБС-10	
	Мікроскоп МБС-1	

	Установка для визначення близькості кілець до торця гільзи/циліндра 110 калібру $\pm 0,01$ мм, 120 калібру $\pm 0,01$ мм	
частота обертання	Тахометр ТЧ10П, 0...10 тис	$\pm 1$ хвилина <sup>-1</sup>
провідність	Кондуктометр ОК 102/1 (0...500 мкс, 0...500 мс)	0,05
Розміри	Ваги аналітичні (А-31 (0...200 г) Важільні ваги РН-10Ц13В (0...10 кг) Ваги ВЛТ-20-1	0,1 мг 5 м 0,1 м
мікрошорсткість	Профілометр-Профілограф мод. 201	10%

Мікровимірювання деталей ЦПГ проводили за допомогою приладів та інструментів згідно з рекомендаціями ГОСТ 18509-88 (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 Пристрої та інструменти для мікровимірювальних частин двигуна

ТКГ

місце вимірювання	Назва пристрою, інструмент	Дозволено похибка, мм	
		сигнальний пристрій	на літній час 18509-88
Внутрішній діаметр гільзи циліндра	Дисплей індикатор NI100...160 мм, № 2530, індикатор ІМІХ № 71868	0,002	$\pm 0,002$
Зовнішній діаметр поршня	Мікрометр МК100-125 № 38822 ГОСТ 6507-60	0,005	$\pm 0,005$
Ширина поршневих канавок під поршневі кільця	Калодки калібрувальні довгі комплект 1, № 100488, ГОСТ9078-73 Мікроскоп МБС-10	0,005 0,001	$\pm 0,002$
Висота поршневих кілець	Кронштейн дисплея 0...25 мм	0,002	$\pm 0,01$
Вигин і скручування шатуна	Пластина вертикальна, призма індикатор	0,002	
Зіграйте в фіксації поршневих кілець	Мікроскоп МБС-10, калібр 110120 мм	0,01	$\pm 0,05$

### 3.6 Стенд для обкатки та виробування двигунів тракторів

Двигуни будуть тестуватися на стенді КІ-1363В. Загальний вигляд стенду показано на рис. 5. Статор - балансуєчий, асинхронний з фазним ротором.

Гальмівний двигун містить електричну балансувальну машину 13, ваговий механізм 9 і пульт керування з пристроями керування 1, встановленими на загальній плиті 20 і карданному валу 10. Електричний балансир є приводом для холодної роботи двигуна і гальмом для обкатки двигуна під навантаженням і перевірки.



Рисунок 5 Загальний вигляд стенда обкатки і гальмування КІ-1363Б

1 – пульт керування; 2 – датчики; 3 – електродвигун; 4 - ліжко.

### 3.7 Технічні характеристики та опис стенда обкатки та гальмування

Основні технічні характеристики стенда обкатки і гальмування КІ-1363Б представлені в таблиці. 3.4.

Стенд обкатки складається з наступних вузлів: моторного гальма 9 у складі з ваговим механізмом і пультом управління з контрольними приладами, контрольного реостата 10, шафи управління 11, пристроїв для установки двигуна 6, 7 і 8, паливний бак 3 і прилад для вимірювання втрат палива 5.

Електробалансир являє собою асинхронний електродвигун з фазним ротором. За допомогою двох опорних штифтів 22 і 23 корпус електричної машини підвищений на стійках 21 і 24, закріплених на плиті 20, що забезпечує поворот відносно поздовжньої осі. Під час роботи електричної машини крутний момент ротора викликає на її статорі моменти реакції, які прагнуть повернути її тіло на  $180^\circ$ . Так як реактивний момент на статорі дорівнює моменту обертання.

Таблиця 3.4 Технічні характеристики стенда заїздно-гальмівного КИ-1363Б

технічні характеристики	Значення характеристик
Потужність кВт	37
Частота обертання ротора, об/хв	17
Регулювання частоти обертання та обертання ротора електромашини в безступінчастому режимі електродвигуна, об/хв	8,3...16
Частота обертання ротора електричної машини в режимі гальмування, об/хв	18,3...34,0
Максимальна гальмівна потужність стенду при частоті обертання 200 об/хв, кВт	8,25
Тип реостата	рідина
Ємність резервуара, м <sup>3</sup>	0,3
Тип приладу для визначення гальмівних і крутних моментів	Ваговий механізм маятникового типу
Максимальний гальмівний момент, вимірюваний на вазі механізму, Н·м	490
Точність визначення потужності обкатки двигуна, %	3
Ємність паливного бака, м <sup>3</sup>	0,1
Площа, необхідна для розміщення складальних одиниць стенду, мм	5750×5440
вага (кг)	2000 рік

момент реакції визначається гальмівним моментом або моментом тертя, коли двигун працює в холодному стані.

Електрична машина працює в двох режимах на статорі: генераторному і приводному; Цей режим роботи використовується при холодній обкатці двигунів,

а генераторний при гарячій обкатці двигуна під навантаженням (електрична машина схожа на електричне гальмо).

У генераторному режимі електрична машина починає працювати автоматично, як тільки її ротор отримує від працюючого двигуна інформацію про те, що швидкість вище синхронної (вище 1500 об/хв). При цьому електрична машина виробляє електроенергію і віддає її в мережу (з коефіцієнтом відновлення від 0,5 до 0,85).

Для зменшення опору коченню корпусу електричної машини підводи до обмоток статора і щіток ротора виконують за допомогою спеціальних гнучких проводів. Вихідні клеми проводів закриті спеціальними коробами 15 і 16.

Поряд з передньою рейкою 24 встановлена і шестерня 12 з виносним електродатчиком 11 тахометра, який використовується для вимірювання частоти обертання колінчастого вала двигуна, що поступає. Осьовий отвір передбачено в кришці 25, щоб можна було вимірювати швидкість за допомогою ручного тахометра.

Вал ротора електричної машини з'єднаний з впускним двигуном через карданний вал 10, що дозволяє встановити впускний двигун з незначним зміщенням відносно електричної машини. КАРДАН закритий корпусом 17, який має шарнірну частину 18. Має 2-і колонки, до яких кріпляться важіль 7 включення паливного насоса двигуна і важіль управління подачею налива (недалі акселератора) 8. Важелі з'єднані з паливним насосом за допомогою тяг 19.

Ваговим механізмом є маятниковий динамометр, який використовується для вимірювання гальмівного моменту під час обкатки двигунів під навантаженням кривошипного моменту під час холодної обкатки. Момент передається на корпус електричної машини, який за допомогою кронштейнів з'єднаний з ваговим пристроєм і заслінкою. Ваговий механізм встановлений на підставці, яка кріпиться до монтажної плити.

Пульт керування 1 служить для розміщення на стенді приладів, необхідних для керування роботою обкатки двигуна.

На передній панелі пульта кріпляться:

а) циферблат вагового механізму 4;

б) виносний електротахометр 3;

в) два манометри 5 для контролю тиску масла в системі змащення двигуна і в підшипниках турбокомпресора;

г) виносний термометр 6 для перевірки температури картерного масла;

д) Виносний термометр 2 для контролю температури води в системі охолодження двигуна.

Реостат веруючої рідини служить для пуску електричної балансувальної машини і регулювання частоти обертання її ротора при роботі електричної машини в руховому режимі і для регулювання навантаження при роботі електричної машини в генераторному режимі.

Шафа керування призначена для розміщення пристроїв живлення, а також пристроїв керування стендом.

Пристрій для установки двигунів складається з 2-х поздовжніх плит 6, які закріплені на фундаменті, двох поперечних плит 8 і чотирьох стійок 7. Верхні поперечні плити можуть переміщатися вздовж нижніх. Стійки можуть переміщатися поперечно вздовж верхніх плит. Кожна стійка має опорну поверхню, яку можна регулювати по висоті. На цю поверхню кріпиться обкатний двигун за допомогою базової монтажної поверхні або спеціального монтажного куточка (кріплення).

Конструкція пристрою універсальна, тобто дозволяє встановлювати двигуни будь-яких марок. При використанні стенду для обкатки двигунів однієї марки зручніше і раціональніше монтувати їх на спеціальні стійки.

З'єднання вхідного двигуна з карданним валом 10 здійснюється за допомогою з'єднувальних пристроїв, виготовлених користувачем, відповідних виготовленню регульовальних хомутів, по відношенню до визначеного розміру впускного двигуна.

Паливо для обкатки двигуна надходить з пристінного бака 3, який знаходиться на висоті, близькій до землі 2 м. Бак обладнаний покажчиком рівня палива 4. З цього бака при відкритому запірному крані 2 паливо надходить по патрубку 1 до триходового крана 7 (рисуюнок 3.1), а далі по патрубку 9 паливо подається в двигун.

#### 4 Охорона праці та охорона праці

Удосконалюючи свою працю і підвищуючи продуктивність, людина змінює засоби виробництва. При цьому, намагаючись захиститися від згубної дії одних небезпечних факторів, вона підпадає під вплив інших. Особливо це відчувається гостро, якщо внаслідок використання складних технічних засобів зросли нервово-психічні перевантаження, виникли професійні захворювання, почастипали нещасні випадки тощо.

У цьому контексті дедалі гострішою стає проблема охорони праці. Її вирішення включає систему законодавчих, соціально-економічних, організаційних, технічних, лікувально-профілактичних заходів і засобів, що забезпечують безпеку, збереження здоров'я і працездатності людини на виробництві вимагає процесу, який називається охороною праці (ГОСТ 12.0.002-80, ST SEV 1084-78).

#### 4.1 Характеристика небезпечних і шкідливих факторів Обкатка та перевірка двигуна

Обкатку двигунів здійснюватимуть на модернізованому стенді КІ-1363Б. У той же час існують деякі небезпеки і шкідливі фактори, так виникають вібрації рухомих частин статора і двигуна, згідно з ГОСТ 12.1.012-78 допустима вібрація при обкатку двигуна становить 92 дБ. При обкатці фактична вібрація знаходиться в межах допустимих і становить: амплітуда  $A=0,2...5$  мм, частота вібрації 50...60 с

<sup>-1</sup> Під час руху транспортного засобу виділяються такі шкідливі викиди та пари: хлор, фтор,  $CO_2$ , дим ( $CO$ ,  $CO_2$ ) і  $SiO_2$ .

Для виробництва присадок використовуються різні хімічні речовини, в тому числі лужні і кислі середовища, а також нафтопродукти. У місцях зберігання кислот і хімікатів і при роботі з ними необхідна якісна місцева вентиляція. При розливі розчинів сірчаної кислоти їх можна знешкодити вапняним молоком, потім

знешкоджену ділянку посипають піском, а потім прибирають у спеціально відведені місця.

До роботи з нафтопродуктами допускаються лише особи, які досягли 18 років і мають нормальний нюх. У виробничих і допоміжних приміщеннях, а також у приміщеннях, де можливе виділення парів від нафтопродуктів, застосовують тільки вибухозахищені освітлювальні прилади. Будь-яке розлите паливо або масло необхідно негайно засипати сухим піском.

Добавка, яку ми використовуємо, гліцерат міді ( $\text{Cu}_3(\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3)_2$ ) практично нешкідлива і нетоксична, її значення рН становить 6,8, отже майже нейтральне середовище.

## 4.2 Заходи щодо усунення шуму та вібрації

### захист від шуму

Будь-який звук, який негативно впливає на людину, називається шумом. З фізичної точки зору звук — це механічні коливання пружного середовища, які характеризуються частотою (кількістю коливань за секунду)  $f$  (Гц), звуковим тиском  $P$  (Па), швидкістю коливань  $v$  (м/с) та інтенсивністю  $I$  (Вт/м<sup>2</sup>).

Колівання пружного середовища з частотою 20...20000 Гц людина сприймає у вигляді чутого звуку. Найбільше значення для слухового сприйняття має інтервал 45...10000 Гц. Пороги  $I_0$  і  $P_0$  залежать від частоти звуку. при частоті 1000 Гц  $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Па і  $I_0 = 2 \cdot 10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>. Больові відчуття (больовий поріг) виникають при звуковому тиску  $P_0 = 2 \cdot 10^{-2}$  Па і  $I_0 = 10$  Вт/м<sup>2</sup>.

Ступінь інтенсивності розраховується за виразом:

$$L = 20 \lg \left( \frac{P}{P_0} \right), \quad (4.1)$$

де  $P$  - звуковий тиск у цій точці, Па;

$P_0$  - тиск, що відповідає порогу чутильності Па.

Загальний рівень шуму від кількох джерел визначається виразом:

# НУБІП України

$$L_{\text{обш}} = L_1 + 10 \lg n, \quad (4.2)$$

де  $L_1$  – рівень шуму джерела, дБ;

$n$  – кількість джерел шуму.

Залежно від кількості джерел шуму його рівень зростає наступним чином:

кількість джерел шуму	1	2	3	4	5	6	8-й	10	20	30	40	100
Підвищення рівня шуму, дБ	0	3	5	6	7	8-й	9	10	13	15	16	20

# НУБІП України

Діапазон чутності людини 130 дБ; при вищій інтенсивності – біль у вухах, а при 140 дБ – порушення слухового апарату, також з короточасним ефектом.

Норми шуму на робочих місцях визначені ГОСТ 12.1.003-83 «ССБТ. Шум. Загальні вимоги безпеки». Безперервний шум нормується відповідно до граничного спектру. Граничний спектр - це набір нормативних рівнів звукового тиску у восьмиоктавних смугах частот з геометричними центральними частотами:

63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 і 8000 Гц, що відповідають таким рівням звукового тиску: 99, 92, 86, 83, 80, 78, 76 і 74 дБ на постійних робочих місцях і робочих зонах у виробничих приміщеннях (еквівалентно 85 дБ).

Інфразвук і ультразвук також шкідливо впливають на людину.

Відповідно до СН 22-74-80 інфразвуковий тиск не повинен перевищувати 105 дБ. Загальними документами, що регламентують техніку безпеки при роботі з ультразвуком, є «Гігієнічні норми і правила роботи на промисловому ультразвуковому обладнанні», а також ГОСТ 12.1.001-83 (СТ СЭВ 4361-83) «ССБТ. Ультразвуковий. Загальні вимоги безпеки». Відповідно до ГОСТ 12.1.003-83 забороняється також короточасне перебування людей у зонах з рівнем звукового тиску понад 135 дБ у кожній октавній смузі. Зони з рівнем звуку вище 85 дБ позначають спеціальними знаками (наприклад, знаком 3.5 по ГОСТ 12.4.026-76).

Загальна класифікація засобів і методів захисту від шуму наведена в ГОСТ 12.1.029-80 «ССБТ. Засоби і методи захисту від шуму. класифікація».

Залежно від виду шумів їх поділяють на вібраційні (механічні) та аеродинамічні.

Основними джерелами вібраційного шуму від машин і механізмів є шестерні, підшипники та ін. Знизити шум від зубчастих передач можна шляхом підвищення точності їх виготовлення, заміни циліндричних циліндричних передач на косозубі та шевронні, а також підбору відповідних матеріалів для них.

Для зниження шуму підшипників необхідне ретельне виготовлення і збірка, а також використання різних масел.

Шум аеродинамічного походження на виробництві виникає внаслідок перехідних процесів у газах (згоряння рідкого або розпиленого палива в форсунках, виділення вихлопних газів двигунів внутрішнього згоряння тощо), а також результатів роботи систем вентиляції. Для його зниження використовуються спеціальні пристрої – глушники.

Глушники бувають абсорбційні, реактивні та комбіновані. Під час поглинання шум зменшується в порах звукопоглинального матеріалу.

Принцип роботи реактивних глушників заснований на ефекті відбиття звуку і утворення «звукової пробки» в порожнинах резонатора.

До засобів індивідуального захисту від шуму належать протишумозахисні наголовники та беруші, шоломи та костюми.

### Захист від вібрації

Вібрація — це складний коливальний процес, який виникає при періодичному зміщенні центру ваги тіла з положення рівноваги і при періодичній зміні його форми.

До основних параметрів, що характеризують вібрацію коливальної точки, відносяться: амплітуда переміщення - найбільше відхилення  $A$  (м);

Віброшвидкість — максимальне значення швидкості  $v$  (м/с), віброприскорення - максимальне значення прискорення  $a$  (м/с<sup>2</sup>); Частота  $f$  (Гц).

$v = 1 \cdot 10^{-4}$  м/с людина починає відчувати вібрацію, при  $v = 1$  м/с з'являються больові відчуття.

Залежно від типу передачі розрізняють місцеву (місцеву) вібрацію, яка передається через руки, а в більш загальному вигляді - через контактні поверхні.

Відповідно до ГОСТ 12.1.012-78 (СТ СЭВ 1932-79) «ССБТ») Аналіз показника нормування; Інтегральна оцінка частоти параметра нормування; дозована вібрація.

Виброзахисні умови праці - це умови, при яких виробничі вібрації не роблять негативного впливу на працівника.

Зменшення вібрацій машини передбачає зменшення динамічних процесів, які відбуваються при сильних прискореннях, дисбалансах тощо. Для виключення працюючих від контакту з вібруючими поверхнями за межами робочого місця (зони) необхідно ізолювати небезпечні зони огорожами, попереджувальними знаками, фарбуванням тощо.

Засоби індивідуального захисту в місцях контакту оператора з предметами, що вібрують, для рук (рукавиці, прокладки та прокладки згідно з ГОСТ 12.4.002076), ніг (черевики, ботильйони, чоботи) з використанням еластично-демпферного матеріалу згідно з ГОСТ 12.4.024-74, боді (Нагрудники, пояси, спецкостюми, які також виготовлені з еластичного, амортизаційного матеріалу).

### 4.3 Заходи щодо видалення шкідливих парів

Відповідно до ГОСТ 12.1.007-76 шкідливі речовини - це речовини, які можуть спричинити нещасні випадки на виробництві, професійні захворювання або відхилення у стані здоров'я.

Забруднюючі речовини повітря робочих приміщень згідно з ГОСТ 12.0.003-74 відносяться до небезпечних і шкідливих факторів виробництва, які за способом дії поділяються на фізичні та хімічні, біологічно і психофізіологічно.

Дія шкідливих хімічних речовин на організм визначається їх фізико-хімічними властивостями. Відповідно до ГОСТ 12.0.003-74 група хімічно небезпечних і шкідливих виробничих факторів за характером дії на організм людини поділяється на такі підгрупи: загальнотоксичні, подразливі, канцерогенні, мутагенні та порушують репродуктивну функцію.

У нашому випадку:

Гранично допустимі концентрації газів, парів і пилу в повітряному середовищі виробничих приміщень повинні відповідати наступним гігієнічним нормам (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 Гранично допустимі концентрації газів, парів і пилу в повітряному середовищі

Назва речовини	Значення ГДК, мг/м <sup>3</sup>
окис вуглецю	30
сірчана кислота, сірчаний ангідрид	1
тетраетилсвинець	0,05
Луги, аерозолі в сенсі каустичної соди	0,5
Нітрохлорні, динітрохлорні сполуки бензолу	1
ацетон	200
сірководень	10
Хлористий водень і соляна кислота (на основі (HCl))	5
Гас (у С)	300

Подразливими речовинами є кислоти, основи та сполуки, що містять хлор, фтор, сірку та азот (фосген, аміак, оксиди сірки та азоту та інші). При контакті з ними страждають органи дихання, шкіра і слизова оболонка ока.

Канцерогенні речовини – потрапляючи в організм людини, сприяють розвитку злоякісних пухлин. Ці властивості притаманні продуктам нафтопереробної та нафтохімічної промисловості (мазут, гудрон, бітуми, масла та ін.).

Тому великого значення набуває визначення так званих гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин (ГДК) – концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони (ГОСТ 12.1.005-76), яка при повсякденній роботі для 8 годин або будь-яка інша тривалість (не більше 41 години на тиждень)

протягом усього професійного досвіду не може призвести до захворювання або погіршення самопочуття людини.

Випробувальні стенди обладнують захисними екранами або іншими пристроями в місцях, де під час випробувань можливе розбризкування робочих рідин внаслідок ослаблення з'єднань. Видалення з приміщення шкідливих газів і пилу забезпечується припливним і витяжним повітрям. Стенди обладнані витяжними трубами для відведення вихлопних газів.

#### 4.4 Обкатка та перевірка техніки безпеки

##### 4.4.1 Загальні вимоги до вхідної трибуни

Загальні вимоги безпеки сформульовані згідно з ГОСТ 12.2.003074. Безпека обладнання полягає в міцності основних і допоміжних елементів, огороженні небезпечних зон, раціональному розміщенні і конструкції органів управління, наявності захисних і сигнальних пристроїв.

Застосовуються такі вимоги:

- Конструкція повинна забезпечувати захист людини від ураження електричним струмом.

- Органи управління повинні бути: їх форма, розміри та поверхні повинні бути надійними в експлуатації. Органи розміщуються в робочій зоні з урахуванням зусилля їх переміщення, а також порядку і періодичності використання і мають схеми і написи, що вказують на функції цих органів.

- пристрої аварійних виходів повинні бути червоного кольору з маркуванням, щоб їх було легше знайти, і розміщувати у відповідних місцях;

- обладнання повинно відповідати санітарно-гігієнічним вимогам;

- Проект повинен забезпечувати виключення або зниження до встановлених рівнів шуму, ультразвуку, інфразвуку та вібрації.

- Робоче місце та його елементи повинні забезпечувати безпеку та комфорт працюючого.

- Будівельні матеріали не повинні бути ані небезпечними, ані шкідливими. Робота пристрою не повинна супроводжуватися виділенням шкідливих речовин в робочу зону;

- Робоче місце повинно відповідати протипожежним вимогам;

- Робоче місце має бути добре освітлене.

#### 4.4.2 Протипожежні заходи

Однією з причин пожежі є неналежна робота електрообладнання (електродвигуна).

Основними причинами виникнення пожеж є: неправильне зберігання палива, мастила тощо; відсутність припливного і витяжного повітря; Налагодження електродвигунів у звичайному та пилозахисненому виконанні.

Для успішного гасіння пожежі використовують густопінні вогнегасники ОУ-2, ОУ-5 та ОУ-8, які відрізняються ємністю балонів ( , 2 л, 5 л) 8 л. Тривалість дії вогнегасників становить: ОУ-2 - 30 секунд, ОУ-5 - 50 секунд. Кориена довжина балки: ОУ-2 - 1,5 м та ОУ-8 - 2 м.

Пожежа на підприємстві завдає великої шкоди майну і часто пов'язана з нещасними випадками за участю людей.

Для захисту від пожежі компресорно-ремонтна станція обладнується негорючими перегородками і перекриттям з межею вогнестійкості менше 1 години; Ворота і двері в цих перегородках з межею вогнестійкості не менше 0,6 год.

Вимикачі, автоматичні вимикачі, запобіжники тощо закриті герметичними корпусами з вогнетривких матеріалів.

Загальне освітлення та вентиляція управляється централізовано. Використані засоби для чищення слід негайно помістити в металеві шухляди з щільними кришками і в кінці дня віднести в безпечне місце до пожежної команди.

Мастила, фарби, горючі та горючі матеріали зберігають окремо один від одного та від інших матеріалів у спеціально обладнаних місцях.

У разі виникнення пожежі повинна бути забезпечена можливість безпечної евакуації людей. Кількість аварійних виходів має бути не менше двох.

Для гасіння невеликих пожеж на місці використовуються первинні засоби пожежогасіння – вогнегасники, пісочниці та ємності з водою. Для захисту від прямих ударів блискавки встановлені блискавковідводи.

На станції встановлена автоматична сигналізація, яка повідомляє про пожежу.

#### 4.4.3 Електробезпека

Обслуговувати електрообладнання можуть особи, які мають відповідні посвідчення. Для обслуговуючого персоналу електроустановок повинні бути передбачені запобіжний пристрій та монтажні інструменти з ізольованими ручками.

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

Заземлення може бути штучним і природним. Загальним фактором, який визначає ту чи іншу ступінь враження людини, є сила струму (табл. 4.2). Для характеристики його впливу на людину встановлено три критерії:

- пороговий чутливий струм - найменше значення струму;
- поріг неспрацьовування струму – значення струму не дозволяє потерпілому позбутися джерела враження;
- поріг фібриляційного струму, величина струму, що викликає фібриляцію серця.

Таблиця 4.2 Середнє значення порогового струму

Потоочний	Порогні значення		
	поріг чутливості, мА	Поріг невиключення, мА	поріг фібриляції, мА
Змінна частота			
50 Гц	0,5...1,5	6...10	80...100
постійний	5,0...20	50...80	300

вказані гранично допустимі значення напруги дотику  $U_{пр}$  для шляхів струму  $I$  від руки до руки і руки до ноги (табл. 4.3)

Таблиця 4.3 Максимально допустимі значення напруги та струму

поточний	Значення	
	$U_{пр}$ , В не більше	$I$ , мама, не більше
Змінна, 50 Гц	2	0,3
Змінна, 400 Гц	3	0,4
постійний	8-й	1

Людина може отримати ураження електричним струмом у таких випадках:

- доторкання до струмоведучих частин електрообладнання не ізольованою від землі особою;

- доторкання до металевих частин (корпусів) електрообладнання особою, яка не ізольована від землі;

- Звільнення іншої людини від напругою.

Для захисту працюючих від ураження електричним струмом всі металеві частини електрообладнання, які можуть опинитися під напругою в разі зникнення живлення фазного провідника на землю, повинні бути заземлені. Для заземлення корпусу електродвигуна використовується сталева стріжка перерізом 20x4 мм, які викладаються відкрито і зварюються внахлест.

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

#### 4.4.4 Вентиляція приміщення

не повинні перевищувати гігієнічно-технічних норм мг/м<sup>3</sup> :

- чадний газ - 20;
- аерозолі свинцеві - 0,01;
- Оксиди азоту - 5;

- Альдегіди - 0,5:

- Акролеїн - 0,7:

Загальнообмінну вентиляцію розраховують залежно від розчину газових домішок до ГДК. При цьому повітря в приміщення подається розгалужено.

Місцеві вихлопні системи використовуються для випробувань двигунів автомобілів і оснащені відводом вихлопних газів.

При розрахунку загальнозмінної вентиляції об'єм повітря повинен бути достатнім для компенсації повітря, що витягується місцевими пилососами.

#### 4.4.5 Рівні шуму на місці

Визначити середню звукоізоляційну здатність ділянки. Якщо рівень шуму сягає 110 дБ, стіни боксу складаються з цегли товщиною 53 см, то вважається, що звукоізоляція стелі відповідає звукоізоляції стін.

Середня звукоізоляція визначається за формулою:

$$R_{cp} = 231 \cdot \lg S_s - 9, \quad (4.3)$$

де  $S_s$  – значення товщини поверхні стін для цегляної оштукатуреної стіни товщиною 53 см.

$$S_s = 950 \text{ кг/м}^2 \\ R_{cp} = 231 \cdot \lg 950 - 9 = 60 \text{ дБ}$$

#### 4.4.6 Розрахунок заземлення випробувального стенду двигуна

Захисне заземлення повинно відповідати вимогам електробезпеки ГОСТ 12.1030-81 ССБТ і ГОСТ 12.1009-76. Неструмопровідні металеві частини приладу, які можуть опинитися під напругою через дефекти ізоляції, підлягають захисному заземленню.

Захисне заземлення електроустановок необхідно застосовувати:

- при номінальній напрузі 380 В і більше змінного струму і 440 В і більше постійного струму;

- з номінальною напругою вище 42 В змінного струму і вище 110 В

постійного струму тільки в приміщеннях підвищеної небезпеки, особливо небезпечних і зовнішніх установках;

- при встановленні електричних пристроїв у вибухонебезпечних середовищах.

Захисне заземлення використовується:

- в електроустановках змінного струму до 1 кВ з ізольованою нейтральною жилкою або з ізольованим виведенням однофазного джерела живлення, а також в електроустановках постійного струму з ізольованою нейтральною точкою;

- в електроустановках понад 1 кВ.

Метою розрахунку захисного заземлення є визначення основних параметрів заземлювального пристрою.

Розрахунок проводиться у разі розміщення заземлювача в однорідному ґрунті, за допустимим опором поширенню струму заземлювача за методом коефіцієнта використання заземлювачів.

Розрахунок заземлювача сайту здійснюється за допомогою прикладної програми.

#### 4.5 Охорона навколишнього середовища

Основними вимогами при проектуванні підприємств машинобудування є запобігання забрудненню повітря, води і ґрунту та забезпечення дотримання нормативів допустимих рівнів шуму та інших шкідливих факторів.

У цьому контексті виробничі потужності та процеси повинні забезпечувати наступне.

- Відсутність або мінімальне виділення шкідливих або неприємно пахучих речовин у повітря приміщень, атмосферу та стічні води, а також відсутність або мінімальне виділення надлишкового тепла та вологи в робочі приміщення;

- відсутність або мінімальне генерування шуму, вібрації, ультразвуку, електромагнітних хвиль, радіочастот, статичної електрики та іонізуючого випромінювання;

Для дотримання цих норм охорони навколишнього середовища в системі вентиляції компресорно-ремонтного цеху передбачений фільтр для збору токсичних речовин, аерозолів, оксидів тощо. Для зменшення шуму використовуються звукоізоляційні стіни, двері та вікна. Для зниження вібрації використовується підвищена міцність конструкції; ретельна збірка, для цього використовуються спеціальні підставки; всі деталі обертання збалансовані; віброізоляція

Заводи відокремлені від житлової забудови санітарно-захисною зоною довжиною 100 м. Санітарно-захисна зона не є заповідною територією підприємства, на ній розташовуються лише адміністрація, господарські, складські приміщення, благоустрій тощо.

Січні води скидаються з майданчика через каналізаційну мережу. З каналізаційних мереж вода надходить на очисні споруди очисних споруд і після очищення надходить у водойми.

Оскільки січні води на ділянці ремонту компресора не містять шкідливих домішок, для очищення води ми використовуємо загальний дренаж.

Таблиця 4.4 Небезпечні фактори та методи їх усунення

Фактори, що негативно впливають на людину	Заходи щодо зменшення впливу фактора на людину
1	2
1. Метеорологічні умови: - температура - Вологість - Роздрукували - швидкість повітря	Облаштування вентиляції та опалення
2. Недостатнє освітлення	Проектування раціонального освітлення приміщень, проходів і проходів. Використання індивідуального технологічного освітлення.
3. Вібрація	Правильний монтаж технологічного обладнання. Сучасний та якісний сервіс та ремонт. Віброізоляційні пристрої. Засоби

4. Шум	індивідуального захисту. Звукоізоляція приміщення. Звукопоглинання. Акустична обробка приміщення. Усуньте шум біля джерела. Засоби індивідуального захисту.
5. Ураження електричним струмом	Заземлення технологічних апаратів та електроустановок. Ізоляція електропроводки. Використання засобів індивідуального захисту.
6. Пил	Встановлені кондиціонери. Загальна заміна вентиляції.
7. Теплове випромінювання від виробничих приміщень, нагрівальних приладів.	Встановлюються огорожувальні пристрої, тепловідбивні або теплопоглинаючі екрани.
8. Коротке замикання кабелів пристрою	Своєчасне обслуговування
9. Пожежа внаслідок прямого попадання блискавки	Монтаж блискавковідводів
10. Іонізуюче випромінювання	Захисні екрани, засоби індивідуального захисту

Кінець столу. 5.1 \_

11. Викид вихлопних газів	1 2 Для уловлювання токсичних речовин встановлені фільтри
12. Стічні води	Каналізаційна мережа Загалзлива, очисні споруди.

#### 4.6 Заходи безпеки при роботі на етенді

При установці двигуна на підставку необхідно надійно з'єднати карданний вал підставки з валом двигуна і надійно закріпити двигун на підставці.

Необхідно стежити за щільним з'єднанням вихлопної труби з трубою поворотного двигуна і працездатністю випускних пристроїв.

Забороняється зламувати і випробовувати двигун, якщо є негерметичні з'єднання паливної, мастильної та охолоджувальної води.

Під час обкатки та випробування двигунів забороняється:

- Затягнути гайки кріпильних шпильок головки блоку при працюючому двигуні.

- відрегулювати клапанний механізм при працюючому двигуні;

- Від'єднати магістралі палива і мастила, а також лінії охолоджувальної води;

- Зливати паливо, мастила та охолоджуючу рідину на землю.

Забороняється працювати на стенді з відкритою кришкою захисту карданного вала і знятою кришкою реостата.

Забороняється надавати ротору електромашини швидкість вище 3000 об/хв, оскільки це може призвести до нещасного випадку.

Не рекомендується зупиняти стенд прямим відключенням від мережі під навантаженням. Спочатку слід виїняти з розчину електроди реостата (зняти навантаження з працюючого двигуна), а потім вимкнути електромашину.

Запускати двигун на стенді необхідно з частотою обертання не більше 700 об / хв. електротехометром.

Якщо після переходу на газ необхідно обкатати двигун без навантаження, електромашину необхідно вимкнути натисканням кнопки «Стоп».

Не допускається різка зміна частоти обертання колінчастого вала двигуна, що працює на газі під навантаженням. При вимиканні двигуна частоту обертання колінчастого вала необхідно поступово знижувати.

Заходи безпеки після закінчення роботи та під час обслуговування стенду:

- після зупинки двигуна необхідно злити масло з картера в спеціальну ємність, а шланги і трубопроводи від'єднати від двигуна.

- Після закінчення кожної зміни стенд необхідно знеструмлювати за допомогою запобіжника на шафі управління, перекривати кран з верхнього паливного бака і встановлювати триходовий кран у положення «закрито».

- При більш тривалих перервах в роботі (більше однієї доби) необхідно злити паливо зі скляної ємності, розміщеної на вагах, і з усіх паливопроводів.

- Необхідно періодично доливати воду в реостат, щоб її рівень 100 мм був не нижче верху ємності. Під час доливання води підставку необхідно відключити від мережі.

- Періодично, не рідше одного разу на місяць, необхідно відкривати корпус торцевого щитка електромашини і продувати стисненим повітрям контактні кільця, щітки та щіткотримачі для видалення мідно-графітового пилу.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## 5.1 Техніко-економічна ефективність технології заїзду

Економічний ефект від впровадження вдосконаленої технології ЕТНР та

обкатки досягається за рахунок зниження вартості обкатки, зменшення витрати картерного масла на відпрацьоване та збільшення моторесурсу відремонтованих двигунів.

Річний економічний ефект за рахунок зниження витрат на обкатку визначали за виразом:

$$E_{об.р} = [(C_c + E_n \cdot K_c) - (C_z + E_z \cdot K_z)] \cdot A_n, \quad (5.1)$$

де  $E$  – річний економічний ефект, грн.;

$C_c, C_z$ ;  $K_c, K_z$  – відповідно вартість обкатки двигуна та питомі капітальні

вкладення для стандартного та запропонованого варіантів технології, грн.;

$E_n$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, що дорівнює 0,2;

$A_n$  – річна програма ремонту двигуна, шт.

Кількість стендів, необхідних для обкатки двигуна за стандартним і запропонованим варіантами технології, розраховується за виразом:

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

де  $t_{HB_c}, t_{HB_z}$  – період часу на обкатку та випробування двигуна за запропонованою та типовою технологіями, год.;

$\eta_{об}$  – коефіцієнт, що враховує повернення двигунів до перезапуску, рівний 1,05;

$K$  – коефіцієнт використання стенду – 0,90;

$T_{об}$  – загальна тривалість циклу виробничого процесу, год.

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

де  $F_{об}$  - річний запас часу впускного відділення, що дорівнює 1860 год.

Норма часу  $t_{HB}$  включає: час на підйом і монтаж двигуна на стенді, підключення опорних систем, налагодження двигуна на початку і в процесі обкатки, власне обкатку, контрольні випробування і зняття двигуна. від стенду. За даними підприємств агропромислового комплексу середній час обкатки за стандартною технологією ( $t_{HBc}$ ) для СМД становить 5,40 год. Норма часу обкатки для двигунів з реалізацією ЕТНР становить:

$$t_{HBz} = t_{HBc} - (t_c - t_z), \quad (5.4)$$

де  $t_c$ ,  $t_z$  - відповідно тривалість прогону банку за ГОСНІТА та при впровадженні ЕТНР, год.

$$t_{HBz} = 5,40 - 2,0 + 0,67 = 4,17 \text{ год.}$$

Для програми ремонту 1000 двигунів на рік:

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

Орієнтовна кількість кіосків для відвідування:

За умовчанням:

$$N_c = \frac{5,40 \cdot 1,05}{4,015 \cdot 0,9} = 1,57 \text{ шматки,}$$

приймаємо 2 шт.;

За пропозицію:

$$N_z = \frac{4,17 \cdot 1,05}{4,015 \cdot 0,9} = 1,21 \text{ шматки,}$$

Приймаємо 1 шт.

Перші дані для розрахунку економічності запропонованого процесу обкатки наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 Вихідні дані для розрахунку рентабельності

Характеристика	знак	Вимірю	Можливості технології ремонту

			Стандарт ХОСНИТ И	запропонований ЕТНР
1	2	3	4	5
1. Річна програма ремонту	$i_n$	Шма ток	1000	1000
2. Вартість випробувального стенду	$Ts_c$	грн	38730	38730
3. Проведіть час з ЕТНР		годи ни	–	0,40
4. Обслуговуючий персонал				
автомобіліст		Люд и	1	1
оператор		Люд и	–	1
5. Погодинна оплата				
автомобіліст	$z_m$	грн	33,65	33,65
оператор	$z_o$	грн	–	33,37
6. Витрата базової оливи (компаундної оливи).		л	20	20
7. Вартість 1 кг базового масла (композитного масла).	$z_{км}$	грн	103,50	160,00
8. 1 кг Витрати на паливо	$z_{стор}$	грн	23,70	23,70
9. Встановлена потужність стенду		кВт	37	37
10. Додаткова потужність стенду ЕТХП		вівто рок	–	1.2
11. Тривалість ЕТНР		годи ни	–	0,58
12. Вартість 1 кВт/год	$s.e_$	грн	1.41	1.41
13. Площа:				

випробувальний стенд		м <sup>2</sup>	31:28	31:28
стенд для ЕТНР		м <sup>2</sup>	–	3.05
14. Витрати 1 м <sup>2</sup> виробничої площі	$ts_p$	грн	250,0	250,0

Кінець столу. 5.1

1	2	3	4	5
15. Амортизаційні відрахування (від залишкової вартості)				
на обладнанні	$K_a$	%	15	15
на території приміщення	$глав$ $a_-$	%	5	5
16. Відрахування на технічне обслуговування та поточний ремонт (у % балансової вартості):				
обладнання	$до$ $чи$	%	16	16
кімнати	$ні_$	%	3	3
17. Коефіцієнт з урахуванням додаткової заробітної плати	$до_d$		1.25	1.25
18. Коефіцієнт резерву соціального забезпечення	$K_{ss}$		1.38	1.38
19. Накладні витрати на оплату праці	$K_n$	%	125	125

Вартість обкатки визначається виразом:

$$C_c = C_z + C_{нв} + C_a + C_o + C_m + C_e, \quad (5,5)$$

де  $C_z$  – заробітна плата автомобіліста та водія з забезпеченням у гривнях; $C_{нв}$  – накладні витрати, грн.; $C_a$  – суми амортизації обладнання та приміщень, грн.;

$C_o$  – відрахування на утримання та поточний ремонт обладнання та приміщень, грн.;

$C_m$  – вартість палива та мазуту, грн.;

$C_e$  – вартість електроенергії, грн.

Питомі капітальні витрати визначаються за виразом:

$$K + \frac{\sum B}{A_n} \quad (5,6)$$

де  $\Sigma B$  – балансова вартість виробничих приміщень та обладнання в гривнях;

Розрахунок питомих капітальних вкладень наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 Розрахунок балансової вартості та питомих витрат, грн.

Характеристика	параметри	
	за замовчуванням вказати	запропоновано ЕТНР
1. балансова вартість		
- Підставка для клізми	85206,00	42603,00
- Обладнання для ЕТХП	–	12000,00
- промисловий майданчик	15640,00	8582,50
2. Питомі витрати	100,84	63:19

Вартість дизельного палива визначається за формулою:

$$C_{d.m} = G \cdot C_m, \quad (5,7)$$

де  $G$  – витрата палива на холостому ході та під навантаженням, кг;

$St$  – вартість 1 кг дизельного палива, грн.

Витрати на електроенергію розраховуються за формулою:

$$C_o = A \cdot C_e, \quad (5,8)$$

де  $A$  – споживана потужність під час ЕТНР та обкатки двигуна, кВт·год;

$s.e$  – Вартість 1 кВт\*год електроенергії, грн

Річний економічний ефект від впровадження вдосконаленої технології порівняно з типовою ГОСНІТИ:

$$E_{\text{об.р}} = 197700, 0 \text{ грн.}$$

Розрахунок витрат на обкатку наведено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 Розрахунок питомих операційних витрат, грн.

Характеристика	параметри	
	За умовчанням (ПОКАЗАТИ )	запропонований (ЕТНР)
1. Зарплата водія	39,47	35.24
водій двигуна	–	07/34
Загалом:	39,47	69.21
2. Накладні витрати	49,35	36,66
3. Витрати на паливо	33.37	16.69
4. Вартість базового масла (комполитного масла).	78,00	127,00
5. Витрати на електроенергію	28.28	14.39
7. Відрахування на амортизацію		
двигунне обладнання	11.65	7,67
моторний відсік	0,79	0,46
8. Відрахування на технічне обслуговування та поточний ремонт		
двигунне обладнання	12.36	8:19
моторний відсік	0,45	0,27
9. Вхідні витрати	245,59	233,30

## 5.2 Економічний ефект за рахунок збільшення ресурсів ремонту двигуна за технологією ЕТНФ

Економічний ефект за рахунок збільшення ресурсів проміжного ремонту двигуна та зменшення витрати відпрацьованого масла за новою технологією

можна визначити виразом:

$$E_{м.р} = \left( \frac{C_{дв}}{T_c} - \frac{C_{дв}}{T_3} \right) \cdot (T_3 - T_c) \cdot A_n + E_m \cdot A_n, \quad (5,9)$$

де  $C_{дв}$  – ціна ремонту двигуна, грн.;

$T_z, T_c$  - напрацювання або при запропонованій і стандартній технології обкатки двигуна до наступного капітального ремонту, мотогодини;

$E_m$  – середня економія за рахунок зменшення витрати масла на згорання за рахунок економії роботи виведеного з ладу двигуна за новою технологією і

визначається за виразом:

$$E_m = (q_c - q_z) \cdot C_m \cdot T_G, \quad (5.10)$$

де  $q_c, q_z$  - витрата масла на холостий хід для двигуна, відремонтованого за стандартом і запропонованою технологією обкатки, кг/год;

$N_G$  – гарантійний термін експлуатації двигуна, мотогодини;

$C_m$  - вартість одного кілограма моторного масла, грн ( $C_m = 83,50$  грн).

Гарантійний термін служби відновлених двигунів повинен бути не менше 2500 годин.

Підставляючи (5.10) у (5.9), отримуємо:

$$E_{м.р} = \left[ \left( \frac{C_{дв}}{T_c} - \frac{C_{дв}}{T_3} \right) \cdot (T_3 - T_c) + (q_c - q_z) \cdot C_m \cdot T_G \right] \cdot A_n, \quad (5.11)$$

Враховуючи вираз (5.11) і дані таблиць 5.1-5.3 отримуємо:

$$E_{м.р} = 984,0 \text{ тис. грн.}$$

Отже, макроекономічний ефект від запропонованої технології обкатки за рахунок скорочення її тривалості, зменшення витрати масла при пригаранні та збільшення проміжного ремонтного ресурсу двигуна становить:

$$E_e = E_{об.р} + E_{мр} = 1004,76 \text{ грн.} \quad (5.12)$$

### 5.3 Розрахунок вартості покращення

Вартість виробничих потужностей визначається за формулою:

$$Z_{опф} = Z_{зд} + Z'_{зд} + Z_{пер} + Z'_{пер} + Z_{шт} + Z'_{шт} + Z_{про} + Z'_{про} + Z_{ин} + Z'_{ин} \quad (5.13)$$

де  $Z_{зд}, Z'_{зд}$  – вартість наявного та додаткового обладнання, грн.;

$Z_{пер}, Z'_{пер}$  – вартість інвентарю та будівництва приміщень, грн.;

$Z_{шт}, Z'_{шт}$  – вартість наявного та імпортованого в ТП обладнання та інструменту, грн.

Вартість обладнання, грн.

$$Z'_{про} = C_{про} I_{ц} / I_{окц} \quad (5.14)$$

де  $C$  – оптова ціна обладнання за прејскурантами, грн./шт.;

$I_{ts}$  – коефіцієнт заміщення,  $I_{ts} = 1,8\%$

$I_{окц}$  – коефіцієнт додаткових витрат на монтаж і обкатку двигунів, що входять до торгової надбавки, рівний 1,32...1,65.

$Від'_{приблизно} = 175600$  грн.

Розрахунок вартості додаткового обладнання, інструментів та інвентарю за формулою:

$$Z'_{шт} = Z_{шт} I_{ц} F \quad (5.15)$$

де  $Z_{шт}$  – питома вартість обладнання, інструменту, інвентарю на  $1 \text{ м}^2$  площі,

грн.;

$F$  – площа виробувального майданчика,  $\text{м}^2$ .

$Від'_{шт} = 168\,000,0$  грн.

Підставляємо у формулу:

$Z_{опф} = 29364000$  грн.

Додаткові капітальні вкладення знаходимо за виразом:

$$I_{\text{допф}} = 33_{\text{пр}} + 33_{\text{пр}}, \quad (5,16)$$

Додати = 86400,0 грн

#### 5.4 Визначення ефективності впровадження пристрою

Використання площі виробничої будівлі, грн./м<sup>2</sup>:

$$U = (C_{\text{шт}} \cdot N) / F_{\text{зд}}, \quad (5,17)$$

де  $C_{\text{шт}}$  – відпускна ціна клізми, грн./штк;  
 $F_{\text{зд}}$  – площа виробничого корпусу, м<sup>2</sup>.

$U = 130\,208,3$  грн/м<sup>2</sup>

Або  $U = 0,88$  шт/м<sup>2</sup>

Визначаємо прибутковість фонду з рівняння:

$$F_{\text{прод}} = (C_{\text{шт}} \cdot N) / Z_{\text{опф}}, \quad (5,18)$$

де  $Z_{\text{опф}}$  – вартість основних виробничих потужностей проекту в гривнях.

Визначаємо фондомісткість, грн./шт.

$$F_e = 3_{\text{опф}} / N, \quad (5,19)$$

$F_e = 11745,0$  грн/шт.

Розраховуємо продуктивність праці, грн./особу:

$$PK = (C_{\text{шт}} \cdot N) / N_p, \quad (5,20)$$

П'ятниця = 375 009 грн/чол  
 або  $PK = 26$  одиниць/особу.

Величина суми приведених витрат визначається за формулою:

$$Z_{\text{прив}} = 33_{\text{пр}} \cdot E_{\text{зр}}, \quad (5,21)$$

де  $E_{\text{зр}}$  – нормативний коефіцієнт ефективності використання капітальних інвестицій, що становить 0,15;

Задовільно – капіталовкладення або фондомісткість, грн./шт.

$$Z_{\text{надбавкою}} = 2786,98 \text{ грн./шт.}$$

Визначаємо річну економію:

$$E_{\text{єрік}} = (Z_0 - Z_1) \cdot N,$$

$$E_{\text{єрік}} = (Z_0 - Z_1) N, \quad (5,22)$$

де  $Z_0, Z_1$  – витрати на обкатку, грн./шт.;

$N$  – Блок програми ремонту автомобілів

$$E_{\text{єрік}} = 75659,8 \text{ грн.}$$

Визначаємо річний економічний ефект:

$$\epsilon_{\text{рік}} = E_{\text{єрік}} - \epsilon_{\text{зв}} \cdot D_{\text{доп}}, \quad (5,23)$$

де  $D_{\text{доп}}$  – сума додаткових капітальних вкладень у гривнях.

$$\epsilon_{\text{рік}} = 62697,8 \text{ грн.}$$

Термін окупності додаткових капітальних вкладень визначаємо за формулою:

$$T_{\text{прибл}} = D_{\text{доп}} / \epsilon_{\text{єрік}} \quad (5,24)$$

$$T_{\text{прибл}} \approx 86400,0 / 62697,8 = 1,37 \text{ років}$$

Ефективність додаткових капітальних вкладень визначається за двома формулами:

$$\epsilon_{\text{єф}} = E_{\text{єрік}} / D_{\text{доп}} = 1 / T_{\text{прибл}} \quad (5,25)$$

$$\text{Результат}_{\text{єф}} = 0,73$$

Оскільки значення  $\epsilon_{\text{єф}}$  більше для встановленого нормативу  $\epsilon_{\text{зв}}$ , який становить 0,15, вкладені капітальні кошти є ефективними.

## Висновки

1. Проведений аналіз ступеня та виду зносу деталей КПП показав необхідність удосконалення трибологічних методів прискореної обкатки двигуна.
2. Встановлено, що одним із найперспективніших методів покращення властивостей деталей двигунів внутрішнього згоряння є електрохіміко-механічний метод прискореної обкатки для підвищення довговічності дизельних двигунів. Потужність двигунів ЯМЗ-7511, розколотих за запропонованим способом, зросла приблизно на 30-35% порівняно з двигунами, розколотими за стандартною технологією.
3. Встановлено, що кількісні та якісні характеристики взаємодії компаундної оливи з поверхнями тертя залежать від фізико-хімічних матеріалів деталей, що з'єднуються, і параметрів процесу ЕММП.
4. Встановлено, що шорсткість ЕГМП зменшується зі збільшенням густини струму до  $j = 350 \text{ А/м}^2$ , а потім зростає. При великих густинах струму процеси зношування переважають над наростанням шарів міді на поверхнях тертя.
5. Розроблено технологічний процес обкатки дизельних двигунів за методом ЕГМП та запропоновано оптимальні режими.
6. Використання ЕТНР скорочує час обкатки в 1,3-1,5 рази в порівнянні зі стандартною обкаткою. Енергоспоживання при втягуванні запропонованим способом на 35...40% менше стандартного втягування.
7. Розроблено заходи щодо забезпечення безпечних та нешкідливих умов праці працівників, проведено розрахунок вентиляції та захисного заземлення електрообладнання, що забезпечує виконання робіт згідно з вимогами ДСТУ.
8. Проаналізовано стан безпеки та гігієни праці при ремонті автомобілів та розроблено заходи щодо безпечного проведення відновлювальних робіт.
9. Техніко - економічна оцінка запропонованого способу показала, що річний економічний ефект може становити близько 197700 грн, а термін окупності -- 1,37 року.

## література

1. Булей І. А. Планування підприємств з виробництва та ремонту сільськогосподарської техніки : навч. Посіб./ І.А.Булей. – К.: Вища шк., 1993. – 287 с. Ас. No 337682 (СРСР) Спосіб обкатки двигуна / Є.Л.Воловик, А.М.Моїсєєв, М.Х. Нігаматов, В. М. Бутенко та П. М. Кривенко - опубл. в БІ, 1972. – №15.
2. як. № 1732232 (СРСР) Спосіб обробки поверхні тертя, Кравець І. А., 1989.
3. як. № 637764 (СРСР). Спосіб механічної обробки деталей. / Алексєєв В.П., Болдар Л.Н., Міхалєв В.Д
4. Алексєєв В. П., Замота Т. Н., Домбровський М. А., Зорін Р. В. Вплив електрохімічних і механічних процесів на тертя і зношування поверхонь у циліндровому механізмі ковзання // Зб. наукових праць ЛНАУ. Технічні науки. – №31. Луганська. – 2003. – С. 4-9.
5. Керівництво конструктора механіки В. І. Анур'єва Т1. М.: Машинобудування, 1979.
6. Арабян С. Г., Віннер А. Б., Холоднов І. А. Масла і присадки до двигунів тракторів і комбайнів. - М: Машиностроение, 1984. - 208 с.
7. Балабанов В. І. Невидірене відновлення вузлів тертя. М., МДУ, 1999. - 72 с.
8. Бельських В. І. Довідник з технічного обслуговування та діагностики тракторів. - Видання 3-є, перероб. і додатково - М.: Россельхозиздат, 1986. – 399 с.
9. Беркович І.Ю., Громаковський Д.Г. Трибологія. Фізичні основи, механіка та технічне застосування: Навч. для ВНЗ / За ред. Д.Г. Громаковського- Самара. Самар Містер. технічного університету, 2000 – 268 с.
10. Булей І. А., Іващенко Н. Й. Мельников В. Д. Планування ремонтних майстерень ферм. К.: Вища школа, 1981. – 416 с.
11. Власенко М.В., Надольний Г.Ю., Терхунов О.Г., Крижанівський В.А. Технологія ремонту сільськогосподарських машин / Навч. Інструкція. – К.: Вища школа, 1992. – 311 с.

12. Д. Н. Харкунов трибологія. Зношення. - М.: Машиностроение, 2001. - 616 с.
13. Горячова І. Г., Добичин М. Н. Механізм утворення шорсткості в процесі припрацювання // Трение и узон. - 1982. - Т. 3. - Число 4. - С. 632-642.
14. ГОСТ 18509-88. Дизельні двигуни для тракторів і комбайнів. методи випробувань. - М.: Изд-во Стандартов, 1988. - 57 с.
15. ГОСТ 18523-79. Дизельні двигуни для тракторів і комбайнів. Вдача в капітальний ремонт і звільнення з капітального ремонту. Технічні умови. - М.: Изд-во Стандартов, 1981. - 10 с.
16. ГОСТ 621-87Е. Поршневі кільця двигуна внутрішнього згорання. Загальні технічні умови. - М.: Изд-во стандартов, 1987. - 45 с.
17. Грошев Л. М., Дмитриченко Н. Ф., Рибак П. І. Надійність сільськогосподарської техніки. - К.: Урожай, 1990. - 192 с.
18. Гурвич І. Б., Сиркін П. Є., Чумак В. І. Експлуатаційна надійність автомобільних двигунів. - Редагується і доповнюється видання 2. - М.: Транспорт, 1994. - 144 с.
19. Дизелі СМД: посібник / А. М. Діденко, А. П. Сороков, В. І. Водолажки - М.: Агропромиздат, 1990. - 271 с.
20. Дизелі СМД-60, -62, -64, -66, -72. Технічні вимоги до капітального ремонту. ТК70.0001.074-85. - М.: ГОСНИТИ, - 1986. - 230 с.
21. Дизельні двигуни для тракторів і комбайнів. Загальні технічні вимоги. ГОСТ 20000-88. - М.: Изд-во Стандартов, 1988. - 4 с.
22. Заренбін В.Г., Касумов А.Х. Дослідження режимів обкатки автомобільних двигунів при капітальному ремонті. - М.с.: Транспорт, 1983. - 78 з.
23. Інструкція по експлуатації двигунів СМД-14 з електричним струмом між парами тертя. - М. - 1971. - 18 с.
24. Клименко Л. П. Підвищення довговічності циліндрів двигунів внутрішнього згорання на основі принципів змінної зносостійкості / под. Вид-во В. В. Запоріжжя - Миколаїв.: Вид-во НФ НАУКМА, 2001. - 294 с.
25. Корсаков В. С. Основи будівництва Адапт.: Підручник для вищ. - 2-е видання, перероб. і додатково — М.: Машиностроение, 1983. — 277с.

26. Костецький Б.І. та ін. Механічні та хімічні процеси на межі тертя. - М.: Наука, 1972. - 170 с.
27. Кравець І. А. Ремонтна регенерація трибологічних систем. - Т.: Изд-во Бережанського агротехн. ін-т, 2003. - 284 с.
28. Михлін В. М. Прогноз технічного стану машин. - М.: Колос, 1976. - 288 с.
29. Мишин І. А. Довговічність двигунів. - Л.: Машиностроение, Ленінград. отд-ние, 1976. - 288 с.
30. Некрасов С.С., Носихін П.І., Стрельцов В.В., Карпенков В.Ф. Прискорена обкатка дизелів при ремонті та обслуговуванні // Механізація та електрифікація сільського господарства. - 1991. - №9. - с. 50-52.
31. Нігаматов М.Х. Прискорена обкатка двигунів після ремонту. - М.: Колос. -1984 рік. - 79 с.
32. Обкатка і випробування автотракторних двигунів / Н.В. Храмцов, А.Є. Корольов., В.С. Малаєв. - М.: Агропромиздат, 1991. - 125 с.
33. Погорілий І. П. Обкатка та випробування двигунів тракторів і легкових автомобілів. - М.: Колос, 1973. - 208 с.
34. Половинкін В. Н., Лянной В. Б., Арацький П. Б. Використання геомодифікаторів тертя для відновлення зношених поверхонь вузлів тертя в процесі експлуатації // Трение, узор, грузиза. (електрика, ресурс), - www.tribo.ru. - 2000. - Т.2, №2.
35. Ремонт дизелів : посібник / Л. С. Єрмолов, О. А. Науменко, З. Г. Шержуков : Під заг. Л. С. Єрмолової. - К.: Урожай, 1991. - 248 з.
36. Семенов В.С. Тип змащення пари тертя поршневе кільце - гільза циліндра двигуна внутрішнього згоряння // Двигателестроение. - 1991. - №10-11. - С. 19-23.
37. Довідкова праця з триботехніки / Під общ. Під ред.. М. Хебди, А. В. Чичинадзе. У 3-х т. - М.: Машиностроение, 1989. - Т. 2. Мاستила, техніка змащення, підшипники ковзання і ролики. - 412 с.
38. Довідкова праця з триботехнології. У 3-т. Т.1: Теоретичні основи / Під заг. Ред.: М. Хебді, А. В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 1990. - 416 с.

39. Довідник інженера-механіка в 2 томах. Т2 (За ред. А.Г. Косилової та Р.К. Мещерякової) 4-е вид. Перегляньте і доповніть. М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.

40. Технологія ремонту машин і пристроїв. Під редакцією муніципалітету IST. Левицький. ред. 2-е, перероб. і додатково М., «Колос», 1975 – 560с.

41. Живі Малюки В.Ц. Практикум з охорони праці / В.Ц. Жидецький. – К.: Наукова думка, 2000. – 67 с.

42. Крижановський В. І. Настанова з нормування праці на ремонтних роботах / В. І. Крижановський//2. Видання, перероблене. і додатково – К.: Урожай, 1988. – 264 с.

43. Канарчук В.Є. та ін. Основи технічного обслуговування та ремонту автомобілів/ В.Є. Канарчук// Кн.4. – К.: Вища школа, 1994. – 459 с.

44. Чернин І. І. Розрахунки деталей машин / І. І. Чернин. – Мінськ: Вища школа, 1994. – 590 с.

45. Sheinblit AE Machine Parts Design Course /AE Sheinblit. - М.: Вища школа, 1991. - 432с.

46. Шахнис М. М. Авторемонтне обладнання/ М. М. Шахнис. - М.: Транспорт, 1987. - 384 с.

47. Загальні ремонтні роботи. Терміни виконання демонтажних, монтажних і ремонтних робіт. – К.: Поліграфкнига, 1997 – 286 с.

48. Харазів А. М. Діагностичне забезпечення технічного обслуговування та ремонту / А. М. Харазів. - М.: Вища школа, 1990. - 208 с.

49. Методика розробки та типові норми часу на ремонт автомобілів. – К.: Агропромиздат, 2001. – 367 с.

50. Сологуб Д. М. Технічне нормування праці на автомобільному транспорті / Д. М. Сологуб. - М.: Транспорт, 1977-213 с.

51. безпеки виробничих процесів / С. В. Белов, В. Н. Бринза, Б. С. Веншин та ін.; ред. С. В. Белова// - М.: Машиностроение, 1989. – 449 с.

52. Правила безпеки праці в дорожньому русі. Державне нормативне право про охорону праці. ДНАОП 0.00-1.28-98 // К.: Держнагляд охорони праці, 1998.-329с.

53. Ремонт машин і апаратів. / підручник. Під ред. проф. Сідашенка О.І. - К.: 2014. - 632 с.

54. Правила профілактичного обслуговування та ремонту залізничних транспортних засобів автомобільного транспорту України: Міністерство автомобільного транспорту України // - К., 1994. - 36 с.

55. Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті: Мінтранс України, Департамент автомобільного транспорту // - К., 1995. - 76 с.

56. Говорушенко Н.Я. Економія палива та зниження токсичності в автомобільному русі / Н.Я. Говорушенко. - М.: Транспорт, 1990. - 135 с.

57. Напольська Г.М. Технологічне проектування ТП і СТО. Підручник для вузів. / С. М. Напольський. - М.: Транспорт, 1994. - 275 с.

58. Карабиньш С.С., Ружилю З.В. Ремонт машин та устаткування. / С. С. Карабинеш, З. В. Ружилю. - Німеччина, Саабрукен, 2014. - 190 с.

59. Карабиньш С. С. Порядок виявлення пошкоджень і дефектів на поверхнях деталей / С. С. Карабиньш. - К.: 36. НУБІПУ, В. 241, 2015. - С. 97-106.

60. Положення про технічне обслуговування та ремонт автомобільного транспорту. // - К.: Мінтранс України, 1998. - 16с.

61. виробничі системи на транспорті. Навчальний посібник. // За ред. Г.П. Курнікова. - К.: ІЗМН, 1999. - 181 с.

62. Малярчук А. О. Проектування та розрахунок металорізальних верстатів. // курсове проектування. / А. О. Малярчук. Частина 1. Навчальний посібник. - Вінниця: ВНТУ, 2004. - 119 с.

63. Севостьянов І. В. Експлуатація верстатобудівних комплексів. навчальний посібник. / І. В. Севостьянов - Вінниця: ВНТУ, 2005. - 125 с.

64. Севостьянов І. В. Експлуатація верстатобудівних комплексів. підручник. / І. В. Севостьянов. - Вінниця: ВНТУ, 2005. - 119 с.

65. А. С. Пронікова. надійність машин. / А. С. Проников - М.: Машиностроение, 1978. - 592 с.

66. Типова система технічного обслуговування та ремонту метало- та деревообробного обладнання. - М.: Міністанкопром СРСР, 1988. - 478 с.

67. патова ситуація No 31096 України. Процес підготовки поверхні при реставрації деталей. / [Аветисян В.К., Зборщенко А.А., Лебідь П.К., Сиромятников П.С., Гончаренко О.О.] No U 200713203; Заява 27.11.2007; Опубліковано 25.03.2008, Бюл., № 6. - 14 с.

68. Автухов А. К. Проектування ремонтно-технологічної документації / А. К. Автухов, А. В. Тихонов, В. А. Бантковський, В. Ф. Карпусенко. – Харків : ХГТУНС, 2001. – 45 с.

69. Гончаренко А.О. До питання про надійність відновлення шліцьового вала, оцінену методом скінченних елементів. / Сидашенко А.Ю., Скобло Т.С., Гончаренко А.А., Алфьоров А.Ю. // Проблеми надійності машин і засобів механізації сільськогосподарського виробництва: Вісник посаду її названо Харківським національним технічним університетом сільського господарства Петра Василенка. – Харків, 2009 - Вип.80. – С.192-198.

70. Гончаренко А. А. Методика оцінки якості зношених і відновлених шліц. / Гончаренко А. А. // Технічний сервіс в аграрній промисловості, машини і технології в сільськогосподарському машинобудуванні: Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків, 2006. – Т. 46. - С. 227-231.

71. Дудніков А. А. Проектування технологічних процесів обслуговуючих підприємств: навч. Довідник / А. А. Дудніков, П. В. Писаренко, О. І. Біловод, А. І. Дудніков, О. П. Келле – Вінниця: ФОП Каштелянов О. І., 2011. – 400 с.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП **ДОДАТКИ** України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України