

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

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерії машин, споруд та технологій

(назва факультету)

Автомобілів

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Модернізація технологічного процесу обкатування двигунів ЯМЗ, з дослідженням електрохімічно-механічної доводки спряжень.

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МАД-2
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Заполух Ю.Ю.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Гудь В.З.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Левкович М.Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

В.о. зав. кафедри

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2022

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

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

Кафедра Кафедра автомобілів
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«11» листопада 2022 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

студенту Заполуху Юрію Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація технологічного процесу обкатування двигунів ЯМЗ, з дослідженням електрохімічно-механічної доводки спряжень.

Керівник роботи Гудь Віктор Зіновійович., д.т.н., проф.

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

Затверджені наказом ректора від «11» листопада 2022 року № 4/7-898

2. Термін подання студентом завершеної роботи 12 грудня 2022

3. Вихідні дані до роботи _____

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

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

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

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

Схема діагностування параметрів і якісних характеристик технічного стану двигуна – 1А1.

Стенд обкаточно-гальмівний – 2А1.

Визначення несучої здатності підшипників рідинного тертя – 1А1.

Дослідження процесу розвитку площі плями контакту – 1А1.

Результати наукових досліджень – 2А1.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 11.11.2022р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Загально–технічний розділ	16.11.2022	
2	Технологічний розділ	21.11.2022	
3	Конструкторський розділ	25.11.2022	
4	Науково–дослідний розділ	02.12.2022	
5	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	02.12.2022	
6	Оформлення графічної частини	08.12.2022	
7	Захист кваліфікаційної роботи магістра	22.12.2022	

Студент

(підпис)

Заполух Ю.Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Гудь В.З.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційної роботи магістра на тему: «Модернізація технологічного процесу обкатування двигунів ЯМЗ, з дослідженням електрохімічно–механічної доводки спряжень.».

Робота виконана на кафедрі автомобілів ТНТУ ім. І. Пулюя. Керівник кваліфікаційної роботи магістра д.т.н., професор Гудь В.З.

Пояснювальна записка складається з п'яти розділів і 62 сторінки формату А4 та 8 аркушів формату А1 графічної частини 5 сторінок додатків.

Ключові слова: обкатування, ремонт, шорсткість, діагностика, відновлення.

ЗМІСТ

Вступ	7
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Загальні відомості про обкатування двигунів.....	8
1.2 Існуючі способи прискореної обкатки двигунів.....	9
1.3 Висновки та постановка завдання на магістерську роботу.....	14
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	15
2.1 Принципова гідравлічна схема.....	15
2.2 Гідравлічний розрахунок.....	15
2.3 Динамічний розрахунок шатунного підшипника.....	16
2.4 Визначення несучої здатності підшипників рідинного тертя.....	18
2.5 Розрахунок необхідної кількості електроліту до роботи шатунної шийки.....	20
2.6 Розрахунок гідродинамічних умов.....	21
2.7 Розрахунок напірного трубопроводу.....	25
2.8 Підготовка двигуна до обкатування.....	27
2.9 Обкатка двигуна за існуючим способом.....	29
2.10 Обкатка двигуна із застосуванням ЕХМП(Д).....	34
2.11 Економічна ефективність результатів.....	36
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	43
3.1 Опис гідравлічної системи.....	43
3.2 Розрахунок муфти.....	44
3.3 Вузол фільтрації.....	45
3.4 Розрахунок фільтра.....	45
3.5 Розрахунок ємності.....	46
4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ	47
4.1 Проведення експериментальних досліджень.....	47
4.2 Методика досліджень.....	48
4.3 Результати досліджень.....	50
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	54

5.1 Характеристика шкідливих і небезпечних факторі процесу відновлення гільз циліндрів двигунів ЯМЗ.....	54
5.2 Евакуація при аваріях на хімічно небезпечних об'єктах.....	56
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	60
БІБЛІОГРАФІЯ.....	61
ДОДАТКИ	

ВСТУП

В даний час, у зв'язку з важким економічним становищем, що склалося в сільському господарстві України, все більшого значення набуває проблема збільшення надійності та ресурсу машин. Ремонт машин на сьогоднішній день – об'єктивна необхідність, оскільки ще не створена машина, яка служила б у споживача весь термін експлуатації у складі вихідних елементів. Одним із основних агрегатів сільськогосподарської техніки є двигун, термін служби якого порівняно з іншими агрегатами – найменший. Тому збільшення міжремонтного ресурсу, покращення експлуатації нових та капітально відремонтованих двигунів має велике економічне значення. Для ремонтних підприємств і машинобудівних заводів, а також господарств, що експлуатують автомобілі та трактори, важливе значення для підвищення довговічності двигунів має їхній раціональний початковий обкатування. Вона є заключним та вельми відповідальним етапом виготовлення та ремонту двигуна. На сучасному ремонтному виробництві обкатування двигуна включає тривалу стендову обкатку (1,5...4 години) і наступну обкатку в експлуатаційних умовах (50...60 годин), що пов'язано з великими матеріальними витратами, витратами праці. Тому цілком актуальним завданням є прискорення процесу припрацювання пар, що труться, з використанням сучасних способів впливу на поверхні, що приробляються. Для ремонтного виробництва характерне застосування більшої частини деталей, що були в експлуатації з розширеними полями допусків, що неминуче призводить до скорочення ресурсу двигунів. Можливим шляхом вирішення задачі підвищення ресурсу при фактичних показниках точності є використання електрохіміко–механічного обкатування (доведення) (ЕХМП(Д)) основних сполучень двигуна, найбільш відповідальних за його ресурс. Одним із таких сполучень є корінна шийка колінчастого валу – вкладиші. Дослідження процесу обкатування підшипників ковзання проведено або на розгорнутих двигунах, або на окремих реальних вкладишах, або за схемою ролик–колодочка, коли досліджувалась лише одна пара тертя. Цими дослідженнями не розкрито особливості процесу електрохіміко–механічного обкатування (доведення) підшипників ковзання та шийок багатоопорного валу.

1 ЗАГАЛЬНО–ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Загальні відомості про обкатування двигунів

Обкатка тракторних двигунів при виготовленні їх на мотобудівних заводах та після ремонту на ремонтних підприємствах є тривалим та складним технологічним процесом. Тривалість обкатки становить близько 10% загальної тривалості виготовлення чи ремонту двигунів.

Дослідженнями встановлено, що повна опрацювання поверхонь, що труться, деталей сучасних тракторних двигунів, що характеризується найвищими показниками по ефективній потужності, витраті палива і чаду картерної олії, настає через десятки і навіть сотні годин роботи двигунів.

Обкатування – це процес переходу від вихідного стану геометричних характеристик поверхні та фізико–хіміко–механічних характеристик поверхневих шарів до експлуатаційного стану. При цьому завданням якісного обкатування є створення оптимального мікрорельєфу поверхонь, що труться, і створення на цих поверхнях міцних і рівномірно розташованих захисних структур. Головною метою раціонального обкатування деталей двигунів є остаточне формування і зміцнення поверхонь деталей, що труться, при мінімальних термінах обкатування і мінімальних початкових зносах. Особливо важливим є значення якості поверхні для відповідальних деталей, які працюють в умовах високих питомих навантажень і температур, з постійною зміною швидкості ковзання, дією агресивних середовищ. Найбільш відповідальними парами ДВС є шийки колінчастого валу – вкладиші корінних і шатунних підшипників, поршневі кільця – циліндри двигуна.

В результаті багаторічного досвіду склалася практика, при якій обкатка двигунів розчленовується на два етапи:

- 1) обкатка на заводах та ремонтних підприємствах тривалістю 1,5...4 год.;
- 2) обкатка за умов експлуатації.

На першому етапі обкатки переслідується мета:

частково обкатувати поверхні деталей, що труться, щоб можна було короткочасно випробувати двигун на повну потужність і витрату палива, не побоюючись виникнення будь-яких пошкоджень;

перевірити роботу механізмів;

забезпечити можливість навантаження двигунів в експлуатаційному режимі.

Подальша обкатка двигунів здійснюється за умов експлуатації.

За інструкцією заводів–виробників тракторів другий етап обкатки повинен тривати не менше 65 годин роботи з поступовим збільшенням навантаження, починаючи приблизно з 65...75% потужності та закінчуючи повною.

Дослідження з опрацювання двигунів СМД, проведені доктором технічних наук К.З Савченко, показали, що при існуючій технології опрацювання, повна опрацювання настає лише через 1300 ... 2400 мотогодин роботи двигуна.

Обкатка двигунів на заводах – виготовлювачах за існуючої технології до повного обкатування як доцільна, а й практично неможлива, т.к. заводу – виробнику довелося б мати обкатувальні цехи в кілька разів більше, ніж цехи–виробники і витратити велику кількість коштів.

Обкатка в експлуатаційних умовах потребує значного періоду часу, що знижує коефіцієнт використання машинотракторного парку. До того ж обкатка в експлуатаційних умовах часом ведеться неправильно. Тому прискорення обкатування двигунів та доведення його до близького до повного на заводах – виготовлювачах та ремонтних підприємствах дозволить не лише знизити матеріальні та трудові витрати, а й збільшити ресурс нового або відремонтованого двигуна, а також підвищити коефіцієнт використання машино–тракторного парку.

1.2 Існуючі способи прискореної обкатки двигунів

Для прискорення процесу обкатки двигунів використовується низка технологічних прийомів:

- 1) Прискорена обкатка на спеціальних оливах.
- 2) Обкатка із введенням абразиву через паливо.
- 3) Обкатка на робочих рідинах.
- 4) Спеціальна обробка окремих деталей пар тертя.
- 5) Обкатка на олії із накладенням електричного струму.

Прискорена обкатка на спеціальних мастилах. При роботі двигуна поверхні деталей, що труться, тільки частково розділяються масляними плівками, у зв'язку з цим спрацьовуваність поверхонь багато в чому залежатиме від властивостей і від якості масла.

Роботи, проведені Л.М. Гаєнко на двигунах ЯМЗ – М204 та ЯМЗ – М206 – показали, що застосування при обкатування олії зі зниженою в'язкістю забезпечує не тільки можливість скорочення обкатування, але й значне зменшення початкового зносу деталей двигуна.

Дослідження процесу обкатки з використанням масел в'язкістю від 2, 1 до 10 мм²/с проводилися на Мінському та Харківському тракторних заводах (МТЗ та ХТЗ). Застосування індустріальних масел 20 або індустріальне 30 призвело до скорочення обкатки до 1 години 30 хвилин.

Як зазначає Храмцов Н.В., малов'язкі олії мають високу охолоджувальну здатність і плинність, легко проникають у зазори між поверхнями тертя і вимивають сторонні частинки забруднень і продукти зношування, що потрапляють у цей простір. Однак при застосуванні малов'язких масел через малу несучу здатність і відносно низьких змащувальних властивостей масляного шару виникають передумови для задирів поверхонь тертя, внаслідок чого даний спосіб не набув широкого поширення.

Прискорений доробок з додаванням до олив спеціальних присадок. Введення присадок в масло призводить до хімічної взаємодії їх з металом, зміни структури поверхонь, що труться, сприяє прискоренню обкатування і зниження зношування деталей, що труться.

Присадки до олив, призначені для поліпшення та прискорення обкатування, поділяються на інактивні, поверхнево–активні та хімічно активні. Загальним недоліком всіх інактивних присадок (колоїдний графіт, дисульфід молібдену, дрібнодисперсний порошок каоліну, порошкове олово та ін) є те, що

вони не надають активних механічних властивостей поверхневих шарів деталей, що труться, тому після зміни масла виникає додаткові приробіткові явища.

До поверхнево–активних присадок належать жирна кислота, ефіри органічних кислот і спиртів, жирні аміни та ін. Механізм дії поверхнево–активних присадок пов'язаний із підвищенням міцності мастильної плівки. Ці присадки здатні знижувати тертя більшою мірою ніж це може залежати від в'язкості масел, в той же час вони мають слабкі протизадирні властивості при високих температурах, знижують термоокислювальну стабільність моторних масел, мають недостатню розчинність і є дефіцитними і дорогими. Через ці недоліки практично не застосовуються при обкатуванні двигунів.

До хімічно активних присадок відносяться сполуки хлору, фосфору та ін. Як показали дослідження протягом двогодинної обкатки на дизельному маслі з додаванням до нього 0,9...1,1% спеціальної сірчистої присадки ОД–7 відбувається повний обкатування поверхонь, що труться, і двигуни розвивають повну потужність без будь–яких пошкоджень.

За даними роботи І.А. Кравця, олії з хімічно активними присадками приводили в процесі обкатування до зменшення мікротвердості дзеркала гільз циліндрів з подальшою стабілізацією її на рівні експлуатаційної. У серійному маслі мікротвердість поверхні спочатку зростала в 1,5...2 рази проти вихідної, потім знижувалася і стабілізувалася лише на рівні вихідної мікротвердості.

Кравцем І.А. зазначається, що хоча поверхнево–активні присадки до масла (0,2% оліїнової кислоти до масла ДСп–11) значно інтенсифікують процес обкатування деталей, проте, при цьому знижуються критичні питомі навантаження на поверхнях, що труться, в результаті чого зростає небезпека схоплювання і заклинювання деталей кривошипно–шатунного механізму

Обкатування двигунів із застосуванням присадок до палива. Більшість присадок для обкатування до палива є складними металоорганічними сполуками хрому або алюмінію, що розчиняються в паливі. При згорянні палива такі сполуки утворюють абразивні дрібнодисперсні частинки. Ці частинки потрапляють на стінки циліндрів і утворюють пасти притирання, які завдяки високій твердості і температурі плавлення посилюють припрацювання

деталей циліндро–поршневої групи.

Із закордонних приробіткових присадок до палива найбільш відомі: Маналокс (США), Монто–839 та ВР (Великобританія), Шелл–5399 (Нідерланди), Хонаоль–204 (Німеччина). Але найбільшого поширення набули металоорганічні сполуки алюмінію.

Вітчизняні присадки випускаються на основі поліалюмооксидів (АЛП–2 та АЛП–3) та поліалюмофеноляторів (АЛП–4).

При обкатуванні двигунів на паливі з присадкою АЛП–2 прискорюється доробка деталей ЦПГ внаслідок абразивної дії продуктів згоряння присадок (окисли алюмінію). Присадка АЛП–2 повністю розчиняється у дизельному паливі та безперешкодно проходить через фільтри, паливний насос, форсунки.

Ефективність присадок до палива залежить не тільки від їх властивостей та концентрації в паливі, а й від багатьох конструктивних та технологічних факторів: матеріалу та твердості поршневих кілець та гільз, чистоти поверхні деталей, швидкості руху поршня, конструкції камери згоряння та ін.

Для підвищення протизносних властивостей палива використовуються також поверхнево – хімічно активні присадки. Дослідженнями Саратовського інституту механізації сільського господарства встановлено, що при додаванні 0,8...1,2 % присадки розчиненої та колоїдної сірки в мастило та паливо обкатуваних двигунів потужність механічних втрат знижується на 25...35%, а знос гільз циліндрів у 2,5 рази.

Слід зазначити, що немає єдиної думки щодо впливу сірки на протизносні властивості. За даними Семенова Н.С., при роботі двигуна на паливоповітряній суміші з присадкою сірчистого ангідриду (SO_2) у кількості, що відповідає 0,23% сірки в бензині, зношування зростає в 4 рази в порівнянні зі звичайними умовами. Кисильова Н.М. та Архіпов В.С. вказують на те, що на сірчистому паливі за інших рівних умов швидкість зношування верхнього поршневого кільця збільшується в 2 ... 2,5 рази в порівнянні з роботою на паливі з малим вмістом сірки.

Для прискорення обкатки двигунів у Великобританії запатентований спосіб подачі у впускний колектор разом з повітрям пари чотирихлористого вуглецю шляхом просочення ним фільтруючого елемента очищувача повітря.

Ряд наявних присадок збільшують корозійне зношування деталей і нагароутворення, викликають закоксовування форсунок. Позитивною якістю всіх присадок до палива є те, що забезпечується точне дозування та рівномірний розподіл циліндрів без застосування спеціальних пристроїв. У той же час відомо, що ці присадки викликають підвищене зношування деталей циліндропоршневої групи і втрачають свою ефективність при тривалому зберіганні, а в деяких випадках збільшують знос і заїдання паливної апаратури. Крім того, присадки АЛП – 3 виготовляються на основі дефіцитної сировини (стеаринової кислоти), незручні при використанні через високу температуру застигання ($-5^{\circ} \dots -15^{\circ} \text{C}$) та необхідність розчинення присадок у спеціальних пристроях. Також слід зазначити, що присадки до палива впливають на обкатування лише деталей ЦПГ, а шатунні та корінні шийки не приробляють.

Спосіб холодного обкатування ДВС. Двигун встановлюють на обкатувальний стенд і підключають до магістралей централізованої олії та водопостачання. Колінвал двигуна прокручують від зовнішнього приводу, збільшуючи частоту обертання за коливальним законом. При цьому після кожного напівперіоду коливань частота обертання його напрямок змінюють протилежне. Даний винахід підвищує якість холодного обкатування.

Цей метод розроблено О.А. Лесін і запатентований. Недоліком даного способу є незначне зменшення часу обкатки в порівнянні з традиційним способом, тому цей спосіб не знайшов широкого застосування машинобудування.

Використання при припрацюванні основних пар двигуна електричного струму. Це один із перспективних напрямів досліджень. Накладення струму на поверхні при терті відкрило ряд нових явищ, які знайшли безпосереднє застосування у виробництві. А прискорив обкатування за рахунок її проведення у спеціальних рідинах (вода – графіт, електроліт – графіт, електроліт – абразивні частинки) із застосуванням комбінованих способів (гальванічна та механічна обробка).

Існують способи, коли струм пропускається через сполучення безпосередньо під час опрацювання. Цей спосіб був розроблений у Воловиком Е.Л. зі співробітниками. Постійний електричний струм через пару

пропускається за допомогою установки КІ–11091. При холодній обкатці струм 3...5 А і напругою 0,8...1,2 подався протягом 25 хвилин через струмознімач на колінчастий вал дизеля і на блок. У цьому випадку поршневі кільця притиралися в гільзах циліндрів без подачі струму, М.Х. Нігоматовим вони розглядаються як ріжучий інструмент, який обробляє дзеркало гільзи циліндра. При подачі струму мікрориступи, що залишилися, утворюють термопари, розмикання яких в діелектриці призводить до виникнення електричної мікродуги і руйнування анодних виступів з утворенням на їх місці мікрократерів глибиною до 5 мкм. Як відомо, електроерозія поверхні викликає утворення дрібних твердих частинок, які в контакті можуть відігравати роль абразиву. Ймовірно, цим можна пояснити зростання початкового зношування пар, на які вказує Храмцов Н.В. Для методу, запропонованого Воловиком Е.А. характерно те, що обкатування відбувається при поділі деталей масляною плівкою.

Погорілий І.П. наводить дані дослідження скороченого режиму обкатки двигунів КДМ–100 з попереднім електролітичним травленням поверхні циліндрів, проведеного інженером Драніциним. При шестигодинних випробуваннях двигунів, що пройшли обкатку зі стандартними та травленими гільзами, було встановлено, що поршневі кільця, що працювали в травлених гільзах, зносилися на 20% ...30% менше, що пройшли обкатку за технологією. Під час випробувань двигунів в експлуатаційних умовах різниці у зносі травлених гільз не було.

1.3 Висновки та постановка завдання на магістерську роботу

Вивчити стан питання щодо припрацювання основних сполучень двигунів внутрішнього згоряння при ЕХМП(Д). Розрахувати параметри режиму тертя та визначити несучу здатність підшипників рідинного тертя. Розробити за якою методикою виконуватимемо дослідження. Провести дослідження розвитку площі плями контакту на колодочках, вирізаних із вкладишів ДВЗ. Провести техніко–економічну оцінку.

2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Принципова гідравлічна схема

Для електрохіміко–механічного обкатування (доведення) (ЕХМП(Д)) основних сполучень двигуна необхідно в центральну масляну магістраль замість масла подати під тиском електроліт, а також електроліт необхідно подавати самопливом у надпоршневий простір. Хоча електроліт має низьку корозійну агресивність, з метою зменшення атмосферної корозії всю дросель регулювальну, фільтрувальну арматуру необхідно виконати з корозійностійких матеріалів.

Подача електроліту проводиться наступним способом: з бака за допомогою забірної пристрою насос подає електроліт на дросель фільтрувальний вузол і за допомогою спеціальної накладки в місці приєднання масляної центрифуги центральну масляну магістраль. Тиск електроліту у системі контролюється за допомогою манометрів. У піддоні картера встановлено вентиль, що регулює рівень електроліту. У надпоршневий простір електроліт подається слабким струменем через отвори форсунки. Надлишок електроліту з надпоршневого простору зливається в бак через клапанну систему. Клапани попередньо відкривають за допомогою спеціального пристрою.

2.2 Гідравлічний розрахунок

Водний розчин електроліту є малов'язкою рідиною (1...1,8 Ст), а також має малу маслянистість. Ефект прискореного обкатування досягається за рахунок електрохімічної реакції при пропусканні через основне сполучення змінного струму. Тому необхідно визначити величини сил, що діють на підшипники ковзання у нових умовах. Найкращі результати електрохіміко–механічного обкатування досягнуті при частотах обертання коленвала $n = 200 \dots 220 \text{ хв}^{-1}$. Проведемо динамічний розрахунок підшипників ковзання цих умов.

2.3 Динамічний розрахунок шатунного підшипника

Максимальне значення сил, що діють на шатунну шийку двигуна визначимо за відомою методикою.

Шатунний підшипник навантажений наступними силами (рис. 2.1).

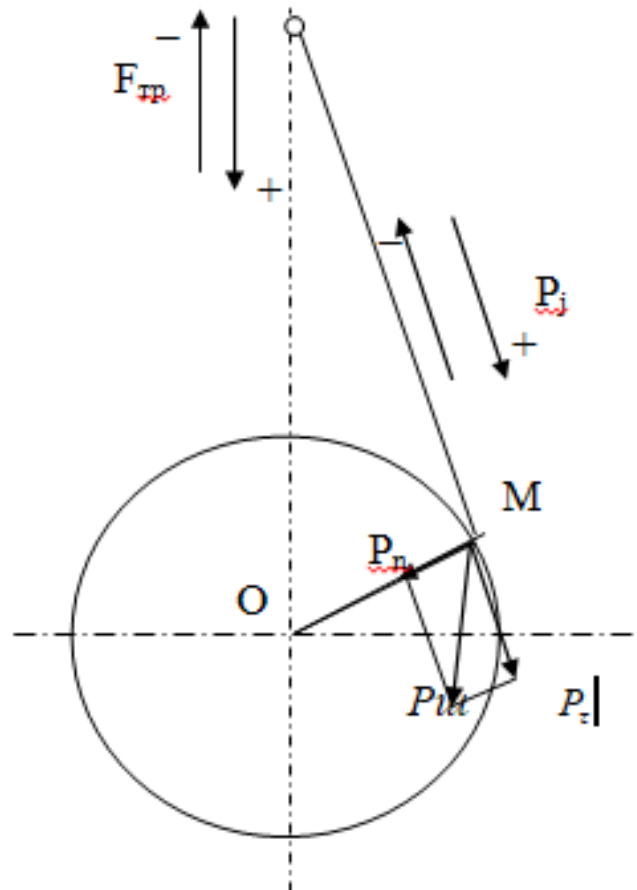


Рис. 2.1. Схема сил, які діють шатунний підшипник.

$F_{тр}$ – сила тертя поршневих кілець

P_j – сила інерції частин, що зворотно рухаються.

P_n – відцентрова сила

$P_т$ – дотична сила

$P_{ш}$ – Сумарна складова, що діють на шатунний підшипник.

Максимальну силу, що діє на шатунний підшипник, визначимо за формулою:

$$P_{\Sigma \max} = F_{тр} + P_j + P_{ш}, \quad (2.1)$$

Середній тиск кільця на стінку циліндра визначимо за такою формулою:

$$P = \frac{Q_{\text{л}}}{\pi \cdot b \cdot D}, \quad (2.2)$$

де $Q_{\text{л}}$ – пружність кільця, яка визначається методом діаметрального стиснення, Н, $Q_{\text{л}} = 26,1$ Н – для компресійних кілець;

b – сумарна висота робочої частини кільця, мм;

$b = 3$ мм – для компресійних кілець, $b = 1,5$ мм – для маслосніжних;

$D = 110$ мм – номінальний діаметр гільзи.

Для компресійних кілець:

$$P = \frac{26,1}{3,14 \cdot 3 \cdot 110} = 0,025 \text{ (МПа)}.$$

Для маслосніжних кілець:

$$P = \frac{15,9}{3,14 \cdot 1,5 \cdot 110} = 0,031 \text{ (МПа)}.$$

Визначимо нормальну силу тиску кілець:

$$N = P_k \cdot S = 4 \cdot \pi \cdot D \cdot P \cdot b, \text{ Н} \quad (2.3)$$

Для компресійних кілець:

$$N_{\text{компр}} = 4 \cdot 3,14 \cdot 110 \cdot 10^{-3} \cdot 0,025 \cdot 10^6 \cdot 3 \cdot 10^{-3} = 103,6 \text{ Н}.$$

Для маслосніжних кілець:

$$N_{\text{масл}} = 4 \cdot 3,14 \cdot 110 \cdot 10^{-3} \cdot 0,031 \cdot 10^6 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} = 64,2 \text{ Н}.$$

Сумарну силу тиску визначимо за такою формулою:

$$N_{\dot{a}} = N_{\text{компр}} + N_{\text{масл}}. \quad (2.4)$$

$$N_{\dot{a}} = 103,6 + 64,2 = 167,8 \text{ Н}.$$

Силу тертя визначимо за такою формулою:

$$F_{\text{тр}} = N_{\dot{a}} \cdot f, \text{ Н}. \quad (2.5)$$

де f – Коефіцієнт тертя сталь по чавуну, при $n = 200 \text{ хв}^{-1}$ $f = 0,15$.

$$F_{\text{тр}} = 167,8 \cdot 0,15 = 25,2 \text{ Н}.$$

Максимальну сумарну силу інерції, що діє при холодній обкатці двигуна ($n = 200 \text{ хв}^{-1}$), визначимо за формулою:

$$P_j = m_j \cdot r \cdot F_n \cdot \omega^2 \cdot (1 + \lambda). \quad (2.6)$$

де r – радіус кривошипа, м;

$F_{\text{п}}$ – площа поршня, м^2 ;

ω – кутова швидкість з–1;

λ – Основна величина, що характеризує кривошипно–шатунний механізм.

$$P_j = 262,5 \cdot 0,064 \cdot 0,00949 \cdot 20,9^2 \cdot (1 + 0,27) = 88,5 \text{ Н.}$$

Відцентрову силу визначимо за формулою:

$$P_n = m_{\text{нпр}} \cdot r \omega^2. \quad (2.7)$$

де $m_{\text{нпр}}$ – наведена маса нижньої головки шатуна, кг.

$$P_n = 2,73 \cdot 0,064 \cdot 20,9^2 = 76,4 \text{ Н.}$$

Відносну силу визначимо за формулою:

$$P_{\tau} = a_{\tau} \cdot m_{\text{нпр}}. \quad (2.8)$$

де a_{τ} – тангенціальне прискорення, $\text{м}/\text{с}^2$.

$$a_{\tau} = \frac{r \cdot \omega^2 \cdot \lambda}{\sqrt{1 - \lambda^2}}. \quad (2.9)$$

$$a_{\tau} = \frac{0,065 \cdot 20,9^2 \cdot 0,27}{\sqrt{1 - 0,27^2}} = 7,98 \text{ м}/\text{с}^2.$$

Тоді дотична сила

$$P_{\tau} = 7,98 \cdot 2,73 = 21,8 \text{ Н.}$$

Силу, що діє на шатун, визначимо за формулою:

$$P_{\text{ш}} = \sqrt{P_n^2 + P_{\tau}^2}. \quad (2.10)$$

$$P_{\text{ш}} = \sqrt{76,4^2 + 21,8^2} = 79,44 \text{ Н.}$$

Підставляючи знайдені значення формулу 2.1 визначимо максимальну сумарну силу, що діє на шатун:

$$P_{\Sigma \text{max}} = 25,2 + 88,5 + 79,44 = 193,14 \text{ Н.}$$

2.4 Визначення несучої здатності підшипників рідинного тертя

В'язкість мастил зі збільшенням температури досягає значень 2 – 3 сСт.

В'язкість розчинів електролітів в залежності від концентрації їх коливається в межах 1 – 2 сСт. При 10% розчині NaNO_3 в'язкість водного розчину електроліту відповідає 1,4 сСт.

Проведемо розрахунок коефіцієнта надійності підшипника ковзання за наступних даних:

Діаметр шатунної шийки $D = 68,25$ мм

Довжина шийки $l = 32$ мм

максимальне навантаження на шию $p = 193,14$ Н

діаметральний зазор $\Delta = 100$ мкм

число оборотів колінчастого валу $n = 200$ об/хв

динамічна в'язкість електроліту $\eta = 1,4$ спз

Питоме навантаження визначимо за такою формулою:

$$K = \frac{P}{l \cdot d}, \text{ Н / м}^2, \text{ Н/м}^2 \quad (2.11)$$

де P – максимальне навантаження на шийку, Н

l – довжина шатунної шийки, м.

$$K = \frac{193,14}{32 \cdot 68,25 \cdot 10^{-6}} = 0,9 \cdot 10^5 \text{ Н / м}^2.$$

Число, що характеризує режим мастила, визначимо за формулою:

$$\lambda = (\eta \times n) / k. \quad (2.12)$$

$$\lambda = (1,4 \times 200) / 0,9 = 311,11.$$

Число Зоммерфельда визначимо за такою формулою:

$$S_0 = 1,065 \times 10^{-9} \frac{\lambda}{\psi^2}. \quad (2.13)$$

де ψ – відношення зазору до діаметру шатунної шийки

$$\psi = \Delta / D = 0,1 / 68,25 = 0,00146.$$

$$S_0 = 1,065 \times 10^{-9} \frac{311,11}{1,46^2 \cdot 10^{-6}} = 0,155.$$

Визначимо відносну мінімальну товщину шару рідини ξ критий. Виходячи з досліджень з режим тертя може бути напіврідинним.

За відомою методикою визначимо

$$h_{min} = \delta_1 + \delta_2 = 2 \text{ мкм.}$$

де h_{min} – зазор сполучення
для чистого шліфування маємо

$$\delta_1 + \delta_2 = 2 \text{ мкм.}$$

Тоді

$$\xi_{крит} = 2h_{крит} / \Delta = (2 \cdot 2) / 100 = 0,04.$$

По діаграмі при

$$l / d = 0,47.$$

$$\xi_{критий} = 0,04.$$

$$S_{opr} = 0,05.$$

Коефіцієнт надійності підшипника:

$$n = S_0 / S_{крит} = 0,155 / 0,05 = 3,1.$$

Коефіцієнт надійності підшипника $n > 1$. Враховуючи умови електрохіміко–механічного обкатування коефіцієнт надійності $n = 3,1$ вважаємо достатнім.

2.5 Розрахунок необхідної кількості електроліту до роботи шатунної шийки

Враховуючи вимоги безперервності потоку несучої рідини та подачі її в ненавантажену зону, напрям обертання приймаємо проти годинникової стрілки (з боку шестерень газорозподілу).

Витрата рідини в ненавантаженій зоні при малій в'язкості в десятки разів перевищує витрату в навантаженій зоні, тому проведемо розрахунок витрати електроліту через ненавантажену зону (див. рис. 2.2).

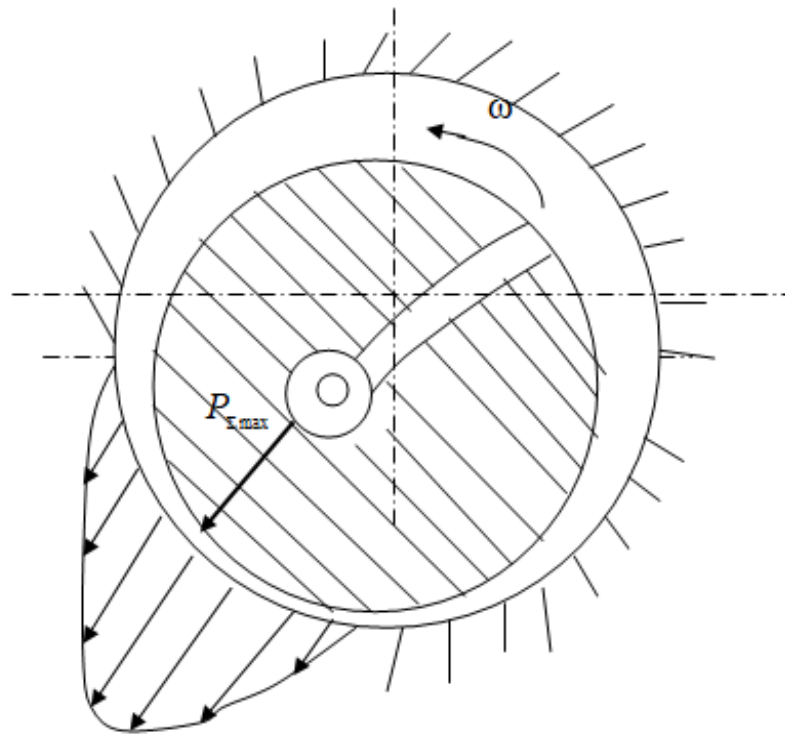


Рис. 2.2. Схема подачі електроліту через ненавантажену зону.

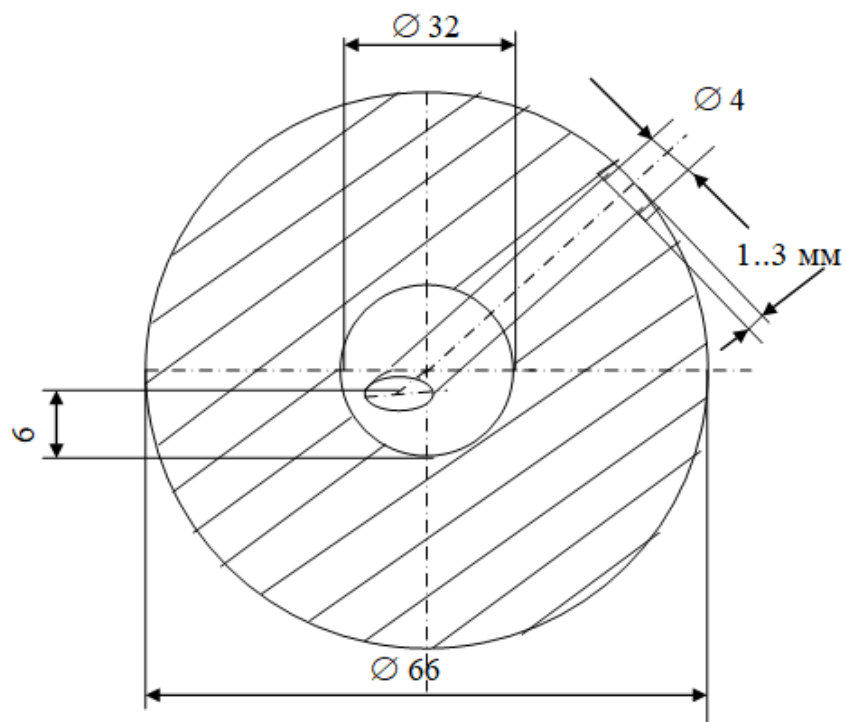


Рис. 2.3. Схема шатунної шийки.

2.6 Розрахунок гідродинамічних умов

Електрохіміко–механічний доробок представляє на даному етапі значні труднощі, тому що відсутня методика гідродинамічних умов течії електроліту.

Тому обмежимося визначенням витрат електроліту на пари тертя та швидкості течії при витоках.

Витрата електроліту для шатунного підшипника дорівнює 3 – 5 л/хв при тиску електроліту в масляній магістралі $P = 0,2$ МПа та $d = 8,0$ мм. При тиску електроліту $P = 0,1$ МПа витрата електроліту становитиме 1...2 л/хв і $d = 4$ мм.

1) Швидкість електроліту при $d = 0,004$ м, $l = 0,03$ м, $Q = 1$ л/хв = $16,6 \cdot 10^{-6}$ м³/с визначимо за формулою:

$$V = \frac{Q}{S} \text{ м / с.}, \quad (2.14)$$

де S – площа перерізу трубки в шатунній шийці, м².

Q – витрати електроліту, м³/с.

$$V = \frac{16,6 \cdot 10^{-6} \cdot 4}{3,14 \cdot 0,004^2} = 1,3216 \text{ м / с.}$$

2) Визначимо число Рейнольдса за такою формулою:

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu}, \quad (2.15)$$

де V – швидкість електроліту, м/с;

d – діаметр трубопроводу, м.

ν – кінематична в'язкість, $\nu = 140 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

$$Re = \frac{1,3216 \cdot 0,004}{140 \cdot 10^{-6}} = 3788 > 2300.$$

Отже режим руху електроліту – турбулентний.

3) Визначимо коефіцієнт опору залежно від Блазіуса

$$\lambda = 0,3164 / Re^{0,25} = 0,3164 / 3776^{0,25} = 0,04.$$

4) Визначимо падіння тиску P_v за відомою формулою.

$$P_v = \frac{\lambda \cdot \rho_{ел} \cdot V^2 \cdot X}{2 \cdot d} \text{ Н / м}^2., \quad (2.16)$$

де $\rho_{ел-га}$ – щільність електроліту, $\rho_{ел-га} = 1007$ кг/м³.

$X = l = 0,03$ м – Довжина трубки (шийки шатунного вкладиша).

$$P_v = \frac{0,04 \cdot 1,07 \cdot 1,746626 \cdot 0,03}{2 \cdot 0,004} = 0,28 \text{ МПа.}$$

Мінімальний тиск, необхідне подолання сил інерції визначимо по формулі.

$$P_i = 5,64 \cdot 10^{-7} V^2, \text{ Н / м}^2. \quad (2.17)$$

$$P_i = 5,64 \cdot 10^{-7} \cdot 1,746626 = 0,00098 \text{ МПа}.$$

Необхідний тиск визначається як сума тиску.

$$P = P_v + P_i. \quad (2.18)$$

$$P = 0,28 + 0,001 = 0,281 \text{ МПа}.$$

Отже, для нормальної роботи крайньої шатунної шийки необхідний тиск електроліту щонайменше 0,3 МПа.

5) Так як витрата електроліту прямо пропорційна площі перерізу, то витрата на корінних шийках при $d = 8$ мм.

$$Q = 2 Q_1 = 33,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 / \text{с}.$$

6) Сумарний витрата електроліту для шатунних шийок визначимо за формулою:

$$Q_{\text{Suam}} = 4 \cdot Q_1 = 16,6 \cdot 10^{-6} \cdot 4 = 66,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 / \text{с}.$$

для корінних:

$$Q_{\text{Skop}} = 5 \cdot Q_1 = 33,2 \cdot 10^{-6} \cdot 5 = 166,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 / \text{с}.$$

7). Витрата електроліту на колінчастий вал складе:

$$Q_{\Sigma \text{к.в.}} = Q_{\text{к.ш.}} + Q_{\text{ш.ш.}} \quad (2.19)$$

$$Q_{\Sigma \text{к.в.}} = (166,0 + 66,4) \cdot 10^{-6} = 232,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 / \text{с}.$$

8). Витрата електроліту від насоса в блоці циліндрів поділяється на два потоки за схемою (рис. 2.3)

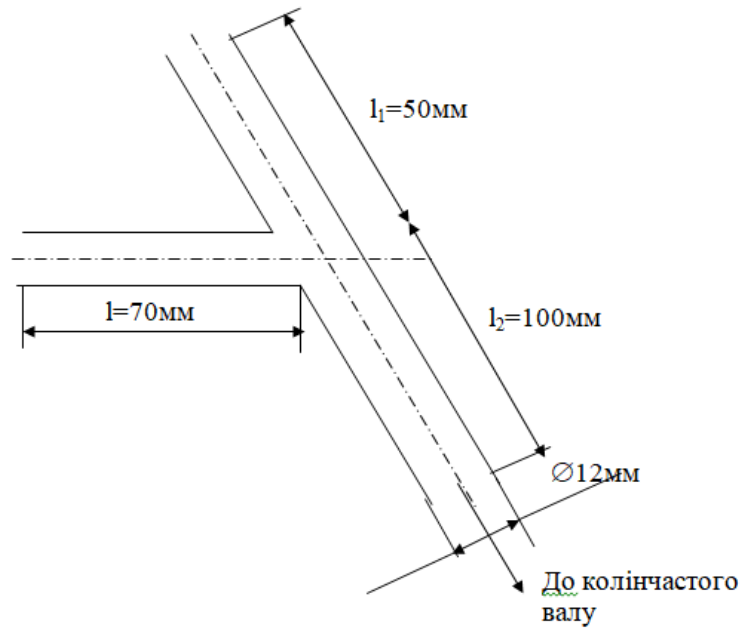


Рисунок 2.4. Схема підведення електроліту.

Враховуючи незначну довжину трубопроводів і однаковий переріз каналів, витрата електроліту на ділянках l_1 і l_2 приймемо пропорційним сумарному перерізу підшипників ковзання розподільчого валу і колінчастого валу.

Для розподільчого валу сумарний переріз підшипників ковзання визначимо за формулою:

$$F_1 = 3 \cdot \pi \cdot D_1 \cdot \Delta. \quad (2.20)$$

де D_1 – діаметр шийки розподільчого валу, м².

$$F_1 = 3 \cdot 3,14 \cdot 4,2 \cdot 10^{-2} \cdot 0,01 \cdot 10^{-2} = 0,39 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Для колінчастого валу:

$$F_{2 \text{ ш.ш.}} = 3,14 \cdot 6,8 \cdot 0,01 \cdot 4 \cdot 10^{-4} = 0,85 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

$$F_{3 \text{ к.ш.}} = 3,14 \cdot 7,5 \cdot 0,01 \cdot 5 \cdot 10^{-4} = 1,18 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

$$F_{2' \text{ к.в.}} = 0,85 + 1,18 = 2,03 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Тоді витрата електроліту на розподільчий вал визначається:

$$Q_{p.v.} = \frac{232,4 \cdot 0,39}{2,03} \cdot 10^{-6} = 44,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Витрата електроліту ділянки 1 (рис.2.3)

$$Q_e = Q_{e1} + Q_{e2}.$$

$$Q_e = (44,6 + 232,4) = 277 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 / \text{с.}$$

2.7 Розрахунок напірного трубопроводу

1) Визначаємо швидкість електроліту при

$$d_e = 1,2 \text{ см,}$$

$$l = 7 \text{ см,}$$

$$Q_e = 277 \text{ см}^3 / \text{с.}$$

за формулою:

$$V_e = Q_e / F_e, \text{ м / сек.}$$

де F_e – площа перерізу отвору, м^2 .

$$V_e = \frac{277 \cdot 4 \cdot 10^{-6}}{3,14 \cdot 1,44 \cdot 10^{-4}} = 2,45 \text{ м / с.}$$

2) Визначимо число Рейнольдса:

$$Re = (V_e d_e) / \nu, \quad (2.21)$$

$$Re = (2,45 \cdot 1,2) / (140 \cdot 10^{-6}) = 21000 \gg 2300.$$

Течія електроліту перебуває у сфері стійкого турбулентного руху.

3) Визначимо коефіцієнт опору.

$$\lambda = 0,3164 / Re^{0,25} = 0,3164 / 21000^{0,25} = 0,026.$$

4) Визначимо падіння тиску у трубопроводі.

$$P_v = (\lambda \rho_{\text{эл-ма}} V_e^2) / 2 d_e, \text{ МПа.} \quad (2.22)$$

$$P_v = \frac{0,026 \cdot 1,07 \cdot 6,0025 \cdot 7}{2 \cdot 12 \cdot 10^{-3}} = 0,48 \text{ МПа.}$$

Так як тиск для подолання сил інерції незначний, необхідний тиск.

$$P_v = P_e = 0,48 \text{ МПа}$$

5). Оскільки розрахунок підшипників проведено за мінімальними витратами, то дійсні витрати визначимо.

$$Q = Q_e \cdot 2 = 277 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 0,554 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{с} = 33,24 \text{ л / хв.}$$

6). Вибір насосу

При витраті $Q = 33,24$ л/хв та необхідному тиску вибираємо насос. Виходячи з того, що проєктований стенд є досвідченим зразком, ми для подачі електроліту складемо шестеренний насос НШ – 46.

Діаметр напірного трубопроводу $D_1 = 32$ мм

Визначимо швидкість електроліту у напірному трубопроводі.

$$V_e S_e = V_l S_l. \quad (2.23)$$

Визначимо число Рейнольдса за формулою 4.21

$$Re = (32,24 \cdot 3,3) / (140 \cdot 10^{-4}) = 7671 > 2300.$$

Коефіцієнт опору

$$\lambda = 0,3164 / 7671^{0,25} = 0,034.$$

Визначимо падіння тиску у трубопроводі при $l = 8$ м.

$$P_{v_2} = \frac{\lambda \cdot p \cdot V^2}{2 \cdot d_1} \text{ МПа.} \quad (2.24)$$

$$P_{v_2} = P_{v_2} = \frac{0,034 \cdot 1,07 \cdot 1058,9 \cdot 800}{2 \cdot 3,3} = 0,412 \text{ МПа.}$$

7) Падіння тиску в напірному трубопроводі.

У гідравлічній схемі встановлено два фільтри Г – 41 – 15 [4] та дросель Г – 11 із сумарним перепадом тиску. $P_{ф.д.} = 0,1$ МПа [3]

Тоді тиск у напірній магістралі дорівнює

$$P = P_{vl} P_{ф.д.} = 0,412 + 0,1 = 0,512 \text{ МПа.}$$

Витрати потужності на привід насоса визначимо за такою формулою:

$$N = \frac{Q_l \cdot P}{\eta}, \text{ кВт.} \quad (2.25)$$

де η – к.к.д. насосу

$$N = \frac{554 \cdot 10^{-6} \cdot 5,12 \cdot 10^5}{0,8} = 3545 \text{ кгм / с.}$$

$$1 \text{ кВт} = 1019 \text{ кгм / с, } N = 3,479 \text{ кВт}$$

Вибираємо електродвигун:

Тип – АОГ – 41 – 4.

Номінальна потужність – 4 кВт.

Номінальна кількість оборотів – 1450 об/хв..

$$M_{\text{пуск}} / M_{\text{ном}} = 1,5.$$

$$M / M_{\text{ном}} = 2,0.$$

2.8 Підготовка двигуна до обкатування

Спочатку оглядають двигун та перевіряють його комплектність. Двигун піддається обкатці та випробуванню при встановленому очищувачі повітря та електрогенераторі, але без гідронасосу, водяного та масляного радіаторів, муфти зчеплення, вентилятора.

Перевіряють обертання колінчастого валу двигуна за маховик. Колінчастий вал двигуна повинен обертатися від зусилля руки, прикладеного до важеля довжиною трохи більше 500 мм.

Перевіряють і за потреби регулюють зазор між бойками коромисел і торцями стрижнів клапанів, який повинен бути на прогрітому двигуні 0,25+0.1–0,05 мм.

Перевіряють та при необхідності регулюють натяг ременя вентилятора. Ремінь вентилятора повинен прогинатися на 10...13 мм від зусилля 3..5 кг, прикладеного до його середньої частини.

Встановлюють двигун на стенд. При обкатці та випробуванні двигуна без муфти зчеплення маховик колінчастого валу з'єднують із карданним валом редуктора стенду за допомогою планшайби. При цьому три провідні пальці планшайби вставляють в отвори маховика, планшайбу кріплять до маховика двома болтами М12 30, що ввертаються в різьбові отвори маховика, призначені для кріплення опорного диска муфти зчеплення. Планшайба кріпиться до фланця карданного валу болтами із гайками.

З'єднують шланг напірної магістралі централізованої системи водопостачання з патрубком корпусу водяного насоса, а шланг зливний з верхнім корпусом термостата. Встановлюють датчик дистанційного термометра системи охолодження двигуна у водовідвідний патрубок. Закривають кран трубопроводу, що відводить, відкривають кран напірної магістралі і заповнюють систему охолодження двигуна водою.

Перевіряють щільність сполук системи охолодження.

З'єднують і закріплюють паливопідвідну трубку дизельного палива з фільтром–відстійником.

З'єднують з фільтром тонкого очищення палива трубку контрольного манометра.

Заповнюють систему живлення двигуна паливом, видаляють із системи повітря та надалі не відключають надходження палива до паливного насоса протягом усього періоду випробувань.

Важіль керування двигуном ставлять у положення вимкненої подачі палива.

З'єднують із трубою випускного колектора трубопровід відведення газів.

Заправляють двигун моторним маслом М–10Г2 або М–8Г2. Як заповнювачі можна застосовувати дизельне масло ДС–11 і ДС–8.

Олію необхідно залити в наступні агрегати:

- Картер паливного насоса до рівня контрольної пробки (0,25 л);
- Корпус регулятора пускового двигуна (0,06 л);
- Корпус регулятора паливного насоса (0,37 л);
- Картер механізму передачі пускового двигуна до рівня контрольної пробки;
- шків водяного насоса 80–90.

Приєднують двигун до централізованої системи мастила, поставивши на місце встановлення відцентрового масляного фільтра технологічний фланець з прокладкою, який закріплюють чотирма болтами.

Заправляють масляний картер двигуна через маслозаливну горловину від централізованої системи мастила за допомогою заправного крана, контролюючи рівень масла щупом.

Перевіряють і при необхідності регулюють кут випередження подачі палива в циліндри двигуна, який повинен становити 15...19° до м.т.

Потім проводять обкатування двигуна.

2.9 Обкатка двигуна за існуючим способом

Холодну обкатку двигуна проводять протягом 70 хвилин за такими режимами:

- При 500 ... 600 хв⁻¹ – 15 хвилин;
- При 600 ... 750 хв⁻¹ – 15 хвилин;
- При 800 ... 900 хв₋₁ – 20 хвилин;
- При 900 ... 1000 хв⁻¹ – 20 хвилин.

Перевіряють роботу двигуна в процесі холодної обкатки, яка повинна відповідати таким вимогам:

1) тиск олії в системі мастила прогрітого двигуна до температури олії 60...75°C має бути 0,15...0,2 МПа при 500...600 хв⁻¹ колінчастого валу;

2) протікання олії, палива та води в місцях з'єднання не допускається, температура води в системі охолодження картерної олії повинна підтримуватися в межах 50...75°C, різкий шум і стукіт у механізмах двигуна не допускається.

Якщо робота двигуна не задовольняє зазначені вимоги, необхідно припинити обкатку та усунути несправності.

Після холодної обкатки двигуна слідує обкатка, що працює двигуна без навантаження.

Обкатку двигуна без навантаження проводять протягом 30 хвилин за такими режимами:

- При 1000–1200 хв⁻¹ – 15 хвилин;
- При 1400–1600 хв⁻¹ – 15 хвилин.

Запуск двигуна провадиться від електричного стенду. Попередньо необхідно, увімкнувши подачу палива і, обертаючи колінчастий вал, видалити повітря з паливної системи через продувний вентиль паливного фільтра.

Перевіряють роботу двигуна у процесі обкатки без навантаження. Робота двигуна повинна відповідати таким вимогам:

- 1) тиск оливи в головній магістралі двигуна має бути 0,25 ... 0,35 МПа;
- 2) температура води та оливи має бути в межах 60...90°C;

- 3) на регулювальні гвинти коромисел та штанги штовхачів має надходити мастило;
- 4) двигун на холостому ходу повинен мати мінімально стійкі обороти колінчастого валу не більше 550 хв^{-1} ;
- 5) максимальні обороти холостого ходу мають бути $1730+20-20 \text{ хв}^{-1}$
- 6) рейка паливного насоса повинна мати плавний хід;
- 7) при зміні оборотів на неодруженому ходу двигун повинен працювати стійко;
- 8) підсмоктування повітря у місцях кріплення впускної труби та прорив газів через прокладку головки циліндрів та нещільності з'єднань інших деталей не допускається;
- 9) при закритті впускної труби або труби очищувача повітря двигун повинен глухнути.

Переконаються у відсутності стукотів та ненормальних шумів у механізмах двигуна. У разі виявлення несправностей їх усувають, припинивши обкатку. Стуки прослуховують за допомогою стетоскопа в наступних зонах:

стукіт поршневих пальців у місці з'єднання головки з блоком в момент зміни числа оборотів двигуна;

- 1) стукіт поршнів по всій висоті циліндра;
- 2) стукіт шатунних підшипників у середній частині блоку при перекладі двигуна з малого числа оборотів на велике;
- 3) стукіт корінних підшипників у нижній частині блоку;
- 4) стукіт і шум розподільчих шестерень з боку кришки розподілу, рівномірний шум розподільчих шестерень допускається;
- 5) стукіт розподільного валу в підшипниках і штовхачах.

Знімають ковпак кришки 50–1003111, кришку головки циліндрів 50–1003016 та клапанний механізм 50–1003010.

Підтягують гайки кріплення головки із зусиллям $160...180 \text{ Нм}$ у встановленій послідовності.

Встановлюють та закріплюють клапанний механізм. Регулюють проміжки клапанів на $0,25+0,1-0,05 \text{ мм}$.

Встановлюють та закріплюють кришку головки циліндрів, прокладку ковпака та ковпак кришки.

Встановлюють кут початку подачі палива, що відповідає 15–19° до в.м.т.

Після обкатування двигуна без навантаження проводиться обкатування під навантаженням.

Обкатка двигуна під навантаженням проводиться протягом 85 хвилин (табл.2.1).

Таблиця 2.1 – Режими обкатки двигуна під навантаженням.

Показання вагового механізму, кг	Тривалість обкатки, хв
6	10
9	10
15	15
20	20
25	20
27	10

Навантаження для гальмування двигуна перевіряється на показання вагового механізму стенда. Максимальне навантаження не повинно перевищувати 90% номінальної потужності двигуна. Під час обкатування під навантаженням важіль паливного насоса встановлюють на максимальні обороти.

Перевіряють роботу двигуна під навантаженням. Робота двигуна повинна відповідати раніше наведеним вимогам.

При виявленні несправностей їх усувають, припинивши обкатування двигуна. У разі неможливості усунення несправностей на електричному стенді знімають двигун та усувають дефекти на стенді для контрольного огляду.

Від'єднують двигун від централізованої системи мастила, відвернувши чотири болти (M10x25) кріплення технологічного фланця.

Встановлюють на двигун відцентровий масляний фільтр у зборі 50–14010 з прокладкою 50–1404068 і кріплять його зверху двома болтами M10x30 з алюмінієвими прокладками 36–1104788, а знизу двома болтами M10x.

Встановлюють та закріплюють трубку манометра на лівий штуцер масляного фільтра. Датчик термометра встановлюють на правий штуцер корпусу відцентрового масляного фільтра.

Зливають масло з оливного картера, відвернувши зливну пробку. Потім промивають масляний картер струменем гарячої олії, вставивши в маслозаливну горловину кран від централізованої системи мастила.

Заправляють до нормального рівня масляний картер гарячою олією із системи централізованого мастила. Запускають та прогрівають двигун до нормального теплового стану. При цьому температура води та олії повинна перебувати в інтервалі 75...90°. Тиск масла під час роботи двигуна на номінальних оборотах має бути в інтервалі 0,25...0,35 МПа.

Після обкатки двигуна під навантаженням виконується контрольне випробування двигуна. Регулювання та випробування двигуна виробляють на номінальну потужність та задану економічність.

Для цього необхідно плавно довести навантаження до величини, при якій оберти колінчастого валу знизяться до 1700 хв^{-1} . При цьому потужність має бути 55 к.с. За ваговим механізмом стенду потужності 55 к.с відповідає 34.5 кВт. При випробуванні не можна тримати двигун під повним навантаженням більше 5 хвилин. Якщо за цей час випробування не закінчилося, двигун переводять на холостий хід або роботу з малим навантаженням на 5 хвилин і тільки після цього навантажують його знову на повну потужність. Вимірюють не менше двох разів годинну витрату палива та обороти колінчастого валу при нормальній потужності двигуна. При ваговому способі виміру годинник повинен бути не більше 195 г/л.с.г.

Під час контрольних випробувань перевіряється тиск:

– Тиск масла в масляній магістралі, яке повинно бути 0,25 ... 0,35 МПа при 1600 хв^{-1} колінчастого валу і не менше 0,15 МПа при мінімальних оборотах холостого ходу;

– максимальна кількість обертів двигуна на холостому ходу, що обмежується регулятором, має бути 1730 хв^{-1} ;

– відсутність сторонніх шумів та стукотів у вузлах та механізмах двигуна;

– роботу генератора шляхом увімкнення переносної лампи;

–герметичність всіх сполук.

Потім здійснюється перевірка запуску двигуна від стартера.

Двигун Д–245 заводять від стартера при не більше ніж п'ятикратній спробі при температурі навколишнього повітря не нижче п'яти градусів. Вимкнення стартерної шестерні при запуску повинно відбуватися легко та безшумно.

При пуску двигуна від стартера сила струму в ланцюзі свічок розжарювання повинна бути не більше 45...55 А.

Результати випробувань заносять до журналу випробувань та контрольного огляду двигуна, а також складається акт–паспорт на відремонтований двигун.

Після випробування двигун зупиняють, спускають воду та масло. Від'єднують паливопровід від фільтра грубої очистки палива. Знімають датчики дистанційних термометрів олії та води. Від'єднують шланг водопроводу від патрубка блоку, що підводить, і зливний шланг від патрубка, що відводить головки циліндрів.

Від'єднують від труби випускного колектора трубопровід вихлопних газів. Вивертають заглушки з отвору корпусу фільтра масляного для з'єднання з масляним радіатором.

Знімають двигун зі стенду та відправляють на забарвлення.

З описаного вище випливає, що при існуючій технології загальний час, що включає допоміжний і основний час на обкатку двигуна становить 5,54 години. Це підтверджується даними ремонтних підприємств.

При такому тривалому часі обкатки витрачається багато палива, олії, а також велика трудомісткість та витрати на зарплату та амортизацію приміщення та обладнання. Все це призводить до великих грошових витрат на обкатку двигуна, які можна зменшити за рахунок зменшення часу обкатки.

Тому необхідно знайти прискорені методи обкатки, одним з яких є вискоефективний електрохіміко–механічний процес обкатування (доведення) (ЕХМП(Д)).

2.10 Обкатка двигуна із застосуванням ЕХМП(Д)

Попередніми дослідниками (Алексєєв В.П., Болдар Л.М., Михалєв В.Д., Замота Т.М, Ізюмський В.А, Махнєв А.А) була показана важлива можливість прискорення припрацювання основних сполучень двигуна електрохіміко–механічним способом.

Спочатку проводять ЕХМП(Д) двигуна прямо на стенді протягом 10 хвилин.

Потім після ЕХМП(Д) проводять скорочену холодну обкатку протягом 10 хвилин за такими режимами:

- При 630 ... 640 хв^{-1} – 4 хвилини;
- При 790 ... 800 хв^{-1} – 3 хв бут;
- При 940 ... 950 хв^{-1} – 3 хвилини.

Прискорену обкатку на холостому ході проводять протягом 10 хвилин за такими режимами:

- При 1200 хв^{-1} – 5 хвилин;
- При 1390 ... 1400 хв^{-1} – 5 хвилин.

Прискорену обкатку під навантаженням проводять протягом 25 хвилин (табл.2.2).

Таблиця 2.2 – Режими прискореної обкатки двигуна під навантаженням (після проведення ЕХМП(Д)).

Показання вагового механізму, кг	Частота обертання колінвалу, хв^{-1}	Тривалість обкатки, хв
5	1620	5
10	1760	5
20	1950	5
26	2000	10

Як видно з описаного вище після проведення ЕХМП, основний час обкатки зменшився з 185 до 45 хвилин.

Після проведення ЕХМП(Д) проводять прискорену обкатку (холодну, на холостому ході, під навантаженням) за тією ж методикою і в тій же послідовності, що при існуючому способі (описано вище).

У даному дипломному проєкті запропоновано обкатування двигуна на трифазному струмі, що дозволяє одночасно опрацювати основні сполучення двигуна (колінчастий вал–вкладиш, поршневе кільце–гільза). Великий внесок у цю тему зробив Махнєв А.А. Махневим А.А [32,33] було знайдено оптимальні значення факторів для спільної ЕХМП(Д) основних сполучень двигуна на трифазному струмі для одного відсіку рядного двигуна СМД: лінійний струм – 50...60 А, концентрація гліцерину – 81...83 % (в'язкість електроліту 0,0922...0,115 Пас), частота обертання – 200...220 хв⁻¹. Тривалість досвіду – 10 хвилин.

Джерело трифазного струму, що складається з трифазного силового трансформатора, обмежувальних опорів, трифазного регулятора струму та амперметрів підключається до двигуна за схемою, представленою на аркуші 2 графічної частини.

Дані режими будуть використовуватися в нашому дипломному проєкті лише з одним коригуванням: фаза, яка підключається до шатунів, буде розділена на чотири паралельні фази, по кожній з яких протікатиме струм 50...60 А. Загальний лінійний струм на кожній із фаз становитиме 200... 240 А. Частота обертання колінвала та в'язкість електроліту залишаться незмінними.

Порядок ЕХМП(Д) двигуна наступний. До двигуна перед досвідом приєднується джерело трифазного струму (що складається з трифазного силового трансформатора, обмежувальних опорів, трифазного регулятора струму та амперметрів) за схемою, представленою на аркуші 2 графічної частини. Потім головну масляну магістраль (сполучення вкладиш–колінвал) під тиском подається електроліт, що складається з суміші 20% водних розчинів NaNO₃ і NaCl у співвідношенні 1:1 і гліцерину. Також електроліт подається тонким струмком у надпоршневий простір. Потім обертається колінвал двигуна з частотою 200...220 хв⁻¹ і починається електрохіміко–механічне обкатування двигуна. Тривалість опрацювання 10 хвилин.

Процес електрохіміко–механічного обкатування (доведення) основних сполучень двигуна може бути успішно проведений за наступних умов:

- 1) у зазор сполучення підшипник–вал електроліт повинен подаватися під тиском 0,15 ... 0,3 МПа;

- 2) подача електроліту для обкатування циліндро–поршневої групи повинна здійснюватися в надпоршневий простір без надмірного тиску;
- 3) необхідно забезпечити однакову необхідну силу струму на парах вал–вкладиш і поршневе кільце–циліндр рівну 50 ... 60А;
- 4) процес обкатування повинен проходити при частоті обертання колінвала 200 ... 220 хв⁻¹.

Процес електрохіміко–механічного обкатування має бути виконаний на неостаточно зібраному двигуні.

Перед обкаткою необхідно виконати такі складальні роботи: укласти в ліжку колінчастий вал, встановити шатунно–поршкову групу, встановити шестерні газорозподілу та головку блоку.

У масляну магістраль двигуна подають електроліт під тиском 0,15...0,3 МПа, а надпоршневий простір через форсуночні отвори подають електроліт слабким струменем. Вихід електроліту забезпечують через клапанну систему. Клапани попередньо відкривають за допомогою спеціального пристрою.

Привід колінчастого валу здійснюється через варіаторну систему, яка б змінити оберти від 100 до 300 хв⁻¹. Струмopідведення здійснюється через блок, шатуни та колінвал.

Нова технологія обкатки та випробування двигунів, заснована на ЕХМП(Д), дозволяє значно скоротити тривалість процесу обкатки та витрати на обкатку двигуна.

За новою технологією основний час обкатки (на електроліті та маслі) становитиме 55 хвилин, тоді як за старої технології необхідно було витратити 185 хвилин.

2.11 Економічна ефективність результатів

Річний економічний ефект за рахунок зниження собівартості обкатувальних робіт визначено за формулою

$$E_p = 1 / (C_C + E_H \cdot K_C) - (C_{II} + E_H \cdot K_{II}) / \cdot A_H, \quad (2.26)$$

де C_c , C_{Π} – собівартість обкатки двигуна за існуючим та передбачуваним варіантами технології, грн;

K_c , K_{Π} – питомі капітальні вкладення у існуючому та передбачуваному варіанті, грн;

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

A_n – обсяг застосування (річна програма ремонту двигунів), шт.

Вихідні дані до розрахунку економічної ефективності наведено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Вихідні дані до розрахунку економічної ефективності.

Найменування показника	Позначення	Од. вимірювання	Варіант	
			існ.	Запроп.
1. Річна програма ремонту	A_n	шт	420	420
2. Вартість одного випробувального стенду	C_c	грн	19365	19365
3. Вартість основних вузлів гідросистеми та пристрої для ЕХМП(Д)	C_c	грн	–	6395
4. Обслуговуючий персонал		люд.	1	1
5. Годинна тарифна ставка моториста	C_o	грн	4,2	4,2
6. Вартість 1 кг електроліту	$C_{ел}$	грн	–	20
7. Вартість 1 кг палива	C_T	грн	6	6
8. Встановлена потужність стенду		кВт	55	55
9. Встановл. потужний. Стенди ЕХМП(Д)		кВт	–	7,3
10. Вартість 1 кВт.год	C_e	грн	0,24	0,24
11. Норма амортизації. відрахувань	K_a	%	17...18	17...18
12. Норма річних відрахувань на утримання та поточний ремонт	$K_{об}$	%	16	16

Кількість випробувальних стендів, необхідних для обкатки двигунів за існуючим та пропонованим режимом, підраховується за формулою

$$N_C = \frac{t_{HB} \cdot \eta_0}{T_{OB} \cdot K}, \quad (2.27)$$

де t_{HB} – тривалість обкатки та випробування двигуна за пропонованим та існуючим режимом, год;

η_0 – коефіцієнт, що враховує повернення двигунів для повторної обкатки, що дорівнює 1,05;

D_0 – коефіцієнт використання стенду, $K=0,90$;

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

Загальний такт виробничого процесу визначимо за формулою

$$T_{об} = \frac{\Phi_{об}}{A_n}, \quad (2.28)$$

де $\Phi_{об}$ – кількість годин роботи обкатного відділення на рік, 1772 год.

За програми ремонту 420 двигунів на рік $T_{об} = 4,22$ год.

Норма часу на обкатку двигуна Д–245 після впровадження ЕХМП(Д) розраховується за формулою

$$t_{HB} = t_{bc} + t_{осн}, \quad (2.29)$$

де t_{bc} – допоміжний час включає в себе час на прийом та встановлення двигуна на стенді, підключення систем забезпечення, контрольні випробування та зняття двигуна зі стенду; $t_{bc} = 2,74$.

$t_{осн}$ – основний час обкатки.

Основний час обкатки визначимо за формулою

$$t_{осн} = t_{xo} + t_{xx} + t_{нагр}. \quad (2.30)$$

де t_{xo} – час холодної обкатки з подачею електричного струму, год;
 $t_{xo} = 0,17 год$.

t_{xx} – час обкатки двигуна на холостому ході, $t_{xx} = 0,10$;

$t_{нагр}$ – час обкатки двигуна під навантаженням, $t_{нагр} = 0,25$ год;

$$t_{осн} = 0,17 + 0,10 + 0,25 = 0,52 год.$$

При ЕХМП(Д) двигуна Д–245 час обкатки складе:

$$t_{HB} = 2,74 + 0,52 = 3,26 год.$$

Для існуючого способу $t_{HB} = 5,82 год$.

$$N_c = \frac{5,82 \cdot 1,05}{4,22 \cdot 0,9} = 1,61 \text{шт};$$

Приймаємо кількість стендів – 2 штуки

Після застосування ЕХМП(Д):

$$N_n = \frac{3,26 \cdot 1,05}{4,22 \cdot 0,9} = 0,9 \text{шт};$$

Приймаємо 1 шт.

Собівартість обкатувальних робіт визначено за формулою

$$C_c = C_z + C_{нр} + C_a + C_o + C_n + C_{ен}, \quad (2.31)$$

де C_z – заробітна плата обслуговуючого персоналу;

$C_{нр}$ – накладні витрати;

C_a – амортизаційні відрахування на обладнання;

C_o – відрахування на утримання та поточний ремонт обладнання;

C_m – витрати на паливо та електроліт;

$C_{ен}$ – витрати на електроенергію.

Питомі капітальні витрати визначаємо за формулою

$$K = \frac{\sum B}{A_n}, \quad (2.32)$$

Де $\sum B$ – балансова вартість обкатувальних стендів, грн.

Розрахунок наведено у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Розрахунок балансової вартості та питомих витрат.

Показник	Варіант (в грн)	
	існуючий	запропонований
1. Балансова вартість:		
–Обкатувальних стендів	19365·2·1,1=42603	19365·1·1,1=21302
–Основних вузлів гідросистеми та пристрої для ЕХМП(Д)	–	6395·1,1=7034,5
2. Удельные затраты	42603/100=426,03	28337/100=283,37

Електроліт у процесі обкатки не вимагає заміни, а потрібна лише його періодична доливка, пов'язана із втратами при обкатуванні.

Вартість електроліту для одного двигуна складе

$$C_{ee} = \frac{C_{Eл} (Q_{Eз} + Q_{nom} \cdot A_H)}{A_H} \quad (2.33)$$

де $Q_{Eл}$ – маса електроліту, що спочатку заливається, кг; $Q_{Eл} = 15 \text{ кг}$;

$C_{ел}$ – вартість 1 кг електроліту;

$Q_{пот}$ – втрати електроліту за досвід, кг; $Q_{nom} = 0,4 \text{ кг}$.

Результати розрахунків заносимо до таблиці 2.5.

Вартість електроенергії за існуючою технологією визначимо за формулою

$$C_{ен.с} = N_e n t_0 C_E \quad (2.34)$$

де N_e – встановлена потужність стенду, кВт;

$n = 0,85$ – коефіцієнт завантаження гальмівного стенду;

t_0 – основний час обкатки двигуна, $t_0 = 2,5 \text{ год}$;

C_E – вартість 1 кВт год електроенергії.

Результати розрахунку заносимо до таблиці 2.5.

Для запропонованого способу вартість електроенергії розраховується за формулою

$$C'_{Ен} = C_{Ен1} + C_{Ен2} \quad (2.35)$$

де $C_{Ен1}$ – вартість електроенергії, що споживається обкатним стендом, грн;

$C_{Ен2}$ – вартість електроенергії, що йде процес ЕХМП(Д), грн;

Вартість електроенергії, що споживається обкатним стендом

$$C_{Ен1} = N_e n t_{оч} C_E \quad (2.36)$$

де $t_{оч}$ – основний час обкатки двигуна при ЕХМП(Д); $t_{оч} = 0,67 \text{ год}$.

$$C_{Ен1} = 55 \times 0,85 \times 0,67 \times 0,24 = 7,51 \text{ грн.}$$

Вартість електроенергії, що йде на процес ЕХМП(Д)

$$C_{Ен2} = P_{уст} t_{ЕХМП(Д)} C_E \quad (2.37)$$

де $P_{уст}$ – потужність стенду ЕХМП(Д), кВт;

$t_{ЕХМП(Д)}$ – час протягом якого через двигун пропускається електричний струм, $t_{ЕХМП(Д)} = 0,17 \text{ год}$.

$$C_{En2} = 7,3 \times 0,17 \times 0,16 = 0,203 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків заносимо до таблиці 2.5.

Заробітну плату моториста визначимо за формулою

$$C_3 = K t_{нв} C_0 K_{соц} \cdot \quad (2.38)$$

де K – коефіцієнт повторних випробувань, $K = 1,05$;

$t_{нв}$ – норма часу на обкатку двигуна, год;

C_0 – годинна тарифна ставка, грн.;

$K_{соц}$ – Коефіцієнт, що враховує соціальне страхування.

Накладні витрати становитимуть

$$C_n = 0,96 \times C_3. \quad (2.39)$$

Витрати на дизельне паливо визначено за формулою

$$C_{д.м.} = G \cdot C_m, \quad (2.40)$$

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

За даними при обкатці двигунів СМД до впровадження $G = 13,6 \text{ кг}$, після $G = 11,65 \text{ кг}$.

Розрахунок собівартості обкатувальних робіт представлений у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 Розрахунок питомих експлуатаційних витрат.

Стаття витрат	Варіант (грн)	
	існуючий	запропонований
1. Заробітна плата моториста	$1,05 \cdot 5,8 \cdot 4,2 \cdot 1,25 = 31,98$	$1,05 \cdot 3,26 \cdot 4,2 \cdot 1,25 = 17,98$
2. Накладні витрати	$15,99 \cdot 0,96 = 15,34$	$8,98 \cdot 0,96 = 8,62$
3. Витрати на паливо	$13,6 \cdot 6 = 81,6$	$11,65 \cdot 6 = 69,90$
4. Витрати на електроліт	–	$\frac{20(15 + 0,4 \cdot 420)}{420} = 8,7$
5. Витрати на електроенергію	$55 \cdot 0,85 \cdot 2,5 \cdot 0,24 = 28,05$	$3,45 + 0,203 = 3,65$
6. Амортизаційні відрахування	$42603 \cdot 0,18 / 100 = 18,25$	$28337 \cdot 0,18 / 100 = 12,14$
6. Відрахування на утримання та поточний ремонт	$42603 \cdot 0,16 / 420 = 16,23$	$28337 \cdot 0,16 / 420 = 10,79$
7. Собівартість обкатки	191,45	131,78

Річний економічний ефект

$$E_p = [(191,45 + 0,242603 / 420) - (131,78 + 0,228337 / 420)]420 = [211,74 - 145,27]420 = 27917,4 \text{ грн}$$

Термін окупності визначимо за такою формулою:

$$T = \frac{K}{E_2} = \frac{6395}{27917,4} = 0,23 \text{ роки.} \quad (2.41)$$

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Опис гідравлічної системи

Основними вузлами, що забезпечують подачу електроліту для опрацювання двигуна є:

1. ємність,
2. насосний вузол,
3. вузол фільтрації,
4. піддон.

Виходячи з гідравлічного розрахунку для нормального обкатування необхідно вибрати насос НШ – 46 з продуктивністю 46 см^3 на один оборот валу насоса. Маючи діаметр всмоктувального трубопроводу 33 мм, витрата 60 л/хв і в'язкість 1,4 сст визначимо швидкість електроліту в трубопроводі.

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2} \text{ м / с.}, \text{ м/с} \quad (3.1)$$

$$V = \frac{4 \cdot 1000}{3,14 \cdot 3,3^2} = 1,16 \text{ м / с.}$$

Визначимо число Рейнольдса

$$\text{Re} = \frac{Vd}{\nu},$$

$$\text{Re} = \frac{116 \cdot 3,3}{1,40 \cdot 10^{-4}} = 27340.$$

$27340 > 2300$ – режим турбулентний.

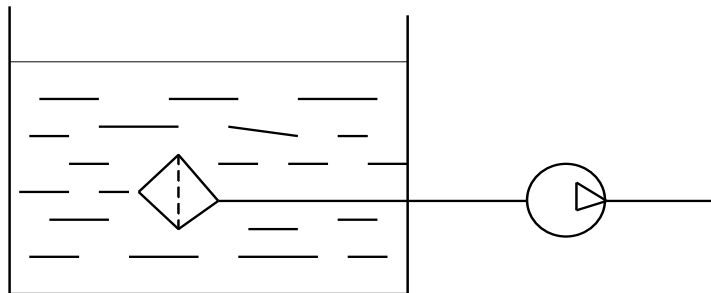


Рис. 3.1 – Схема вузла подачі електроліту:

1 – ємність, 2. паркан.

Падіння тиску визначається за формулою

$$\Delta p_{max} = p_u - \Delta p - \Delta p_i.$$

Де Δp_{max} – максимально допустимий перепад тиску у всмоктувальній лінії, МПа;

p_u – максимально допустиме розрідження всмоктування насоса, МПа

Δp – втрата тиску у всмоктувальному трубопроводі по всій довжині прямих ділянок, МПа;

Δp_i – втрата тиску у всмоктувальному трубопроводі, що визначається місцевими втратами, МПа.

Перепад тисків можна визначити за номограмою

Падіння тиску по довжині всмоктуючого трубопроводу з урахуванням в'язкості робочої рідини становить 0,0005 МПа.

Насос із бака подає електроліт у систему фільтрації за допомогою забірника. Забірник є металевією сіткою з розмірами осередків 100мкм за ГОСТ 6613–73, встановлюється на висоті 100–120 мм від дна ємності і служить для визначення великих частинок.

Вал електродвигуна та вал насоса з'єднані муфтою (МН – 1069 – 60).

3.2 Розрахунок муфти

Муфту розраховуємо на зминання шліців.

$$\sigma_{cm} = \frac{M}{d_e Z h l \psi} \leq [\sigma_{cm}]. \quad (3.2)$$

$$d_e = \frac{D + d}{2} = \frac{21 + 25}{2} = 23 \text{ мм.}$$

$$h = ((D - d) / 2) - 2f = ((25 - 21) / 2) - 2 \cdot 0,3 = 1,4 \text{ мм.}$$

$$M = \frac{974000 \cdot N}{n} \text{ Нм.,} \quad (3.3)$$

де M – момент, що передається електродвигуном.

N – потужність електродвигуна, кВт.

n – число оборотів електродвигуна, об/хв..

$$M = \frac{974000 \cdot 4}{1450} = 2700 \text{ Нм.}$$

Підставляючи знайдені значення у формулу 2.27 визначимо розрахункову напругу зминання:

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot 2700}{23 \cdot 6 \cdot 1,4 \cdot 10 \cdot 0,75} = 40 \text{ МПа} .$$

Допустима напруга зминання $[\sigma_{см}] = 60 \text{ МПа}$

Оскільки $\sigma_{см} = 40 \text{ МПа} < [\sigma_{см}] = 60 \text{ МПа}$, то умова міцності виконується.

3.3 Вузол фільтрації

Для підтримки працездатності електроліту при електро-хіміко-механічному обкатуванні, стабільності кислотності рН необхідна фільтрація електроліту.

Розрізняють безперервну фільтрацію електроліту та періодичну. Щоб підтримувати параметри електрохіміко-механічного обкатування необхідно прийняти безперервну фільтрацію електроліту. Так як продукти зносу при ЭХМП являють собою розчинні гідроксиди металів, а також дрібнодисперсний осад гідроксидів металів з діаметром частинок кілька мікронів у системі фільтрації передбачено два фільтри типу Г 41–52.

Забірний пристрій насоса має сітку з розмірами осередків 100 мкм, що оберігає від потрапляння в систему випадкових великих частинок.

3.4 Розрахунок фільтра

Розрахунок фільтра в основному зводиться до визначення витрати рідини та величини гідравлічних втрат на одиницю поверхні фільтрованого матеріалу.

Витрата фільтра може бути виражений в загальному випадку залежністю Пуазейля, що впливає із закону.

$$q = k \frac{\Delta p}{\mu} . \quad (3.4)$$

$$Q = qF = k \frac{\Delta p F}{\mu}. \quad (3.5)$$

Втрати напору p визначаються за такою формулою:

$$\Delta p = \left(\frac{Qv^{0,54}}{9,5F_0\delta^{0,6}} \right)^{1,18} \text{ МПа.}, \quad (3.6)$$

$$\Delta p = \left(\frac{60 \cdot 0,0127^{0,54}}{9,5 \cdot 197,12 \cdot 0,2^{0,6}} \right)^{1,18} = 0,0003 \text{ МПа.}$$

У системі подачі електроліту передбачено встановлення двох манометрів до фільтра та після фільтра. У гідравлічній схемі також встановлений манометр контролює тиск електроліту в крайній корінній шийки двигуна.

Таблиця 3.1 – Основні технічні дані фільтра

Параметри	025 Г 41–52
Номінальний тиск	125
Номінальна тонкість фільтрації, мкм	25
Номінальний потік, що пропускається при в'язкості масла 80 Ст	18
Номінальний перепад тиску	1,0

3.5 Розрахунок ємності

Електроліт, необхідний для опрацювання двигуна, знаходиться в баку. Місткість бака приймаємо рівною 2 – 3 хвилинної продуктивності насоса. Продуктивність НШ – 46 складає 60 л/хв, звідси потрібна ємність бака 120–180 літрів. Бак виконуємо з листового заліза СТ–3 завтовшки 2,5 – 3 мм. Так як електроліт має рН = 8 од., то в антикорозійних цілях бак зсередини футерують. Футерівка являє собою епоксидну смолу армовану склополотном.

4 НАУКОВО–ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Проведення експериментальних досліджень

Застосування електрохіміко–механічного обкатування (доведення) багатоопорних валів дозволяє забезпечити швидку їхню пристосованість до корінних опор, що мають невеликі макрогеометричні відхилення при малому зносі за 5...7 хвилин.

Існуюча технологія ЕХМП(Д) пов'язує режими обкатування з наявністю макрогеометричних відхилень колінчастих валів. Згідно з цією технологією, необхідно контролювати силу струму, що проходить через сполучення корінних шийок колінчастого валу і вкладишів. Про вихід гідродинамічний режим тертя в опорах судили за часом падіння сили струму до значень близьких до нуля. Це свідчило про наявність гарантованої розділової плівки електроліту між поверхнями, що труться, і про ефективне протікання процесу макрогеометричного обкатування при ЕХМП(Д).

Згідно з розробленою технологією, покладений в ліжку блоку колінчастий вал приводився у обертання з частотою 600 хв^{-1} , а струм, що проходить через пару, повинен був знизитися до нуля і цей момент можна було вважати закінченням ЕХМП(Д) сполучень вал – вкладиші. Якщо цього не відбувалося, робився висновок про те, що вал або блок має такі макрогеометричні відхилення, які не дозволяють якісно припрацювати колінчастий вал до вкладишів. Тому вимагалось проведення розбірної операції, додаткової дефектації валу, блоку та вкладишів з метою виявлення наявних дефектів.

Однак, відсутність гідродинамічного режиму в досліджуваних сполученнях не може бути достатньою основою для проведення додаткових розбірно–складальних операцій і вимагає додаткового вивчення.

Ймовірно, підбір певного електроліту або режимів ЕХМП(Д) сполучення вкладиші – шийки багатоопорного валу, зможуть розширити область застосування даного процесу для валів з відносно невеликими макрогеометричними відхиленнями. Крім цього, запропоновані режими

припрацювання пар багатоопорного валу і вкладишів раніше не піддавалися оптимізації.

Тому виконання таких досліджень – завдання актуальне. Метою даної роботи було знаходження оптимального режиму ЕХМП (Д), що забезпечує найкращий розвиток площі плями контакту при мінімальному зносі.

4.2 Методика досліджень

Дослідження проводили на моделі триопорного валу. Модель була порожнистим стрижнем, на який монтувалися три кільця, що імітують шийки. Три незалежні колодочки притискалися до каблучок, посаджених на один вал. Середня колодочка навантажувалася завжди з удвічі більшою силою, ніж дві крайні. Навантаження на колодочки представлені у таблиці 1.

Модель встановлювалася на машину тертя СМЦ–2. Підшипники імітувалися трьома незалежними колодочками, виготовленими з реальних вкладишів двигуна СМД–14. Схема конструкції моделі описана раніше.

Визначалася питома площа контакту представляє собою відношення площі контакту колодочок до її зносу. Привід установки валу моделі здійснювався від валу машини тертя.

Як джерело струму використовувався трансформатор, а регулювання струмових параметрів проводилося ЛАТРом. Сумарна сила струму в дослідях зазначена в таблиці 4.2. Перерозподіл струму по ланцюгах трьох сполучень відбувалося мимоволі залежно від опору в парі тертя.

У процесі дослідів вивчався знос колодочків і площа плями контакту, що формується, за дослідних умов.

Порядок проведення дослідів наступний. Перед досвідом колодочки очищалися, ретельно промивалися, знежирювалися, зважувалися на аналітичних вагах WA–31 з точністю 0,1мг, і потім монтувалися в оправки–тримачі. Оправлення збиралися жорстко з важелями. У зону тертя подавався самозахватом електроліт, що складається з 84% гліцерину і 16% водного 20%-го розчину Na_2CO_3 . Кожен досвід проводився протягом 5 хв, частота

обертання валу – 300 хв^{-1} . Після закінчення досвіду вимикався привід, відключався струм, припинялася подача електроліту.

Повторність кожного досвіду – триразова.

Таблиця 4.1. Навантаження на крайніх опорах (1 і 3) при заданому навантаженні на 2 середній опорі

1 колодочка	2 колодочка (середня)	3 колодочка
10 Н	20 Н	10 Н
15 Н	30 Н	15 Н
20 Н	40 Н	20 Н

Визначення значень коефіцієнтів рівняння регресії, оцінку адекватності математичної моделі проводили за допомогою програми STATISTICA 6.0.

Як фактори обрані сила струму (X_1), час обкатування (X_2) та навантаження на середню шийку багатоопорного валу моделі (X_3). Основні рівні та інтервали варіювання представлені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2. Рівні факторів та інтервали варіювання

Рівні факторів	Усл.	X_1	X_2	X_3
	позн.	Сила струму, I, А	Час обкатування , τ , хв	Навантаження на 2 середню опору, Р, Н
Основний рівень	0	10	7,5	30
Інтервал варіювання	ΔX_i	5	2,5	10
Верхній рівень	+1	15	10	40
Нижній рівень	-1	5	5	20

Матриця планування експерименту із зазначенням рівнів чинників на кожній точці представлена таблиці 4.3. Рандомізація дослідів у матриці планування здійснювалося з допомогою таблиці випадкових чисел. Досліди проводились у послідовності зростання чисел третього стовпця зазначеної таблиці. Повторність дослідів триразова.

Таблиця 4.3. Матриця планування та умови дослідів.

№ Точки	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ X ₂	X ₁ X ₃	X ₂ X ₃	X ₁ ²	X ₂ ²	X ₃ ²	Чинники у досвіді			Рандомізація	
											X ₁ , I, A	X ₂ , τ, хв	X ₃ , P, Н		
1	+	+	+	0	+	0	0	+	+	0	15	10	30	01	1
2	+	+	-	0	-	0	0	+	+	0	15	5	30	51	8
3	+	-	+	0	-	0	0	+	+	0	5	10	30	35	5
4	+	-	-	0	+	0	0	+	+	0	5	5	30	87	12
5	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	7,5	30	33	4
6	+	+	0	+	0	+	0	+	0	+	15	7,5	40	67	10
7	+	+	0	-	0	-	0	+	0	+	15	7,5	20	89	13
8	+	-	0	+	0	-	0	+	0	+	5	7,5	40	53	9
9	+	-	0	-	0	+	0	+	0	+	5	7,5	20	05	2
10	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	7,5	30	46	6
11	+	0	+	+	0	0	+	0	+	+	10	10	40	73	11
12	+	0	+	-	0	0	-	0	+	+	10	10	20	47	7
13	+	0	-	+	0	0	-	0	+	+	10	5	40	21	3
14	+	0	-	-	0	0	+	0	+	+	10	5	20	99	15
15	+	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	7,5	30	90	14

4.3 Результати досліджень

Математична модель об'єкта дослідження мала вигляд

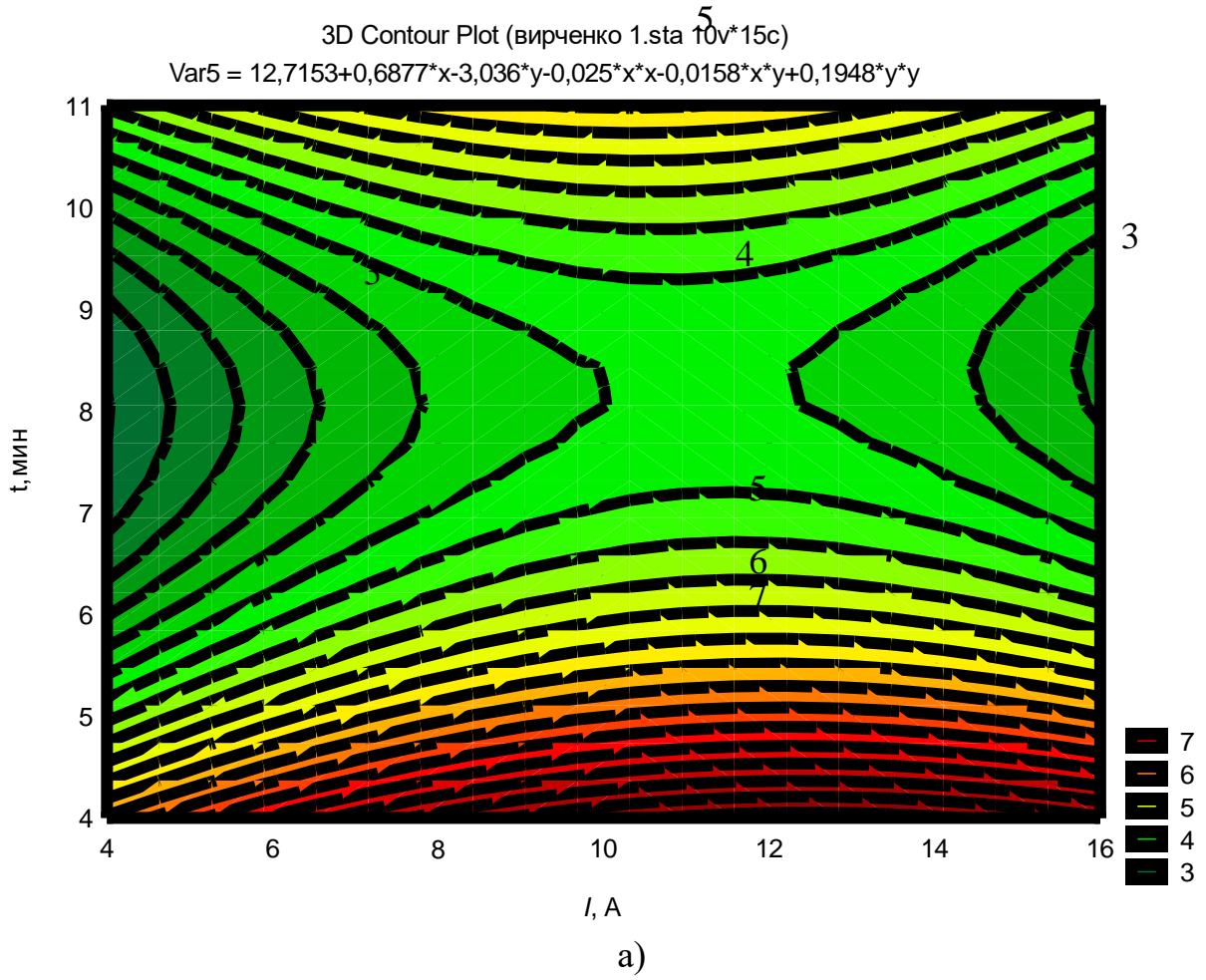
$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2.$$

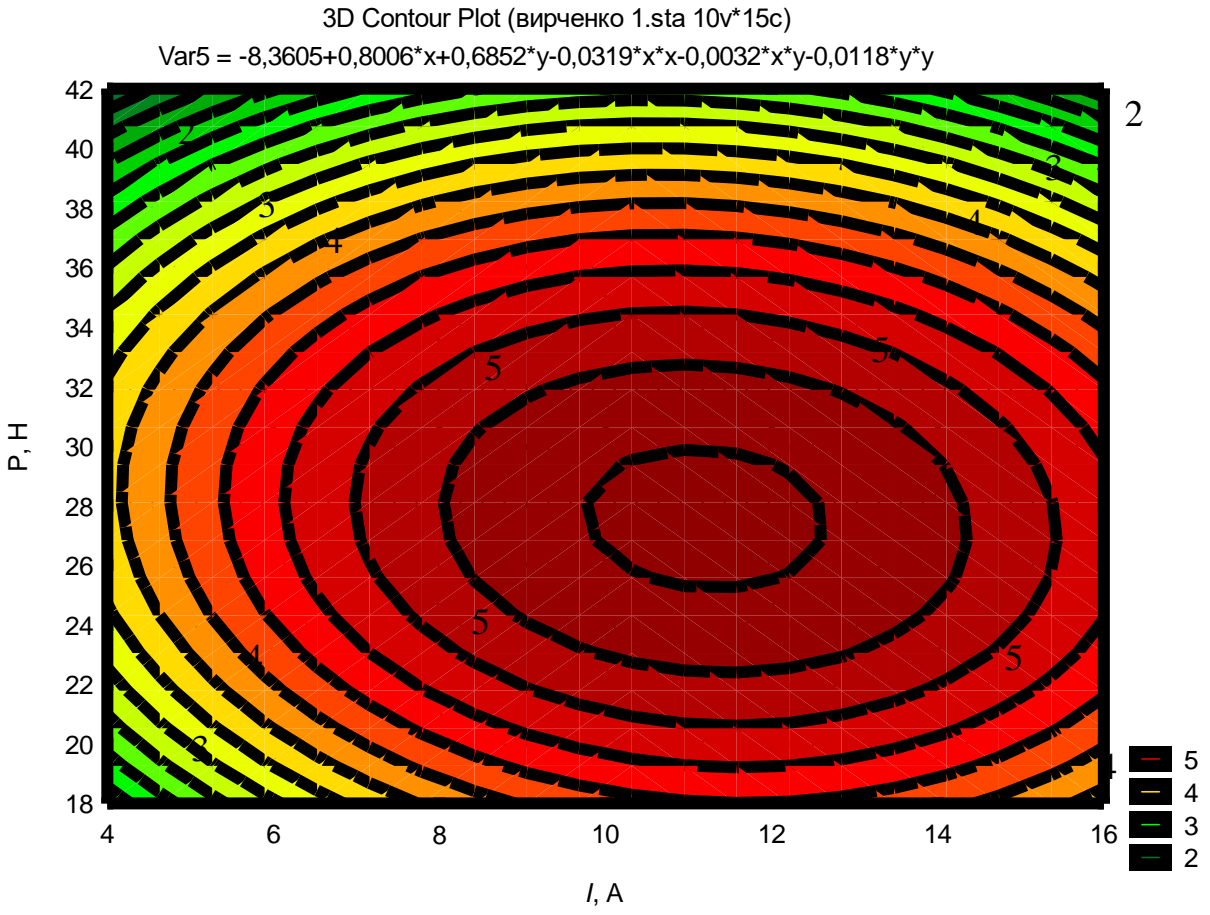
де b_0 , b_i , b_{ij} , b_{ii} – шукані коефіцієнти рівняння регресії.

Відгуком процесу служив питомий розвиток середньої площі плями контакту на мг зносу вкладиша (Y , мм²/мг). Шляхом експерименту були області двовимірних перерізів, у яких цей показник був максимальним.

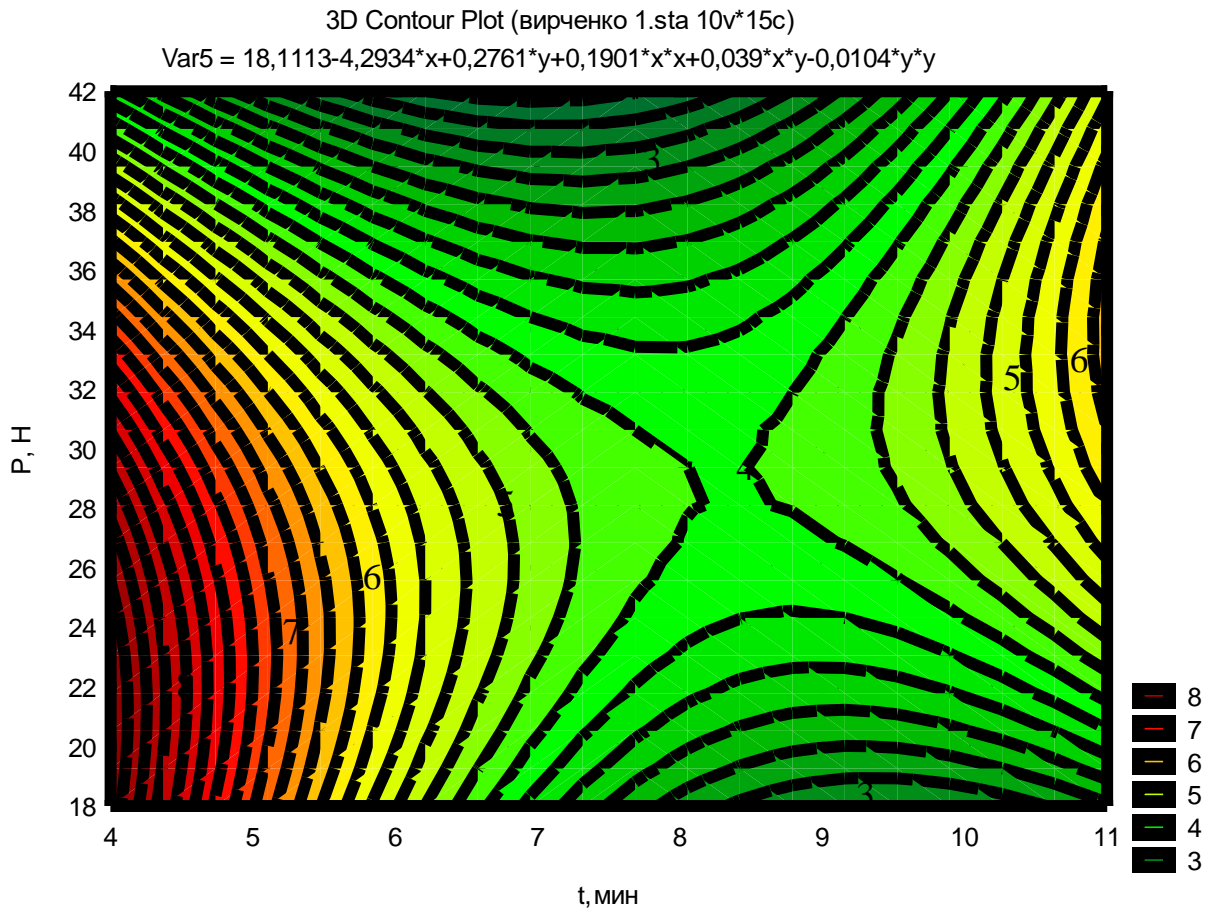
Математична модель питомого розвитку середньої площі плями контакту на мг зношування вкладиша в кодованому вигляді представлена нижче:

$$Y = 11,90917 + 0,84933X_1 - 4,00450X_2 + 0,34038X_3 - 0,01580X_1X_2 - 0,00315X_1X_3 + 0,03900X_2X_3 - 0,02837X_1^2 - 0,01092X_3^2.$$





б)



в)

Рис. 4.1. Розвиток площі плям контакту на одиницю зносу ($S_{уд}$, мм²/мг) при значеннях:

а) навантаження $P = 30\text{Н}$; б) часу $t = 7,5$ хв; в) сили струму $I = 10\text{А}$.

Для знаходження оптимального значення розвитку площі плям контакту на одиницю зношування (Y) складемо систему рівнянь. Для цього візьмемо окремі похідні від факторів x_1, x_2, x_3 .

$$\begin{cases} \frac{dY}{dx_1} = 0,8493 - 0,0158x_2 - 0,0032x_3 - 0,0568x_1 = 0 \\ \frac{dY}{dx_2} = -4,0045 - 0,0158x_1 - 0,039x_3 + 0,3626x_2 = 0 \\ \frac{dY}{dx_3} = 0,3404 - 0,0032x_1 + 0,039x_2 - 0,0109x_3 = 0 \end{cases}$$

В результаті розрахунків отримані наступні оптимальні значення факторів, які забезпечують найкраще значення розвитку площі плям контакту на одиницю зношування (Y): сила струму, що подається на досліджувану модель триопорного валу (x_1), дорівнює 11,04 А; час опрацювання (x_2) – 5,13 хв; навантаження на середню колодочку (x_3) – 24,39 н.

Однак, виходячи з форми двовимірних перерізів, що показує неоднозначність досліджуваного процесу, можна обмежитися інтервалами факторів, наближеними до оптимальних значень. З рис.4.1 видно, що такими значеннями може бути: сила струму $I = 10 \dots 12$ А; час $\tau = 4 \dots 5$ хв; навантаження на середню колодочку $P = 24 \dots 30$ н.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Характеристика шкідливих і небезпечних факторів процесу відновлення гільз циліндрів двигунів ЯМЗ

Ширина санітарно–захисної зони приймається у відповідності з СНіП–ІІ–2–80. тобто територія між виробничими приміщеннями, будівлями культурно–побутового призначення і житловим масивом складає не менше 50м. Територія санітарно–захисної зони благоустроєна і озеленена

Згідно СНіП–ІІ–2–80 дільниця відновлення гільз циліндрів, що проектується, відноситься до категорії “Г” так як на дільниці проводяться роботи з вогнетривкими матеріалами (сталі, чавуни і мастила з температурою спалаху більше 350⁰С).

Будівля дільниці відновлення гільз циліндрів збудована з цегли і має цегляні перегородки між дільницями з часом займання відповідно 2,5 та 0,5 години і дозволяє віднести її до ІІ ступеня вогнестійкості.

Технологічне обладнання, що використовується на дільниці, може призвести до появи шкідливих і небезпечних факторів щодо життя та безпеки праці робітників, задіяних у проведенні технологічних процесів відновлення.

Аналіз шкідливих і небезпечних факторів, які мають місце при відновленні гільз на дільниці, що проектується, дозволив визначити наступні основні фактори, що викликані технологічними процесами, устаткуванням, інструментом тощо:

- ураження робітників електричним струмом внаслідок відсутності, або несправності заземлення устаткування;
- дія підвищеної вібрації на організм людини;
- травмування робітників частинами інструментів для складання, які обертаються;
- дія шумового навантаження на слухові органи робітників;
- дія пилоподібних частинок на органи дихання робітників.
- при навантажувально–розвантажувальних роботах можливий розрив тросів і падіння вантажів;

- при транспортуванні вузлів можливе їх падіння або опрокидування;
- зачеплення рук тросами або вантажозахватами;
- ураження електрострумом при роботі з вантажопідіймальними механізмами;
- забруднення робочих місць і неправильне розташування виробничого обладнання, що призводить до зустрічних і перехресних вантажопотоків;
- порушення правил експлуатації і ремонту вантажопідіймальних механізмів.

При експлуатації мийного обладнання виникають наступні небезпечності та шкідливості:

- небезпека розсіювання уваги, та як наслідок травми через наявність на робочому місці підвищених температур;
- небезпека враження електричним струмом;
- небезпека зіткнення та тривалий контакт шкіряних покривів з нафтомаслопродуктами, що може призвести до враження шкіри;
- небезпека тривалого вдихання шкідливих парів мийних розчинів, що призводить до отруєння органів дихання та професійних захворювань.

З метою виконання основних вимог по підтриманню мікроклімата у виробничих приміщеннях і в зонах робочих місць: в цеху на дільниці використовується центральне опалення для підтримання температури повітря робочої зони в межах, що забезпечують нормальні умови праці у відповідності з ГОСТ 12.1.005–88 – 18⁰С, за рахунок опалення і вентиляції для зимових умов, в літній час підтримується температура 20...22⁰С за допомогою припливно–витяжної вентиляції по ГОСТ 12.2.009–80. Відносна вологість не більше 70%, швидкість руху повітря не більше 0,3 м/с.

Обладнання, що потребує місцевої вентиляції обладнано місцевим відсосом.

Для контролю температури у приміщенні цеху на видному місці на відстані 15 с від воріт у вхідних дверей встановлені термометри. На дільниці є

спеціальні фонтанчики для питних потреб і виконання виробничих процесів, що забезпечуються водопровідною мережею.

Регулярно у встановлені строки проводиться медичний огляд робочих.

На дільниці присутнє природне і штучне освітлення (СНіП II-4-79) комбіноване. Дільниця освітлюється газорозрядними неоновими лампами ДРЛ зі світловіддачею 120...140 лк/вт. Розряд зорових робіт – II, КЕО – 3%.

У відповідності с ГОСТ 12.1.003-83 при проектуванні цеху, дільниці, а також при організації робочих місць прийняті необхідні міри по зниженню шуму.

Звукоізоляція джерел шуму виконується кожухами і капотами з накладанням на них звукопоглинаючих матеріалів (поліуретан, пластик, войлок).

Робочі забезпечені спецодягом у відповідності з ГОСТ 12.4.015-88.

Аналіз виробничої діяльності дільниці показує, що рівень забезпечення умов праці відповідає вимогам ГОСТ 12.3.005-75:

- все обладнання дільниці оснащено струмоприймачами і заземлено (контур). Загальний опір розтікання струму не перевищує 4 Ом. Рубильники оснащені захисними кожухами. Плавкі запобіжники встановлені в захисних шафах. Неізольовані струмоведучі частини електродроту огорожені. Відстань між струмоведучими частинами і огороженням не менше 0,6 м;

- проводиться періодична перевірка контуру заземлення і опору ізоляції;

- виконана перевірка заземлення і занулення електроустановок відповідно ГОСТ 12.2.007-1-75 та ГОСТ 12.1.030-81;

- здійснена установка вимикачів і плавких запобіжників;

- забезпечена неможливість випадкового дотикання до струмоведучих частин, котрі захищені завдяки ізоляції і розташовані в недоступних місцях з використанням запобіжних і загороджувальних пристосувань;

При транспортуванні вузлів і агрегатів дотримуються наступні міри безпеки по ГОСТ 12.3.006-80 “Роботи по транспортуванню вантажів”:

- кількість і габарити вантажів не перевищують відповідно

вантажопід'ємність і габарити транспортних засобів;

- ширина проїзду на дільниці прийнята 3 м у відповідності зі СНІП–2–П–80 “Виробнича будівля промислових підприємств. Норми проектування”.

Межі проїзду пофарбовані у світлий тон. Встановлені безпечні зони роботи підйомно–транспортного обладнання.

При збиральних роботах дотримуються наступні міри безпеки:

– виробниче обладнання має спеціальні пристосування для кріплення вузлів і агрегатів.

Техпроцес виконується на спеціальному конвеєрі. Загальні вимоги по ГОСТ 12.2.009–81 “Роботи навантажувально–розвантажувальні. Загальні вимоги безпеки”.

Пневмоприводи утворюють півень звукової потужності менше 30...69 дБ і відповідають вимогам ГОСТ 12.2.001–81.

Пресове обладнання укомплектоване блокуванням і відповідає вимогам ГОСТ 12.2.017–93.

Рухомий конвеєр по його довжині має три точки аварійної зупинки і обладнаний сигналізацією у відповідності з вимогами ГОСТ 12.4.155–85.

Підйомно–транспортне обладнання проходить своєчасне освідоцтво протягом року у відповідності з ГОСТ 12.3.009–76.

При роботі з ручним електричним і пневматичним інструментом використовують засоби індивідуального захисту – діелектричні рукавиці, коврики тощо у відповідності з вимогами ГОСТ 12.1.103–83.

5.2 Евакуація при аваріях на хімічно небезпечних об'єктах

Евакуація полягає у вивозі або виведенні робітників і населення за межу осередку хімічного ураження Зволікання з евакуацією при аваріях на хімічно небезпечних підприємствах може привести до отруєння і загибелі людей. Якщо є захисні споруди з фільтровентиляційним обладнанням, то потрібно негайно укрити в них робітників, службовців підприємства і населення.

Документом, який визначає термін і порядок проведення евакуації, є розділ плану ЦО на мирний час. Він стосується захисту населення при аваріях

на підприємствах, що використовують у своєму виробництві отруйні речовини Планування евакуації населення, яке мешкає поблизу хімічно небезпечного підприємства, здійснюється по кожному об'єкту.

При плані евакуації враховують: небезпечні концентрації отруйних речовин можуть зберігатися від декількох годин до декількох діб; небезпечне ураження людей отруйними речовинами через шкіру не потребує застосування засобів захисту шкіри при евакуації;

особливості розповсюдження отруйних речовин.

У зв'язку із швидким розповсюдженням хмари сильнодіючої отруйної речовини збірні евакопункти не розгортаються

В умовах значної відстані від місць аварії евакуацію необхідної проводити комбінованим способом. Зони хімічного зараження при аваріях з розливанням СДОР можуть мати довжину від десятків метрів до десятків кілометрів. Це буде залежати від кількості розлитої СДОР, її виду, умов зберігання, а також від швидкості вітру і вертикальної стійкості повітря. Дуже важливо враховувати напрямок вітру, який може бути від 0° до 360° . У зв'язку з цим у плані ЦО повинно бути кілька варіантів відселення в залежності від напрямку вітру. Маршрути евакуації вибирають перпендикулярно до розповсюдження хмари СДОР. Розміщення евакуйованих планується в населених пунктах, що знаходяться за межею хімічного зараження, у будинках житлового сектора. У теплу погоду для розміщення евакуйованих використовують намети.

Відстань евакуації залежить від масштабу аварії, і, як правило, не перевищує 15 км від зони хімічного зараження. У пунктах тимчасового відселення передбачається розгортання медпунктів, підприємств торгівлі і інших необхідних засобів, які забезпечують життєдіяльність евакуйованого населення. Проведення евакуації. Штаб ЦО про аварію на хімічно небезпечному підприємстві сповіщає населення, доводить інформацію про аварію керівництву ЦО. Почувши текст оповіщення про аварію на хімічно небезпечному підприємстві, люди, які знаходяться в квартирах (будинках), негайно зачиняють вікна, вимикають нагрівальні прилади, газ, гасять вогонь.

Попереджують сусідів. Одягають дітей та швидко виходять із зони хімічного зараження

Напрямок виходу населенню вказують представники служби охорони громадського порядку (ОГП). Якщо їх не буде близько, то потрібно йти в сторону, перпендикулярну до напрямку вітру, бажано на підвищеній місцевості, яка добре провітрюється

Після виходу із зони хімічного зараження люди направляються на пункти збору, де розподіляються на тимчасове поселення.

Якщо дозволяє час і відстань від осередку хімічного ураження, то евакуація проводиться через ЗЕП. Організовується реєстрація, виділяється транспорт, формуються піші колони. Населення евакуюється у призначені райони, де тимчасово влаштовується органами державної влади.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведені теоретичні розрахунки дозволили розрахувати параметри режимів тертя підшипників ковзання, товщина плівки електроліту при ЕХМП(Д) приблизно дорівнює 2 мкм, що відповідає напіврідинному режиму тертя.

2. В результаті розрахунків отримані наступні оптимальні значення факторів, які забезпечують найкраще значення розвитку площі плям контакту на одиницю зношування (Y): сила струму, що подається на досліджувану модель триопорного валу (x_1), дорівнює 11,04 А; час опрацювання (x_2) – 5,13 хв; навантаження на середню колодочку (x_3) – 24,39 н.

3. Виходячи з форми двовимірних перерізів, що показує неоднозначність досліджуваного процесу, можна обмежитися інтервалами факторів, наближеними до оптимальних значень: сила струму $I = 10 \dots 12$ А; час $\tau = 4 \dots 5$ хв; навантаження на середню колодочку $P = 24 \dots 30$ н.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Ляшук О.Л., Гудь В.З., Пиндус Ю.І., Левкович М.Г., Хорошун Р.В. Методичний посібник до виконання кваліфікаційної роботи магістра за освітньо–кваліфікаційним рівнем «магістр» галузі знань 27 «Транспорт» спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» – Тернопіль: Видавництво ТНТУ, 2020. – 66 с.
2. Ю. Паливода. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки: навчально–методичний посібник / Ю. Паливода, А. Дячун, Р. Лещук. – Тернопіль, Тернопільський національний технічний університет ім.І.Пулюя, 2019. – 240с.
3. Луців І.В. Розробка алгоритмів створення багатолезового оснащення адаптивного типу для обробки поверхонь обертання / І.В. Луців, Р.Я.Лещук // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наукових праць. – Краматорськ, вип. №26, 2009. С.164 – 171.
4. Луців І.В. Динамічні характеристики підсистем верстатного оснащення адаптивного типу / І.В. Луців, Р.Я.Лещук // Вісник Тернопільського державного технічного університету, 2009, Том 14, №4. С.144–149.
5. Гевко І.Б. Техніко–економічне обґрунтування процесу механічної обробки з використанням комбінованого свердла–мітчика / І.Б.Гевко, Р.Я., Лещук, І.І.Стойко, Н.М.Марчук, М.Д.Сіправська // Сільськогосподарські машини: Зб. наук. ст.–Вип. 40.–Луцьк, 2018. С.21–31.
6. Техніко–економічне обґрунтування інженерних рішень на СТО та АТП : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Ляшук О.Л., Луциків І.В., Плекан У.М., Клендій В.М. – Тернопіль : Вид–во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 276 с.
7. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Гудь В.З., Левкович М.Г., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. – Тернопіль : Вид–во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 544 с.
8. Конспект лекцій з курсу «Технології обслуговування автотранспортних засобів». / Р.В. Хорошун, О.Л. Ляшук, Н.Т. Навроцька. – Тернопіль: Вид–во ТНТУ, 2021. – 194 с.

9. Ляшук О.Л. Конспект лекцій з дисципліни «Технічна експлуатація автомобілів» для студентів спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» / О.Л. Ляшук, В.М.Клендій, Р.В.Хорошун. – Тернопіль: Вид. ТНТУ – 2018. – С. 302.
10. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: Підручник – К.: Знання. 2003. – 511 с.
11. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: організація і управління: Підручник – К.: Знання. 2004. – 478 с.
12. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів. Технологія [Текст]: Підручник. / О.А. Лудченко. – Київ: Знання–Прес, 2007. – 527с.
13. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів : Навчальний посібник / Укладачі : Гевко І.Б., Рогатинський Р.М., Ляшук О.Л., Левкович М.Г., Гудь В.З., Сташків М.Я., Сіправська М.Д. – Тернопіль : Вид–во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 544 с.