

НУБІП України

НУБІП України

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

01.12 – КМР. 203 “С” 2022.02.04. 006 ПЗ

КОШЕЛЬ ОЛЕКСІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

2022 р.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І

ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (НИ)

Конструювання та дизайну

УДК 621.891.004

ПОГОДЖЕНО

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
Надійності техніки

(назва кафедри)

Новицький А.В.

(підпис)

(ПІБ)

“ ” 2022 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Підвищення довговічності трибосполучень компресора автомобіля

КамАЗ із застосуванням комплексних покриттів»

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

Новицький А.В.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

(ПІБ)

Керівники магістерської кваліфікаційної роботи:

к.т.н., доцент

Банний О.О.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

(ПІБ)

старший викладач

Бистрий О.М.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

(ПІБ)

Виконав:

Кошчель О.М.

(підпис)

(ПІБ)

КИЇВ - 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (ФНП)

Конструювання та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Надійності техніки

(назва кафедри)

к.т.н., доцент

Новицький А.В.

(підпис)

(ПІБ)

2021 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Кошель Олександр Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність

133 – «Галузеве машинобудування»

(код назва)

Освітня програма «Технічний сервіс машин та обладнання

сільськогосподарського виробництва»

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи «Підвищення довговічності трибосполучень
компресора автомобіля КамАЗ із застосуванням комплексних покриттів»

затверджена наказом ректора НУБіП України від 04 лютого 2022р. № 203 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2022.10.01

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи Трибосполучення компресора автомобіля
КамАЗ, циліндро-поршнева група компресора автомобіля КамАЗ.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Інтенсифікувати припрацювання деталей тертя компресорів, скоротивши її тривалість, а так само знизити знос деталей ЦПГ і КШМ компресорів;
2. Підвищити ресурс компресорів ..50%
3. Отримати від технології зміцнення деталей ЦПГ та КШМ компресорів автомобілів КамАЗ річний економічний ефект.

Дата видачі завдання «15» жовтня 2021 року

Керівники магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доцент

Банний О.О.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

(ПІБ)

старший викладач

Бистрий О.М.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання

Кошель О.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали студента)

РЕФЕРАТ

НУБІП України

Магістерська кваліфікаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку літератури та додатків.

Містить 71 сторінок машинописного тексту, 7 таблиць, 35 рисунків та 2 додатків. Список використаної літератури включає 54 найменувань.

Ключові слова: довговічність, працездатність, компресор, трибосполучення, комплексне покриття.

На підставі аналізу літературних джерел та патентного пошуку за темою магістерської роботи виявлено низку питань щодо забезпечення довговічності та працездатності трибосполучень компресорів гальмівної системи автомобілів КамАЗ, які ще недостатньо вивчені.

Поставлено мету та поставлені завдання щодо її реалізації.

Проведено порівняльні триботехнічні випробування зразків на машині тертя П 5018, стендові випробування компресорів, відновлених із застосуванням комплексного покриття.

Розроблено технологію зміцнення трибоспряжень компресорів гальмівної системи автомобілів КамАЗ із застосуванням комплексного покриття

Дано техніко-економічну оцінку розроблених триботехнічних методів, що забезпечують працездатність та довговічність компресорів автомобілів КамАЗ.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України	7
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ, МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	11
НУБІП України	11
1.1 Аналіз працездатності та довговічності автомобілів КамАЗ	11
1.2. Комплексні покриття як резерв підвищення довговічності та працездатність триботехнічних спряжень компресорів автомобілів КамАЗ	18
НУБІП України	18
1.2.1. Шляхи підвищення ресурса трибосполучень компресорів автомобілів КамАЗ	18
1.3. Висновки. Мета і завдання дослідження	21
РОЗДІЛ 2: ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА СТРУКТУРА ЕСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	23
НУБІП України	23
2.1 Програма та структурна схема досліджень	23
2.2 Вибір та обґрунтування зміцнюючого покриття при експериментальних дослідженнях	25
НУБІП України	27
2.3 Методика проведення лабораторних випробувань	27
2.4 Методика проведення стендових випробувань	36
2.5 Методика проведення експлуатаційних випробувань	36
РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПОКАЩЕННЯ ПРИПРАЦЮВАННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТРИБОСПОЛУЧЕНЬ КОМПРЕСОРІВ АВТОМОБІЛІВ КАМАЗ ЗАСТОСУВАННЯМ КОМПЛЕКСНИХ ПОКРИТТІВ	38
НУБІП України	38
3.1 Теоретичні основи підвищення ресурсу компресорів автомобілів КамАЗ застосуванням комплексних покриттів	38
НУБІП України	40
3.2 Математична модель зношування трибосполучень компресорів автомобілів КамАЗ та прогнозування їх ресурса	40
3.3 Висновки	49

РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ І ЇХ РЕЗУЛЬТАТИ.....	50
4.1 Триботехнічні випробування на машині тертя II 5018.....	50
4.1.1 Випробування зразків на принарацювання.....	51
4.1.2 Випробування зразків на знос і схоплення.....	54
4.2 Результати стендових та експлуатаційних випробувань.....	57
4.3 Технологія нанесення покриття.....	58
4.4 Висновки.....	60
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.....	61
5.1. Висновки по розділу 5.....	76
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	78
ДОДАТКИ.....	82

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЦПГ - циліндро-поршнева група;
КШМ - кривошипно-шатунний механізм;
ВГ - відпрацьовані гази;

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

Вантажні автомобілі КамАЗ широко використовують у багатьох галузях виробництва, включаючи сільськогосподарську. Час і кошти, що витрачаються на ремонт різних вузлів і агрегатів, призводять у кінцевому підсумку до збільшення собівартості виробленої продукції, частка транспортних витрат у якій сягає 10 - 12% [1]. У собівартості автомобільних перевезень на частку технічного обслуговування та ремонту припадає 12 - 15%. Найбільший відсоток відмов автомобілів КамАЗ припадає на двигун, а на компресор - 8-10%, в основному через знос деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ) та кривошипно-шатунного механізму (КШМ) [1].

Застосування прогресивних технологій при ремонті зношених деталей у 4 - 6 разів скорочує кількість операцій порівняно з їх виготовленням, у 20 - 30 разів знижує витрату матеріалів, а собівартість відновлення багатьох деталей становить 60 - 80% від собівартості нових. В даний час відомі різноманітні способи зміцнення деталей машин та механізмів. Але як показує досвід, питання низькотемпературного зміцнення деталей не вирішені повною мірою і в цій галузі необхідні подальші дослідження [2,3].

У зв'язку з цим питання підвищення надійності цих автомобілів досить актуальне, так само, як і проблема розробки нових технологій зміцнення деталей застосуванням комплексних покриттів, які відрізнялися б простотою, низькотемпературними режимами і високою ефективністю.

Автомобілі КамАЗ мають пневматичну систему гальмування. Повітря систему нагнітається за допомогою компресора поршневого типу, що має привід від основного двигуна автомобіля за допомогою шестерної передачі. Масло до деталей компресора, що труться, також надходить з мастильної системи основного двигуна. Існує багато способів підвищення зносостійкості деталей компресора і, зокрема, нанесення покриттів, що зміцнюють. Однак часто дані покриття наносяться при досить високих (300...600°C) температурах, що призводить до короблення тонкостінних деталей.

Розроблено спосіб нанесення покриття при низькій температурі (130...150°C) на деталі компресорів автомобілів КамАЗ.

Даний спосіб цікавий тим, що в процесі низькотемпературного нанесення покриття на поверхні оброблюваної деталі утворюється двошарове (комплексне) покриття: з одного боку сульфіди, що мають, що мають низьку твердість і малий опір зсуву, з іншої сторони високоміцні з'єднання на основі титану. В результаті ми маємо можливість інтенсифікувати процес припрацювання і знизити початковий і встановлений знос деталей, що труться.

За рахунок наявності на поверхні деталей антифрикційних м'яких шарів (мідь, сульфіди), припрацювання деталей компресорів проходить набагато швидше, що дозволяє прискорено отримати номінальні характеристики, а за рахунок наявності в глибині шару сполук, що мають високу твердість (сполуки на основі титану) підвищується зносостійкість деталей. У цьому значно покращуються умови роботи поршневих компресійних кілець, до яких пред'являються жорсткі вимоги щодо якості ущільнення над поршневого простору.

Мета роботи. Підвищення ресурсу трибологічних спряжень компресорів автомобілів КамАЗ застосуванням комплексних покриттів.

Об'єкти досліджень. Компресор гальмівної системи автомобілів КамАЗ.

Предмет дослідження. Теплові і фізико-хімічні процеси, що протікають в поверхневих шарах деталей компресорів, що труться, та спосіб підвищення їх довговічності.

Методика досліджень заснована на застосуванні сучасних методів, технічних засобів, вимірювальних приладів і включає: вивчення та аналіз умов роботи компресорів, характеру і величини зносу деталей тертя з використанням статистичних методів і обробкою отриманої інформації на ЕОМ; аналіз існуючих та обґрунтування триботехнічних методів, що підвищують антифрикційні та зносостійкі властивості поверхонь тертя деталей компресорів; дослідження трибологічних та фізико-хімічних властивостей зміцнювальних покриттів; експериментальні дослідження зразків на машині тертя П-5018 та

експериментальних компресорів на стенді та в експлуатації; визначення оптимальних режимів нанесення комплексного покриття із розробкою технологічного процесу нанесення; техніко-економічну оцінку

Обробку отримання даних проводили з використанням сучасного програмного забезпечення на ЕОМ.

Наукова новизна роботи полягає у комплексному підході до вирішення задачі підвищення довговічності компресорів автомобілів КамАЗ шляхом застосування зміцнюючих антифрикційних зносостійких покриттів, до аналізу теоретичних положень і закономірностей, в результаті яких:

- встановлений характер і ступінь впливу різних факторів на ресурс компресорів автомобілів КамАЗ;

- здійснено теоретичне узагальнення та вибір ресурсовизначальних трибосполучень компресорів автомобілів КамАЗ,

- запропоновано математичну модель зношування, що дозволяє прогнозувати ресурс компресорів автомобілів КамАЗ;

Практичний цінність роботи. Запропоновано рекомендувати у виробництво комплекс заходів, котрий дозволяє:

- інтенсифікувати припрацювання деталей тертя компресорів, скоротивши її тривалість, а також само знизити знос деталей ЦПГ і КШМ компресорів в 1,5...1,8 рази;

- підвищити ресурс компресорів на 40...50%

- отримати від технології зміцнення деталей ЦПГ та КШМ компресорів автомобілів КамАЗ річний економічний ефект за програми 300 компресорів.

Структура та об'єкт роботи. Магістерська робота складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку літератури та додатку. Містить 71 сторінок машинописного тексту, 7 таблиць, 35 рисунків, 2 додатків. Список використаної літератури включає 54 найменувань.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ. МЕТА І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз працездатності та довговічності автомобілів КамАЗ

Проблема підвищення довговічності автомобілів, зокрема КамАЗ, докладно розглянута в роботах Ф.М. Авдонькіна, В.М. Баскова, А.С. Денисова та інших. [1,18,19]

Вивченню питань зношування вузлів та агрегатів автомобілів КамАЗ та іншої мобільної техніки, аналізу їх працездатності та довговічності присвячені роботи багатьох наукових установ та конструкторське бюро заводу КамАЗ.

Дослідженнями низки вчених [18,19] було встановлено, що інтенсивність зношування трибосполучення при терті а змінюється пропорційно тиску на поверхні тертя.

$$\alpha = \alpha_0 + C \cdot \Delta P,$$

де α_0 - інтенсивність зношування деталей трибоспряження до початку змін умов;

C - коефіцієнт пропорційності.

При відносному переміщенні поверхонь змінюється їхня температура.

Залежність інтенсивності зношування від температури приймається лінійною:

$$\alpha = \alpha_0 + C \cdot \Delta t$$

де Δt - зміна температури.

Залежність інтенсивності зношування від тиску на поверхню та швидкості відносного переміщення деталей мають вигляд:

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha_1 (1 - e^{-b\Delta P})$$

$$\alpha = \alpha_0 + \alpha_2 (1 - e^{-b\Delta V})$$

де α_1 - інтенсивність зношування при $\Delta P \rightarrow \infty$ або $\Delta V \rightarrow \infty$,

ΔP - зміна тиску,

ΔV - зміна швидкості відносного переміщення поверхонь.

Зношування деталей трибосполучень компресорів автомобілів КамАЗ призводить до зниження експлуатаційних показників його роботи та зниження

надійності. Тому основною метою є підвищення триботехнічних характеристик поверхневих шарів деталей трибосполучень. Підвищення надійності призводить до збільшення продуктивності праці та зниження собівартості продукції.

Як показує аналіз літературних джерел, найбільший відсоток відмов автомобілів КамАЗ припадає на двигун - до 30%, а на компресор - 8-10%, в основному через знос деталей циліндропоршневої групи та кривошипно-шатунного механізму (таблиця 1.1) [1].

Таблиця 1.1. Відмови автомобілів КамАЗ під час експлуатації.

№ п/п	Найменування агрегатів та систем	Автомобілі		
		КамАЗ-5320	КамАЗ-5410	КамАЗ-5511
1	Двигун загалом:	Відмови агрегатів та систем, %		
		26,5	30,3	25,5
	в тому числі			
	система живлення	38,8	37,0	46,7
	система охолодження	26,0	27,0	23,6
	система мащення	12,4	5,0	6,0
	ГРМ	7,1	10,0	5,3
	компресор	9,2	8,0	10,1
	головка блоку, болти і т.д.	6,5	13,0	8,3
2	Електроустаткування	18,2	20,4	17,8
3	Ходова частина	13,5	9,3	11,8
4	Гальмівна система	13,7	12,0	18,8
5	Трансмісія	10,7	16,7	12,6
6	Платформа	11,2	7,1	7,2
7	Кабіна з арматурою	3,2	1,4	1,3
8	Рульове управління	2,1	2,4	4,8
9	Інші	0,9	0,4	0,2

Величина ресурсу відремонтованого компресора (представлено на рисунку 1.1), а також ефективність його роботи значною мірою залежить від зносостійкості та якості припрацювання компресійних кілець.

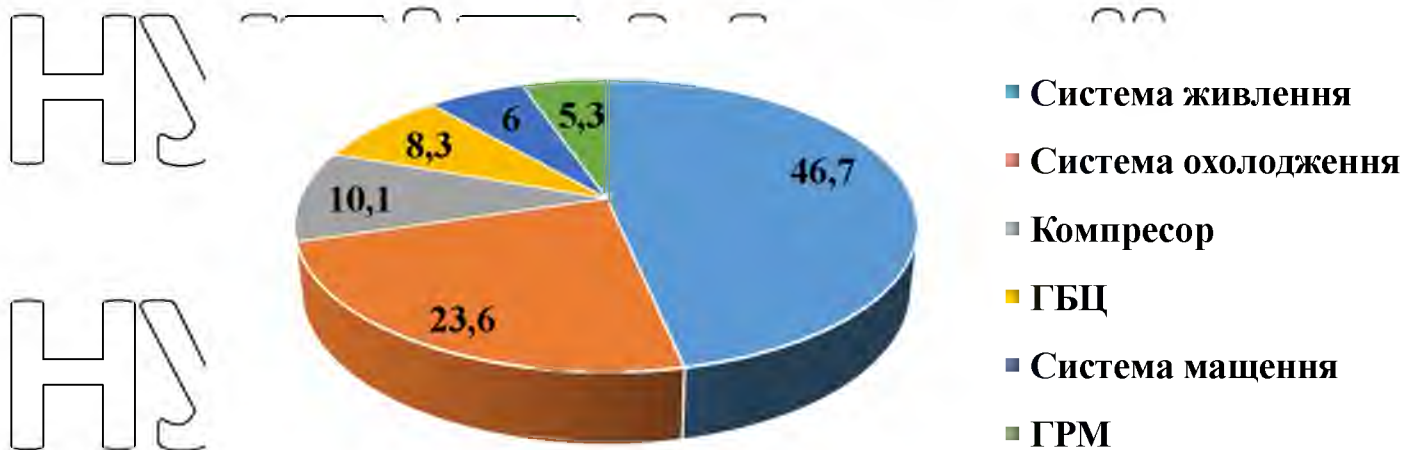


Рисунок 1.1. Відмови автомобілів КамАЗ, що припадають на двигун, у %.

Складні умови роботи сполучення викликають інтенсивне зношування блоку циліндрів та поршневих кілець. Величина зносу цих деталей залежить від матеріалу деталей, твердості поверхонь тертя, величини зазорів між циліндром і поршнем, зазорами між кільцями і поршнем, якості мастила, очищення всмоктуваного повітря ряду інших факторів [2,3].

Для циліндрів компресорів визначено такі найбільш характерні види зношування, як механічне, до якого відноситься абразивне (в результаті ріжучої дії твердих тіл або частинок, у тому числі і продуктів зносу) та корозійно-механічне (при хімічній взаємодії з середовищем металу в процесі тертя).

Ряд авторів [10,13] вважають, що основний знос відбувається по висоті циліндра та його діаметру.

НУБІП України

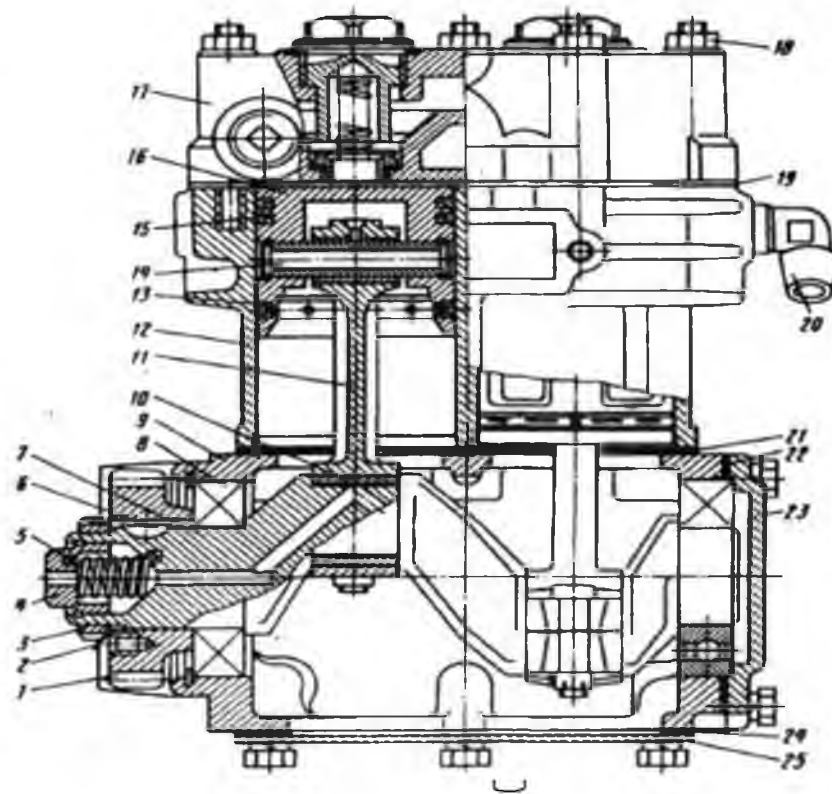


Рисунок 1.2 - Загальний вигляд компресора автомобіля КамАЗ:

- 1 - зубчасте колесо приводу, 2 - шайба, 3 - упорна гайка, 4 - ущільнювач,
 5 - пружина ущільнювача, 6 - шпонка, 7 - кривчастий вал, 8 - гідшипник,
 9 - картер, 10 - вкладки шатуна, 11 - шатун, 12 - блок циліндрів,
 13 - маслоз'ємне кільце, 14 - палець поршня, 15 - компресійне кільце,
 16 - поршень, 17 - головка компресора, 18 - гайка, 19, 22, 24 - прокладки,
 20 - косинець приводу охолоджувача-пластина, 23, 25 - кришка картера.

Зношування в зоні зупинки 1-го кільця зазвичай більше, ніж в інших місцях; спідниця поршня в поперечному перерізі набуває форми еліпса.

Важливою причиною нерівномірності розподілу контактних навантажень є неточність розмірів і форми циліндра, поршня, кільця та їх елементів, складальні відхилення взаємного розташування та ін [20, 21].

Циліндри зношуються нерівномірно як по дотичній, так і по колу в поперечному перерізі. Пік зносу по дотичній розташовується в місці зупинки компресійного кільця у верхній мертвій точці. Це пов'язано з збільшенням сили тертя при уповільненні, зупинках і зміні напрямку, погіршенням умов мастила; наявності високих нормальних тисків на стінки циліндра у момент

зміни орієнтації поршня у зоні верхньої мертвої точки; порушенням гідродинамічного режиму мастила в "мертвих точках" та ін.

Гідродинамічний режим мастила в парі кільце-циліндр можливий лише в середній частині ходу поршня, коли швидкість його руху максимальна.

Найбільші знос циліндрів спостерігається в площині, перпендикулярній до осі валу, що пов'язано з характером деформацій поршня і циліндра та дією нормального навантаження при роботі [3].

Поршневі кільця зношуються по торцях та у радіальному напрямку. Знос по торцях викликаний переорієнтацією поршня при зміні напрямку руху, а в радіальному напрямку знос відбувається внаслідок тертя. Найбільшому зносу схильне перше компресійне кільце, що працює при високих тисках і недостатньому мащенні.

Ресурс працездатності поршня, як правило, лімітується зносом канавки під верхнє компресійне кільце, що виникає під дією відносних переміщень кільця.

Інтенсивність зношування поверхонь спідниці поршня, поршневих пальців та внутрішніх поверхонь бобишок поршня невелика. Ці зношування, як правило, не лімітують довговічність компресорів.

Вагомим чинником, що визначає вигляд і швидкість зношування в циліндропоршневих парах, є механохімічні процеси на поверхнях тертя.

Вібрація тертьових поверхонь поршня, пальця, кільця і блоку циліндрів значно ускладнює умови роботи вузла. У зоні мертвих точок завжди спостерігається руйнування масляної плівки. При підвищенні швидкостей ковзання поршня несуча здатність масляної плівки підвищується і може досягти режимів тертя напіврідинного. При малих швидкостях зона напівсухого тертя збільшується [8,13,20,31,32].

У ряді робіт [10,21] зазначається, що циліндри більше схильні до абразивного зношування через попадання твердих частинок у зону тертя.

Виходячи з досліджень [33-34], інтенсифікація зношування відбувається через мікроконтактне схоплювання, яке обумовлено:

1. Тертям в умовах граничного мастила.

2. Великий питомий тиск компресійних кілець на стінку циліндра.

3. Перегрівання компресора.

4. Фрикційна несумісність матеріалів пари тертя.

Встановлено, що інтенсивність зношування в процесі припрацювання залежить від вихідної шорсткості поверхні циліндрів, здатності поверхні утримувати мастило, фізико-механічних властивостей поверхневого шару правильно вибраних зазорів у сполученнях ІВП [3,8].

Слід також зазначити, що у відремонтованих компресорах ресурс циліндропоршневої групи зменшується через різні порушення технічних умов при їх збиранні.

П'єднання шатунів і колінчастого валу входять у другу, високо навантажену групу деталей компресорів, що зношуються.

Мастило в зону тертя подається внутрішніми каналами в тілі колінчастого валу і шатунів.

В якості корінних підшипників колінчастого валу в компресорах автомобілі КамАЗ використовуються підшипники кочення (двоциліндровий компресор) або підшипники ковзання - вкладиші (одноциліндровий компресор).

В якості шатунних - лише підшипники ковзання.

Зношування корінних і шатунних підшипників ковзання обумовлено дією ряду моді непереможних факторів [20,21,32]. Один з головних - неможливість підтримати гідродинамічний режим тертя в момент початку роботи компресора і в момент зупинки, а так само при миттєвих навантаженнях, що пов'язано з розривом масляного клину у випадках перебоїв подачі масла, зниженням в'язкості масла та ін. Однак знос відбувається і при нормальній роботі в гідродинамічному режимі, так як локальний тиск в масляному клині в 2,5 - 3 рази перевищує середній тиск, що викликає деформацію і накопичення втоми в приповерхневих шарах матеріалу підшипників.

Співвідношення зносу корінних та шатунних підшипників різні і залежить від величини навантаження. Навантаження на шатунні шийки вище, ніж на корінні, відповідно і зношування їх більше.

Знос шийок нерівномірний по колу, що пов'язано з недостатньою жорсткістю колінчатих валів. У одноциліндрових компресорів у корінних підшипниках нижні вкладиші зношуються більше а ніж верхні, а в шагуєних підшипниках верхні вкладиші зношуються більше. Зносостійкість вкладишів визначається жорсткістю конструкції, якістю масла, антифрикційними властивостями матеріалів і т.д. Відхилення макрогеометрії шийок, деформації вкладишів і вузла під навантаженням також викликають локальне порушення гідродинамічного режиму мастила, різке підвищення температури, внаслідок чого інтенсифікується зношування і можливий задир, що супроводжується виплавленням антифрикційного шару.

Таким чином, ресурс компресорів лімітується зносом по висоті та діаметру циліндра, а також зносом колінчастого, валу та підшипників ковзання. Коефіцієнт повторюваності даного виду дефектів у деталей, що поступили в ремонт, становить 0,93 (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 - Коефіцієнт повторюваності дефектів деталей компресорів; що надійшли в ремонт.

№ дефекту	Дефект	Коефіцієнт повторюваності		Спосіб усунення
		Від загальної кількості деталей	Від загальної кількості ремонтпридатних деталей	
БЛОК ЦИЛІНДРІВ				
1	Знос поверхні дзеркала циліндра	0,93	1,0	Обробка під ремонтний розмір
КОЛІНЧАСТИЙ ВАЛ				
2	Знос шатунної шийки	0,93	1,0	Обробка під ремонтний розмір

Для підвищення довговічності циліндрів і колінчастих валів компресорів в даний час існують різні шляхи: конструктивні, технологічні, експлуатаційні [22,29,36]. Останні, на думку багатьох дослідників, мають резерви підвищення зносостійкості сполучень.

Таким чином, з вище викладеного випливає, що забезпечення працездатності та підвищення довговічності деталей тертя компресорів гальмівної системи автомобілів КамАЗ є актуальним і затребуваним. Нижче розглядаються шляхи і методи вирішення проблеми підвищення антифрикційних і зносостійких властивостей поверхневих шарів деталей пар тертя компресорів автомобілів КамАЗ і, зокрема, застосуванням комплексних покриттів.

1.2. Комплексні покриття як резерв підвищення довговічності та працездатність триботехнічних спряжень компресорів автомобілів КамАЗ

1.2.1. Шляхи підвищення ресурса трибосполучень компресорів автомобілів КамАЗ.

За характером виникнення фактори, що впливають на ресурс компресорів гальмівної системи автомобілів КамАЗ, можна розділити на технологічні та експлуатаційні.

Технологічні фактори визначаються характером процесу виготовлення деталей компресора і включають великий арсенал технологічних методів управління зносостійкими властивостями деталей на етапі їх виробництва: фізико-хімічних, теплових, механічних методів впливу на поверхневі шари матеріалів [35,37-39].

Експлуатаційні фактори впливають на надійність роботи компресорів у процесі експлуатації автомобілів. Вони включають як об'єктивні фактори, обумовлені впливом зовнішнього середовища, так і суб'єктивні, пов'язані з організацією системи технічного обслуговування та ремонту, кваліфікацією водія та обслуговуючого персоналу.

Найбільш перспективними, з точки зору підвищення вартості і працездатності трибосполучень компресорів, видаються технологічні заходи, засновані, наприклад, на застосуванні комплексних покриттів, які дозволяють поліпшити ефективність використання компресорів автомобілів КамАЗ в період їх припрацювання в встановленому режимі роботи. Цей метод дозволяє за мінімальних економічних витрат, не змінюючи конструкцію та матеріали

деталей пари тертя, знижувати інтенсивність її зношування протягом усього життєвого циклу [8, 40]. Однак слід зазначити, що в сукупності з іншими методами, особливо експлуатаційними, можна отримати набагато більший ефект.

Застосування різних технологічних заходів, спрямованих на зниження зносу деталі, характеризується на рисунку 1.3 кривою 2. Зменшення початкового зносу деталі, що характеризує зміну зазору на величину $\Delta S = S'_{поч} - S''_{поч}$, викликає збільшення міжремонтного терміну служби сполучення на величину

$$\Delta t = \tau_2 - \tau_1 = \frac{S'_{поч} - S''_{поч}}{tg\alpha} \quad (1.1)$$

де $tg\alpha = \frac{\Delta U}{\Delta t}$ - швидкість зношування.

Найменший знос спостерігається при терті, коли відбувається пружне контактування мікронерівностей при повному поділі їх проміжним тілом (рисунок 1.4) [41].

За таких умов процес тертя та зносу локалізується у проміжному, так званому, «третьому» тілі, не торкаючись основного металу. Покажемо це, виходячи з умов виникнення передзадирної ситуації при фрикційній взаємодії деталей.

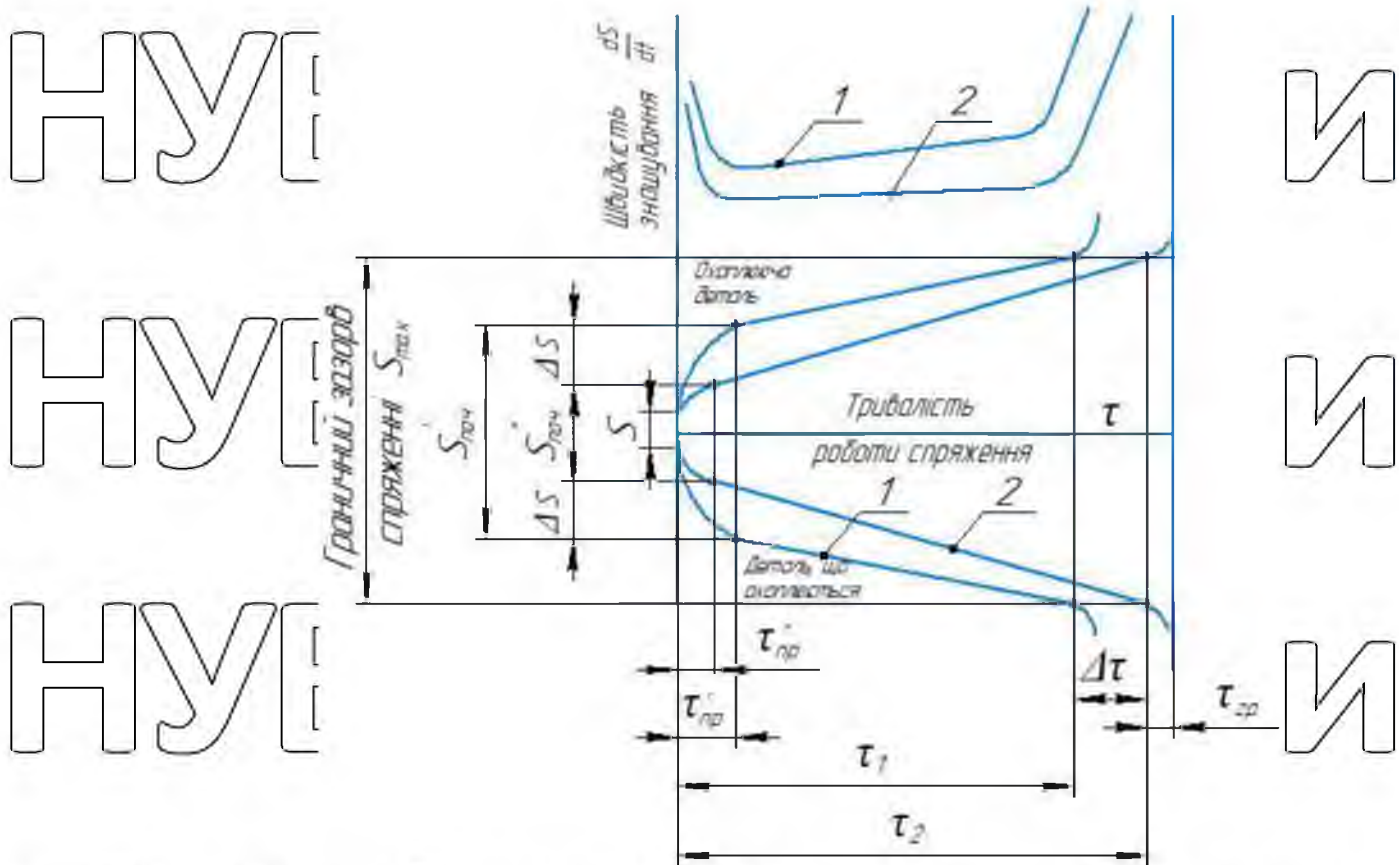


Рисунок 1.3 - Зношування трибосполучень, що мають в експлуатації різну швидкість зношування

Умова переходу від граничного тертя до мікрорізання за І.В. Крагельському [11,42] має вигляд:

$$\frac{h}{R} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{2\tau}{\sigma_s} \right) \quad (1.2)$$

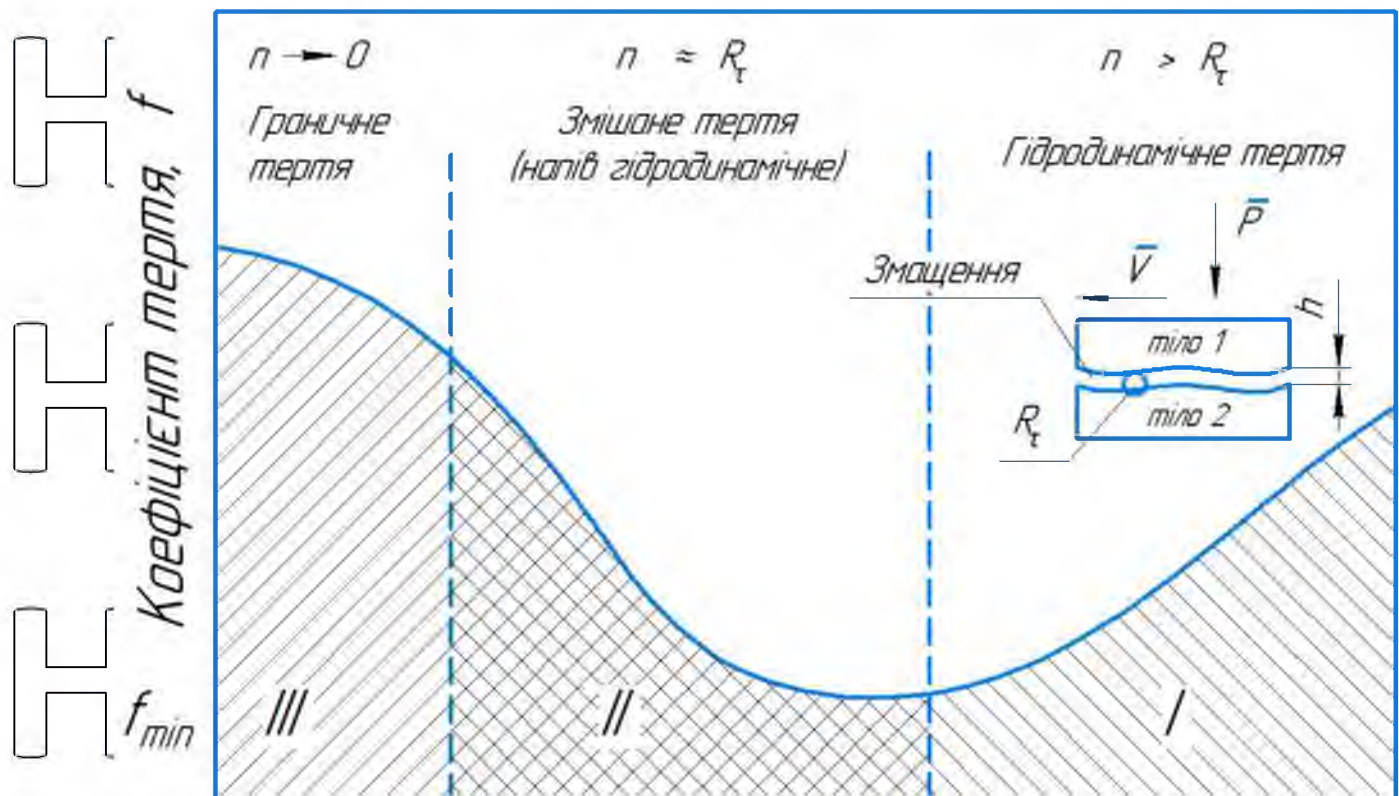
де $\frac{h}{R}$ - відносна впровадження поверхонь (h - глибина, R - радіус

впровадженої нерівності);

$$\frac{f}{\sigma_s} - \text{відносна міцність адгезійного зв'язку, що виникає між плівками, що покривають поверхні пар тертя} (\tau - \text{тангенціальна напруження на поверхні тертя,}$$

σ_s - межа плинності матеріалу в поверхневому шарі),

$$\text{або} \quad \tau = \frac{\sigma_s}{2} \left(1 - \frac{2h}{R} \right) \quad (1.3)$$



Число Заммерфельда, $\frac{\text{В'язкість} \times \text{швидкість}}{\text{навантаження}}$

Рисунок 1.4- Крива Герсі-Штрибека

Так як у процесі тертя поверхонь деталей, особливо в початковий період, відбувається пластична деформація при поверхневих шарів з утворенням вторинних структур, то сила тертя визначається в основному напругою, необхідною для цієї деформації.

1.3. Висновки. Мета і завдання дослідження

З вище викладеного можна зробити наступні висновки:

1. Аналіз причин втрат працездатності компресорів та дослідження характеру зношування його трибосполучень показує, що в результаті дії експлуатаційних та інших факторів відбувається зниження ресурсу та надійності компресорів, яке визначається підвищеним зношуванням його трибосполучень.

2. Підвищити ресурс і забезпечити працездатність трибосполучень компресорів, як показав аналіз і теоретичні передумови, можливе нанесенням на поверхню, що трується, антифрикційних зносостійких покриттів.

В результаті аналізу встановлено, що найбільш перспективними і ефективними є комплексні низькотемпературні покриття на основі хімічних сполук бору, хрому, титану і, зокрема, титаномідсульфідів.

Основною метою даної роботи є підвищення ресурсу трибосполучення компресорів автомобілів КамАЗ застосуванням комплексних покриттів.

На підставі аналізу літературних джерел та поставленої мети сформульовані такі завдання дослідження:

1. Провести аналіз працездатності та надійності компресорів гальмівної системи автомобілів КамАЗ.

2. Теоретично обґрунтувати спосіб підвищення довговічності ресурсовизначальних трибосполучень компресорів автомобілів КамАЗ.

3. Провести експериментальні дослідження дослідних зразків, розкрити властивості комплексного покриття, розробити технологічний процес і дати техніко-економічну оцінку розробок.

РОЗДІЛ 2: ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА СТРУКТУРА ЕСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Програма та структурна схема досліджень.

В якості об'єктів досліджень були обрані трибосполучення компресорів гальмівної системи автомобілів КамАЗ.

В основу методики вивчення об'єктів покладено комплексний підхід а також порівняльні експериментальні дослідження. При розробці прогресивних способів підвищення довговічності трибосполучень компресорів вузли тертя розглядалися як триботехнічна система; що складається з підсистем, що взаємодіють один з одним; з вимогами надійності до окремих елементів і до системи в цілому. Фактори, що впливають на довговічність трибосполучень, розглядалися не ізольовано, а з урахуванням їхнього впливу на властивості і процеси, що відбуваються як у поверхневих шарах деталей, що труться, так і у вузлах тертя загалом. При цьому аналізувалися механічні, хімічні, теплові та інші явища і процеси, що впливають на вихідні характеристики пар тертя. Такий спосіб дозволяє оцінити будь-які технологічні заходи з точки зору досягнення мети всієї системи: Програма експериментальних досліджень включала лабораторні; стендові та експлуатаційні випробування.

Виконання програми здійснювалось поетапно.

У першому етапі вивчали стан, фактичний рівень, довговічності вузлів тертя компресорів; аналізували причини відмов трибосполучень компресорів гальмівної системи автомобілів КамАЗ; досліджували існуючі технологічні методи відновлення деталей компресорів; показували доцільність використання комплексних покриттів при відновленні зношених деталей компресорів. У результаті були визначені мета і завдання дослідження, а також намічені шляхи їх вирішення.

На другому етапі проводили узагальнення отриманої інформації та здійснювали теоретичну розробку методів вирішення поставлених завдань. Для цього використовували як загальні математичні, фізико-хімічні методи та

прийоми, так і спеціальні розділи теорії планування, експериментів, математичного моделювання та ін.

При вирішенні теоретичних завдань широко застосовували моделювання на ЕОМ.

Структурна схема досліджень представлена на рисунку 2.1.

Третій етап включав комплекс експериментальних досліджень, до якого входили:

- дослідження показників довговічності вузлів тертя автомобіля КамаЗ;
- досліджень фізико-механічних характеристик робочих поверхонь зразків і деталей компресорів автомобілів КамаЗ, що труться;
- лабораторні та стендові триботехнічні та випробування, що моделюють умови роботи трибосполучень компресорів;
- дослідження впливу комплексних покриттів на довговічність трибосполучень компресорів в умовах реальної експлуатації.

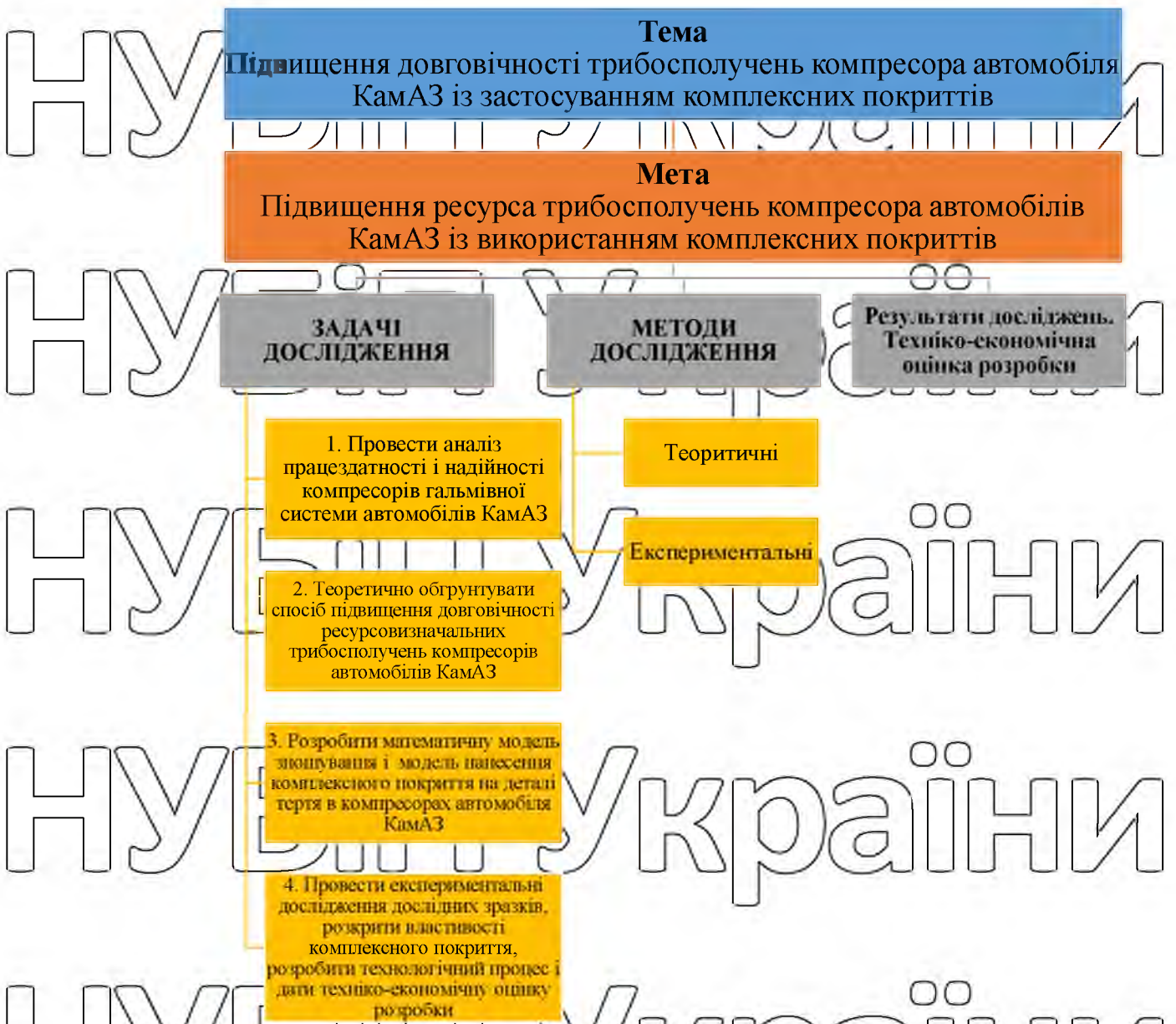


Рисунок 2.1 - Структурна схема дослідження

2.2 Вибір та обґрунтування зміцнюючого покриття при експериментальних дослідженнях

При виборі комплексного покриття враховувалися умови, де працюють вузли тертя компресорів автомобілів КамАЗ.

Працездатність деталей компресорів, що труться, залежить від багатьох несприятливих факторів, до яких, в першу чергу, можна віднести [18,20,21]:

- нерівномірне навантаження на третьові поверхні деталі при зміні частоти обертання;

- забруднення мастильних матеріалів механічними домішками, що призводять до підвищеного абразивного зношування;
- схильність деталей компресорів сильної вібрації.

Найбільш ефективно початковий і встановлений знос, що знижують шляхом застосування спеціальних мастил, присадок, покриттів і ефективного очищення мастила [14]. Ці способи знаходять широке застосування завдяки своїй простоті та економічності.

Широкого поширення набули покриття, що наносяться хімічним методом.

Такі покриття наносяться за порівняно низьких температур, не вимагають застосування будь-якого спеціального дорогого обладнання. Процес осадження покриття, як правило, відбувається досить швидко і не займає більше 1 години.

У ряді робіт, [3,44,54,55] відзначаються високі триботехнічні властивості сульфидування покриттів, а також покриттів на основі міді.

Найбільш повно, на нашу думку, задовольняють переліченим вимог комплексні хімічні покриття. Додатково при виборі покриття до уваги були прийняті такі положення:

1. Задовільна адгезійна міцність покриттів.
2. Низькотемпературний режим обробки 120 - 150°C.
3. Простота технології нанесення покриттів та їх екологічність.
4. Товщина покриття в межах величини зазору у сполученнях.
5. Дешевизна та не дефіцитність хімікатів.

Сутність даного процесу полягає в насиченні поверхонь тертя сполуками на основі продуктів взаємодії металу із сіркою, титаном, міддю. Покриття, що одержуються цим способом, відносяться до інтерметалевих сполук, які надають поверхням деталям тертя нову якість.

Для експериментальних досліджень було обрано оливу М-10- Д(м) ГОСТ 8581-71, як найбільш поширене серед автомобілів КамАЗ.

Приготування експериментальних зразків та деталей компресорів для проведення лабораторних, стендових та експлуатаційних випробувань

проводилося у ванні, шляхом насичення поверхонь тертя хімічно активними компонентами.

2.3 Методика проведення лабораторних випробувань.

Лабораторні триботехнічні випробування зразків проводили на машині тертя П 5018 (рисунок 2.2, 2.3), технічна характеристика якої представлена у таблиці 2.1, за схемою «ролик - самоустановлювальна колодка» (рисунок 2.4, 2.5, 2.6, 2.7). Зразки для випробувань виготовляли з конструкційних матеріалів пар тертя компресорів гальмівної системи автомобілів КамАЗ: Сталь 40 і СЧ 18.

Випробуванням піддавалися зразки з покриттям і без покриття на різних режимах: навантаження змінювалася в широкій межі (від 200 до 2000 Н), частота обертання ролика залишалася постійною - 500 хв^{-1} .

Контактний тиск у парі при вимірі температури в зоні тертя і моменту від сил тертя становило 1,0 МПа при навантаженні $P=1000\text{Н}$ і площі контакту $S=1\text{см}^2$.

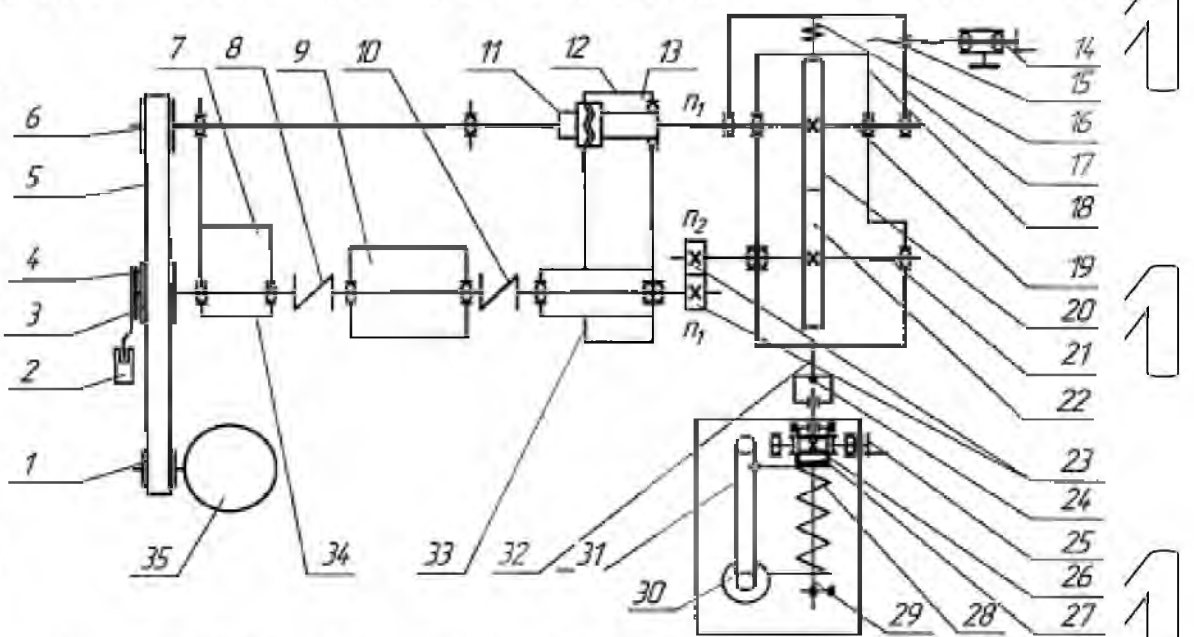


Рисунок 2.2 - Кінематична схема машини П 5018: 1 - шків змінний; 2 -

датчик числа циклів; 3 - шків; 4 - штифт запобіжний; 5 - ремінь плосkozубчастий;

6 - шків змінний; 7 - корпус; 8 - вал; 9 - датчик моменту; 10 - муфта; 11 - муфта;

12 - фіксатор; 13 - задня стійка; 14 - гвинт ходовий; 15 - гайка; 16 - пружина; 17 -

санки; 18 - каретка; 19 - вал; 20 - шестерня; 21 - вал; 22 - шестерня; 23 - зразки;

24 - рамка; 25 - маховик; 26 - черв'як; 27 - гайка (колесо черв'ячне); 28 - пружина;
 29 тяга; 30 - датчик навантаження; 31 - гвинт; 32 - кронштейн; 33 - вал; 34 - вал;
 35 - електродвигун



Рисунок 2.3 - Загальний вигляд машини тертя II 5018

Таблиця 2.1 - Основні технічні характеристики машини тертя II 5018

Показник	Одиниця виміру	Значення
Частота обертання валу нижнього зразка	хв ⁻¹	50-2000
Межі вимірювання зусилля притиску зразків	Н	100-2000
діапазон 1		100-2000
діапазон 2		500-5000
Межі виміру моменту від сил тертя	Нм	
діапазон 1		0,5-5
діапазон 2		1-10
діапазон 3		2-20
Споживана потужність	кВт	3
Напруга мережі змінного трифазного струму	В	380/220
Частота	Гц	50
Габаритні розміри машини	мм	1400×700×1300
Вага машини	кг	

без підставки	470
з підставкою	550
Габаритні розміри приладової стійки	660×850×1200

Змашування зразків пар тертя відбувалося шляхом обертання ролика у спеціальній масляній ванні, що забезпечувало рівномірність подачі мастила у кожному досвіді. Навантаження в контакті зразків створювалося гвинтовим пристроєм, що навантажує, встановленому на машині тертя (рисунок 2.8).

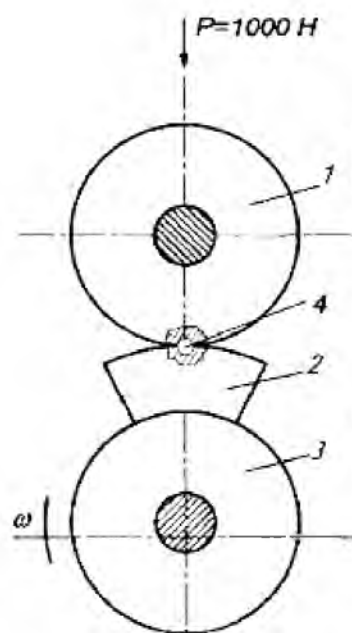


Рисунок 2.4 - Схема контакту зразків

1 - оправлення, 2 - колодка, 3 - ролик, 4 - кулька

Критеріями для оцінки властивостей зносостійких антифрикційних покриттів були: величина моменту від сил тертя, знос зразків пар тертя, виражений в одиницях маси, температура в зоні контакту і навантаження скоплювання.

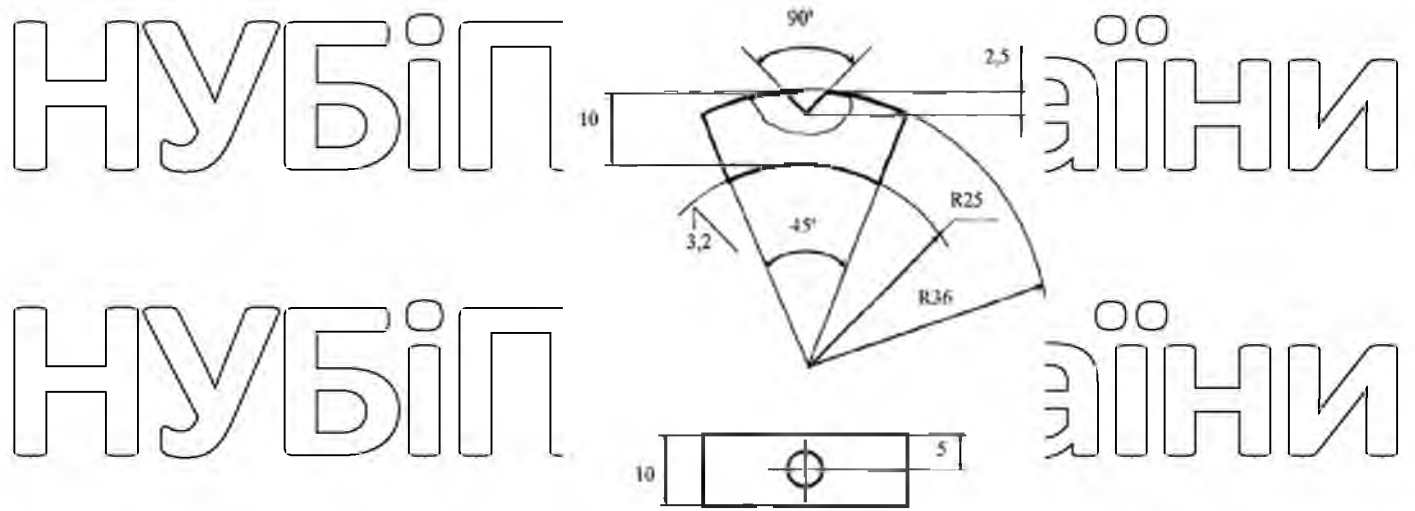


Рисунок 2.5 — Колодка для досліджень на машині тертя П 5018

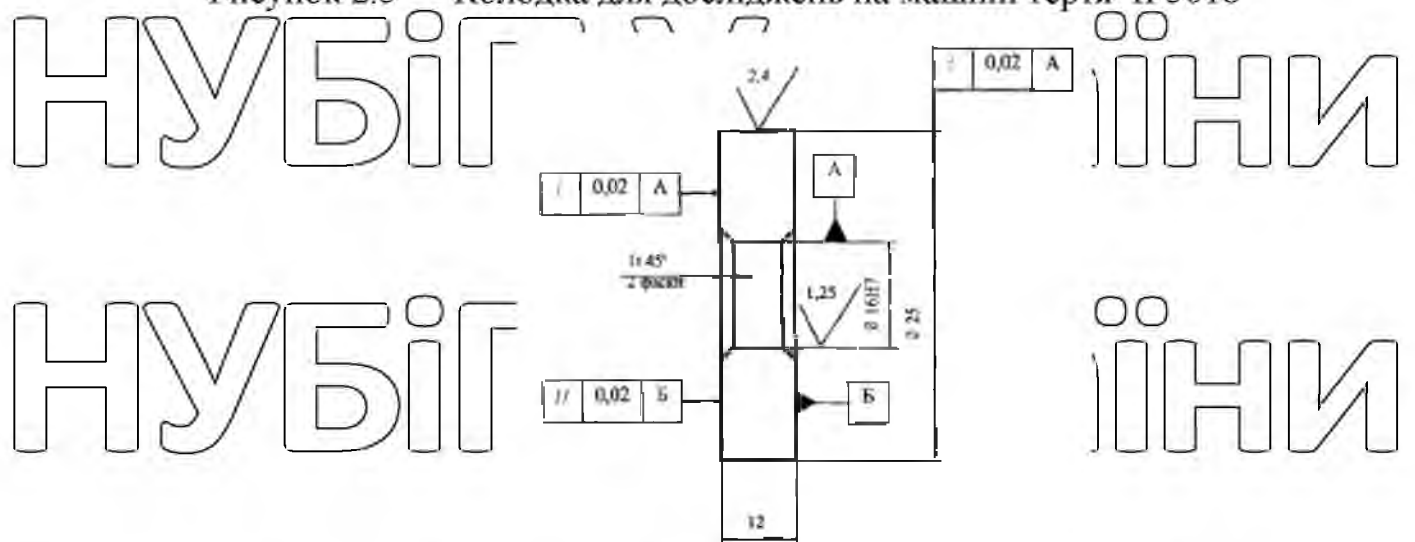


Рисунок 2.6 — ролик для дослідження на машині тертя П 5018



Рисунок 2.7 - Загальний вид зразків: а - ролик; б - колодка

ПУБЛІКАЦІЯ

НУБІП України

Пуск машини здійснювався за відсутності навантаження на зразки. Вал машини тертя зі встановленим роликотом обертався близько 3 - 5 кв, що забезпечувало створення олійної плівки на роликоту, після чого протягом 2 хв.

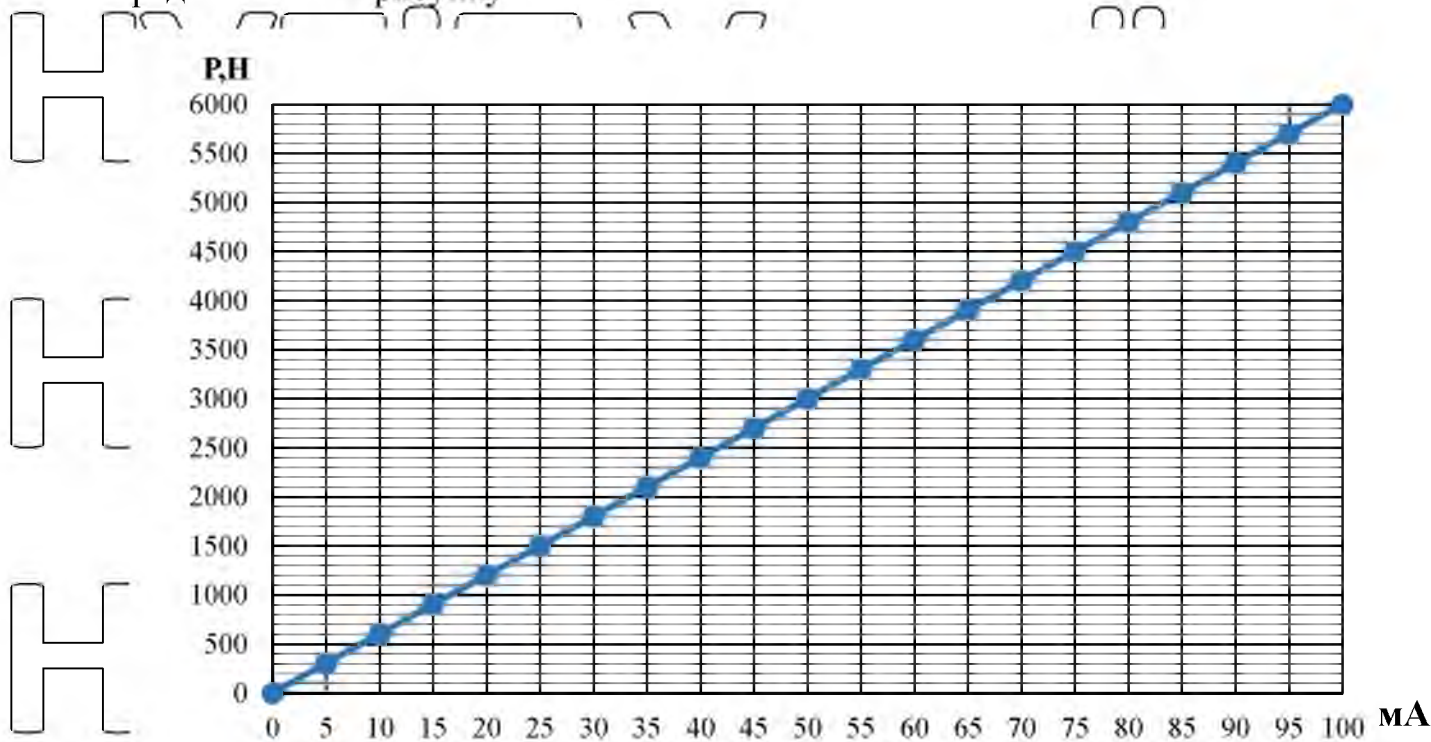
навантаження плавно доводили до встановленої величини. Тривалість кожного досвіду становила 180 хв.

НУБІП України

При встановленні на машину тертя колодка і роликот отримували відносне усунення, щоб залишалася неробоча поверхня, яка була базою для визначення вихідної шорсткості зразків.

НУБІП України

Перед проведенням експериментів, згідно з технічним описом та інструкцією з експлуатації машини тертя Ц 5018, проводили тарування за величиною навантаження і моменту від сил тертя з використанням динамометра, важеля і гирь. Тарувальні графіки навантаження та моменту представлені на рисунку 2.8.



НУБІП України

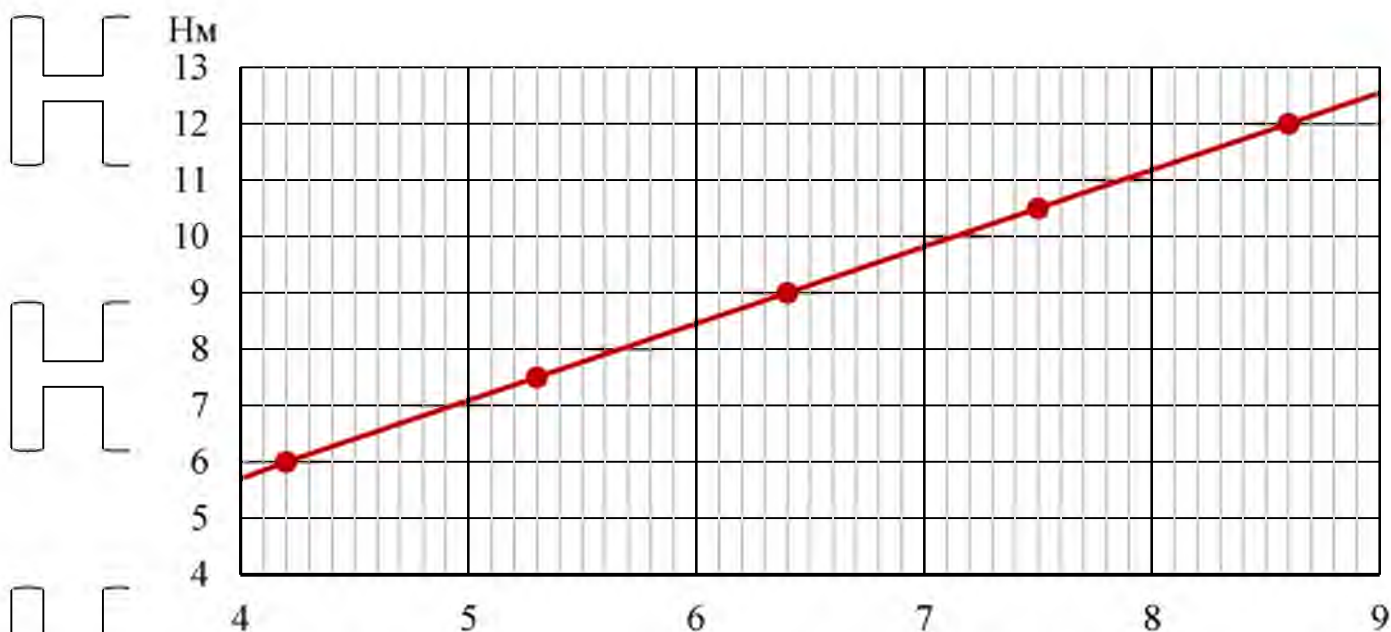


Рисунок 2.8 - Тарувальний графік навантаження (а) та моменту від сил тертя (б)

Момент від сил тертя реєструвався потенціометром КСП-4, температура лабораторним ртутним термометром із ціною розподілу 0,5°С пірометром С 210 (рисунок 2.9). Зношування зразків (кодожок) визначали зважуванням на електронних вагах Sartorius 1201 MP2 з точністю 10г (рисунок 2.10).



Рисунок 2.9 - Пірометр С 210



Рисунок 2.10 — Ваги електронні Satorius 1201 MP2

Склад поверхневого шару зразків досліджували рентгенофазовим методом на рентгеновському дифрактометрі загального призначення ДРОН-3.0 (рисунок 2.11). Дифрактограми ідентифікували картотекою стандартних дифракційних спектрів (ASTM). Металографічні дослідження виконували на мікротвердомірі ПМТ-3М (ГОСТ 7995-81) при навантаженні 50 та 200 г з використанням мікроскопа МММ-8М (ГОСТ 9460-75). Шорсткість вимірювали на профілактографі-профілометрі мод. 201 заводу "Калібр" (рисунок 2.12). Точність вимірювання відповідала рекомендаціям.



Рисунок 2.11 - Дифрактометр ДРОН-3,0



Рисунок 2.12 - Профілограф-профілометр моделі 201 заводу «Калібр»

Дослідження зносостійкості зразків проводили на дротяному приладі, схема якого представлена на рисунку 2.13.

Очевидно, що внаслідок відмінностей у кінематиці, температурному режимі та інших факторів, такі випробування не дають вичерпних відомостей про вплив застосування титаномідьсульфідуючого покриття на зношування зразків стосовно конкретного випадку. Однак вибір матеріалу ролика (Сталь 40) і величини навантаження на струну (1000г) дозволяє з певними припущеннями вважати, що обрана методика прийнятна для вирішення поставленого завдання [4].

Усі зразки випробовувалися щонайменше три рази. Варіанти використання застосовувалися наступні:

1) зразок без покриття, прироблений на машині тертя II 5018 протягом 3 годин, та випробуванні на дротяному приладі при сухому терті;

2) зразок з титаномідьсульфідованим покриттям, прироблений на машині тертя II 5018 протягом 3 годин, і використовували на дротяному приладі при сухому терті.

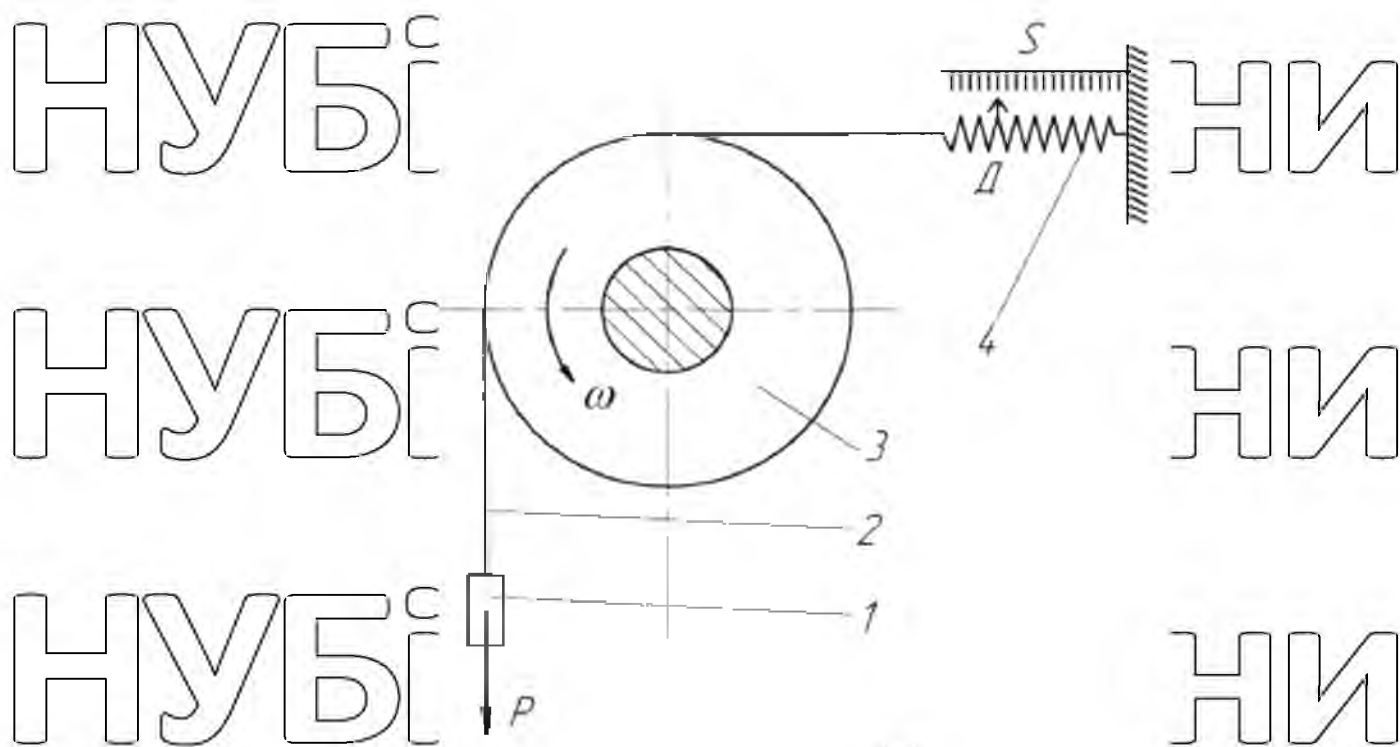


Рисунок 2.13 - Схема приладу для випробувань на зносостійкість:

1 - вантаж; 2 - струна; 3 - ролик, що спрацьовується; 4 - динамометр

Щляком виміру площі поперечового перетину канавки, що утворюється на поверхні ролика після випробувань, судили про зносостійкість. Замір проводили за допомогою профілактографа-профілометра мод. 201 заводу "Калібр".

Випробування зразків на схоплювання проводили за відсутності мастила, за винятком масляного шару, який наносився на ролик та колодку в процесі приробітку на машині тертя П 5018.

Зразки встановлювали на машину тертя і навантажували, підвищуючи навантаження ступінчасто. Перший ступінь навантаження становив 200 Н, потім навантаження збільшували щоразу на 200 Н, при цьому час роботи на кожному шабелі становив 3 хвилини. За цей час відбувалася відносна стабілізація моменту від сил тертя, після чого переходили на наступний шабель. За навантаження схоплювання приймали навантаження, коли відбувалося різке збільшення моменту від сили тертя.

Результати лабораторних досліджень представлені в 4 розділі магістерської роботи.

2.4 Методика проведення стендових випробувань

Ресурсовизначальні трибосполучення компресорів, які встановлювалися на відремонтованих двигунах КамАЗ-740, випробовували разом із двигунами на обкатно-гальмівному стенді КІ-4964 ГОСІНІТІ.

У двигун заливали оливу М-10-Д(м) ГОСТ 8581-71. Тривалість випробувань, згідно з ГОСТ 18509-88 «Дизелі тракторні та комбайнові. Методи стендових випробувань» поставила 200 годин. Частота обертання колінчастого валу двигуна в ході випробувань становила 1500 хв^{-1} , навантаження - 50 кВт.

В основу методики випробувань покладено порівняльну оцінку зносу поверхонь тертя. Перед випробуваннями, а також після їх закінчення проводили повний мікрометраж деталей компресора (діаметр циліндрів та шийок колінчастого валу) та зважування окремих деталей (поршневі кільця) відповідно до ГОСТ 18509-88.

Зміну геометричних параметрів деталей та робочих поверхонь встановлювали за допомогою стандартного вимірювального інструмента. Діаметр циліндрів контролювали нутромірком з точністю до 10^{-3} мм, діаметр шийок колінчастого валу визначали мікрометром з точністю до 10^{-3} мм.

Зміну маси поршневих кілець визначали на електронних вагах ВЛЕ-200М, з точністю до 10^{-4} гр.

Результати стендових випробувань представлені у 4 розділі магістерської роботи роботи.

2.5 Методика проведення експлуатаційних випробувань

Експлуатаційні випробування із застосуванням розроблених покриттів проводили за планом спостереження NUN відповідно до ГОСТ 137510-79.

Мінімальна кількість машин для проведення досліджень в умовах реальної експлуатації вибирали з умов відсутності відмов за час t . Воно виражається формулою:

$$N = \frac{\ln(1 - \beta)}{\ln P(t)}, \quad (2.1)$$

де N - мінімальна кількість машин для випробувань, при невідомому вигляді закону розподілу випадкової величини; $P(t)$ - необхідна ймовірність безвідмовної роботи протягом деякого часу; β - довірна ймовірність.

Для більшості вузлів і агрегатів автомобілів, враховуючи дані першого розділу, величину довірчої ймовірності можна прийняти рівною 0.8, а ймовірність безвідмовної роботи 0.9 за період часу 300 годин, протягом яких рекомендується провести випробування в умовах експлуатації. За цих показників для проведення експлуатаційних, випробувань необхідно 15 машин.

Об'єкти, що відмовили, не відновлювали і новими не замінювали.

При експлуатаційних випробуваннях комплексних покриттів критеріями оцінки служили ті ж, що й при стендових випробуваннях, лінійне зношування циліндрів і шатуних шийок колінчастого валу, якість робочих поверхонь деталі, а також масовтрати поршневих кілець досліджуваних компресорів. Діаметр циліндрів контролювали нутроміром з індикатором годинного типу, з точністю до 10^{-3} мм, діаметр шийок колінчастого валу визначали мікрометром, з точністю до 10^{-3} мм. Зміну маси поршневих кілець визначали на електронних вагах ВЛЕ-200М, з точністю до 10^{-4} гр.

У процесі експлуатаційних випробувань трибосполучень компресорів в якості мастильного матеріалу застосовувалося базове мастило М-10-Д(м) ГОСТ 8581-71.

На кожен автомобіль заводили журнал, у якому розглядали результати проведення випробувань. Ними були: вид мастильного матеріалу; перелік трибосполучень, що зазнали мікрометражу; величина зносу деталей; стан робочих поверхонь трибосполучень; напруження машини.

Одержання дані оброблялися і заносилися в таблицю.

РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПОКАЩЕННЯ ПРИПРАЦЮВАННЯ ТА ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ТРИБОСПОЛУЧЕНЬ КОМПРЕСОРІВ АВТОМОБІЛІВ КАМАЗ ЗАСТОСУВАННЯМ КОМПЛЕКСНИХ ПОКРИТТІВ

3.1 Теоретичні основи підвищення ресурсу компресорів автомобілів КАМАЗ застосуванням комплексних покриттів

Розглядаючи загальний знос деталей трибосполучення деталей, що труться, як суму двох випадкових функцій тертя, можна записати [3,13,31]:

$$U(L) = f_i(L) + f_v(L), \quad (3.1)$$

де $f_i(L)$ - функція, що відображає характер зносу деталей U , з урахуванням фізико-механічних властивостей поверхневого шару;

$f_v(L)$ - функція, що відображає характер зносу деталей експлуатації.

Для функції $f_i(L)$ обмежується приробітком L_n , причому $L < L_n$ на ділянці нормального зносу вона повинна мати постійне значення. Аналіз випадкової функції спрощується, якщо розглядати не розмірний знос, а швидкість зношування деталей. Фізико-механічні властивості тертьових матеріалів надають впливання на знос, який поміняється як зі зростанням твердості $HВ$, так і зі збільшенням пластичності δ поверхневих шарів деталей, яка характеризує їх припрацювання, тобто здатність формувати в процесі приробітку під дією прикладеного навантаження фактичну опорну поверхню зносами. Це видно з аналізу виразу, що характеризує інтенсивність зношування робочої поверхні сполучення в період припрацювання:

$$J_n(L) = C_n [P(L)]^{m_n}, \quad (3.2)$$

де $P(L)$ - поточне навантаження,
 C_n, m_n - коефіцієнти апроксимації, що характеризують інтенсивність зношування робочої поверхні сполучень у період припрацювання. [59,60].

Збільшення шляху тертя на величину ΔL призведе до зміни інтенсивності зношування так само на малу величину, але в бік зменшив. Звідси кращою припрацюваністю володіють поєднання, що забезпечують у процесі приробітку більший приріст несучої здатності ΔP за менший шлях тертя L_n при мінімальному зносі в період припрацювання, тобто поєднання, у яких на кожному шаблі приробітку $\Delta L \rightarrow \min, J_n(L) \rightarrow \min, \Delta P \rightarrow \max$, а m_n, c_n будуть також прагнути до мінімуму наприкінці опрацювання [60,61]. З практичних позицій променів припрацювання мають покриття, що забезпечують в процесі приробітку більше збільшення навантаження за менший час t_n при мінімальному зносі в період припрацювання U_n . Збільшення площі безпосереднього контакту dS на думку Н.А. Буше та ін [6], в даному випадку буде пропорційно збільшенню енергії активації dA_a , що дорівнює різниці енергії тертя dA_T і енергії що відводиться dA_B :

$$dS = a dA_a = a (dA_T - dA_B), \quad (3.3)$$

або за одиницю часу

$$\frac{dS}{dt} = a \left(\frac{dA_T}{dt} - \frac{dA_B}{dt} \right), \quad (3.4)$$

де a - постійний коефіцієнт.

Відомо [18], що

$$F = \frac{dA_T}{dt} \frac{t}{v} = \frac{N_T}{v}, \quad (3.5)$$

де F - сила тертя,

A_T - енергія тертя,

t - час,

v - швидкість ковзання,

N_T - потужність тертя.

Якщо постійну питому силу тертя τ на одиниці площі S фізичного контакту (постійна міцність зв'язку на зсув) виразити як $F = \tau S$, а потужність тертя $N_T = Fv = \tau Sv$, то

$$\frac{dS}{dt} = a(N_T - N_O) = a(v\tau S - N_O). \quad (3.6)$$

У разі, якщо енергія тертя відводиться і $N_T - N_O = \text{const}$; $dS/dt = \text{const}$; $S(t) = \text{const}$, тобто площа S не збільшується (усталені процес). При $N_T - N_O = \text{const}$ площа S зростає лінійно.

У разі нестационарного процесу (яким є приробіток) енергія, що відводиться, змінюється за більш складним законом і при деякому критичному значенні $S - S_{кр}$ може досягати граничного значення і залишатися незмінною чи навіть зменшуватися. У цьому випадку швидко збільшується величина dS/dt тобто відбувається значне зростання площі поверхні фізичного контакту.

3.2 Математична модель зношування трибосполучень компресорів автомобілів КамАЗ та прогнозування їх ресурса

Для створення математичної моделі була використана комп'ютерна програма Simulink, яка є додатком до пакету MATLAB. При модулюванні з використанням Simulink користувач на екрані з бібліотеки стандартних або своїх блоків створює модель і здійснює розрахунки [67-76].

Компресор – це складна трибомеханічна система. До основних характеристик системи відносять технічну функцію, робочі зміни, структуру та взаємодію між елементами системи. До робочих змінних можна віднести навантаження, що діє на трибосполучення F , швидкість відносного переміщення елементів V , пластичність поверхневого шару δ , а також твердість HB [77].

Як вихідні параметри системи приймаємо знос U , момент від сил тертя M , температуру елементів T (рисунок 3.1).

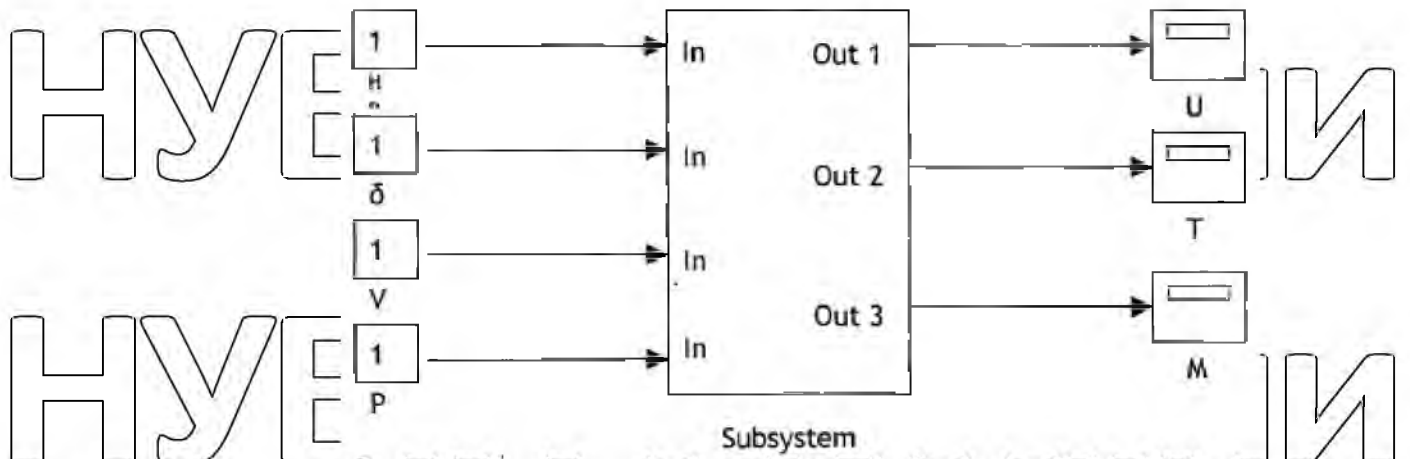


Рисунок 3.1 - Структурна схема трибосполучення

Моделювання є особлива форма експерименту. У звичайному експерименті засоби вивчення взаємодіють безпосередньо з об'єктом дослідження. При моделюванні такого прямого контакту немає. Тут експериментують не самим об'єктом, а з його заміником, який і називають моделлю.

Розробка математичної моделі та її дослідження здійснюється за такими послідовними етапами:

- формування основних припущень на основі системного аналізу;
- розподіл основних процесів, елементів, зав'язків між ними на основі системного аналізу;
- формування функціональної та структурної схем;
- формування динамічних математичних моделей та їх еквівалентних форм;
- оцінка значень коефіцієнтів математичних моделей на основі методів ідентифікації за даними експериментів;
- вибір параметрів керуючих, впливів (характеристик), обурень та початкових умов;
- дослідження реакцій математичних моделей та їх еквівалентних форм на зміну параметрів, виду впливу та початкових умов.

При розробці математичної моделі зносу трибосполучень прийняті такі основні припущення: '

- як тертя • елементів приймаємо пару «ролик-колодка»;

- частота обертання ролика; площа контакту, навантаження «та» контактне тиск у парі тертя залишався постійним;

- процес збільшення, зносу відбувається безперервно.

Зношування за весь час роботи трибосполучення можна охарактеризувати двома періодами: знос при припрацювання, і знос при встановленій роботі. Незважаючи на те, що стадія: 'приробітку значно поступається за тривалістю, цей проміжок дуже важливий для подальшої роботи трибосполучення [78].

Розглянемо систему N циліндричних штампів, з плоскою основою, що беруть участь у фрикційній взаємодії з пружним тілом; обмеженою плоскою поверхнею. На систему діє навантаження P(t). Штampi довільним чином розташовані всередині деякої обмеженої площадки. Вважатимемо, що в процесі тертя штampi зношуються, а поверхня пружна тіла весь час залишається плоскою.

Припустимо, що швидкість зношування $\frac{dU_j^*}{dt}$ на кожній плямі контакту пов'язана з діючим на нього зусиллям P_j та швидкістю відносного переміщення V_j , тоді [8]:

$$\frac{dU_j^*}{dt} = K_w \left(\frac{P_j}{P^*} \right)^\alpha \left(\frac{V_j}{V^*} \right)^\beta, \quad (j=1, \dots, N), \quad (3.9)$$

де dU_j^* - лінійний знос j-го штампa в центрі майданчика контакту $dU_j^*(t) = dU_j^*(0, t)$; P^* - граничне навантаження на штамп, відповідає межі міцності поверхневих шарів матеріалу σ^* ; V^* - деяка характерна швидкість ковзання; K_w - коефіцієнт, який чисельно рівний швидкості лінійного зношування при $V_j = V^*, P_j = P^*$.

Розрахунки, наведені в [28] для однієї моделі системи штампів, розташованих у вузлах гексагональної решітки, показали, що час приробітку становить незначну частку від загального часу зношування штампів до певного рівня.

У зв'язку з цим вивчимо більш детально встановлений режим зношування системи штамів. Розглянемо спочатку випадок рівності швидкостей ковзання кожного штампу системи ($V_1 = V_2 = \dots = V_N = V$). Такий випадок матиме місце, коли система здійснює зворотно-поступальні переміщення в довільних напрямках по межі пружного напівпростору.

Модель зміни зносу в часі має такий вигляд (рисунок 3.2).

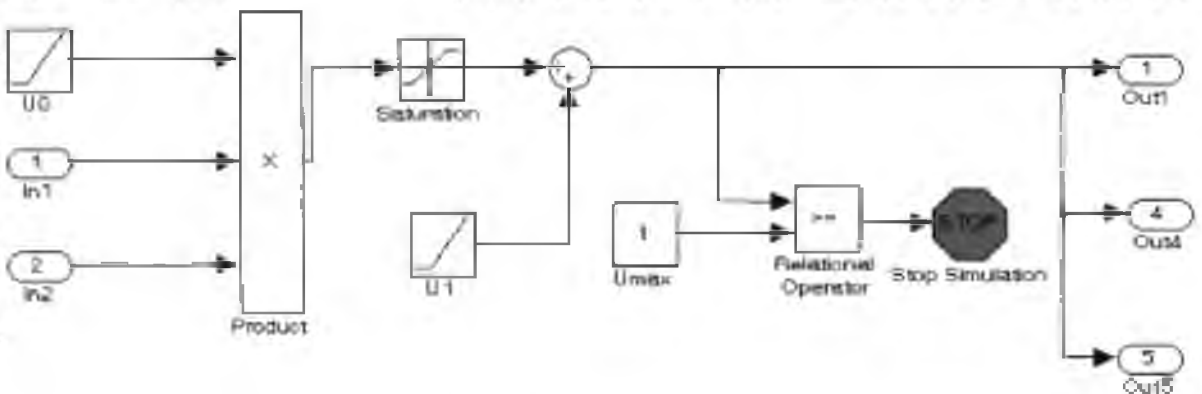


Рисунок 3.2 Структурна схема математичної моделі зміни зносу

Блоки **In1**, **In2** підсистеми є її входом. Сигнал, що подається на вхідний порт підсистеми через блок, передається всередину підсистеми. У нашому випадку вхідний порт **In1** показуватиме величину НВ твердості деталі. Блок **In2** передає значення пластичності поверхневого шару δ .

Блоки **U0**, **U1** є джерелами впливу, що лінійно змінюється. Цей блок має наступні параметри швидкість зміни вихідного сигналу, час початку формування сигналу, початковий рівень сигналу на виході блоку.

Блок **Saturation** встановлює значення зносу, отриманого при припрацюванні.

Umax - блок, що містить значення максимального зносу, що зупиняють (блок **Stop Simulation**) роботу моделі під час виконання певної рівності (блок **Relational Operator**).

Блок **Product** виконує множення сигналів входів.

Out 1 - блок, що виводить на віртуальний осцилограф і графіки зносу (рисунок 3.3) або на цифровий дисплей, що відображає значення сигналу у вигляді числа.

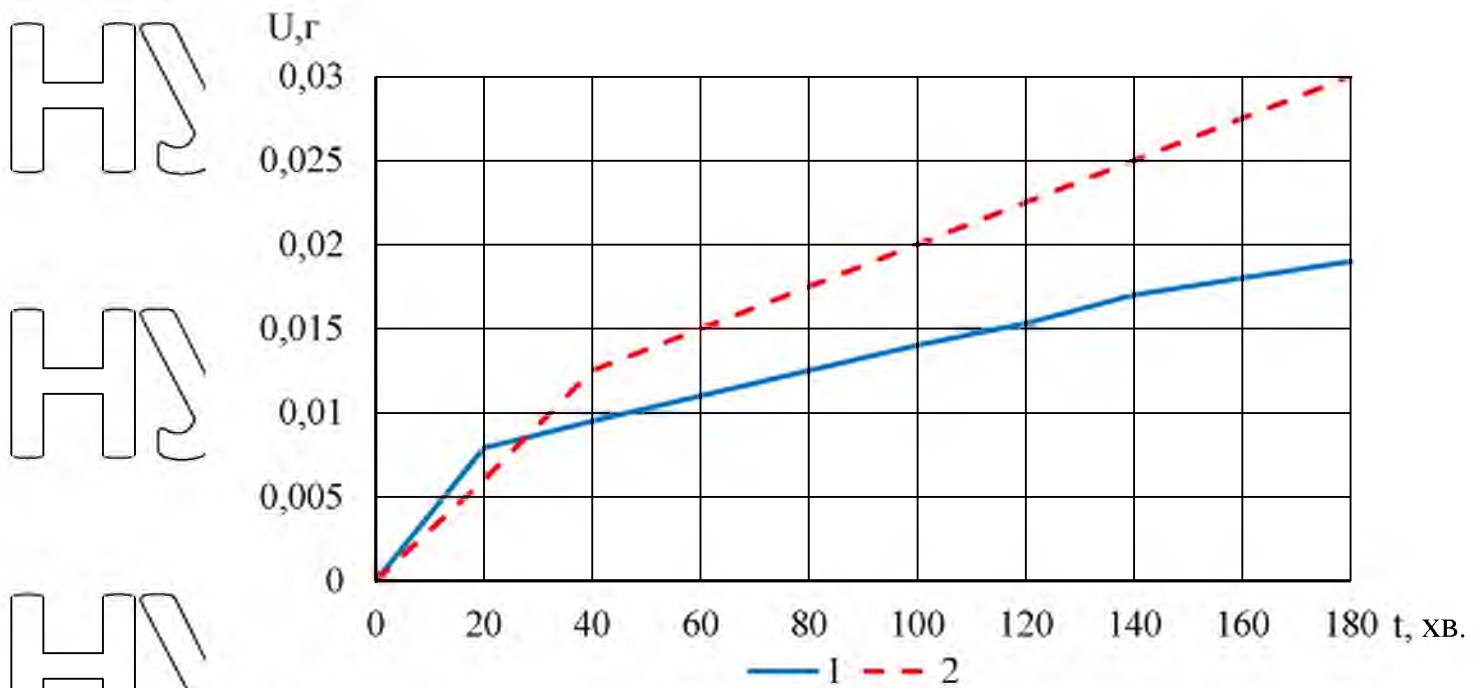


Рисунок 3.3 - Графіки зносу поверхні: 1 - з покриттям, 2 - без покриття

Залежність величини зносу деталей тертя машин від температури в зоні фрикційного контакту визначають за формулою [9]:

$$I = i_0 \left\{ D_1 + \frac{D_2}{[D_3 (\vartheta_{\max} - \vartheta_{m_1})]^2} + \frac{D_4}{[D_5 (\vartheta_{\max} - \vartheta_{m_2})]^2 + 1} \right\}, \quad (3.17)$$

де i_0 - масштабний коефіцієнт, в якості якого беруть значення параметра (наприклад при 20°C); $D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, \vartheta_{m_1}, \vartheta_{m_2}$ - константи.

Температура в зоні фрикційного контакту сполучень тертя суттєво впливає на величину зношування деталей (рисунок 3.4) [80].

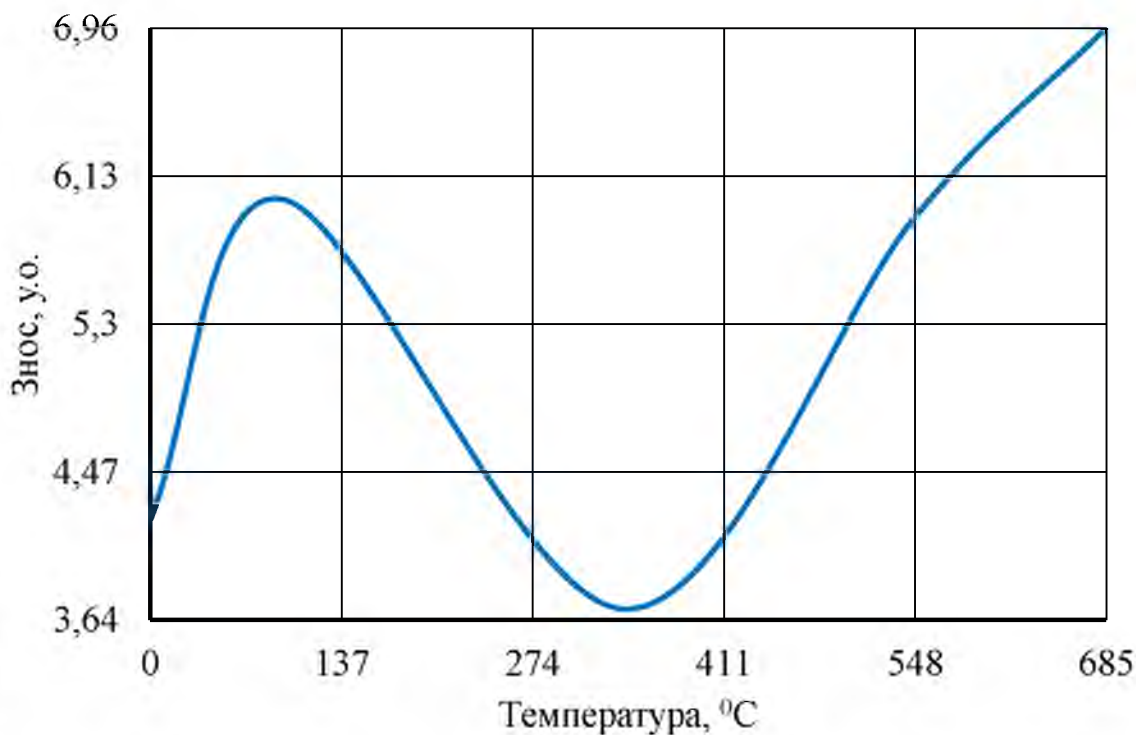
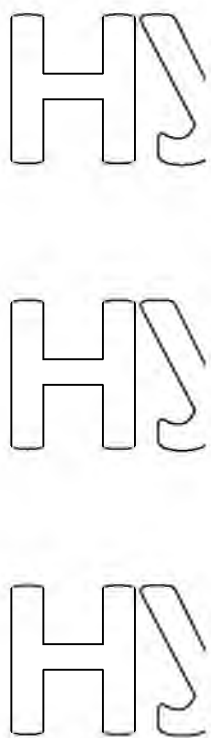


Рисунок 3.4 - Залежність зносу деталей трибосполучення від температури

Структурна схема математичної моделі зміни температури поверхонь тертя виглядає так (рисунок 3.5)

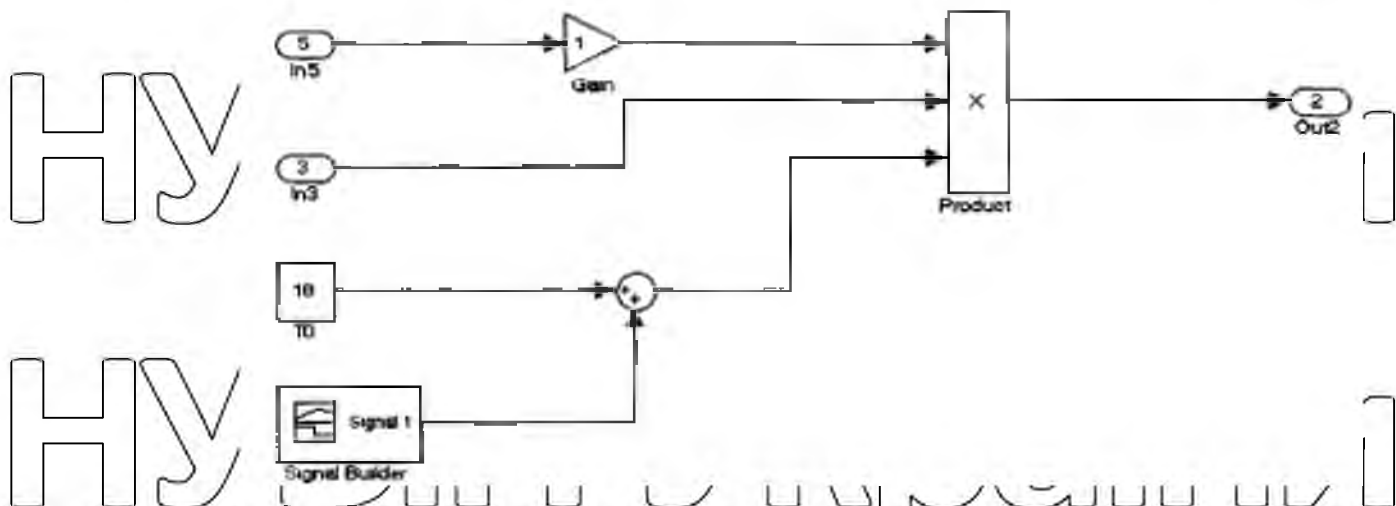


Рисунок 3.5 - Структурна схема математичної моделі зміни температури

У цій моделі блок **In5** подається сигнал зміни зносу залежно від часу. **In3** набуває значення швидкості відносного переміщення зразків тертя. Блоки **Gain** виконує збільшення вхідного сигналу на постійний коефіцієнт.

Блок **Signal Builder** видає сигнал виду, що задається. Числові значення для блоку були отримані емпірично.

Блок **T0** містить значення номінальної температури зразків (приймаємо $+18^{\circ}\text{C}$)

Блок **Out2** виводить на віртуальний осцилограф криві зміни температури часу (рисунок 3.6)

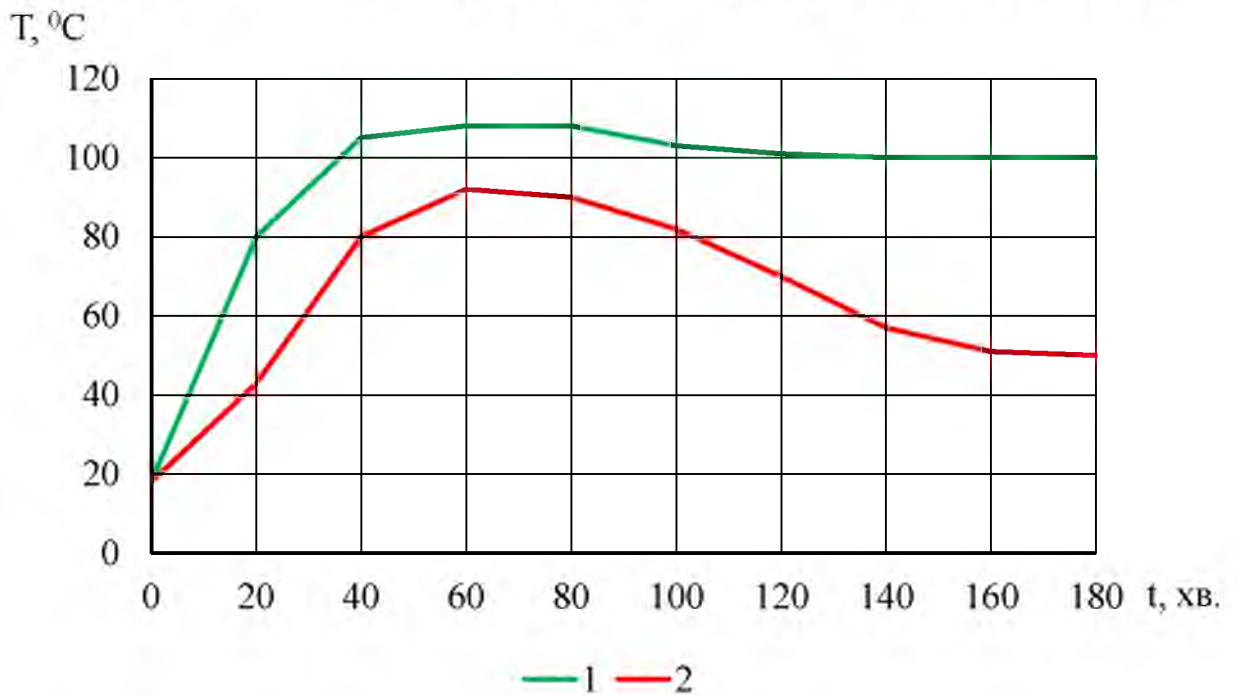


Рисунок 3.6 - Графіки зміни температури поверхні:
1 - без покриття, 2 - з покриттям

Структурна схема математичної моделі зміни моменту від сил тертя представлена на рисунку 3.8.

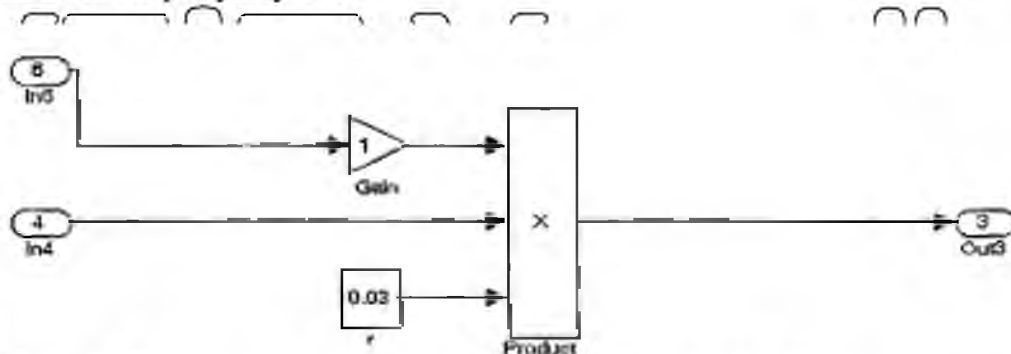


Рисунок 3.8 - Структурна схема математичної моделі зміни моменту від сил тертя

На блок **In6** подається сигнал збільшення зносу, а на **In4** значення навантаження.

Блок **g** містить у собі значення радіусу зношувачого ролика.

Блок **Out3** виводить на віртуальні осцилографи **M** криві зміни моментів у часі (рисунок 3.9).

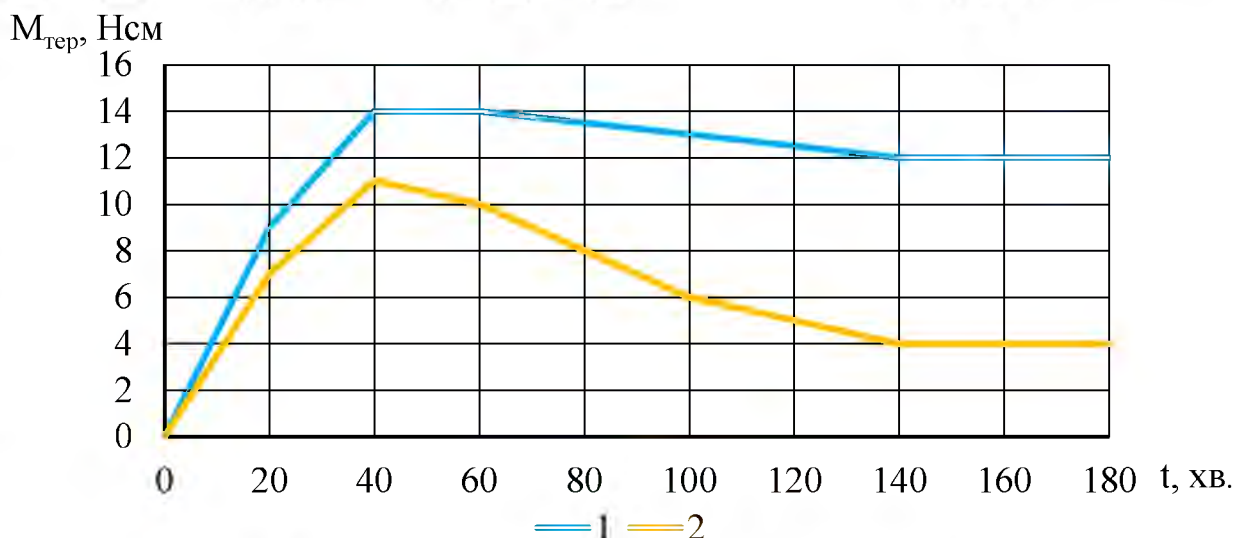


Рисунок 3.9 - Графік зміни моментів від сил гертя:

1 – безпокриття, 2 – з покриттям

Експериментальним шляхом встановлено, що в період часу від 0 до 40 хв. збільшення товщини покриття відбувається в монотонному режимі, а від 40 до 60 хв. – різко сповільнюється і потім практично припиняється (рисунок 3.10).

Уповільнення процесу утворення покриття пояснюється наростанням незворотних процесів у хімічних реакціях. До 60-ої хвилини розчин стає насиченим, тобто кількість TiO_2 , що утворився в результаті реакції, практично повністю розпадається. Побудова математичесї моделі, що виірає необоротні процеси, є складним завданням. Тому обмежимося побудовою математичесї моделі, що описує процес титаномідсульфідування в період від 0 до 60 хв.

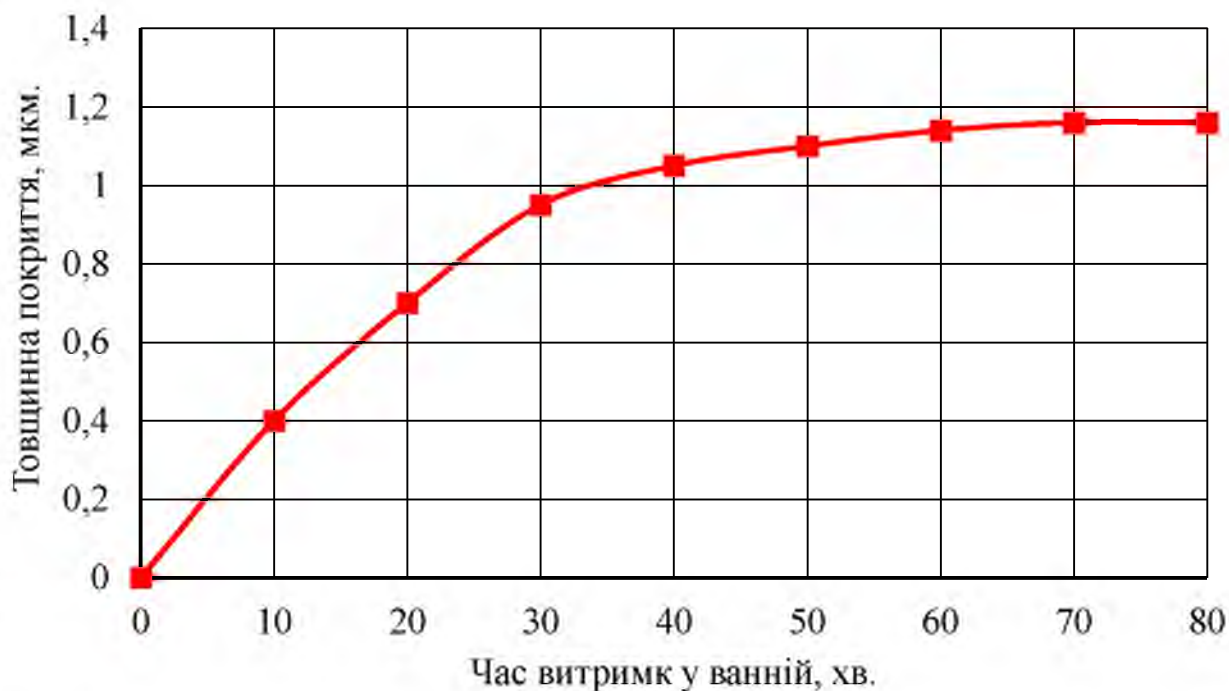


Рисунок 3.11 - Залежність товщини покриття, що наноситься від часу витримки деталі у ванній.

В результаті за допомогою чисельних методів на ЕОМ визначено оптимальне зміст компонентів у ванні, хімічний склад яких забезпечує фіксоване покриття з високими триботехнічними властивостями (таблиця 3.1).

Таблиця 3.3 - Оптимальний (розрахунковий) склад ванни для титаномідсульфидування

Компонент	Масова частка, %	Температура, °C	Час витримки, хв.
Вода H ₂ O	51	140 - 150	50 - 60
Їдкий натрій NaOH	40		
сірчанний натрій Na ₂ S	1,9		
Сульфід міді CuS	4,0		
Титан сірчанокислий Ti ₂ (SO ₄) ₃	3,1		

До переваг даного складу можна віднести і те, що не потрібно застосування сірчанокислого натрію, що, у свою чергу, призводило до забруднення робочого розчину колоїдною сіркою, що утворюється в ході реакції. Використання розчину

сірчаноокислого титану у складі ванни значно покращує екологічні показники самого процесу, а також якість покриття, що утворюється.

3.3 Висновки

1. Теоретично обґрунтований підхід до вибору складу триботехнічних покриттів. Для збільшення ресурсу трибосполучень важливо, щоб поряд з утворенням в поверхневих шарах композицій з малим опором зсуву, що формують високу якість припрацювання сполучення в початковий період роботи, у більш глибоких шарах утворювалися структури з високою твердістю, які забезпечують зносостійкість.

2. Розроблено математичну модель зношування елементів трибосполучення, що дозволяє прогнозувати зміну ряду параметрів при роботі.

3. Встановлено оптимальний час витримки деталей у ванні при нанесенні титаномідсульфидованного покриття - 50-60 хв.

4.1 Триботехнічні випробування на машині тертя II 5018

Лабораторні випробування проводили на машині тертя II 5018 за схемою "ролик - самовстановлювальна колодка". Креслення, якими були виготовлені зразки, представлені у розділі 2 даної дисертаційної роботи. Зовнішній вигляд зразків після використання представлений на рисунку 4.1.



Рисунок 4.1 — Зовнішній вигляд зразків після випікань на машині тертя. Змащування зразків пар тертя відбувалося шляхом обертання ролика у спеціальній масляній ванні, що забезпечувало рівномірність подачі мастила у кожному досліді (рисунок 4.2).



Рисунок 4.2 - Встановлення зразка в на машині тертя під час проведення випробування

Випробовували зразки в наступних поєднаннях:

1. Ролик та колодка без покриття.
2. Ролик та колодка сульфомолибденовані.
3. Ролик та колодка боросульфидовані.
4. Ролик та колодка титаномідьсульфидовані.

4.1.1 Випробування зразків на припрацювання

Трибосполучення компресора повинні швидко припрацюватися, що особливо важливо для трибосполучення «поршневе кільце - циліндр». Проблема припрацювання трибосполучень розглядається в багатьох наукових роботах [3,8,9,11].

У процесі приробітку трибосполучень компресора можлива поява мікрозадирів на поверхнях тертя, що погіршує ресурс пари в цілому. Найчастіше

це є наслідком порушення технологічних параметрів припрацювання.

Головними завданнями процесу припрацювання деталей тертя є

1. Досягнення мінімального часу припрацювання поверхонь.
2. Досягнення мінімальних величин зносу поверхонь, що припрацюються.
3. Створення оптимальної мікрогеометрії, структури та властивостей поверхневих шарів.

Припрацювання зразків оцінювали за зміною моменту тертя, температури і станом мікрогеометрії поверхонь пари, що труться.

На рисунку 4.3 представлені результати досліджень зміни моменту від сил тертя в залежності від часу. Як видно з рисунку 4.3, найбільш ефективним виявляється титаномідсульфідоване покриття. Про закінчення приробітку поверхонь, що труться, судили по стабілізації моменту від сил тертя. У титаномідсульфідованих пар вона настала вже через 90 - 100 хв. при моменті тертя 5 кН·см; у сульфомолібдування і боросульфідованих пар стабілізація відбувається через 140 - 150 хв. при моменті тертя 7-9 кН·см. У не оброблених зразках, стабілізація настає через 150 - 180 хв. при моменті тертя 12 кН·см!

$M_{\text{тер}}$, кН·см

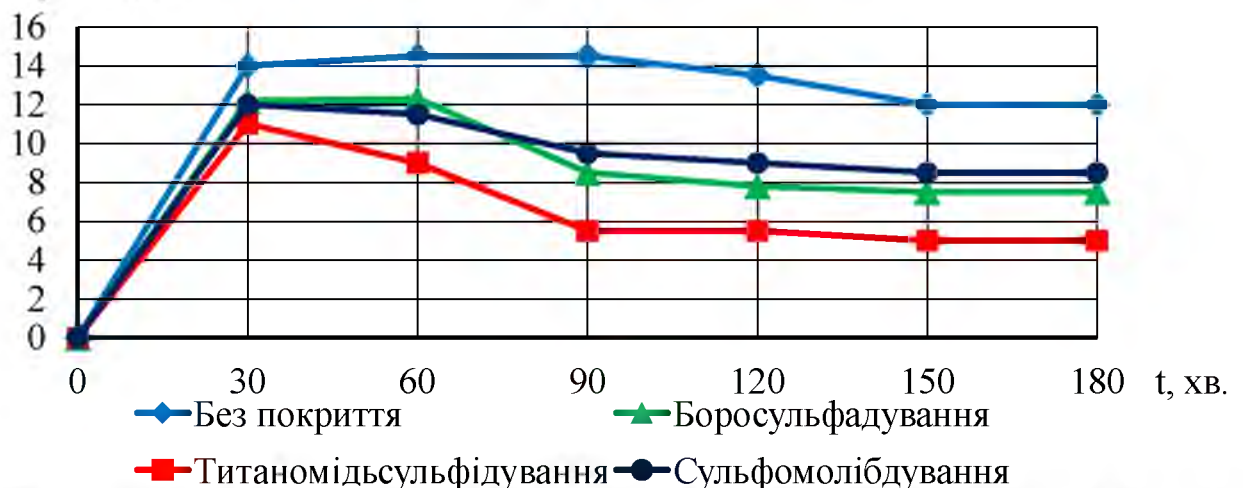


Рисунок 4.3 Зміна моменту від сил тертя під час випробування зразків на машині тертя

При аналізі стану робочих поверхонь зразків після випробувань на припрацювання було встановлено, що титаномідьсульфидовані пари мали меншу шорсткість поверхні, ніж зразки без покриття.

Температура є критерієм оцінки припрацювання поряд з моментом від сил тертя, тому що при досягненні оптимальної шорсткості поверхонь, що сполучаються, вона тривалий час залишається постійною.

На рисунку 4.4 подано результати досліджень зміни температури залежно від часу випробування. З даного рисунку видно, що титаномідьсульфидовані зразки припрацюються краще, ніж зразки без покриття. Це підтверджується

зниженням значення їхньої температури. Якщо температура в період випробувань у пар без покриття становить близько 100-110°C, то у титаномідьсульфидованих пар вона нижче, і в період тертя становить 40-45°C.

Крім того, температура знизилася вже на 90-100 хвилині випробувань, що говорить про завершення процесу підробітку, в той час, як температура у зразків без покриття стабілізувалася лише до кінця випробування.

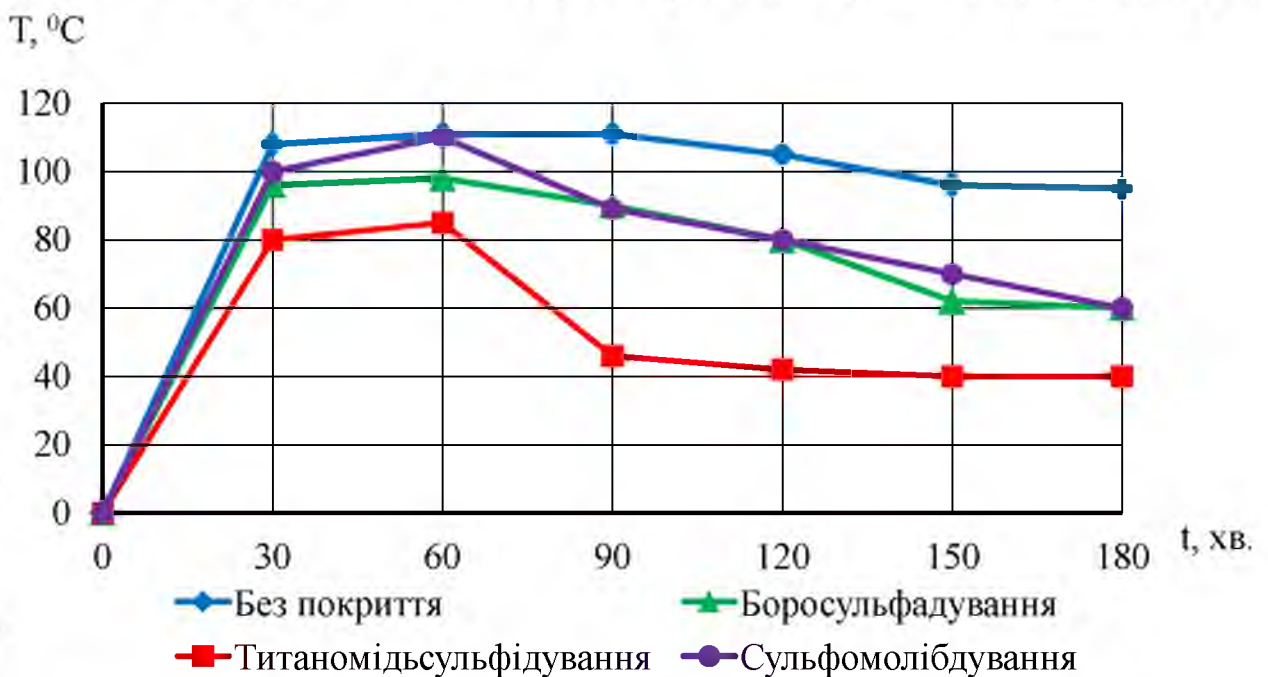


Рисунок 4.4 - Зміна температури при випробуванні зразків на машині тертя

Зниження температури в процесі тертя у модифікованих поверхонь можна пояснити тим, що сульфідні сполуки, розташовані в поверхневих шарах,

сприяють усуненню вогнищ захоплення, зменшують і полегшують деформування контактуючих мікронерівностей, зменшують руйнування мікроконтактів під дією тангенціальних сил, а також краще адсорбують мастило на поверхні. При цьому процес приробітку протікає без видимого захоплення.

Необхідність використання експериментальних даних зажадала спеціальної обробки отриманих значень і введення їх у комп'ютер для подальшої обробки за допомогою отримання непрямих змінних та розв'язання задач ідентифікації параметрів математичних моделей, отриманих у ході теоретичного дослідження. Дані, що відображають зміну часу від сил тертя і температури, були табулювані з довільним кроком за часом, що враховує особливості цих змінних і, введення в комп'ютер. Після використання комп'ютерної програми, що реалізує чисельні методи цієї інтерполяції, ці дані були перетворені на табличні дані (вектори) з постійним кроком. Результати інтерполяції за часом нормованих миттєвих значень перемінних моменту від сил тертя і температури були співставлені з математичними моделями, розробленими в 3 розділі магістерської роботи. При цьому було встановлено, що розбіжності теоретично отриманих значень з експериментальними даними не перевищувало 8-10%.

4.1.2 Випробування зразків на знос і захоплення

Результати випробування зразків на зношування та захоплення представлені на рисунках 4.5, 4.7 та таблиці 4.1.

З рисунку 4.5 видно, що знос у зразків (колодок) з титаномідсульфідованим покриттям в 1,7 рази нижче, ніж у зразків без покриття та в 1,4-1,5 рази нижче, ніж у пар, де ролик і колодка сульфомолібдовані або боросульфідовані. Зношування після 3 годин використання досягло у зразків без покриття 0,033 г, в той час як зношування зразків з титаномідсульфідованим покриттям склало 0,019 г.

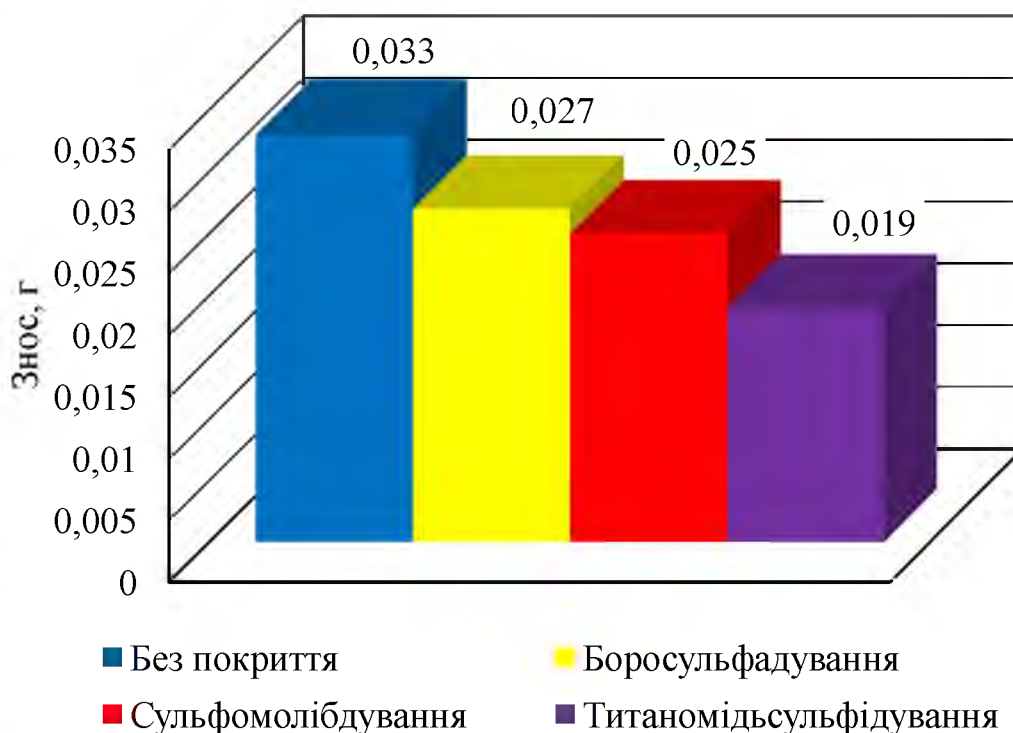


Рисунок 4.5 - Зношування зразків (колодок) при випробуванні на машині

Низький знос титаномідсульфідованих зразків обумовлюється наявністю сульфідних сполук, що легко деформуються, і підвищеною міцністю на зсув сполук титану. Це сприяє більш м'якому (без схоплювань) перебігу процесу приробітку з мінімальним зносом.

Результати випробувань на зносостійкість за допомогою протязного приладу наведено в таблиці 4.1. Зовнішній вигляд зразків після випробувань представлений рисунку 4.6. Згідно з результатами вимірів, зносостійкість поверхневих шарів титаномідсульфідованих зразків перевищує зносостійкість зразків без покриття в 2,2 рази.

Збільшення зносостійкості модифікованих зразків можна пояснити наявністю шару високотвердих сполук титану, що утворюються при нанесенні покриття.

Дослідженню на протизадірну стійкість піддавалися зразки за схемою «розлик - колодка, що самонатискається» в режимі граничного тертя без мастила. Зразки попередньо були опрацьовані протязом 3 години на машині тертя П 5018.

Таблиця 4.1 Результати випробувань за допомогою дротяного приладу

Варіант	Площа поперечного перерізу/кашавки, мм ²	Зносостійкість, %
Ролик та колодка без покриття	0,3	100
Ролик та колодка титаномідьсульфидовані	0,14	220



Рисунок 4.6 - Зовнішній вигляд зразків після випробувань дротяним приладом

Як критерій оцінки протизадірної стійкості були прийняті величина і характер зміни моменту від сил тертя і стан поверхонь тертя зразків у процесі випробувань. Результати випробувань наведено на рисунку 4.5. При випробуванні зразків без покриття схоплювання настає при навантаженні 0,85 кН через 12 кв. з моментом тертя 0,1 кН см, що нижче в 1,9 рази навантаження схоплювання пари зразків, де ролик та колодка титаномідьсульфидовані.

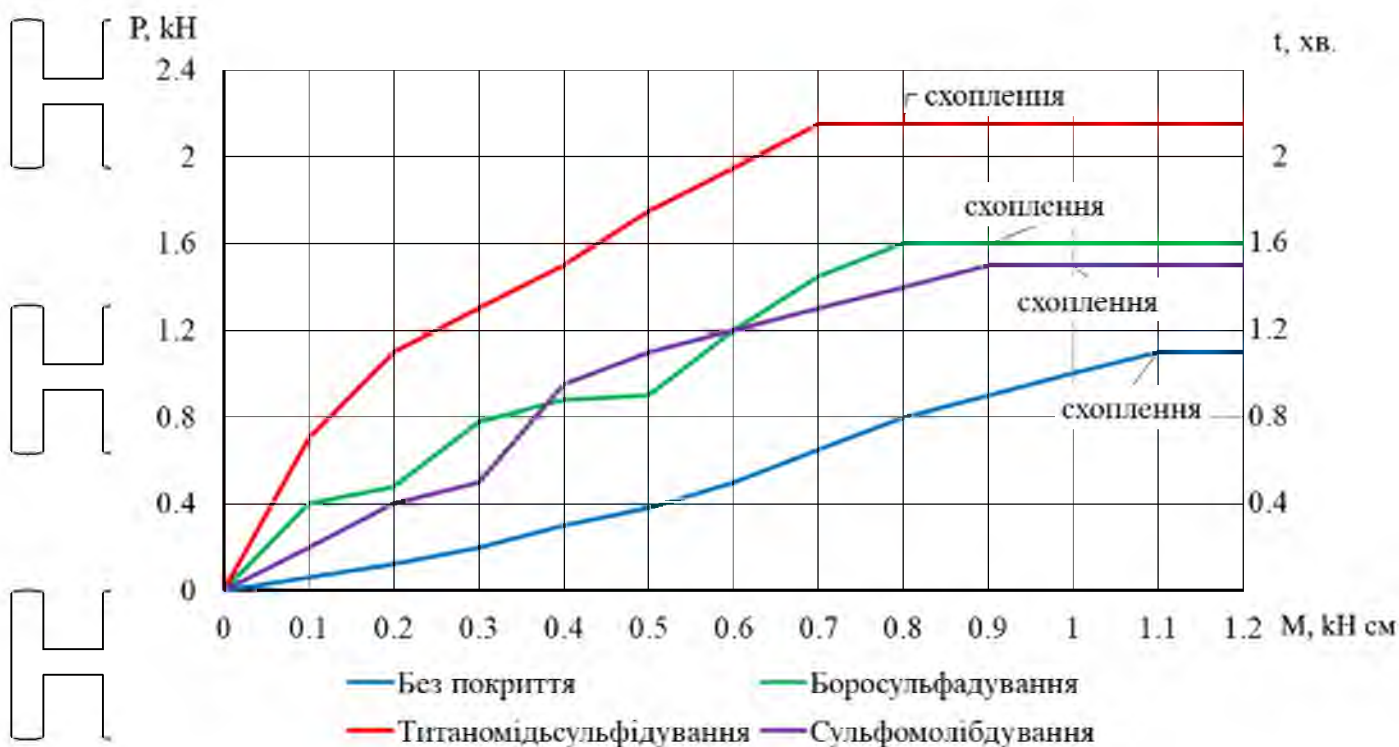


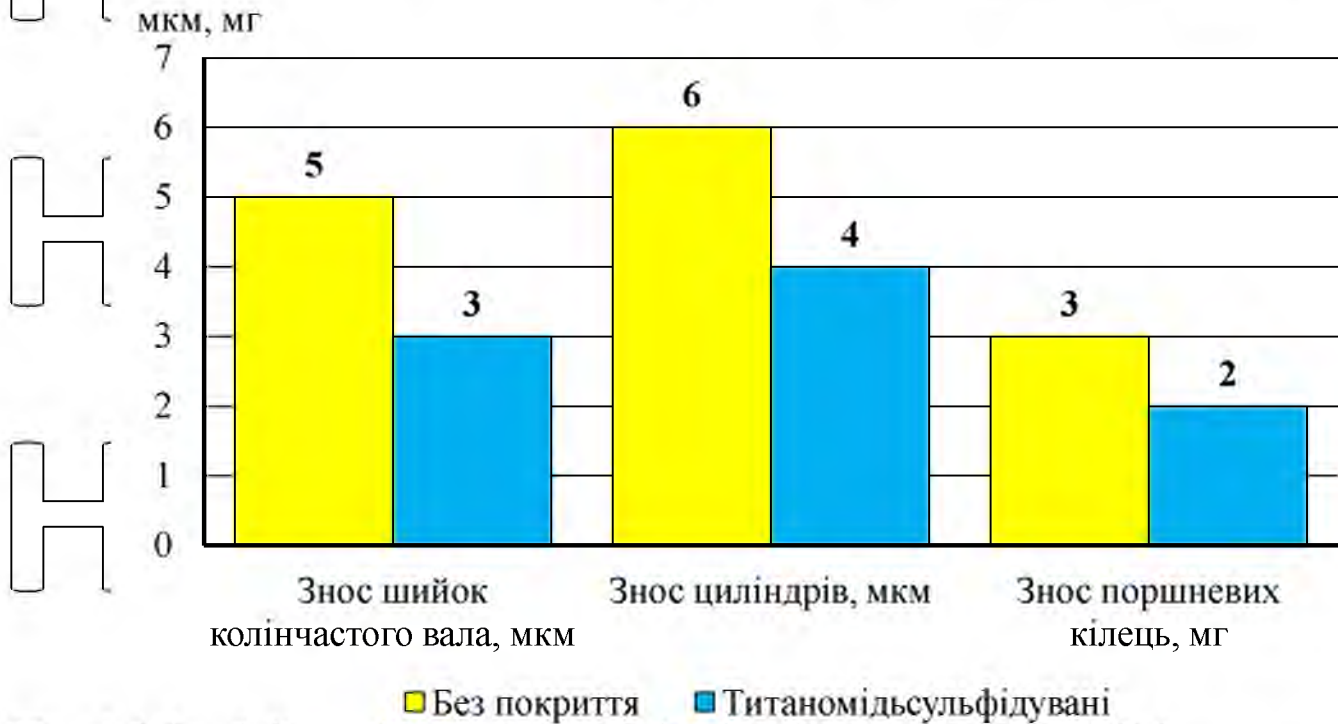
Рисунок 4.7 - Результати випробувань на схоплювання

Слід зазначити, що з настанням схоплювання у зразків без покриття якість поверхні різко погіршується, вона стає більш шорсткою та з'являються містки схоплювання.

Підвищена протизадирна стійкість зразків з комплексним покриттям забезпечується наявністю сульфідів міді, які мають гарну пластичність, запобігають контактному схоплюванню та задирам.

4.2 Результати стендових н експлуатаційних випробувань

Випробування проводили за методикою, наведеною у 2 розділі цієї магістерської роботи. Оцінку отриманих при випробуваннях результатів проводили за величиною масовтрат поршневих кілець і лінійного зносу шийок колінчастого валу і циліндрів. Результати випробувань показали зниження зношування ресурсовизначальних трибосполучень експериментальних компресорів у 1,5 - 1,7 рази, порівняно з серійними (рисунок 4.8а).



■ Без покриття ■ Титаномідсульфидовані

Рисунок 4.8 - Результати стендових випробувань

Оцінку результатів проводили за методикою, представленою у 2 розділі даної роботи. Пропоноване комплексне покриття дозволило знизити знос ресурсовизначальних трисполучень компресорів в 1,5 - 1,8 рази. (Рисунок 4.8), що дозволить підвищити прогнозований ресурс компресорів автомобілів КамАЗ на 40-50%

4.3 Технологія нанесення покриття

При нанесення покриттів хімічним способом пред'являються підвищені вимоги до підготовки поверхонь відновлюваних деталей. Встановлено, що більша частина браку при нанесенні покриттів відбувається через погану підготовку поверхні деталей [3,18,20,45]. Для забезпечення високого ступеня зчеплення покриття з поверхнею деталі, остання повинна бути очищена не тільки від явних забруднень, таких як іржа, наприклад, але і найтонших жирових і оксидних плівок. Тому деталі перед титаномідсульфидуванням знежирюють, протруюючи в 3-5%-ном розчині сірчаної кислоти протягом 2-3 хвилин. Потім

деталі промивають проточною водою та поміщають у ванну для нанесення покриття.

Затискачі та сітки, на які підвішуються деталі для опускання у ванну, захищені від впливу гарячого лужного розчину емалями типу ХВЛ-21 або ХВЕ-

19 (ГОСТ 1751-71). Такими ж емалями вкриті поверхні деталей, на які не слід наносити покриття (зовнішня поверхня блоку циліндрів, неробоча поверхня колінчастого валу).

Титаномідсульфидування здійснюється у ванні при температурі 140-150°C, протягом 50-60 хв. Потім деталі промивають проточною водою та транспортують на стелажі готової продукції (рисунк 4.9).

Весь процес, починаючи з надходження деталей до отримання готової продукції, триває менше 1,2 години. Експериментально встановлено, що розчину у ванні вистачає для обробки в середньому восьми комплектів деталей (у комплект входять: блок циліндрів, колінчастий вал, поршневі кільця), після чого його потрібно оновити, додавши 20% висхідних компонентів.



Рисунок 4.9 - Схема технології процесу титаномідсульфидування

4.4 Висновки

1. Комплексне покриття ресурсовизначаючих поверхонь тертя компресорів автомобілів КамАЗ забезпечує зменшенням величини моменту від сил тертя в 2 рази, зниження температури в зоні тертя до 2,4 рази, прискорення процесу припрацювання в 1,5-1,8 рази в порівнянні із зразками без покриття.

2. Протизадирна стійкість титаномідсульфідованих зразків в 1,9 рази вище, ніж у зразків без покриття і в 1,5 - 1,6 рази вище, ніж у боросулфідованих і сульфомолібдованих зразків. Зносостійкість при сухому терті вище 2,2 разу.

3. Поліпшення протизадирних властивостей зразків пов'язане з наявністю сульфідів металів, які за своєю структурою представляють з'єднаний з ослабленим зв'язком між сусідніми площинами, а підвищення зносостійкості зразків - за рахунок з'єднання високої твердості на основі титану.

4. Стендові випробування показали. зниження зносу деталей компресора гальмівної системи автомобілів КамАЗ при використанні комплексного титаномідсульфідованого покриття в 1,5-1,8 рази в порівнянні з серійними, що дозволяє підвищити прогнозований ресурс компресорів автомобілів КамАЗ на 40-50%.

6. Розроблено технологічний процес нанесення комплексного хімічного титаномідсульфідуючого покриття, обґрунтовано та підбрано обладнання для ділянки зміцнення деталей.

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Доцільність застосування пропонованого технологічного процесу відновлення та зміцнення компресорів гальмівної системи автомобілів КамАЗ визначається ступенем підвищення зносостійкості та інтенсифікацією припрацювання деталей, що воюють. При цьому техніко-економічні показники компресорів, відновлених за пропонованою технологією, повинні бути вище аналогічних показників компресорів, у разі застосування серійної технології.

В основу методики визначення економічної ефективності запропонованого технологічного процесу покладено метод порівняння техніко-економічних показників.

Визначимо економічний ефект від впровадження технологічного процесу відновлення за допомогою газодинамічного напилення і базової технології.

$$E_e = \left(C_{\text{баз}} - C_{\text{від}} \frac{P_1}{P_2} \right) \cdot N \quad (5.1)$$

де: $C_{\text{баз}}$ - собівартість відновлення компресора за базовим способом, який виконується в такий спосіб ці витрати становлять 2 940 грн;

$C_{\text{від}}$ - собівартість відновлення компресора за пропонованою технологією

P_1, P_2 - середні міжремонтні ресурси відновлених за базовою і пропонованою технологією відповідно, згідно і з нашими дослідженнями 3500 і 4300 мото – год.;

N - програма відновлення, шт;

Амортизаційні відрахування розраховуються за такою формулою:

$$C_{\text{амрт}} = \frac{I_{\Sigma}}{T_s} \text{ грн}; \quad (43)$$

де: I_{Σ} - загальна вартість інвестицій, у грн;

T_s – час дії проекту у роках;

$$C_{\text{аморт}} = \frac{I_{\Sigma}}{T_s} = \frac{16\,700\,000}{25} = 668\,000 \text{ грн/рік.}$$

Щорічну вартість позики розрахуємо за формулою:

$$C_{\text{заем}} = \frac{I_{\Sigma}}{\overleftarrow{T}_s} - C_{\text{аморт}} ; (44)$$

де: I_{Σ} - загальна вартість інвестицій, у грн;

\overleftarrow{T}_s - Наведений час проекту, у роках;

$$\overleftarrow{T}_s = \frac{1 - (1+i)^{-T_s}}{i} = \frac{1 - (1+0,1)^{-25}}{0,1} = 9,08 \text{ рік. (45)}$$

де: i - Фактор приведення.

Отже, щорічна вартість позики становить:

$$C_{\text{заем}} = \frac{16\,700\,000}{9,08} - 668\,000 = 1\,171\,207 \text{ грн/рік.}$$

5.3 Щорічні витрати на експлуатацію установки

Щорічні витрати на встановлення рівні:

$$C_z = C_{\text{ел}} + C_{\text{з.п.}} + C_{\text{стопл.}} \text{ грн; (46)}$$

де: $C_{\text{ел}}$ - щорічні витрати на спожиту кількість електричної енергії, у грн/рік;

$C_{\text{з.п.}}$ - щорічні витрати на оплату заробітної плати обслуговувальному персоналу в USD/рік;

$C_{\text{стопл.}}$ - щорічні витрати на природний газ, що використовується під час консервації бактерії, грн/рік.

У період роботи пукрового заводу установка споживає приблизно 600 кВт електричної потужності. Розрахуємо кількість електричної енергії, спожитої біогазовою станцією за час роботи установки (100 днів):

$$Q_{эл.сез.} = P_{БГУ} \cdot 24 \cdot 100 = 600 \cdot 24 \cdot 100 = 1\,440\,000 \text{ кВт-година. (47)}$$

де: $P_{БГУ}$ - Електрична потужність, що споживається біогазовою установкою;

Виходячи з вартості 1 кВт·год (12 тенге/ кВт·год), визначимо вартість електричної енергії, спожитої за сезон:

$$C_{эл} = T_{э} \cdot Q_{эл.сез.} = 1,2 \cdot 1\,440\,000 = 1\,728\,000 = 144\,000 \text{ грн. (48)}$$

Ця енергія виробляється на заводі. Але раніше вона продавалася, а тепер використовуватиметься на потреби біостанції.

Установку обслуговуватиме персонал із 7 осіб. Допустимо, в середньому кожен робітник отримає 50 000 тенге на місяць. Обчислимо, скільки фінансів піде на оплату робітникам за сезон:

$$C_{з.л} = 7 \cdot 3 \cdot 5\,000 = 315\,000 = 26\,250 \text{ грн.}$$

Для збереження біологічного матеріалу на наступний сезон необхідно підтримувати в реакторах постійну температуру. На це йде взимку приблизно близько 3% від загальної потужності установки.

$$V_{з.биог.} = N \cdot 0,03 = 110\,000 \cdot 0,03 = 3300 \text{ м}^3/\text{добу.}$$

де: N-продуктивність установки, м³/добу.

Оскільки у період консервації біогаз не виробляється, замість нього спалюється природний газ. Тому отримане значення необхідно привести до еквівалентного значення для природного газу:

$$V_{з.прир.г.} = \frac{V_{з.биог.} \cdot Q_n^{р.биог.}}{Q_n^{р.прир.г.}} = \frac{3300 \cdot 19,73}{33,50} = 1943,55 \text{ м}^3/\text{добу. (49)}$$

де: $Q_n^{р.биог.}$ - нижча теплота згоряння біогазу, мДж/м³;

$Q_n^{р.прир.г.}$ - нижча теплота згоряння газу, мДж/м³;

Розрахуємо ціну природного газу:

$$C_{\text{прир.г}} = \frac{B_{\text{прир.г}} \cdot N \cdot c_{\text{прир.г}}}{1000} = \frac{1943,55 \cdot 120 \cdot 433}{1000} = 100\,986 \text{ грн. (50)}$$

де: N-кількість діб опалення ферменторів;

$c_{\text{прир.г}}$ - Вартість 1 м³ природного газу, в грн.

Розрахуємо щорічні витрати на встановлення:

$$C_3 = 144\,000 + 26\,250 + 100\,986 = 271\,236 \text{ грн / рік.}$$

5.4 Розрахунок часу окупності проекту

У загальному випадку розрахунок сумарних наведених витрат (СТА) розраховується за формулою:

$$СТА = \sum + C_3 \cdot \overleftarrow{T}_s \text{ грн; (51)}$$

де: \sum - наведене значення інвестицій (загальна вартість інвестицій);

C_3 - щорічні витрати;

\overleftarrow{T}_s - Наведений час проекту.

Отже:

$$СТА = 16\,700\,000 + 271\,236 \cdot 9,08 = 19\,162\,822 \text{ грн.}$$

Для оцінки прибутковості проекту протягом періоду часу, що вивчається, визначимо сумарний наведений прибуток:

$$VTA = C_{\text{эк}} \cdot \overleftarrow{T}_s = 4\,080\,282 \cdot 9,08 = 37\,048\,961 \text{ грн. (52)}$$

Тепер визначимо чистий наведений прибуток за формулою:

$$VNA = VTA - СТА = 37\,048\,961 - 19\,162\,822 = 17\,886\,139 \text{ грн}$$

Визначимо середній річний прибуток:

$$VA = \frac{VNA}{T_s} = \frac{17\,886\,139}{9,08} = 1\,969\,839 \text{ грн.}$$

Знаючи загальну вартість інвестицій та середній річний прибуток,

визначимо час окупності інвестицій:

$$DRA = \frac{I_0}{VA} = \frac{16\,700\,000}{1\,969\,839} = 8,48 \text{ рік.}$$

5.5 Розрахунок річного вироблення теплової та електричної енергії

Для того щоб використовувати біогазову установку цілий рік, пропонується встановити когенераційну установку, яка вироблятиме електроенергію та тепло. Електроенергія продаватиметься північно-західним електромережам, а теплова енергія використовуватиметься для гарячого водопостачання. Сировиною для біогазової установки слугуватиме частина гною цукрового заводу міста Фалешти, яке також є підприємством фірми «Südzucker Moldova SA». Навоза транспортуватиметься залізничним транспортом під час сезону роботи заводу та емпосуватиметься у ями.

Таблиця 17 Економічні показники когенераційної установки

Nr	найменування показника	Одиниц і	Значенн я	Позначенн я
1.	2. Номінальна потужність установки	кВт	1416	Рном.
2.	Теплова потужність	кВт	1425	Qmax
3.	Коефіцієнт використання максимальної електричної потужності	%	90	Гел.
4.	Коефіцієнт використання теплової потужності	%	80	ГТ.

5.	Вартість 1 кВт встановленої потужності	грн/кВт	690	i0
6.	Додаткові витрати на встановлення	грн/кВт	170	Ідод.
5.	Вартість капітального ремонту	грн/кВт	172,5	Iкап.рем.
8.	Витрата газу	м3/год	284,4	B
9.	Витрата олії	гр./кВт-година	0,3	Vмасло
10.	Час роботи установки	годину/р ік	8760	Tгод
11.	Ресурс двигуна до капітального ремонту	годину	60 000	TV
12.	Час дії проекту	рік	14	Ts
13.	Тариф закупівлі природного газу	грн/ млн.м3	433,1	Tн.р.
14.	Тариф на тепло	грн/ Гкал	400	cQ, REF
15.	Тариф на електроенергію	грн./ кВт·год	1,2	TEE
16.	Ціна закупівлі моторної олії	тенге/ літр	45	Масла
15.	Відсоток від інвестицій на поточний ремонт та обслуговування	%	6	kt.0
18.	Значення залишкових фондів наприкінці проекту	%	1	WT
19.	Обмінний курс	грн	12,0	Rsv
20.	Чинник приведення	%	10	i

Обсяг електроенергії, виробленої установкою, знаходиться за такою формулою.

$$W_{\text{год}} = N \cdot P_{\text{ном}} \cdot T_{\text{м, ел}} \cdot \eta_{\text{кВт}}; \quad (53)$$

де: N – кількість когенераційних установок;

$P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність установки, кВт;

$T_{\text{м, ел}}$ – час роботи установки в номінальному режимі, за годину/рік;

Час роботи установки в номінальному режимі може бути підрахований як добуток між коефіцієнтом використання максимальної електричної потужності $G_{\text{ел}}$, і загальним числом годин роботи установки $T_{\text{год}}$:

$$T_{\text{м, ел}} = T_{\text{рік}} \cdot G_{\text{ел}} = 8760 \cdot 0,90 = 7884 \text{ год / рік.} \quad (54)$$

Отже, річний обсяг виробленої електричної енергії становить:

$$W_{\text{год}} = N \cdot P_{\text{ном}} \cdot T_{\text{м, ел}} = 2 \cdot 1416 \cdot 7884 = 22327 \text{ (МВт} \cdot \text{Год) / рік}$$

Річний обсяг теплової енергії, виробленої когенераційними установками:

$$Q_{\text{год}} = Q_{\text{мах}} \cdot T_{\text{м, т}} \text{ (кВт} \cdot \text{год) / рік} \quad (55)$$

де: $Q_{\text{мах}}$ – представляє максимальну теплову потужність джерела енергії, кВт;

$T_{\text{м, т}}$ – час використання максимальної теплової енергії, на годину / рік.

Час використання максимальної теплової енергії визначається виходячи з

виразу:

$$T_{\text{т}} = T_{\text{год}} \cdot G_{\text{ел}} \cdot G_{\text{т}} = 8760 \cdot 0,9 \cdot 0,8 = 6307,2 \text{ год / рік.} \quad (56)$$

де: $G_{\text{т}}$ – коефіцієнт використання теплової потужності

Таким чином, можна розрахувати обсяг теплової енергії, виробленої за рік:

$$Q_{\text{рік}} = 2 \cdot 1425 \cdot 6307,2 = 17975520 \text{ кВт} \cdot \text{год / рік} = 15456 \text{ Г ккал / рік.} \quad (57)$$

5.6 Загальна вартість капіталовкладень

Вартість когенераційної установки розраховується за такою формулою:

$$I_0 = N \cdot i_0 \cdot \text{Рел. ном грн}; (58)$$

де: i_0 - являє собою вартість одного 1 кВт встановленої електричної потужності, грн/кВт;

Рел, ном - номінальна електрична потужність агрегату, в кВт;

$$I_0 = 2 \cdot 690 \cdot 1416 = 1954080 \text{ грн}$$

Щоб розрахувати початкові капіталовкладення, необхідно розрахувати

додаткові витрати на когенераційну установку:

$$I_{\text{доп}} = i_{\text{доп}} \cdot \text{Рел, ном} \cdot N \text{ грн}; (59)$$

де $i_{\text{доп}}$ - додаткові витрати, у грн/кВт;

Рел, ном - номінальна потужність установки, в кВт;

$$I_{\text{доп}} = 50 \cdot 1416 \cdot 2 = 141\ 600 \text{ грн.}$$

Знаючи вартість когенераційної установки та додаткові витрати, можна розрахувати початкові інвестиції:

$$I_{\text{ког.уст.}} = I_0 + I_{\text{доп}} = 1\ 954\ 080 + 141\ 600 = 2095680 \text{ грн.} (60)$$

Вартість капітального ремонту установки Jenbacher 420 GS-B.LC з'явиться після 60 тис. годин роботи. Це значення розраховується за такою формулою:

$$I_{\text{кап.рем}} = i_{\text{кап.рем}} \cdot \text{Рел. ном} \cdot N \text{ грн}; (61)$$

де: $i_{\text{кап.рем}}$ - вартість ремонту 1 кВт встановленої потужності, грн/кВт;

Рел. ном - номінальна потужність установки, в кВт;

$$I_{\text{кап.рем}} = 172,5 \cdot 1416 \cdot 2 = 488\ 520 \text{ грн.}$$

Вартість інвестицій біогазової установки відома із попереднього пункту. Враховуючи ще й витрати на будівництво силосних ям (а це близько 500 000 грн [21]), та установку з очищення то H₂S (40 000 [21]), можемо розрахувати загальну вартість інвестицій, реалізованих у цьому проєкті:

$$\Sigma = I_{\text{БГУ}} + I_{\text{ям}} + I_{\text{ЧАС}2\text{S}} + I_{\text{ког.уст}} + I_{\text{кап.рем}}(1+i) - T \text{ грн; (62)}$$

де: I_{БГУ} - інвестиції в біогазову установку, в грн;

I - інвестиції у когенераційну установку, у грн;

I_{ям} - інвестиції у будівництво силосних ям, у грн;

I_{H₂S} - інвестиції у будівництво установки, з очищення H₂S, у грн;

I_{кап.рем} - вартість капітального ремонту когенераційної установки, у грн.

T - час роботи когенераційної установки до капітального ремонту.

$$\Sigma = 16\,700\,000 + 500\,000 + 40\,000 + 209\,5680 + 488\,520(1+0,1) - 7 = 19\,586\,368 \text{ грн.}$$

5.7 Щорічні інвестиційні витрати на когенераційні установки

Амортизаційні відрахування розраховуються за такою формулою:

$$\text{Саморт} = \frac{I_{\text{ког.уст}}}{T_s} \text{ грн; (63)}$$

де: I_{ког.уст} - загальна вартість інвестицій у когенераційну установку, грн;

T_s - час (durata de studiu al proiectului, в роки,

$$\text{Саморт} = \frac{I_{\text{ког.уст}}}{T_s} = \frac{2\,095\,680}{14} = 149\,691 \text{ грн/рік.}$$

Щорічна вартість позики:

$$C_{\text{дài}} = \frac{I_{\text{ei} \tilde{\alpha} \tilde{\alpha} \tilde{\alpha}}}{T_s} - C_{\text{ài} \tilde{\alpha} \tilde{\alpha}} \text{ грн (64)}$$

де: T_s - Наведений час проєкту, у роках; визначається за формулою (4.7):

$$T_s = \frac{1 - (1+0,1)^{-14}}{0,1} = 7,37 \text{ рік.}$$

Отже, щорічна вартість позики для когенераційної установки складає:

$$C_{\text{заб}} = \frac{2\,095\,680}{7,37} - 149\,691 = 134\,661 \text{ грн/рік.}$$

Щорічні витрати на встановлення рівні:

$$C_{\text{з.ког.уст.}} = \text{Стопл} + \text{Ст.о} + \text{Смасло} \text{ грн; (65)}$$

де: Стопл – витрати на спожите паливо, у грн/рік;

Ст.о – щорічні витрати на поточний ремонт та обслуговування, у грн/рік;

Олія – щорічні витрати на моторне масло, в грн/рік.

Під час сезону роботи заводу в когенераційної установки спалюється природний газ. Щорічні витрати на спожите паливо:

$$\text{Стопл} = \frac{N \cdot V_{\text{нг}} \cdot T_{\text{нг}}}{1000} \text{ грн; (66)}$$

де: $V_{\text{нг}}$ – щорічна витрата природного газу на когенераційну установку, м³/рік;

$T_{\text{нг}}$ – вартість закупівлі натурального газу, в грн/млн. м³;

N – кількість установок.

$$V_{\text{нг}} = V_{\text{двс}} \cdot T_{\text{сез}} = 0,1 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 100 = 864\,000 \text{ м}^3/\text{рік. (67)}$$

де: $V_{\text{двс}}$ – витрата газу на ДВС, в м³/с;

$T_{\text{сез}}$ – час роботи заводу на добу.

$$\text{Стопл} = \frac{2 \cdot 864\,000 \cdot 433}{1000} = 748\,224 \text{ грн/рік.}$$

Щорічні витрати на поточний ремонт та обслуговування розраховуємо за формулою:

$$\text{Ст.о} = \text{кт.о} \cdot I \text{ грн / рік; (68)}$$

де: кт.о – відсоток від інвестицій на поточний ремонт та обслуговування;

$I_{\text{ког.уст}}$ – вартість початкових капіталовкладень у когенераційну установку, грн.

$$Ст.о = 0,06 \cdot 2095680 = 125740 \text{ грн./ рік.}$$

Щорічні витрати на моторне масло:

$$С_{\text{масл}} = V_{\text{масл}} \cdot c_{\text{масл}} \text{ грн.; (69)}$$

де: $V_{\text{масл}}$ - обсяг масла, витраченого за рік, в літр/рік;

$c_{\text{масл}}$ - вартість одного літра олії, грн/літр.

Для того щоб визначити витрати на олію, спожиту за рік, розрахуємо обсяг олії, спожитий за цей проміжок часу:

$$V_{\text{масл}} = W_{\text{рік}} \cdot v_{\text{масл}} / \rho_{\text{масл}} \text{ l; (70)}$$

де: $W_{\text{год}}$ - обсяг електроенергії, виробленої протягом року, в (кВт·год)/год;

$v_{\text{масл}}$ - витрата олії на годину, в гр. / (кВт·год);

$\rho_{\text{масло}}$ - щільність олії, в кг/м³; $\rho_{\text{масло}} = 0,9 \text{ кг/м}^3$;

$$V_{\text{масл}} = 22327000 \cdot (0,3 \cdot 10^{-3}) / 0,9 = 7442 \text{ літр/ рік.}$$

Розрахуємо щорічні витрати на олію:

$$С_{\text{масл}} = 7442 \cdot 45 = 334\,890 \text{ літр / рік} = 27\,907 \text{ грн / рік.}$$

Тепер можна розрахувати щорічні інвестиційні витрати на когенераційну установку:

$$С_{\text{з.ког.уст.}} = 748\,224 + 125\,740 + 27\,907 = 901\,871 \text{ грн / рік.}$$

5.8 Щорічні інвестиційні витрати на біогазову установку

Щорічні витрати на встановлення рівні:

$$С_{\text{з.БДУ}} = С_{\text{з.п}} + С_{\text{навозу}} \text{ грн/рік; (71)}$$

де: $C_{з.п}$ – щорічні витрати на оплату заробітної плати обслуговуючого персоналу, у грн/рік;

$C_{сн.в.з.}$ – витрати на перевезення та силосування гною, у грн/рік.

Установку обслуговуватиме персонал із 7 осіб. Допустимо, в середньому кожен робітник отримає 50 000 тенге на місяць. Обчислимо, скільки фінансів піде на оплату робітникам за рік:

$$C_{з.п} = 7 \cdot 12 \cdot 50\,000 = 420\,000 = 35\,000 \text{ грн/рік.}$$

Витрати на перевезення та силосування гною визначимо за формулою:

$$C_{сн.в.з.} = c_{сн.в.з.} \cdot M \text{ грн / рік; (72)}$$

де: $c_{сн.в.з.}$ - вартість перевезення та силосування однієї тонни гною, в грн;

M -маса перевезеного гною в тоннах.

Час роботи когенераційної установки поза сезоном – 265 днів. Маса гною, що перевозиться, дорівнює 60 000 тн (див.л. 3.1.1).

Визначимо вартість транспортування та силосування всього гною:

$$C_{сн.в.з.} = 10 \cdot 60\,000 = 600\,000 \text{ грн / рік. (73)}$$

Тепер визначимо щорічні витрати на біогазову установку:

$$C_{з.БДУ} = 35\,000 + 600\,000 = 635\,000 \text{ грн / рік.}$$

5.9 Розрахунок часу окупності проекту

У загальному випадку розрахунок сумарних наведених витрат (СТА) розраховується за формулою:

$$СТА = I_{\Sigma} + (C_{з.ког.уст} + C_{з.БДУ}) \cdot F_s \text{ грн; (74)}$$

де: I_{Σ} - загальна вартість інвестицій, у грн;

$C_{з.ког.уст}$ – щорічні витрати на когенераційну установку, в грн;

$C_{з.БДУ}$ – Щорічні витрати на біогазову установку, в грн;

\overleftarrow{T}_s – Наведений час проекту, у роках.

Отже:

$$СТА = 19\,586\,368 + (901\,871 + 635\,000) \cdot 7,37 = 30\,913\,107 \text{ грн.}$$

Для оцінки прибутковості проекту, протягом періоду часу, що вивчається, визначимо сумарний наведений прибуток:

$$VTA = C_{приб} \cdot \overleftarrow{T}_s \text{ грн; (75)}$$

де: $C_{приб}$ – щорічний прибуток, одержуваний від проекту, у грн/рік;

Щорічний прибуток розраховуємо так:

$$C_{приб} = C_{прир.газ.}^{ек.сез} + C_{ар} + C_{эл.} + C_{тепл.} \text{ грн/рік; (76)}$$

де: $C_{прир.газ.}^{ек.сез}$ – економія на природному газі під час роботи заводу, у грн/рік (див. п.4.1.1);

$C_{ар}$ – економія на оренді землі, на якій складується гною, у грн/рік (див.

п.4.1.1);

$C_{эл.}$ – прибуток від продажу електроенергії, у грн/рік;

$C_{тепл.}$ – прибуток від продажу теплової енергії у грн/рік;

Знайдемо прибуток від продажу електроенергії:

$$C_{эл.} = \frac{(N \cdot P_{ном} - P_{БГУ}) \cdot T_{мэл} \cdot C_{эл.}}{12} \text{ грн/рік; (77)}$$

де: N – кількість когенераційних установок;

$P_{ном}$ – потужність когенераційних установок, кВт;

$C_{эл.}$ – вартість 1 кВт електричної енергії, грн/кВт;

$P_{БГУ}$ - Електрична потужність біогазової установки, кВт;
 $\Gamma_{м.эл}$ - час роботи когенераційних установок у номінальному режимі, годину/рік;

$$C_{эл} = \frac{(2 \cdot 1416 - 250) \cdot 7 \ 884 \cdot 1,2}{12} = 2 \ 035 \ 648 \text{ грн/рік.}$$

Прибуток від продажу теплової енергії розраховуємо за такою формулою:

$$C_{тепл} = \frac{(Q_{год} - Q_{БГУ}) \cdot c_{тепл.}}{12} \text{ грн/рік; (78)}$$

де: $Q_{БГУ}$ - щорічне споживання теплової енергії біогазовою установкою, у Гккал/рік;

$c_{тепл.}$ - вартість 1 Гккал теплової енергії, грн/Гккал;

Біогазова установка споживає близько 6%, що виробляється когенераційними установками:

$$Q_{БГУ} = N \cdot Q_{мах} \cdot T_{т} \cdot 0,06 \text{ Гккал/рік. (79)}$$

де: $Q_{мах}$ - представляє максимальну теплову потужність когенераційної установки, кВт;

$T_{т}$ - час використання максимальної теплової енергії (див. п. 4.2.1), за годину/рік;

$$Q_{БГУ} = 2 \cdot 1425 \cdot 0,06 \cdot 6307,2 = 1078531 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік} = 927 \text{ Гккал} / \text{рік.}$$

Тепер можемо знайти прибуток від продажу теплової енергії:

$$C_{тепл} = \frac{(15 \ 456 - 927) \cdot 400}{12} = 484 \ 300 \text{ грн/рік.}$$

Знайдемо щорічний прибуток:

$$C_{приб} = 4 \ 080 \ 282 + 8 \ 333 + 2 \ 035 \ 648 + 484 \ 300 = 6 \ 608 \ 563 \text{ грн/рік}$$

Сумарний наведений прибуток дорівнює:

$$VTA = 6\,608\,563 \cdot 7,37 = 48\,705\,109 \text{ грн/рік.}$$

Тепер визначимо чистий наведений прибуток за формулою:

$$VNA = VTA - CTA = 48\,705\,109 - 30\,913\,107 = 17\,792\,002 \text{ грн/рік.}$$

Визначимо середній річний прибуток:

$$VA = \frac{VNA}{T_s} = \frac{17\,792\,002}{7,37} = 2\,414\,111 \text{ грн/рік.}$$

Таблиця 5.1 Порівняльна економічна ефективність

Найменування показників	Відремонтованим за базовою методикою	Відремонтованим за запропонованою технологією
Вартість автомобіля, грн	1 670 000	1 670 000
Річний об'єм заготовок, м ³	37 400	46 600
Продуктивність в зміну, м ³ ;	200	200
Витрати на експлуатацію трактора грн. в зміну	6 388	5 728

Таким чином, застосування автомобіля КамАЗ пройшли капітальний ремонт за запропонованою технологією в умовах господарства, дозволяє скоротити витрати на техніку на 660 грн за зміну.

5.1. Висновки по розділу 5

1. Розроблена технологія збільшує його ресурс на 23% в порівнянні з базовою технологією ремонту.

2. Економічний ефект від застосування запропонованої технології для ремонтного підприємства, складе 205707 грн при програмою відновлення 300 компресорів в рік. Витрати на експлуатацію автомобіля КамАЗ з відновленим компресором, скоротилися на 660 грн за зміну

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз літературних і патентних джерел показав, що найбільший відсоток відмов автомобілів КамАЗ при експлуатації припадає на двигун - до 30%, а на компресор 8-10%. Одними з найслабших вузлів компресорів гальмівної системи автомобілів КамАЗ є трибосполучення «поршневе кільце — циліндр» і «колінчастий вал — вкладиш».

2. Теоретично обґрунтований спосіб підвищення довговічності ресурсовизначальних трибосполучень компресорів. Застосування комплексних хімічних покриттів дозволяє збільшити їх ресурс на 40-50%.

3. Розроблено математичну модель зношування процесу нанесення комплексного титаномідсульфідованого покриття на деталі компресорів, що труться. При цьому встановлено, що розбіжність теоретично отриманих знань з експериментальними даними не перевищувала 8-10%. Оптимізовано склад ванни для нанесення покриття. Найбільш ефективно процес модифікування поверхонь деталей протікає при температурі 120-150°C і тривалості 50-60 хв.

4. Порівняльні триботехнічні випробування на машині тертя зразків без покриття і з покриттям показали, що комплексне покриття забезпечує зниження моменту від сил тертя в 2 рази, прискорення процесу припрацювання в 1,5-1,8 рази та підвищення зносостійкості в 1,5-1,7 рази в порівнянні з серійними зразками без покриття. Протизадирна стійкість титаномідсульфідованих зразків у 2,2 рази вище, ніж у зразків без покриття та в 1,5-1,7 рази вище, ніж у боросульфідованих та сульфомолібдованих зразків.

5. Стендові випробування компресорів гальмівної системи автомобілів КамАЗ показали зниження зносу їх тертьових деталей при використанні комплексного титаномідсульфідованих покриття в 1,5—1,8 рази в порівнянні з серійними, що дозволяє підвищити прогноз компресорів на 40-50%.

6. Економічний ефект від застосування запропонованої технології для ремонтного підприємства, складе 205707 грн при програмі відновлення 300 компресорів в рік.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Андрусенко С.І. Організація фірмового обслуговування. Київ: ІЗМН, 2000 р.
2. Баранов Л.Ф. Технічне обслуговування та ремонт машин: Навч. допомога. (Сер. «Підручники XXI століття»). Ростов на Дону: Фенікс, 2001
3. Бармаков Б.П. Удосконалення організаційно-виробничої структури технічного обслуговування автомобілів: Дис. канд. екон. наук. М., 2002 р.
4. Вейсман Я.М., Бекеров Г.І., Яковенко Ю.М., Котов Є.І. Організація технічного обслуговування та ремонту автомобілів «Жигулі». - М: Транспорт, 2003 р.
5. Гримолін А.В., Кузнецов А.С. Паливо, олії, мастило. Рідини та матеріали для експлуатації та ремонту автомобілів. - М.: Машнобудування, 2008 р.
6. Ємельянов Б.Я., Ігнатов А.П. Посібник з ремонту автомобілів ВАЗ - 2101, 2102, 21011, 21013, 21021, 21023. - М., «Третій Рим», 2004 р.
7. Карою Херцег. Станція обслуговування легкових автомобілів. Пров. з угорської. - М: Транспорт, 2005 р.
8. Кленников Є.В., Суденков Є.Г. Влаштування, обслуговування та ремонт автомобілів: Підручник. - М.: Вища школа, 2007 р.
9. Котлер Ф. Основи маркетингу/Пер. з англ. М: Прогрес, 2004 р.
10. Якока. Кар'єра менеджера/Пер. з англ.; За ред. С.Ю. Медведєва. - М: Прогрес, 2004 р.
11. Лівшиць А.В. Пристрій та основи експлуатації автомобілів. - М.: Транспорт, 2001 р.
12. Маркетинг. Підручник для студентів вузів/О.М. Романов, Ю.Ю. Кордюгов, С.А. Красильників та ін.; За ред. О.М. Романова. - М.: Банки та біржі. ЮНІТІ, 2006 р.
13. Марков О.Д. Автосервіс: ринок, автомобіль, клієнт. - М: Транспорт, 2002 р.
14. Марков О.Д. Організація автосервісу. - Львів: Оріяна Нова, 2003 р.

15. Марков О.Д. Організація, планування та управління підприємствами автосервісу. - Київ: КАДІ, 2006 р.

16. Марков О.Д., Мельниченко Г.Ф. Оперативне планування на підприємствах автосервісу: Навч. Допомога. - Київ: УМВ ВО, 2000 р.

17. Мескон М.Х., Альберт М., Хедоурі Ф. Основи менеджменту/Пер. з англ. - М.: Справа, 2000р.

18. Методика планування обсягів послуг з технічного обслуговування та ремонту автомобілів, що належать громадянам. - М.: Філія НАМИ, 2001 р.

19. Організація виробництва технічного обслуговування та ремонту автомобілів на центрах та станціях Волзького автозаводу: Інструкція № 37. 101. 3100. 7500-87. Тольятті, 2001 р.

20. Петроченко С.М., Яковенко Є.Г. Організація комплексного автосервісу. М: Транспорт, 2003 р.

21. Правила з охорони праці автомобільному транспорті. - Спб.: Видавництво ДЕАН, 2001 р.

22. Радченко І.І., Хлявіч А.І. Маркетинг та автосервіс: Підручник для студентів вузів. М: ВЗПІ, 2005 р.

23. Посібник з експлуатації автомобілів АЗЛК.-М, АЗЛК, 2004 р.

24. Санітарно-захисні зони та санітарна класифікація підприємств, споруд та інших об'єктів: Санітарно-епідеміологічні правила та нормативи. - М.: Федеральний центр держсанепіднагляду МОЗ Росії, 2001 р.

25. Довідковий посібник інженера – економіста автосервісу/О.Д. Марків та ін. Київ: Техніка, 2002 р.

26. Управління персоналом організації: Підручник для студентів вузів/За ред. А.Я. Кібанова. М: ІНФРА, 2004 р.

27. Урланіс В.Б. Математико-статистичний аналіз показників експлуатації легкового автомобільного автотранспорту: Дис.канд.ekon.наук. М., 2001 р.

28. Фастівцев Г.Ф. Автотехобслуговування. М: Машинобудування, 2003 р.

29. Фастівцев Г.Ф. Організація технічного обслуговування та ремонту легкових автомобілів: Підручник для автотранспортних технікумів. М: Транспорт, 2002 р.

30. Фастівцев Г.Ф. Організація технічного обслуговування та ремонту легкових автомобілів. 2-ге вид., перераб. М: Транспорт, 1999 р.

31. Фастівцев Г.Ф., Ляско В.І., Чепелевський В.І. Організація технічного обслуговування та ремонту легкових автомобілів, що належать громадянам: Підручник для автотранспортних технікумів. М: транспорт, 2005 р.

32. Фучаджі К. С., Стрюк Н. Н. Автомобіль ЗАЗ 1102 «Таврія». – М., «Транспорт», 2005 р.

33. Фучаджі К. С., Стрюк Н. Н. Автомобіль ЗАЗ-968. - М., "Транспорт", 2005 р.

34. Хлявіч А.І. Обслуговування автомобілів населення: Організація та управління. М: Транспорт, 1998 р.

35. Шейнін С. А. Посібник з експлуатації автомобілів «Запорожець». - Київ, «Промінь», 1999

36. Шестопапов С.К. Пристрій, технічне обслуговування та ремонт легкових автомобілів: Підручник. - М.: НРПО; Вид. Центр "Академія", 1998

37. Силін П.М., Технологія цукру 1967. 625 с.

38. Лепешкін І.П., Довідник цукровика Частина Перша, 1963. 700 с.

39. Лепешкін І.П., Довідник цукровика Частина Друга, 1965. 779 с.

40. Тепловий розрахунок котлів (нормативний метод), Видання 3-тє перероблене та доповнене, 1998 р.

41. Баадер В., Доне Е., Бреїндерфер М. Біогаз. Теорія і практика (Пер. з нім. І передмова М.І.Серебрянго.), 1982. 148 с.

42. NRS 35-04-74:2006 Правила безпечної експлуатації магістральних трубопроводів.

43. RTDSE 1.01-2005 Основні правила пожежної безпеки в Республіці Казахстан

44. NRS35-03-59:2003 Правила влаштування та безпечної експлуатації парових та водогрійних котлів.

45. NRS35-004-09-2002 Правила безпеки у газовому господарстві.

46. Бондалетова Л.І., Новіков В.Т., Алексєєв Н.А., Розрахунок викидів забруднюючих речовин під час спалювання палива в котлоагрегатах котелень: Методичний посібник з виконання практичних занять за курсом “Промислова екологія” для студентів спеціальності 320700 “Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів”. Томськ: Вид.

ТПУ, 2000. 39 с.

47. Arion V., Apreutesii V., Economia Energeticii, Note de curs, Editura U.T.M, Cluj Napoca 2006, 138с

48. Технічні характеристики когенераційної установки Jenbacher 420 GS-B.LC, Biogas 1416 кВт, Австрія.

49 <http://www.qwertyweb.ru/2009/04/06/energiya-biomassyi/>

50 <http://www.agro-t.de/Bio/biogas/>

51 <http://bio.bmpa.ru/>

52 <http://www.teplosoyuz.>

53 <http://www.suedzucker.md/ua/pages/factory1>

54 <http://www.ge-energy.com>

55 <http://zorgbiogas.ru/>

56 <http://forum.zorgbiogas.ru/viewtopic.php?>

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ДОДАТКИ

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України