

Міністерство освіти і науки України
Українська державна академія залізничного транспорту

ТИМОФЄЄВ СЕРГІЙ СЕРГІЙОВИЧ

УДК 629.083

**РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ПРЕЦИЗІЙНИХ
ДЕТАЛЕЙ ДИЗЕЛІВ ЗАСОБІВ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків - 2013

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано на кафедрі матеріалів та технологій виготовлення виробів транспортного призначення Українській державній академії залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант – доктор технічних наук
Остапчук Віктор Миколайович,
Українська державна академія залізничного транспорту,
кафедра матеріалів та технологій виготовлення виробів
транспортного призначення, професор кафедри

Офіційні опоненти доктор технічних наук, професор,
Кельріх Мусій Борисович
Державний економіко-технологічний університет
транспорту, кафедра вагонів та вагонного господарства,
завідувач кафедри

доктор технічних наук, професор
Ткаченко Віктор Петрович,
Східноукраїнський національний університет імені
Володимира Даля, кафедра автоники і управління на
транспорті, професор кафедри

доктор технічних наук,
Горобець Володимир Леонідович
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту ім. В. Лазаряна,
галузева науково-дослідна лабораторія динаміки та
міцності рухомого складу, головний науковий
співробітник

Захист відбудеться «24» жовтня 2013 р. о 11⁰⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 в Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

Автореферат розісланий «23» вересня 2013 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

А.В. Прохорченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У процесі експлуатації у дизелів від 30 до 50 % всіх відмов припадає на систему живлення через зношування прецизійних деталей, в основному плунжерних пар. Причин, що викликають їх знос і виходи з ладу, багато: знакозмінні навантаження при високих швидкостях і тисках протікання палива, конструктивні особливості деталей, заїдання, скріплення, вплив корозійного середовища та ін. Однак основною причиною є абразивне зношування в результаті потрапляння в паливо механічних частинок. Висока вартість і точність виготовлення, велика витрата деталей для потреб ремонтних підприємств обумовлюють необхідність відновлення плунжерних пар, що, безсумнівно, забезпечить значну економію коштів. Існуючі на сьогодні способи відновлення і зміцнення плунжерних пар є високотехнологічними і тривалими за часом. Їх використання в умовах ремонтних підприємств вимагає застосування складного і дорогого устаткування. Для відновлення працездатності плунжерних пар найбільш перспективними повинні бути такі технологічні способи відновлення, які дозволили б знизити до мінімуму кількість технологічних операцій з формуванням покриттів із заданими експлуатаційними властивостями. При цьому спосіб відновлення повинен протікати при низьких температурах з метою виключення викривлення деталей.

Для відновлення плунжерних пар найбільш перспективним у цьому відношенні є комплексна обробка, яка забезпечить отримання матеріалу багатокомпонентного покриття із заданими експлуатаційними властивостями. У наш час згідно з дослідженнями багатьох вчених транспортного машинобудування і ремонтних підприємств необхідний пошук матеріалів з новими властивостями, які одержані в одному технологічному циклі виготовлення і відновлення деталей, що відповідає ст.3 Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» пункту 6 «Нові речовини і матеріали».

З урахуванням великої кількості плунжерних пар, які виходять з ладу, до цього часу не існує єдиного підходу до розроблення засобів і методів з їх відновлення із забезпеченням якості робочих поверхонь. Це вимагає науково обґрунтованого підходу до розроблення нових способів і методів відновлення прецизійних пар засобів транспорту, що є актуальною науково-прикладною проблемою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження за темою дисертаційної роботи виконувалися в рамках держбюджетних наукових тем кафедри «Матеріали та технології виготовлення виробів транспортного призначення» Української державної академії залізничного транспорту в період 2007–2013 рр. відповідно до планів науково-дослідних робіт академії за пріоритетними напрямками розвитку науки техніки «Новітні технології та ресурсозберігаючі технології на залізничному транспорті» в рамках держбюджетних тем Міністерства освіти і науки України: «Розробка та впровадження технології відновлення зношених деталей рухомого складу» (№ ДР 0107U000837), «Проведення експлуатаційних досліджень нового складу ріжучого інструменту для обточки колісних пар при їх відновленні» (№ ДР 0108U006512), «Створення технології формування нового матеріалу покриттів на металевих матеріалах»

(№ ДР 0108U006513), «Дослідження технологічних можливостей пневмоударної штамповки при виготовленні номенклатури деталей транспортного машинобудування» (№ ДР 0108U010443), «Розробка нового інструментального матеріалу на основі нанопорошків тугоплавких сполук для обробки деталей локомотивів та вагонів» (№ ДР 0110U000727), «Розробка нового складу матеріалу на основі нанопорошків для сопел очистки деталей залізничного транспорту» (№ ДР 01010U000728), «Покращення триботехнічних властивостей матеріалів відповідних деталей машин транспортного призначення» (№ ДР №0111U002238), «Наукове обґрунтування оптимізаційних матеріалів та обладнань для ремонту деталей і вузлів засобів транспорту для локомотивних підприємств Придніпровської залізниці» (№ ДР 0112U008179), в яких автор був головним виконавцем.

Мета і задачі дослідження. Мета дослідження полягає в науковому обґрунтуванні процесу відновлення деталей прецизійних пар тертя багатокомпонентними покриттями при їх ремонті, що забезпечує вирішення важливої науково-технічної проблеми – підвищення ресурсу та надійності деталей засобів транспорту.

Виходячи із цього в дисертаційній роботі поставлені такі задачі:

- проаналізувати технічні вимоги, що висуваються до плунжерних пар, та умови їх експлуатації, а також розробити модель зміни технічного стану прецизійних пар, встановити характер зносу і способів їх відновлення і зміцнення;
- встановити зв'язок між параметрами технологічних процесів відновлення, структурою та властивостями багатокомпонентних покриттів;
- розробити обґрунтування впливу фізико-механічних властивостей матеріалу та інгредієнтного складу поверхневих шарів відновлених пар тертя на безвідмовність роботи паливної апаратури дизелів транспортного призначення;
- розробити математичну модель з визначенням раціональних параметрів відновленого багатокомпонентного покриття плунжерних пар при їх ремонті;
- розробити метод отримання багатокомпонентного покриття в одному технологічному циклі з заданою твердістю і експлуатаційними властивостями відновлених плунжерних пар;
- розробити екологічно чисті ресурсозберігаючі технології відновлення прецизійних пар тертя паливної апаратури і провести порівняльні випробування на зносостійкість відновлених деталей;
- оцінити експлуатаційну надійність відновлених деталей.

Об'єкт дослідження – процеси відновлення і зміцнення деталей при ремонті прецизійних пар тертя.

Предмет дослідження – ресурс деталей дизелів та агрегатів засобів транспорту та їх зносостійкість.

Методи дослідження. Виконані в дисертаційній роботі дослідження засновані на використанні методів: математичної статистики та аналізу статистичних даних, теорії ймовірності для дослідження показників працездатності засобів транспорту, теорії надійності, експертних оцінок і комп'ютерного моделювання, математичної обробки експериментальних даних; методів і засобів експериментального дослідження експлуатаційних властивостей відновлених деталей, методів

системного підходу при формалізації процесу відновлення зношених деталей як цілісної системи при ремонті засобів транспорту.

Достовірність результатів роботи підтверджується стендовими та експлуатаційними випробуваннями, використанням сучасних методів технічних засобів досліджень, а також застосуванням експериментально-теоретичних положень з математичного планування експерименту.

Наукова новизна одержаних результатів. Вирішено науково-прикладну проблему підвищення ефективності ремонту прецизійних пар тертя паливної апаратури транспортних дизелів шляхом вибору раціональних технологічних параметрів нанесення багатокомпонентних покриттів, що дозволило підвищити ресурс і надійність роботи дизелів транспортного призначення.

Вперше:

– розроблено науковий метод формування багатокомпонентних покриттів для відновлення плунжерних пар паливної апаратури транспортних дизелів, який враховує зв'язок між технологічними параметрами процесів нанесення покриттів, структурою, механічними та експлуатаційними властивостями сформованих покриттів;

– отримано та обґрунтовано закономірності зміни зносостійкості та ресурсу відновлених пар тертя від технологічних показників, які визначають механізм зносу багатокомпонентних покриттів, що дозволяє підвищити у 1,5 разу ресурс пар тертя;

– обґрунтовано методологічний підхід щодо вибору технологічної системи отримання багатокомпонентних покриттів на основі забезпечення заданих функціональних властивостей (геометричні, механічні, зносостійкість, ресурс), якості та стабільності отримання покриттів, економії ресурсів всіх видів, безпеки виробництва та вимог екології;

– розроблено математичну модель оцінки впливу технологічних показників, які враховують експлуатаційні властивості покриттів, що дозволяє розробити раціональні режими, інгредієнтний склад матеріалу і технологію відновлення для показників працездатності плунжерних пар і прогнозувати їх стан залежно від експлуатації;

– визначено параметри формування багатокомпонентного покриття при іонно-плазмовій обробці, що призводить до утворення перехідного термозміцнюючого шару в його приповерхневій області, що дозволяє виключити з технологічного циклу відновлення плунжерних пар хіміко-термічну обробку за рахунок використання бінарних і багатокомпонентних матеріалів катодів, які формують покриття з заданим розподілом компонента по товщині, що забезпечує підвищення ресурсу із заданою твердістю і зносостійкістю;

– одержано залежності параметрів технологічних процесів відновлення зношених плунжерних пар, які дають можливість прогнозувати ступінь їхньої подальшої експлуатації.

Удосконалено:

– спосіб вакуум-плазмової обробки при відновленні геометричних розмірів і властивостей плунжерних пар паливної апаратури транспортних дизелів, які відрізняються формуванням структурно-фазового складу багатокомпонентного

покриття, що забезпечило підвищення зносостійкості в 2–3 рази, а це в свою чергу дозволило збільшити ресурс і працездатність паливної апаратури;

- технологію відновлення плунжерних пар паливних насосів із застосуванням багатофункціональних матеріалів катода, який дозволяє здійснювати відновлення до 70% плунжерних пар із зносом до 9 мкм в умовах підприємств транспортного призначення;

- екологічно чисті ресурсозберігаючі технології відновлення прецизійних пар тертя за рахунок формування комбінованих електроерозійних покриттів.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблений комплекс технологічних методів зміни технічного стану (шорсткості, твердості, зносостійкості) прецизійних деталей дизелів засобів залізничного транспорту дозволяє підвищити їх ресурс:

- одержано закономірності зносу деталей плунжерних пар паливних насосів транспортних дизелів, відновлених існуючими методами, і розроблено математичні моделі, які дозволяють прогнозувати їх ресурс і надійність у процесі експлуатації;

- на основі теоретичних і експлуатаційних досліджень розроблено та удосконалено методи, способи і технологію відновлення прецизійних пар тертя паливних насосів дизелів транспортного призначення, які дозволяють підвищити експлуатаційні властивості відновлених деталей шляхом впровадження розробленого методологічного системного підходу, який включає комплексну технологію обробки із зменшенням кількості технологічних операцій;

- на основі розробленої моделі визначено раціональні технологічні параметри процесу відновлення деталей плунжерних пар за рахунок формування багатокомпонентних покриттів із заданим розподілом інгредієнтів по товщині при незмінному складі іонного пучка, що дозволяє підвищити зносостійкість у 1,5 рази і, як наслідок, підвищити ресурс паливних насосів;

- у результаті аналізу триботехнічних характеристик плунжерних пар в умовах експлуатації було доведено, що найбільш повно задовольняють умови експлуатації багатокомпонентні покриття, які складаються зі зносостійкої частини (карбіди і нітриди бору) і антифрикційної (мідь і дисульфід молібдену), формування яких відбувається в плазмоутворюючому середовищі. Ці технологічні операції можна проводити як на ремонтних підприємствах (депо), так і при виготовленні на підприємствах залізничного транспорту;

- розроблено спосіб поверхневого зміцнення коліс суцільнокатаних (патент України № 87796), матеріал для електроіскрового легування (патент України № 92264), спосіб хіміко-термічної обробки залізвуглецевих сплавів (патент України № 101277).

Результати роботи впроваджено при відновленні деталей засобів транспорту в локомотивних депо Південної та Придніпровської залізниць, НТО «Технологія» м. Харкова та Північно-Східному науковому центрі НАН України: на підприємствах транспортного призначення при виготовленні та відновленні обладнання спеціального призначення деталей засобів транспорту. На основі методологічних рекомендацій вдосконалення методів і засобів підвищення зносостійкості плунжерних пар засобів транспорту в технології ремонту запропоновано нове

технічне рішення з оптимізації процесу їх відновлення на підприємствах транспортного призначення.

Матеріали роботи використовуються в навчальному процесі Української державної академії залізничного транспорту при вивченні студентами механічного та будівельного факультетів дисциплін «Технологія конструкційних матеріалів», «Нові матеріали і технології виготовлення деталей», «Ресурсозберігаючі матеріали та технології виготовлення деталей транспортного призначення», «Нові технологічні матеріали та методи неруйнівного контролю», «Нормативне забезпечення якості продукції».

Особистий внесок здобувача. Всі наукові положення, розробки та результати досліджень, що виносяться на захист, отримані особисто автором. Йому належить: визначення напрямів досліджень [2, 4, 40], розроблення та встановлення механічних та експлуатаційних властивостей відновлених деталей і узагальнення результатів [5, 7, 10, 30, 32, 33]; постановка задачі і проведення досліджень, основні технічні рішення і узагальнені ним інтерпретації результатів [3, 8, 9, 21, 27]; одержання вихідних даних і визначення рівня властивостей вузлом засобів транспорту [14, 15, 18, 23, 42]; виконання комплексних досліджень зносостійкості і працездатності відновлених деталей [11, 12, 22, 25, 26, 35]; розроблення методології та обґрунтування системного підходу до вибору технології відновлення деталей і вузлів засобів транспорту [6, 24, 29, 37].

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертації були повідомлені й обговорювалися на 18 міжнародних науково-практичних конференціях і міжнародних науково-практичних семінарах:

– на 9-й, 12-й, 13-й міжнародних науково-технічних семінарах «Сучасні проблеми підготовки виробництва, обробки та складання в машинобудуванні та приладобудуванні» (23–27 лютого 2009 року, м. Свалява-Київ; 20–24 лютого 2012 року, м. Свалява-Київ; 18–22 лютого 2013 року, м. Свалява-Київ);

– на 6-й, 7-й, 8-й, 9-й, 10-й, 12-й, 13-й міжнародних науково-технічних конференціях «Інженерія поверхні і реновація виробів» (30 травня–1 червня 2006 року, м. Ялта-Київ; 29–31 травня 2007 року, м. Ялта-Київ; 27–29 травня 2008 року, м. Ялта-Київ; 25–29 травня 2009 року, м. Ялта-Київ; 24–28 травня 2010 року, м. Ялта-Київ; 04–08 червня 2012 року, м. Ялта-Київ, 03–07 червня 2013 року, м. Ялта-Київ);

– на 7-й, 9-й, 10-й, 11-й міжнародних науково-практичних конференціях «Якість, стандартизація, контроль: теорія і практика» (25–27 вересня 2007 року, м. Ялта-Київ; 21–25 вересня 2009 року, м. Ялта-Київ; 27 вересня – 01 жовтня 2010 року, м. Ялта-Київ; 26–29 вересня 2011 року м. Ялта-Київ) ;

– на 6-й науково-практичній конференції «Модернизация и переоснащение предприятий. Эффективные технологии ремонта и восстановление деталей» (17 жовтня 2012 року, м. Дніпропетровськ);

– на 3-й, 4-й міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології на залізничному транспорті» (26 лютого – 04 березня 2012 року м. Тель-Авів, Ізраїль, 24–31 березня 2013 м. Париж, Франція);

– на IX-й міжнародній науково-практичній конференції «Весник сертификации железнодорожного транспорта» (травень 2013 р., м. Дніпропетровськ).

Основні положення дисертації доповідалися на кафедрі з 2007 по 2013 рр. У повному обсязі дисертаційна робота доповідалася у 2012 р. на розширеному засіданні кафедри «Матеріали і технології виготовлення виробів транспортного призначення» Української державної академії залізничного транспорту за участю членів спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 44 наукові праці, у тому числі основних праць 20 наукових статей (7 з них без співавторів) у фахових виданнях та 3 патенти на винахід, додаткових праць 3 патенти та 18 тез доповідей на наукових конференціях.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, шістьох розділів, висновків, списку використаних джерел та 6 додатків. Повний обсяг роботи складає 337 сторінки, з яких обсяг основного тексту 283 сторінки. Робота ілюстрована 90 рисунками, наведено 40 таблиць, список використаних джерел із 313 найменувань на 32 сторінках і 6 додатків на 22 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації та розглянутої наукової проблеми, сформульовано мету і завдання теоретичних і практичних досліджень, показано зв'язок з науковими темами та програмами, визначено наукову та практичну цінність одержаних результатів, наведено дані про особистий внесок здобувача, публікації, а також результати апробації та впровадження роботи в транспортному машинобудуванні країни, обсяг і структуру дисертації.

У першому розділі проведено аналіз робіт, присвячених підвищенню надійності прецизійних пар паливної апаратури.

Довговічність, економічність, стабільність і токсичність транспортних дизелів значною мірою визначаються технічним станом паливної апаратури.

Паливні системи дизелів повинні виконувати такі функції:

- відміряти певну кількість палива відповідно до режиму роботи дизеля;
- забезпечувати подачу палива під високим тиском;
- подавати паливо за певним законом;
- добре розпилювати паливо;
- чітко відсікати подачу палива;
- забезпечувати ідентичність впорскування палива по окремих циліндрах;
- здійснювати ефективну фільтрацію палива.

У процесі експлуатації відбувається зміна і погіршення всіх перерахованих вище параметрів паливної системи. При цьому зменшується циклова подача палива, збільшується нерівномірність подачі палива по циліндрах двигуна, а також знижується тиск початку впорскування.

Все це призводить не тільки до незадовільної роботи дизеля, а й до збільшення витрати палива. Так, при збільшенні кута випередження початку подачі палива на 5° збільшується витрата палива на 4-8 % і підвищується швидкість зношування на 30 %

циліндропоршневої групи. При зниженні тиску впорскування форсункою на 2–5 МПа витрата палива може зростати до 20 %. Збільшення нерівномірності подачі палива у циліндри до 18 % призводить до підвищення на 6–8 % витрати палива.

Основними елементами паливної апаратури, від яких залежить її працездатність, є прецизійні деталі: плунжерні пари, розпилювачі форсунок і нагнітальні клапани. Прецизійні деталі працюють у важких умовах і можуть нагріватися до температури 525 К (корпус розпилювача) і остигати до 227 К, зазнавати великих тисків і періодичних ударних навантажень, піддаватися абразивному зношуванню і впливу агресивного середовища внаслідок недостатнього очищення палива.

Особлива значущість прецизійних пар для паливної апаратури визначається розробленням Державних стандартів, що регламентують вимоги до виготовлення та методів випробувань.

До прецизійних деталей висувають дуже високі вимоги як щодо величини зазора, геометричної форми, шорсткості поверхні, так і до фізико-механічних властивостей: твердості, зносо- і корозійностійкості, розмірної стабільності при зберіганні, а також здатності працювати при підвищених температурах.

На підставі аналізу вітчизняних і зарубіжних літературних джерел і виконаних досліджень встановлено, що через недосконалість експлуатаційно-технологічних вимог до прецизійних деталей найбільша кількість відмов відбувається через нерівномірність подачі палива.

Основною причиною такого стану є комплектування прецизійних деталей з різними геометричними і фізико-механічними властивостями.

Теоретичною та методологічною основою досліджень способів і технологічних процесів експлуатації технічного обслуговування і ремонту транспортних засобів, відновлення їх деталей є роботи вчених і спеціалістів з проблем теорії організації ремонтного виробництва та ремонту засобів транспорту: Бодняря Б.Є., Бутько Т.В., Гетьмана Г.К., Грищенка С.Г., Голубенка О.Л., Горобця В.Л., Данька М.І., Дьоміна Ю.В., Кельріха М.Б., Котенка А.М., Косова Є.Є., Кудряша А.П., Мямліна С.В., Мовшовича А.Я., Маслієва В.Г., Мороза В.І., Нагірного Є.В., Остапчука В.М., Самсонкіна В.М., Тартаковського Е.Д., Ткаченка В.П., Фалендиша А.П. та інших.

Підвищення рівня надійності паливної апаратури в експлуатації можливе шляхом оновлення нормативно-технічної документації на її виготовлення, експлуатацію та ремонт. Безвідмовність прецизійних деталей в експлуатації обумовлюється в основному геометричними параметрами, фізико-механічними властивостями і якістю фільтрації палива.

В існуючих технічних вимогах на ремонт паливної апаратури не враховуються дані про контроль або облік фізико-механічних властивостей при дефектації та комплектації прецизійних деталей.

Найбільш перспективним напрямком вирішення завдання є підвищення безвідмовності паливної апаратури в сучасних умовах є вдосконалення технології виготовлення і ремонту з урахуванням геометричних та фізико-механічних

параметрів. При цьому не потрібно нових конструкторсько-технологічних рішень, переозброєння виробництва і великих матеріальних витрат.

У другому розділі було досліджено та узагальнено несправності паливних насосів і систем транспортних засобів, а також проаналізовано причини зношеного стану плунжерних пар паливних насосів високого тиску (ПНВТ) і способи відновлення і зміцнення деталей плунжерних пар.

Несправності в механізмах, вузлах паливних насосів і регуляторів проявляється в порушенні вихідних регулювань від зношування деталей, у виникненні сторонніх шумів, перегріві рухом з'єднань і витоку палива.

Основною причиною несправності насоса є знос його деталей. При цьому послаблюються натяги в нерухомих посадках і збільшується зазор у рухомих з'єднаннях, порушується правильне взаємне розташування деталей, змінюється поверхнева твердість деталей, накопичуються сторонні відкладення у вигляді бруду, нагару та ін.

Одна з найпоширеніших несправностей насоса – зменшення подачі палива та зростання її нерівномірності. Порушення паливоподачі викликається зносом плунжерних пар, нагнітальних клапанів, повідків плунжерів і пов'язаних з ними хомутиків рейки, зубів рейки і зубчастого вінця втулки (насоси типу УТН-5, ЯМЗ-238 НБ), зміною пропускної спроможності форсунок та іншими факторами. При цих порушеннях знижується потужність і економічність двигуна. Нерівномірна подача палива в циліндри двигуна призводить до нестійкої роботи його на малих обертах, перебоїв у роботі окремих циліндрів, значної вібрації блока двигуна.

Інша несправність паливного насоса виявляється в запізнюванні моменту впорскування і нерівномірності початку впорскування у багатосекційному насосі.

Запізнення моменту впорскування – наслідок зносу цілого ряду деталей. З простих деталей до них належать площина регулювального болта штовхача; вісь ролика і сполучні з нею корпус штовхача і ролик; шарикопідшипники і сполучні з ним гнізда корпусу насоса; кулачковий вал. На зміну кута випередження впорскування палива істотно впливають зноси плунжерних пар і нагнітальних клапанів. Одним з основних і найбільш складних вузлів дизельного двигуна є паливний насос високого тиску (ПНВТ), агрегат, за допомогою якого паливо подається таким чином, щоб утворювати горючу суспензію, змішану з повітрям.

У свою чергу, найважливішим елементом ПНВТ є плунжерна пара (рис. 1), за допомогою якої здійснюється подача і розподіл палива.



Рисунок 1 – Плунжерна пара паливного насоса високого тиску

Плунжерна пара складається з двох елементів: втулки і самого плунжера подовженого поршня, що має циліндричну форму (рис. 2).

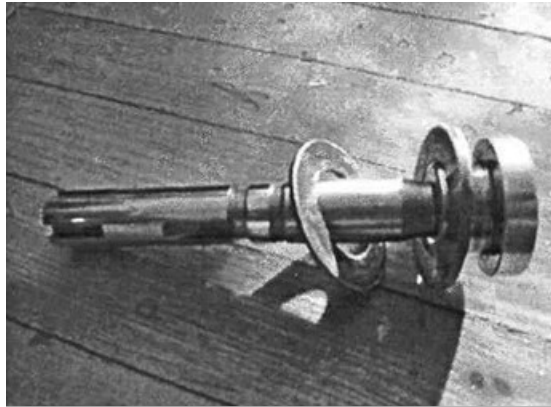


Рисунок 2 – Прецизійна пара деталей втулки і плунжера

Плунжерні пари працюють у складних умовах.

При цьому мають місце високі тиски і швидкість робочого середовища, що містить тверді абразивні частинки різних розмірів.

Знос деталей плунжерних пар відбувається через мінеральні частинки, що входять до складу забруднень.

Вивчення складу мінеральних частинок дозволило встановити, що 90% їх складається з кварцу і оксидів металів (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , ZnO та ін.). Мікротвердість таких абразивних частинок досить висока. Так, мікротвердість оксиду алюмінію становить 12000...13000 МПа, а кварцу – 10300...11000 МПа, тоді як мікротвердість робочих поверхонь деталей плунжерних пар становить 9000...10500 МПа, звідси стає очевидною причина абразивного зносу деталей плунжерних пар.

Наявність абразивних частинок у паливі, співвідношення їх розмірів з зазорами в плунжерних парах і висока швидкість руху палива відносно поверхонь деталей зумовлюють їх гідроабразивний знос і абразивне стирання внаслідок защемлення частинок у зазорі.

Гідроабразивний знос являє собою процес спільної дії абразивних частинок і рідини, що несе ці частинки.

Знос відбувається в результаті зрізання мікростружок поверхні, вибивання окремих її частинок, вимивання мікроскопічних об'ємів, проникнення рідини, що знаходиться під високим тиском, у дефектні осередки, що супроводжується розклинювальною дією.

Знос затиснутими в зазорі частинками може мати місце в будь-якій зоні сполучних поверхонь плунжерних пар, а гідроабразивному зносу можуть піддаватися лише ті ділянки поверхонь, які стикаються з рухомим паливом.

Процес зношування плунжерних пар протікає так, як показано на рис. 3.

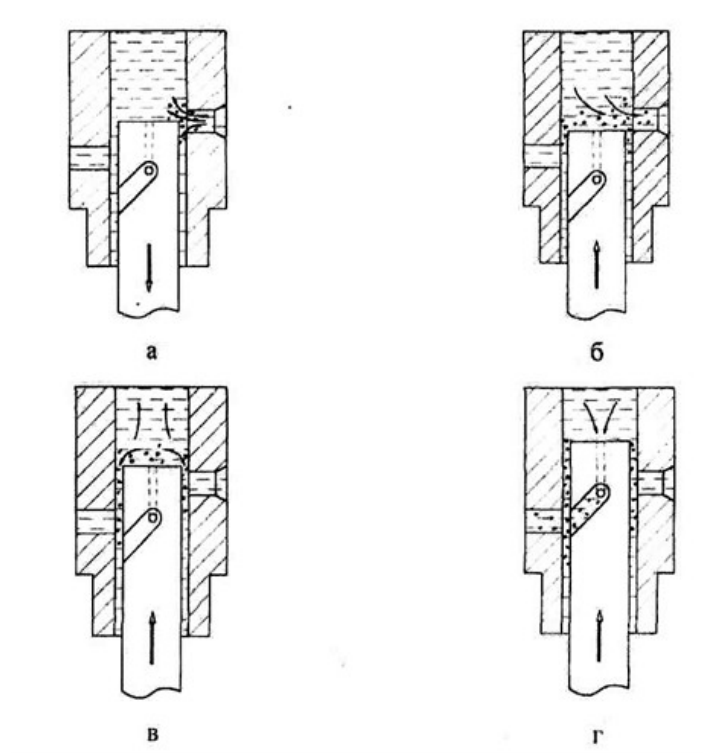


Рисунок 3 – Механізм зносу плунжерних пар: а – момент подачі палива;
 б – початковий момент нагнітання; в – момент нагнітання палива;
 г – момент відсічення подачі

У момент подачі палива через впускне вікно гільзи (рис. 3, а) абразивні частинки, що містяться в паливі, зношують кромки впускного вікна гільзи і кромку плунжера навпроти впускного вікна гільзи.

У початковий момент нагнітання (рис. 3, б) і при відсіченні подачі (рис. 3, в) рухомі разом з паливом тверді абразивні частинки наносять мікроподряпини на кромках вікон гільзи (на ділянках перекриття вікон) і плунжера і на безпосередньо прилеглих до них ділянках поверхонь.

При відсіченні подачі (рис. 3, г) має місце завихрення, що виходить з великою швидкістю в перепускне вікно струменя палива.

У результаті завихрення окремі струмені палива з абразивними частинками, що містяться в ньому, вдаряються об поверхню плунжера, розташовану вище відсічної кромки. Внаслідок численних ударів абразивними частинками на зазначеній поверхні плунжера утворюються численні мікроскопічні вм'ятини. Рухоме паливо розмиває дефектні осередки (подряпини і каверни).

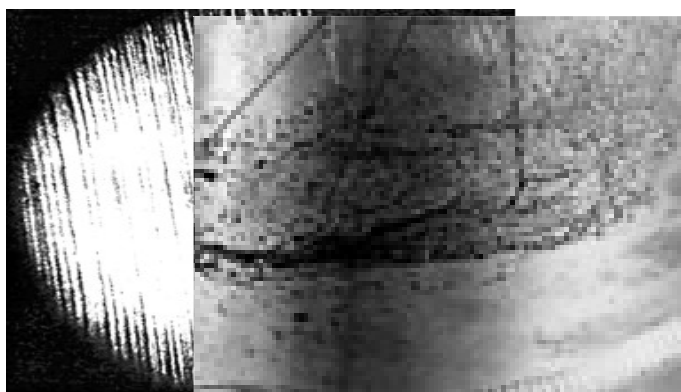
У процесі нагнітання при перекритих вікнах гільзи (рис. 3, в) разом з паливом, що просочується по найкоротших шляхах у вікна гільзи, у зазор між плунжером і гільзою заносяться абразивні частинки.

Дрібні і співмірні з зазором абразивні частинки протягуються між поверхнями плунжера і втулки рухомим паливом і за рахунок цього руху утворюють подряпини на поверхнях як плунжера, так і втулки плунжера. Великі частинки, потрапляючи в зазор між плунжером і втулкою, затискаються і зношують зв'язані поверхні.

Занесені паливом і затиснені в зазорі частинки зношують поверхні деталей плунжерних пар і після відсічення подачі.

Таким чином, зношування плунжерних пар є гідроабразивним за своїм характером і супроводжується защемленням абразивних частинок.

Знос утворює рухоме паливо і всі частинки, що містяться в ньому призводить до появи на робочих поверхнях плунжерної пари глибоких борозен і виривання металу (рис. 4).



×100
а)

×100
б)

Рисунок 4 – Зовнішній вигляд поверхонь:
а) зношеного плунжера; б) втулки

При одній і тій самій концентрації абразивних частинок у паливі потрапляння в зазор визначається інтенсивністю просочування палива.

Тому інтенсивність зношування плунжерних пар при всіх інших рівних умовах визначається величиною витоків палива, що відбуваються через зазори в плунжерних парах при нагнітанні.

Підвищення інтенсивності просочування палива призводить до більшої інтенсивності зношування плунжерних пар також внаслідок більшої швидкості руху палива абразивних частинок, що і містяться в ньому.

Крім абразивних частинок у дизельному паливі присутня вода, яка сприяє утворенню слабких і сильних електролітів водорозчинних кислот, що є найбільш активними реагентами електрохімічної корозії.

Вода і розчинені в ній речовини викликають сильну корозію деталей системи живлення і призводять до додаткового засмічення палива продуктами корозії, відкладення їх на стінках паливних баків, паливопроводів, потрапляння в зазори прецизійних деталей.

Описані характер і механізм зношування дозволяють зробити висновок про те, що знос деталей носить складний гідроабразивний характер.

У середньому плунжер зношується в 1,5–2 рази більше, ніж втулка, і величина його зношення не перевищує 40 мкм.

Тому для підвищення довговічності плунжерних пар при їх відновленні необхідно на поверхні плунжера створити шар товщиною не більше 60 мкм (враховуючи максимальну величину зносу плунжера і припуски на механічну обробку), що має достатню мікротвердість (порівняно з мікротвердістю основних абразивів мікротвердість поверхні плунжера повинна перевищувати 13000 МПа) і високу корозійну стійкість.

На сьогодні існує цілий ряд способів відновлення і зміцнення плунжерних пар паливних насосів такими методами: перекомплектування; виготовлення ремонтної деталі; пластичне деформування втулки плунжера; хімічне нікелювання; повторне азотування; дифузійне хромування плунжера; борирування втулки і плунжера; сульфоборирування; хромування плунжера.

Проведений аналіз показав, що існуючі способи відновлення і зміцнення зношених деталей плунжерних пар мають багато недоліків, внаслідок чого потрібним є розроблення способів більш технологічних, відносно нескладних, нетрудомістких, а також таких, що відбуваються при низьких температурах з метою уникнення порушення термообробки і появи жолоблення деталей.

У **третьому розділі** розроблено модель зміни технічного стану прецизійних пар і зроблено теоретичне обґрунтування впливу геометричних і фізико-механічних властивостей на безвідмовність паливної апаратури.

Зміна технічного стану прецизійних деталей відбувається випадково як у часі, так і за величиною, і залежить від ряду експлуатаційних і ремонтно-технологічних факторів.

У загальному вигляді модель зміни технічного стану прецизійних пар (ПП) паливної апаратури, можна надати у вигляді схеми (рис. 5).

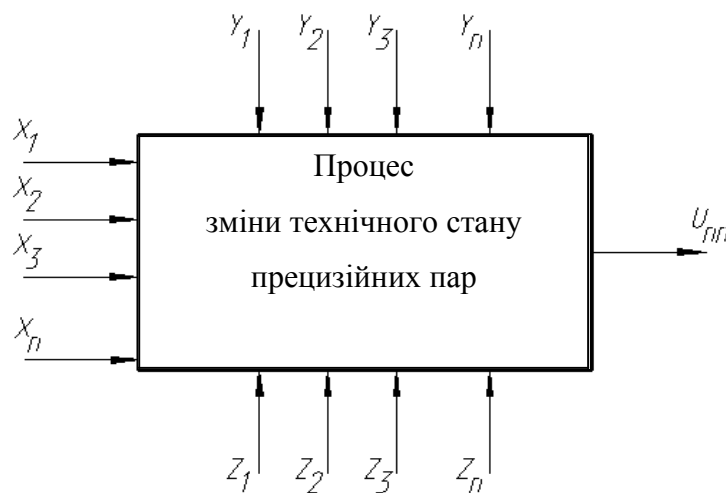


Рисунок 5 – Модель процесу зміни технічного стану прецизійних пар

Зі схеми видно, що зміна технічного стану прецизійних пар залежить від ряду керованих факторів X , якими можна оперувати при виготовленні і ремонті паливної апаратури. До них належать твердість деталей, матеріал, з якого вони виготовлені, зазори в з'єднанні деталей і т. д. До другої групи факторів Y – контрольованих, але некерованих – належать температура, тиск, вологість навколишнього середовища і т. д. Третя група факторів Z є неконтрольованою і некерованою. Сюди відносять, наприклад, зміну фізичних властивостей матеріалу деталей у часі.

Таким чином, рівняння, що описує зміну технічного стану прецизійних пар у загальному вигляді, буде виглядати так:

$$U_{\text{шт}} = F(X, Y, Z) \quad (1)$$

Внаслідок наявності великої кількості факторів вивести аналітичні вирази, що описують зміну технічного стану прецизійних пар, не є можливим.

При експлуатації паливної апаратури контроль технічного стану здійснюється при проведенні технічних обслуговувань і ремонтів.

За результатами контролю технічний стан паливної апаратури оцінюється як працездатний, якщо значення всіх параметрів, що характеризують здатність паливної апаратури виконувати задані функції, відповідають всім вимогам нормативно-технічної документації, або як відмова, тобто подія, що полягає в порушенні працездатності. Основними показниками безвідмовності паливної апаратури є параметр потоку та інтенсивність відмов, напрацювання на відмову та ймовірність безвідмовної роботи.

Імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ – це ймовірність того, що в межах заданого напрацювання відмови розглянутого об'єкта не виникне. Імовірність безвідмовної роботи є функцією часу і статистично визначається відношенням кількості об'єктів, що безвідмовно працювали до якого-небудь напрацювання, до загальної кількості об'єктів.

При розрахунку показників безвідмовності іноді більш зручною характеристикою є ймовірність несправної роботи, або ймовірність відмови. Імовірність відмови $Q(t)$ пов'язана з ймовірністю безвідмовної роботи співвідношенням

$$Q(t) = 1 - P(t) \quad (2)$$

Інтенсивність відмов є функцією напрацювання і визначається за формулою

$$\lambda = \frac{1}{t_0} \quad (3)$$

де λ – середнє напрацювання на відмову.

При визначенні показників безвідмовності враховують наслідки, до яких призводять відмови, і складність відновлення працездатності шляхом поділу відмов на три групи складності.

Перша група – відмови, що усуваються ремонтом або заміною деталей. Друга група – відмови, що усуваються ремонтом або заміною легкодоступних вузлів і агрегатів. Третя група – відмови, для усунення яких необхідна розбирання паливного насоса. Імовірність безвідмовної роботи прецизійних пар можна виразити аналітичною залежністю, використовуючи при цьому положення теорії графів. Застосування теорії графів для аналізу випадкових процесів передбачає використання геометричної схеми, так званого графа станів. Випадковий процес виникнення відмов прецизійних пар можна описати з дискретними станами і безперервним часом. На рис. 6 подано розмічений граф стану прецизійних деталей паливної апаратури.

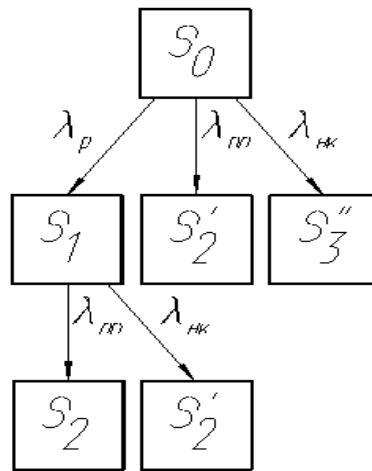


Рисунок 6 – Розмічений граф станів прецизійних деталей

Зі схеми видно, що паливна апаратура подана у вигляді деякої системи, яка може перебувати в одному з декількох дискретних станів: S_0 – все прецизійні деталі знаходяться в працездатному стані, S_1 – сталася відмова розпилювача форсунки, S_1' – сталася відмова плунжерної пари, S_1'' – сталася відмова нагнітального клапана, S_2 – після відмови розпилювача сталася відмова плунжерної пари, S_2' – після відмови розпилювача сталася відмова нагнітального клапана. Перехід системи з одного стану в інший здійснюється під впливом потоків відмов з інтенсивностями λ_p (інтенсивність потоку відмов розпилювачів форсунок), λ_{mn} (інтенсивність потоку відмов плунжерних пар), λ_{nk} (інтенсивність потоку відмов нагнітальних клапанів). Очевидно, що сума імовірностей всіх подій у будь-який момент часу t буде дорівнює одиниці:

$$\sum_i P(t) = 1. \quad (4)$$

Визначимо імовірності потрапляння системи в кожний з можливих станів. Для цього можна використовувати рівняння Колмогорова, які складаються за правилом:

похідна імовірності будь-якого стану дорівнює сумі потоків вірогідності, що переводять систему в цей стан, мінус сума всіх потоків вірогідності, що виводять систему з цього стану.

$$\frac{dP(t)}{dt} = P_j(t) \sum_{j=1}^n \lambda_j(t) - P_i(t) \sum_{i=1}^n \lambda_i(t) . \quad (5)$$

Імовірність безвідмовної роботи паливної апаратури з урахуванням відмов будь-яких з трьох труднощів буде дорівнювати:

$$P'' = 1 - Q''_{\text{пд}} . \quad (6)$$

Залежності ймовірностей безвідмовної роботи від напрацювання подано на рис. 7.

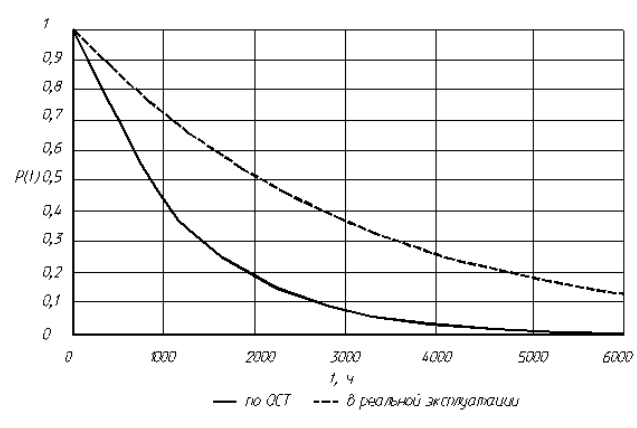


Рисунок 7 – Графік залежності ймовірності безвідмовної роботи прецизійних деталей від напрацювання

З графіка видно, що ймовірність роботи прецизійних деталей значно нижче тієї, яка задана. При цьому особливо різко ймовірність безвідмовної роботи знижується в перші 2000 год., за кожні 1000 год. вона знижується більш ніж удвічі, а при напрацюванні 6000 год., яку повинні забезпечувати плунжерні пари і нагрівальні клапани, ймовірність їх безвідмовної роботи практично дорівнює 0.

Таким чином, на інтенсивність виникнення відмов і зношування прецизійних деталей значний вплив матиме правильний вибір їхніх геометричних параметрів. У нових прецизійних деталях завжди має місце розсіювання початкових показників (у т. ч. геометричних параметрів, фізико-механічних властивостей) щодо свого математичного сподівання (рис. 8).

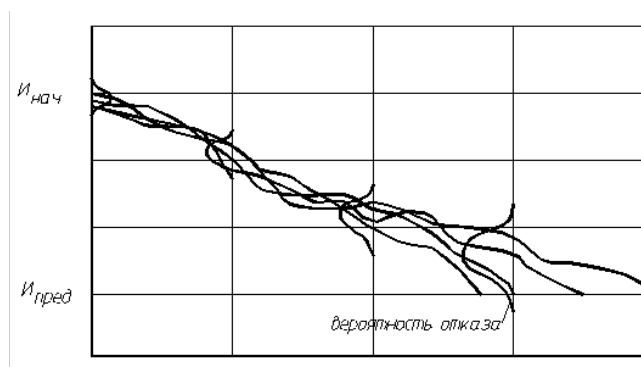


Рисунок 8 – Теоретичні залежності формування відмов від напрацювання

Під впливом цих факторів відбувається формування закону розподілу показника при будь-якому фіксованому напрацюванні t_1 , t_2 , t_3 і т. д., який визначає ймовірність виходу показника за граничне значення, тобто імовірність відмови.

Таким чином, встановлюючи різні значення початкових показників (геометричні параметри, фізико-механічні властивості) і управляючи зовнішніми факторами впливу (кількість і розмір абразивних частинок у паливі), можна збільшити безвідмовність роботи прецизійних деталей.

Використання теорії випадкових процесів дозволило визначити аналітичні залежності безвідмовної роботи прецизійних деталей при різних фізико-механічних властивостях і геометричних параметрах.

У четвертому розділі розглянуто оцінку технологічних методів підвищення зносостійкості прецизійних пар тертя і демпфіруючу дію покриття в умовах абразивного зношування.

Руйнування поверхонь тертя при абразивному зношуванні відбувається внаслідок різання і дряпання.

Цей процес дуже складний і залежить, головним чином, від ступеня фіксації абразивних частинок. При цьому ступінь фіксації визначається як різниця сил тертя між частинками і поверхнею, що зношується.

Активні частинки під дією зовнішніх сил у точках дотику з металом зазнають великих питомих навантажень і тангенціальних зусиль, що призводять до зламу і дроблення частинок.

Існують дві чітко виражені форми прояву абразивних процесів, що відрізняються характером взаємодії часток з поверхнею металу:

- з переважанням механічно-хімічного руйнування (пластичне деформування поверхневих об'ємів, їх окислення і подальше руйнування утворюваних плівок);
- з переважанням механічного руйнування металу поверхневих шарів (проникнення абразивних частинок, руйнування поверхневих об'ємів металу без відділення частинок основного металу або зі зняттям мікростружки).

Аналіз результатів лабораторних випробувань паливної апаратури з імітацією деяких експлуатаційних факторів при експлуатації машин і досліджень робочих поверхонь прецизійних деталей дозволяє охарактеризувати механізм абразивного зношування: абразивні частинки, опинившись у зазорі прецизійних деталей паливної апаратури, можуть обертатися, ковзати або закріплюватися на поверхні нерухомої деталі (втулці і сідлі).

При цьому вони починають пластично деформувати робочу поверхню плунжера і клапана (золотникова частина – зона впускного отвору втулки, розвантажувальний пояс).

Це явище призводить до зношування, зниження працездатності паливної апаратури і відповідно, – до погіршення робочого процесу в двигуні. Розглянуто процес взаємодії абразивної частинки з поверхнями деталей прецизійних пар паливної апаратури у присутності комплексного покриття, що виконує демпфірувальну роль.

На рис. 9 наведено схему обертального руху абразивної частинки в зазорі. Шар поверхнево-активних речовин (жирних кислот ріпакової олії) на поверхнях тертя має пом'якшувальну дію на абразивну частинку, у результаті чого знижується глибина впровадження нерівностей абразиву в матеріал деталі.

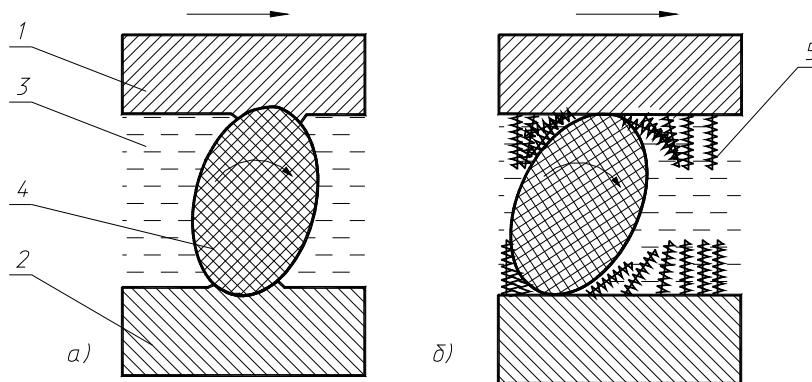


Рисунок 9 – Схема обертального руху частинки в зазорі:

а – при змащенні товарним дизельним паливом, б – при змащенні сумішевим мінерально-рослинним паливом; 1 – плунжер; 2 – втулка; 3 – мастильне середовище; 4 – абразивна частинка; 5 – демпфірувальна плівка

Відбувається деформація зсуву адсорбованого молекулярного шару, у результаті чого частина енергії впливу абразивної частинки витрачається на подолання опору захисної плівки.

На рис. 10 наведена схема ковзання абразивної частинки в зазорі прецизійної пари при змащенні товарним дизельним паливом і при змащенні сумішевим мінерально-рослинним паливом.

Дія захисної плівки є подібною попередньому випадку. Відбувається деформація зсуву молекулярного захисного шару, і вплив нерівностей зерна абразиву на поверхню тертя знижується.

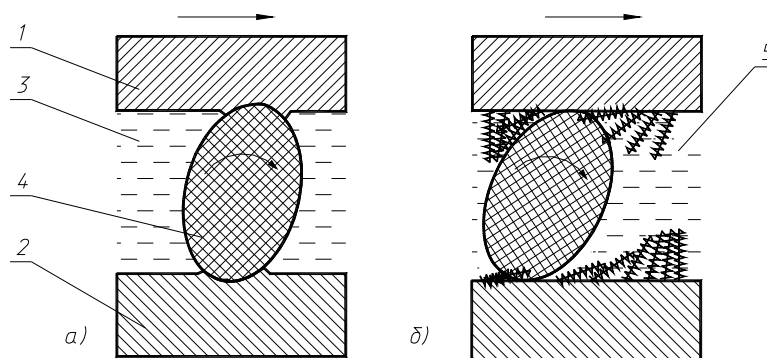


Рисунок 10 – Схема ковзання абразивної частинки в зазорі прецизійної пари:

а – при змащенні товарним дизельним паливом; б – при змащенні сумішевим мінерально-рослинним паливом; 1 – плунжер; 2 – втулка; 3 – мастильне середовище; 4 – абразивна частинка; 5 – демпфірувальна плівка

Враховуючи попередні приклади, можна сказати, що імовірність виникнення третього випадку – закріплення абразивного зерна на нерухомій поверхні - знижується внаслідок протидії демпфірувальної плівки впровадженню нерівності частинки в матеріал деталі на достатню для закріплення глибину, тому що опір демпфірувальної плівки є стиснутим максимально. У разі ж закріплення абразивної частинки на поверхні нерухомої деталі буде мати місце процес, схожий на зображений на рис. 11.

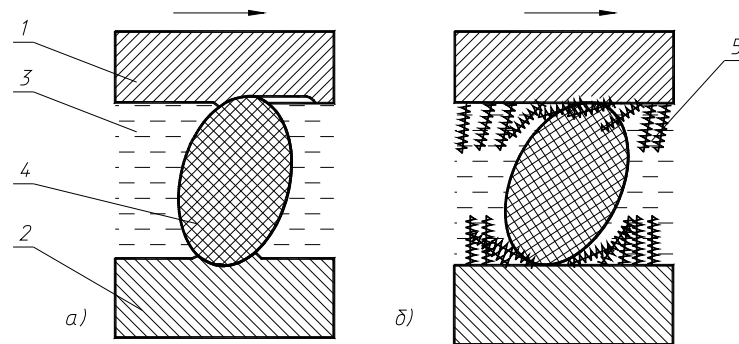


Рисунок 11 – Схема дії абразивної частинки, що закріпилася на нерухомій деталі прецизійної пари:

а – при змащенні товарним дизельним паливом; б – при змащенні сумішевим мінерально-рослинним паливом; 1 – плунжер; 2 – втулка; 3 – мастильне середовище; 4 – абразивна частинка; 5 – демпфірувальна плівка

Наведені схеми ілюструють процес тертя в плунжерній парі паливного насоса високого тиску. Проте в інших прецизійних парах дизельної паливної апаратури (нагнітальний клапан-сідло, розпилувач-голка розпилувача) мають місце аналогічні явища.

Схеми є умовними, оскільки насправді має місце відрив з поверхні тертя одних молекул поверхнево-активних речовин і одночасна абсорбція інших. До того ж у початковий період роботи з'єднання, коли демпфірувальна плівка ще не

утворилася, буде мати місце абразивний знос, присутній у роботі на товарному паливі.

Знос деталей плунжерних пар можна подати як

$$G = G_1 + G_2 + G_3, \quad (7)$$

де G – сумарний ваговий знос плунжера, мг;

G_1 – знос за рахунок дії абразивних частинок з розмірами, дещо меншими величини зазора, мг;

G_2 – знос за рахунок дії абразивних частинок, розмір яких істотно перевищує зазор плунжерної пари, мг;

G_3 – знос за рахунок дії гідроабразивного потоку, мг.

Зноси G_2 і G_3 мають набагато менше значення, ніж знос G_1 , і виражаються у частинах від нього.

Експериментально встановлено, що знос G_1 характеризується частинками, розмір d яких задовольняє умову

$$0 \leq d \leq 1,03\delta, \quad (8)$$

де δ – зазор у сполученні.

Розмір абразивного зерна і поверхнева твердість матеріалу поряд з тиском і за рахунок тертя відіграють важливу роль у механізмі зносу. У зв'язку з цим знос нерухомим абразивним зерном розраховується за формулою

$$g = \gamma \cdot V_1, \quad (9)$$

де V_1 – об'ємний знос, мм³;

γ – щільність досліджуваного матеріалу.

$$V_1 = a_3 \cdot \frac{P \cdot S \cdot d}{H}, \quad (10)$$

де a_3 – коефіцієнт (1/м);

P – навантаження, кг;

H – твердість металу, кг/мм²;

d – розмір абразивного зерна, мм;

S – шлях тертя, м.

Знос можна визначити так:

$$G_1 = a_5 \cdot a_6 \cdot a_7 \cdot \frac{\gamma \cdot P \cdot S \cdot \delta \cdot N}{H} (a_{кв} + a_{зл}) \frac{Q_1}{Q} \cdot K_{(\delta)}, \quad (11)$$

де a_5 – коефіцієнт, що враховує форму абразивних частинок;

a_6 – коефіцієнт, що враховує кочення абразивних частинок;

a_7 – коефіцієнт пропорційності, 1/см;

γ – щільність матеріалу плунжера;

P – навантаження на одиничну абразивну частинку, кг;

H – твердість металу плунжера, кг/мм²;

δ – діаметральний зазор пари, мм;

S – шлях тертя, м;

Q_1 – витік палива, см³/хв.;

Q – витрата палива, см³/хв.;

N – кількість подач палива за час роботи плунжера;

$a_{кв}$ – коефіцієнт, що враховує абразивні властивості кварцових частинок забруднень;

$a_{гл}$ – коефіцієнт, що враховує абразивні властивості частинок глинозему;

$K_{(\delta)}$ – середня кількість абразивних частинок даної фракції (δ) в паливі за одну подачу.

Або

$$G_1 = a_5 \cdot a_6 \cdot a_7 \cdot \gamma \cdot V_1 \cdot S \cdot \delta \cdot N (a_{кв} + a_{гл}) \frac{Q_1}{Q} \cdot K_{(\delta)} \quad (12)$$

Величина зносу згідно з даною формулою залежить від об'єму металу, видаленого кожною абразивною часткою. Цей об'єм залежить від розміру частинки і глибини її проникнення в матеріал.

Знос за певний час роботи становить

$$U = \left(V_{op} + \frac{V_{пл}}{n_p} \cdot \frac{n_{обр} \cdot K \cdot m \cdot T}{A_a} \right) \quad , \quad (13)$$

де V_{op} – прониклий об'єм частинки при дробленні, мкм³;

$V_{пл}$ – об'єм, який бере участь у пластичній деформації, мкм³;

n_p – кількість циклів, які призводять до руйнування матеріалу при пластичних деформаціях;

$n_{обр}$ – кількість абразивних частинок, шт.;

K – коефіцієнт дроблення;

m – кількість циклів за 1 год. роботи паливної апаратури;

T – час роботи паливної апаратури, год.;

A_a – номінальна площа тертя.

$$V_{op} = \frac{1}{6} \cdot \pi \cdot h_{op} \cdot \left[3 \cdot (2a)^2 + h_{op}^2 \right] \quad , \quad (14)$$

де V_{op} – прониклий об'єм частинки при дробленні, мкм³;

$2a$ – довжина хорди, обумовлена глибиною проникання і радіусом абразивної частинки, мкм;

h_{op} – глибина проникання частинки в матеріал поверхні тертя до дроблення.

Об'єм металу, що піддається тільки пластичній деформації,

$$V_{пл} = V_{деф} - V_{упр} \quad . \quad (15)$$

Загальний об'єм металу, що піддається пластичному і пружному деформуванню $V_{деф}$, розраховується з геометрії усіченого конуса, утвореного в

результаті відносного ковзання і одночасного проникання абразивної частинки в поверхню тертя :

$$V_{\text{деф}} = \frac{1}{3} FL, \quad (16)$$

де F – площа основи усіченого конуса, відповідного моменту дроблення частинки, мкм^2 ;

L – висота усіченого конуса, дорівнює глибині впровадження частинки в матеріал поверхні тертя, тобто $L = h_{\text{кін}}$.

Величина зносу також залежить від глибини проникання абразивної частинки.

Для пластичного контакту коефіцієнт тертя розраховують за формулою

$$f = \frac{\tau_0}{c \cdot \sigma_s} + \beta + 0.4 \sqrt{\frac{h_{\text{кін}}}{R_{\text{вн}}}} \quad (17)$$

де f – коефіцієнт тертя;

τ_0 – межа міцності на зріз адгезійних зв'язків;

c – коефіцієнт форми одиничної нерівності;

σ_s – межа плинності матеріалу;

β – п'єзокоефіцієнт, що характеризує збільшення міцності на зріз від нормального тиску;

$h_{\text{кін}}$ – глибина проникання абразивної частинки;

$R_{\text{вн}}$ – радіус проникаючого виступу.

Величина $\frac{\tau_0}{c \cdot \sigma_s} + \beta$ – адгезійна складова коефіцієнта тертя, а величина $0.4 \sqrt{\frac{h_{\text{кін}}}{R_{\text{вн}}}}$

– його деформаційна складова.

При нанесенні комплексного покриття коефіцієнт тертя в з'єднанні зменшується, отже, повинна зменшуватися $h_{\text{кін}}$, оскільки на форму абразивної частинки покриття не впливає. Тому можна зробити висновок, що зниження коефіцієнта тертя при абразивній взаємодії відбувається за рахунок зменшення глибини проникання частинки в поверхню металу.

Знос поверхні тертя в процесі абразивного зношування прецизійних пар паливної апаратури зобразимо у вигляді функції:

$$i = f(T, n, V_{\text{абр}}), \quad (18)$$

де i – об'ємний знос поверхні тертя, мм^3 ;

T – час роботи з'єднання, час;

V – об'єм матеріалу, вилученого однією абразивною часткою, мм^3 ;

n – кількість абразивних частинок, що проходять через сполучення за одиницю часу, шт./год.

У п'ятому розділі розроблено технології нанесення покриттів на деталі паливної апаратури при їх виготовленні і відновленні. Розглянуто тонкоплівкові технології модифікації поверхні, іонну обробку деталей з високою чистотою

поверхні, формування покриттів з регульованим хімічним складом з утворенням перехідного шару.

Тип покриття визначається характером зносу деталей пар тертя. Умови експлуатації деталей висувають ряд цілком певних вимог до фізико-механічних властивостей матеріалів покриття. Вони повинні мати високі мікротвердість і теплопровідність, що дозволяє їм протистояти процесам стирання і абразивного зношування. Крім того, ці матеріали повинні відрізнятися хімічною інертністю, що перешкоджає розвитку окисного процесу і характеризується високою температурою плавки, що при відповідній структурі взаємодіючих поверхонь дозволяє блокувати вогнища скріплення. Альтернативний характер властивостей матеріалів зносостійких і антифрикційних покриттів дозволяє зробити висновок про те, що покриття деталей повинні являти собою або багат шарове покриття з певними фізико-механічними властивостями кожного з шарів, або одношарові багатокомпонентні покриття із заданим розподілом компонентів по товщині.

Формування на поверхні виробів багат шарових покриттів дозволяє в дуже широкому діапазоні модифікувати властивості їхніх робочих поверхонь, а також змінювати ці властивості за заданим законом зі зношуванням поверхневих шарів.

Дослідження елементного складу поверхневих шарів покриттів показує, що при достатньо великих товщинах покриття (10–15 мкм) елементний склад поверхневого шару практично не залежить від матеріалу підкладки і визначається тільки співвідношенням компонентів у плазмоутворюючому газі і режимами його конденсації, а також адсорбційною здатністю самого покриття.

При нанесенні покриттів з сульфиду молібдену в азотному середовищі на сталеві деталі в умовах зменшення температури було отримано такий розподіл компонентів, як у табл. 1.

Таблиця 1 – Хімічний склад покриттів, що містять MoS₂

Вид поверхні	Склад елементів, % мас						
	C	N	O	Fe	Mo	S	Cu
Зовнішня поверхня	2,5	19,6	13,8	1,0	50,1	10,5	2,5
Внутрішня поверхня	2,7	27,0	-	5,3	61,3	-	5,5

Спектрограми ОРП, зняті з цих покриттів, показують підвищену концентрацію заліза як у тілі плівки, так і на її поверхні (рис.12). Це обумовлено тим, що за наявності газу-реагенту в плазмоутворюючому середовищі оброблювані поверхні деталей піддаються більш жорсткому іонному бомбардуванню, що значно підвищує швидкості протікання дифузних процесів.

Розшифровка спектрограм ОРП показує, що при даній технології нанесення і молібден, і сірка досить глибоко (до 0,5 мкм) проникають у тіло деталі, забезпечуючи тим самим високу адгезію покриття до оброблюваної поверхні (рис. 13).

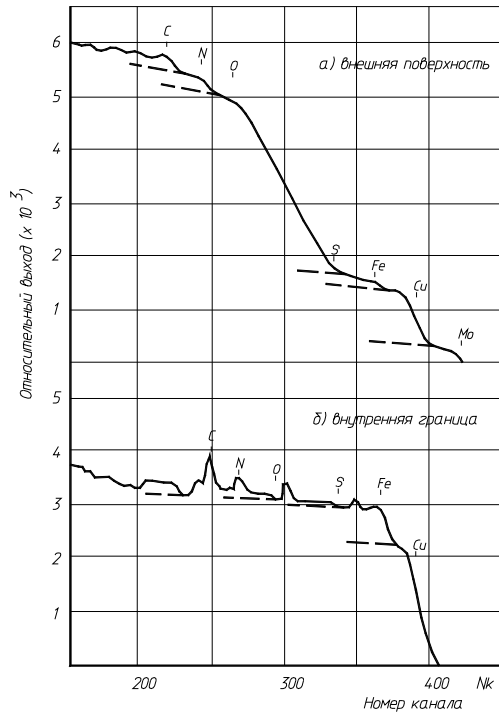
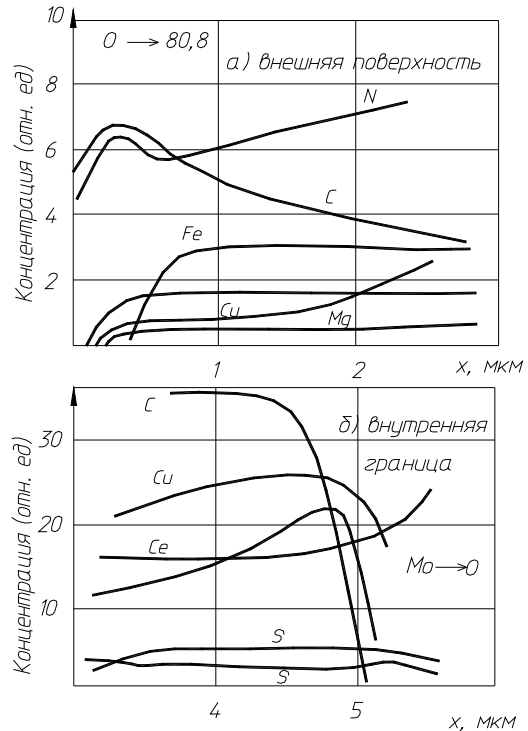


Рисунок 12 – Спектрограми ОРП
Рисунок 13 – Розшифровка
поверхні покриття з Cu, MoS₂ (вакуум)



спектрограм ОРП покриттів,
що містять Cu, MoS₂ (вакуум)

Дрейф температур у процесі формування покриття призводить до зміни концентрацій сірки і молібдену зі зростанням плівки. Різниця у співвідношенні концентрацій сірки і молібдену на зовнішній поверхні і на межі метал-покриття говорить про те, що при плазмоутворенні сульфід молібдену частково розкладається, і його інгредієнти знаходяться в плівці як у зв'язаному, так і у вільному стані.

Висока температура процесу ускладнює конденсацію іонів міді, концентрація якої близька до нуля на внутрішній границі плівки покриття.

З охолодженням деталей швидкість конденсації міді зростає і, отже, зростає концентрація цього елемента в плівці покриття.

Порівняння діаграм абсолютних концентрацій хімічних елементів у поверхневих шарах покриттів, отриманих у різних технологічних умовах, показує, що елементний склад покриттів з сульфиду молібдену на мідній основі, а також розподіл компонентів по товщині плівки сильно залежать від технологічних режимів нанесення, що дозволяє управляти цими величинами в процесі формування плівки покриття.

Найбільший практичний інтерес мають антифрикційні покриття з сульфиду молібдену, нанесені на деталі зі зміцнюючим покриттям з нітриду титану. На зовнішній поверхні таких покриттів, сформованих в умовах охолодження деталі, було отримано такий розподіл компонентів, як у табл. 2.

Таблиця 2 – Хімічний склад покриттів, що містять MoS_2 на підшарі з TiN

Склад елементів, % маси							
C	N	O	S	Fe	Ti	Mo	Cu
14,8	13,5	10,0	5,2	-	55,2	0,8	0,5

Враховуючи зворотно обертальний характер взаємного ковзання деталей паливної апаратури і великі навантаження на контакт, однією з визначальних вимог, що висувуються до покриттів, є навантаження задироутворення. У вакуум-плазмових покриттів з високим вмістом MoS_2 (як двошарових, так і одношарових) ця величина досягає 20 МПа, що значно вище, ніж в інших покриттів триботехнічного плану.

Таким чином, лабораторні випробування двошарових покриттів $\text{TiN} \rightarrow (\text{Cu} + \text{MoS}_2)$ показують, що їх фізико-механічні та триботехнічні параметри повністю відповідають умовам експлуатації деталей машин (табл. 3–5).

Результати досліджень дають підставу вважати, що вакуум-плазмове нанесення таких покриттів здатне збільшити ресурс деталей у кілька разів при одночасному поліпшенні їхніх експлуатаційних характеристик і зміцненні технології їх виробництва.

Таблиця 3 – Результати на знос покриттів $\text{TiN} \rightarrow (\text{Cu} + \text{MoS}_2)$ в ступінчастому режимі ($\tau = 2$ години)

Пара тертя	Тиск, Мпа		
	6	8	14
вихідний матеріал	0,0003/0,0001	0,0007/0,0004	-
з покриттям	0,0014/0,0007	0,0010/0,0006	0,0001/0,0004

Таблиця 4 – Коефіцієнт тертя зразків з двошаровим покриттям

Пара тертя	Тиск, Мпа			Тиск задирутворення
	6	8	14	
вихідний матеріал	0,09	0,10	0,13	14
з покриттям	0,06	0,08	0,09	20

Таблиця 5 – Максимальна об'ємна температура масла (°C) при випробуванні зразків з двошаровим покриттям

Пара тертя	Тиск (МПа)		
	6	8	14
вихідний матеріал	92	110	-
з покриттям	64	72	120

На зовнішній поверхні покриття виникає адсорбційний шар, обумовлений радіаційною активацією поверхні, товщина і щільність якого залежить від питомої радіаційної дози, що падає на поверхню деталі в процесі формування покриття.

Висновки, зроблені на підставі досліджень елементного складу, дуже істотні для покриттів триботехнічного призначення:

- високий ступінь амортизації матеріалу плівки свідчить про подрібнення в дислокаційній структурі поверхні, що, безсумнівно, призводить до зниження деформаційної складової коефіцієнта тертя. Висока щільність упаковки атомів має двоякий вплив на властивості поверхні. З одного боку, зменшення параметра ґраток перешкоджає утворенню локальних зв'язків, знижує небезпеку схоплювання взаємодіючих поверхонь, з іншого боку, висока щільність упаковки атомів знижує пористість плівки і, отже, її маслоємність.

- наявність дифузійного шару на межі розподілу деталь-покриття визначає високу адгезію плівки покриття до матеріалів деталі, а також підвищену зносостійкість приповерхневого шару деталі;

- наявність адсорбційного шару вказує на підвищену активність поверхні, що повинно призводити до підвищення адгезійної складової коефіцієнта тертя. Дійсно, оцінка адгезійної складової коефіцієнта тертя показує, що в умовах тертя мастильного матеріалу іонно-плазмова обробка призводить до підвищення цієї величини на 20%. В умовах змазування коефіцієнт тертя повинен зменшуватися (порівняно з деталями без покриття), тому що підвищується здатність плівки утримувати мастильні матеріали.

Шостий розділ присвячений підвищенню ефективності роботи технологічних систем, у ньому запропоновано модель розрахунку технологічних параметрів якості поверхневого шару і техніко-економічної ефективності.

Розроблено ресурсозберігаючі, екологічно чисті методи відновлення прецизійних пар тертя паливної апаратури засобів транспорту. Вони базуються на

використанні нового складу матеріалу для електродів електроіскрового легування (ЕЕЛ).

Розроблено модель масоперенесення, що дозволяє кількісно описати експериментальні концентраційні залежності як при ЕЕЛ, так і при інших видах імпульсного впливу на метали. Шар, сформований на катоді, за глибиною можна розділити на дві зони: зона, в якій відбувається перемішування рідких фаз матеріалів електродів (білий шар), і зона, що лежить нижче зони перемішування, в якій елементи матеріалу анода переносяться у твердій фазі (дифузійна зона).

Розподіл хімічних елементів електродів у кожній з цих зон визначається фізичними процесами, що відрізняються за своєю природою, але залежать від кількості введеної в тіло енергії (рис.14).

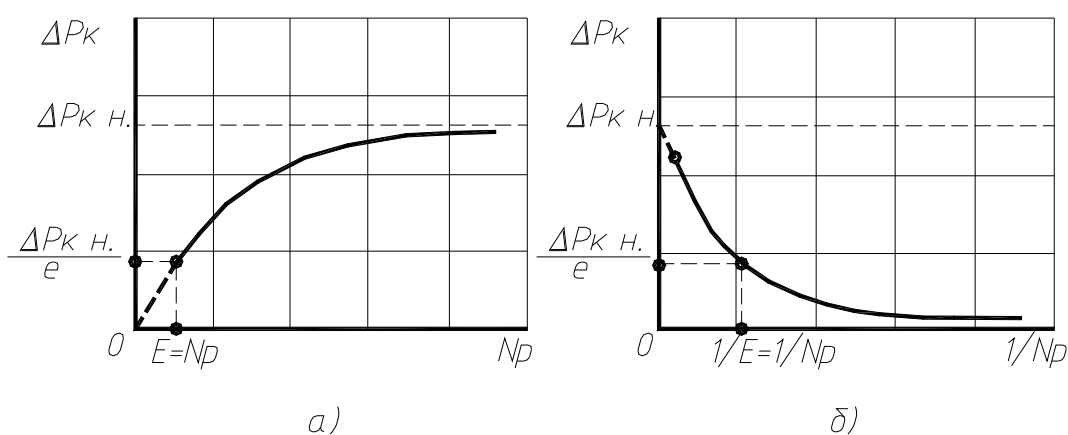


Рисунок 14 – Характер залежності приросту катода від потужності розряду (а) і величини зворотної потужності розряду (б)

Зі зростанням потужності розряду приріст ваги катода зростає тим сильніше, чим більше потужність активації масоперенесення

Масоперенесення впливає не тільки на кількість перенесеного матеріалу з анода на катод і приріст катода, а також на шорсткість сформованого поверхневого шару і його мікротвердість. Для даної пари електродів анода і катода шорсткість поверхневого шару і його мікротвердість формуються при потужностях, відмінних від потужності активації процесу масоперенесення.

Особливостями технології є використання нового складу матеріалів електродів для відновлення зношених деталей. Регулюючи параметри технологічних процесів відновлення їх у приповерхневій області, утворюється перехідний шар з підвищеними експлуатаційними властивостями, що забезпечує збереження підвищеної зносостійкості відновлених деталей і дає можливість збільшити ресурс засобів транспорту у 1,5 рази та зменшити витрати на закупівлю нових.

Економія металу (E_m) при відновленні даних деталей утворюється за рахунок різниці між незворотними втратами металу, що утворюються при виробництві нових і відновлення зношених деталей.

$$\mathcal{E}_M = M_{ГВ} (1 - K_{п}^{мет} - K_{п}^{маш}) - M_{дв} (1 + K_{п}^{в}), \quad (19)$$

де $M_{ГВ}$ – маса деталей, придатних до відновлення, кг;

$M_{дв}$ – витрата металу при відновленні (маса ремонтної деталі, електрода тощо), кг;

$K_{п}^{мет}$, $K_{п}^{маш}$, $K_{п}^{в}$ – коефіцієнти втрат металу відповідно в металургійному, машинобудівному виробництвах і при відновленні деталей.

Виходячи з програми відновлення $N_a = 2000$ шт. і маси деталі 0,18 кг, з урахуванням формули (19), визначено загальну річну економію металу, яка складе 320 кг.

Річну економічну ефективність від впровадження запропонованої технології визначено шляхом порівняння вартості відновленої деталі з ціною нової деталі.

При цьому річний економічний ефект розраховано з урахуванням коефіцієнта дисконтування, що враховує зміни купівельної спроможності грошей і можливості часткового повернення отриманого кредиту у вигляді банківських відсотків, за формулою:

$$\mathcal{E}_Г = \left(C_{нi} - C_{в} - \left(\frac{A}{N_{г}} \right) \right) k_d N_{г}, \quad (20)$$

де $C_{нi}$ – ціна нової деталі, грн;

$C_{в}$ – собівартість відновлення, грн;

A – амортизація обладнання, грн, приймається 15% вартості технологічного обладнання;

$N_{г}$ – річна виробнича програма, шт.;

k_d – коефіцієнт дисконтування,

$$k_d = \frac{1}{(1+r+i)^n}, \quad (21)$$

де $r+i$ – ставка дисконтування;

r – ставка дисконтування, дорівнює відсотковій ставці банку, $r = 0,17$;

i – річний темп інфляції, $i = 0,08$;

n – порядковий номер року, що дорівнює терміну служби плунжерної пари після відновлення, роки.

Рівень рентабельності інвестицій у розроблення технології визначали як відношення прибутку до витрат на відновлення деталі:

$$P_i = \left(\frac{\Pi}{C_B} \right) \cdot 100, \quad (22)$$

де Π – річний балансовий прибуток, грн,

$$\Pi = (Ц_{Н_i} - C_B) k_d \left(1 - \left(\frac{H_{\Pi}}{100} \right) \right) N_r, \quad (23)$$

де H_{Π} – податки з прибутку, становлять 13%.

Термін окупності інвестицій, що складаються з витрат на НДДКР, монтажні роботи, обладнання та організацію ремонтного виробництва, розраховано з урахуванням середньорічного ефекту за формулою:

$$T_{ок} = \frac{K}{\Delta_r}, \quad (24)$$

де K – витрати на НДДКР, монтажні роботи, обладнання та організацію виробництва, грн.

Собівартість відновлення деталі визначали як суму виробничих і позавиробничих витрат:

$$C_B = C_{пр} + C_{вн}, \quad (25)$$

де $C_{пр}$ – виробничі витрати, грн;

$C_{вн}$ – позавиробничі витрати, грн.

Виробничі витрати розраховували за виразом:

$$C_{пр} = C_T + C_{осв} + C_M \quad (26)$$

де C_T – витрати безпосередньо на відновлення (технологічна собівартість), грн;

$C_{осв}$ – витрати на підготовку і освоєння виробництва, грн;

C_M – витрати на матеріали, грн.

$$C_M = Ц_{ост} + \sum_{i=1}^s (q_i Ц_i) \quad (27)$$

де $Ц_{ост}$ – залишкова вартість зношеної деталі, грн;

s – кількість найменувань матеріалів, застосовуваних при відновленні деталей;

q_i – норма витрат i -го матеріалу, кг;

Π_i – ціна 1 кг і-го матеріалу, кг.

Залишкова вартість зношеної деталі визначалася із співвідношення:

$$\Pi_{ост} = m\Pi_m K_T \quad (28)$$

де m – маса зношеної деталі, кг;

Π_m – ціна металобрухту, грн/кг;

K_T – коефіцієнт транспортно-заготівельних витрат ($K_T = 1,2$).

Витрати на підготовку і освоєння виробництва, що припадають на одну деталь, визначаються за формулою:

$$C_{осв} = \frac{Z_{осв}}{N_T} t \quad (29)$$

де $Z_{осв}$ – абсолютна величина витрат на освоєння виробництва, грн;

t – тривалість періоду списування витрат, $t = 5$ років.

Розрахунок технологічної собівартості базується на визначенні витрат по кожному елементу і здійснюється за формулою

$$C_T = C_z + C_o + C_{ос} + C_k + C_{пц} \quad (30)$$

де C_z – повна заробітна плата, грн;

C_o – витрати на експлуатацію обладнання, грн;

$C_{ос}$ – витрати на експлуатацію оснащення, грн;

C_k – витрати на утримання виробничої будівлі, грн;

$C_{пц}$ – інші цехові витрати, грн.

Позавиробничі витрати включають у себе витрати на збір ремонтного фонду, реалізацію готової продукції, транспортування, розбирально-складальні роботи і простої техніки. Одержані розрахунковим шляхом економічні показники розробленої технології відновлення плунжерних пар наведено в табл. 6. Розрахунки виконані, виходячи з цін на 2012 р.

Таблиця 6 – Кількісні показники оцінки економічної ефективності розробленого технологічного процесу

Показник	Позначення	Значення
1. Програма відновлення, шт./рік	N_T	2000

2. Ціна нової деталі, грн	C_n	360
3. Собівартість відновлення, грн	C_b	96
4. Собівартість обладнання, грн	$C_{об}$	150000
5. Рентабельність інвестицій, %	P_i	95
6. Коефіцієнт дисконтування n=4 роки	k_d	0,4
7. Термін окупності, р.	$T_{ок}$	1,2
8. Економія металу, кг	\mathcal{E}_m	320
9. Економічний ефект, грн	\mathcal{E}_r	202200

Наведені розрахунки свідчать про економічну доцільність зробленого, а впровадження розробленого технологічного процесу відновлення плунжерних пар дозволить з вигодою для ремонтних підприємств самостійно вирішити проблему забезпечення мобільної техніки запчастинами.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі виконаних теоретичних експериментальних досліджень вирішено важливу науково–прикладну проблему підвищення зносостійкості прецизійних пар тертя паливної апаратури транспортних дизелів під час їх ремонту.

1. Аналіз ремонтного фонду України показав, що до 50% простою транспортних засобів відбувається через несправності паливної апаратури, зокрема плунжерних пар. Висока вартість матеріалу, високі вимоги виготовлення і характер зносу плунжерних пар обумовлюють необхідність їх відновлення, що, безсумнівно, забезпечує значну економію коштів і сировини. Існуючі методи відновлення зношених плунжерних пар не повною мірою забезпечують задані експлуатаційні властивості за цілого ряду недоліків технології відновлювання.

2. Встановлено взаємозв'язок між технологічними параметрами відновлення плунжерних пар, структурою та властивостями багатокомпонентних покриттів. Показано, що, регулюючи параметри технологічних процесів відновлення їх у приповерхневій області, утворюється перехідний шар з підвищеною мікротвердістю, який забезпечує збереження підвищеної зносостійкості відновлених деталей після зносу покриття. Наявність такого шару дозволяє в певних умовах виключити з технологічного циклу попередню хіміко-термічну обробку.

3. Розроблено метод формування багатокомпонентних покриттів із заданим розподілом інгредієнтів по товщині при змінюваному складі іонного пучка з бінарних сполук, вводячи в плазмоутворююче середовище сполуки в пов'язаному

стані сполуки, які забезпечують властивості зносостійкість (нітрид, карбід бору) і антифрикційні (мідь, дисульфід молібдену).

4. Розроблено математичну модель теплових процесів при іонному бомбардуванні і отримано алгоритм і програму, які пов'язують параметри циклічного бомбардування з технологічними параметрами процесу і геометричними розмірами плунжера. Дана модель є універсальною її можна використовувати для різних типів плунжерів паливної апаратури при їх відновленні та ремонті.

5. У відповідності з теорією вибору раціонального способу відновлення обґрунтовано використання комплексного методу, при якому на поверхні формується багатокомпонентне покриття в одному технологічному циклі з заданою твердістю та експлуатаційними властивостями відновлених плунжерних пар.

6. З використанням ресурсозберігаючих, екологічно чистих технологій розроблено методи відновлення прецизійних пар тертя паливної апаратури засобів транспорту. Вони базуються на використанні нового складу матеріалу для електродів, електроіскрового легування, особливостями яких є наявність усіх складових сполук, що забезпечують відновленому шару підвищену зносостійкість при заданому коефіцієнті тертя, що дає можливість збільшити ресурс засобів транспорту в 1,5 разу.

7. Впровадження нових технологічних методів і способів відновлення деталей плунжерних пар дозволяє підвищити експлуатаційну надійність відновлених деталей (зносостійкість, задиростійкість, припрацювання) в 1,5 разу.

8. Упровадження нових технологічних методів і способів відновлення виробів дозволить одержати економічний ефект за рахунок збільшення строку служби деталей, зменшення кількості капітальних ремонтів, ліквідувати додаткові непланові ремонти, і як результат, скоротити витрати на заміну зношених деталей та вузлів і нові.

Очікуваний ефект від впровадження отриманих результатів становить 202,2 тис. грн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці:

1. Тимофеев С.С. Влияние технологических параметров поверхностной обработки на свойства деталей транспортного назначения / С.С. Тимофеев // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2006. – №79. – С. 120–126.

2. Тимофеев С.С. Пути повышения качества технологической системы пневмоударной штамповки листовых деталей / С.С. Тимофеев, Е.А. Фролов, Т.В. Дякова, И.В. Манаенков // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2007. – Випуск 80. – С. 116–123.

3. Тимофеев С.С. Влияние технологических параметров алюмохромофосфатирования на эксплуатационные свойства деталей цилиндропоршневой группы дизелей / С.С. Тимофеев, И.И. Федченко, В.Н. Остапчук // Зб. наук. праць НТУ «ХП» Резание и инструмент в технологических системах. 2007. – № 72. – С. 155–159.

4. Тимофеев С.С. К вопросу влияния ионной бомбардировки на механические свойства стали / В.Н.Остапчук, А.Я. Мовшович, Б.В. Горелик, С.С. Тимофеев // Вісник національного технічного університету «ХПИ». – Збірник наукових праць – Харків. – 2008. – №35. – С. 56–59.

5. Тимофеев С.С. Влияние поверхностного диффузионного слоя на интенсификацию процессов импульсной листовой штамповки / С.С. Тимофеев, Е.А. Фролов, И.И. Федченко, И.В. Манаенков // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2008. – Випуск 88. – С. 123–128.

6. Тимофеев С.С. Исследование теплового состояния плунжеров топливной аппаратуры дизелей в процессе вакуумно-плазменной обработки / В.Н.Остапчук, А.Я. Мовшович, С.С. Тимофеев // Научно-технический журнал. Вестник двигателестроения. 2008 – вып.№2. – С. 117–120.

7. Тимофеев С.С. Влияние ионно-плазменной обработки на микро-и нанотвердость конструкционных сталей / С.С. Тимофеев, В.Н. Остапчук // Сб. научных трудов ХНАДУ. – Харьков: ХНАДУ, 2009. – Вып.46. – С. 134 – 136.

8. Тимофеев С.С. Оценка влияния качества приповерхностных слоев заготовки на интенсификации листовой штамповки / С.С. Тимофеев, Е.А. Фролов // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – Випуск 110. – С. 31–35.

9. Тимофеев С.С. Математическая модель и оптимизация режимов детонационно-газового нанесения покрытий на детали машин / В.Н.Остапчук, А.И. Долматов, А.Я. Мовшович, С.С. Тимофеев // Збірник наукових праць НТУ «ХПИ». – Харків. – 2009. – Випуск 3. – С. 154–159.

10. Тимофеев С.С. Математическая модель определения износов пары трения поршневое кольцо-гильза цилиндра цилиндро-поршневой группы дизеля / В.Н. Остапчук, С.С. Тимофеев // Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка. – Харків. – 2009. – Випуск 80. – С. 184 –188.

11. Тимофеев С.С. Сравнительная оценка технологических методов повышения надежности и износостойкости прецизионных пар топливной аппаратуры / С.С. Тимофеев, А.Я. Мовшович // Зб. наук. праць: Сучасні технології в машинобудуванні, Харків: НТУ «ХПИ» – 2010 – Випуск 5. – С. 291 –297.

12. Тимофеев С.С. Исследование влияния упрочняющего детонационно-газового метода обработки формообразующих элементов гибочных штампов на их износостойкость / С.С. Тимофеев, Е.А. Фролов, И.И. Федченко, Ю.А. Кочергин // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Випуск 119. – С. 128–132.

13. Тимофеев С.С. Исследование прочности сцепления детонационных покрытий при изготовлении прецизионных деталей топливной аппаратуры / С.С. Тимофеев, А.Я. Мовшович, В.А. Бородинов // Международный информационный научно-технический журнал «Локомотив-информ». Харьков. – 2011. – С. 42–43.

14. Тимофеев С.С. Усовершенствование технологии изготовления гильз цилиндров транспортных средств с использованием расчета температурных

полей / С.С. Тимофеев // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – №4 (158), Частина 1, 2011. – С. 132–136.

15. Тимофеев С.С. Системный подход к выбору технологий управления качеством поверхностных слоев деталей / С.С. Тимофеев // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – 3/1(51). – С. 21–24.

16. Тимофеев С.С. Пути совершенствования ионно-плазменной обработки прецизионных пар трения / С.С. Тимофеев // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2012. – №3(174) – С. 193–198.

17. Тимофеев С.С. Підвищення зносостійкості прецизійних пар тертя / С.С. Тимофеев // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Випуск 134. – С. 209 – 216.

18. Тимофеев С.С. Повышение качества стальных изделий транспортного назначения / С.С. Тимофеев, В.С. Голинко, И.И. Федченко // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2012. – №1. – С. 121– 123.

19. Тимофеев С.С. Повышение ресурса деталей плунжерных пар / С.С. Тимофеев // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Випуск 136. – С. 257–260.

20. Тимофеев С.С. Повышение износостойкости прецизионных пар трения средств транспорта / С.С. Тимофеев // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2013. – №4(193). – С. 253–258.

21. Пат. 87796 Україна, МПК (2009) C21D 9/34 C21D 8/00 C23C 8/00 Спосіб поверхневого зміцнення коліс суцільнокатаних. Патент на винахід / Остапчук В.М., Тимофеев С.С., Федченко І.І.; заявник і патентовласник Українська державна академія залізничного транспорту. – № а2008140664; заявл. 08.12.08; опубл. 10.08.09, Бюл. №15.

22. Пат. 92264 Україна, МПК В23Н 1/00 С22С 29/00 Матеріал для електроіскрового легування. Патент на винахід / Остапчук В.М., Тимофеев С.С., Федченко І.І.; заявник і патентовласник Українська державна академія залізничного транспорту. – № а200903418; заявл. 09.04.09; опубл. 11.10.10, Бюл. № 19.

23. Пат. 101277 Україна, МПК(2013.01) C21D 1/00 C23C 8/18 (2006.01) C23C 8/00 Спосіб хіміко-термічної обробки залізвуглецевих сплавів. Патент на винахід / Остапчук В.М., Тимофеев С.С., Федченко І.І.; заявник і патентовласник Українська державна академія залізничного транспорту. – № а201201937; заявл. 21.02.12; опубл. 11.03.13, Бюл. №5.

Додаткові праці, які відображають результати дисертації:

24. Пат. 45841 Україна, 45841 В22F3/24, С23С8/28 Спосіб хіміко-термічної обробки деталей із металів та сплавів. Патент на винахід / Тимофеев С.С., Проскуріна Л.В.; заявник і патентовласник Українська державна академія залізничного транспорту. – № 2001075170; заявл. 19.07.01; опубл. 15.04.04, Бюл. № 4.

25. Пат. 75545 Україна, МПК (2012.01) С23F 17/00 С21D 1/25 (2006.01) С21D 9/02 (2006.01) С22С22/00 Спосіб виготовлення пружини циліндричної гвинтової для буферного комплексу пасажирських вагонів. Патент на винахід / Тимофеев С.С., Федченко І.І., Голинко В.С.; заявник і патентовласник Українська державна академія

залізничного транспорту. – № а201204630; заявл. 12.04.12; опубл. 10.12.2012, Бюл. № 23

26. Пат. 102456 Україна, МПК С23С 14/48 (2006.01) Спосіб отримання зносостійкого покриття / Остапчук В.М., Тимофеев С.С., Федченко І.І.; заявник і патентовласник Українська державна академія залізничного транспорту. – № а201115459; заявл. 27.12.11; опубл. 10.07.13, Бюл. №13.

Апробаційні праці:

27. Тимофеев С.С. Повышение износостойкости деталей топливной аппаратуры тепловозных двигателей / С.С. Тимофеев, А.Я. Мовшович, В.Н. Остапчук // Материлы 6-й международной научно-технической конференции «Инженерия поверхности и реновация изделий» Сб. докл., 30 мая – 1 июня 2006 г., г. Ялта-Киев, С. 143–145.

28. Тимофеев С.С. Исследование влияния поверхностного упрочнения алюмохромофосфатированием на качество поверхности обрабатываемых образцов / С.С. Тимофеев // Материалы 7-й международной научно-технической конференции «Инженерия поверхности и реновация изделий» Сб. докл., 29 – 31 мая 2007 г., г. Ялта-Киев, С. 189–190.

29. Тимофеев С.С. Повышение качества рабочих поверхностей колес цельнокатаных / С.С. Тимофеев, В.Н. Остапчук, И.И. Федченко // Материалы 7-й международной научно-практической конференции «Качество, стандартизация, контроль: теория и практика» Сб. докл., 25 – 27 сентября 2007 г., г. Ялта-Киев. – С. 95–96.

30. Тимофеев С.С. Пути повышения эксплуатационных свойств штамповой оснастки / С.С. Тимофеев, Є.А.Фролов // Материалы 8-й международной научно-технической конференции «Инженерия поверхности и реновация изделий» Сб. докл., 27 – 29 мая 2008 г., г. Ялта-Киев, С. 273–274.

31. Тимофеев С.С. Материал для восстановления деталей железнодорожного транспорта / С.С. Тимофеев // Материалы 9-й международной научно-практической конференции «Качество, стандартизация, контроль: теория и практика» Сб. докл., 21 – 25 сентября 2009 г., г. Ялта-Киев, С. 189–192.

32. Тимофеев С.С. Повышение триботехнических свойств железоуглеродистых сталей / С.С. Тимофеев, И.И. Федченко // Материалы 9-й международной научно-технической конференции «Инженерия поверхности и реновация изделий» Сб. докл., 25 – 29 мая 2009 г., г. Ялта-Киев, С. 182–184.

33. Тимофеев С.С. Повышение износостойкости деталей транспортного назначения алюмо, хромофосфатированием / С.С. Тимофеев, И.И. Федченко // Материалы 9-го международного научно-технического семинара «Современные проблемы подготовки производства, заготовительного производства, обработки, сборки и ремонта в промышленности и на транспорте», 23–27 февраля 2009 г., г. Свалява-Киев, С. 274–276.

34. Тимофеев С.С. Повышение износостойкости плунжерных пар / С.С. Тимофеев // Материалы 10-й юбилейной международной научно-технической конференции «Инженерия поверхности и реновация изделий», 24–28 мая 2010 г., г. Ялта-Киев, С. 194–196.

35. Тимофеев С.С. К вопросу выбора эффективных методов и средств производства конкурентоспособной продукции / С.С. Тимофеев, И.И. Федченко // Материалы 10-й юбилейной международной научно-практической конференции «Качество, стандартизация, контроль: теория и практика», 27 сентября – 01 октября, 2010 г., г. Ялта-Киев, С. 157–159.

36. Тимофеев С.С. Управление качеством изделий и материалов в автомобилестроении / С.С. Тимофеев // Материалы 11-й международной научно-практической конференции «Качество, стандартизация, контроль: теория и практика», 26–29 сентября 2011 г., г. Ялта-Киев, С. 148–150.

37. Тимофеев С.С. Исследование влияния основных технологических факторов на износостойкость деталей машин транспортного назначения / С.С. Тимофеев, В.Н. Остапчук // Материалы 12-го Международного научно-технического семинара «Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте», 20–24 февраля 2012 г., Карпаты, г. Свалява-Киев, С. 200–202.

38. Тимофеев С.С. Повышение эксплуатационных свойств прецизионных пар трения / С.С. Тимофеев // Материалы 12-й международной научно-технической конференции «Инженерия поверхности и реновация изделий», 04–08 июня 2012 г., г. Ялта-Киев, С. 290–292.

39. Тимофеев С.С. Вибір методу підвищення експлуатаційних властивостей прецизійних пар тертя / С.С. Тимофеев // Материалы 6-й научно-практической конференции «Модернизация и переоснащение предприятий. Эффективные технологии ремонта и восстановления деталей». – Днепропетровск, 17 октября 2012 г. – С. 69–72.

40. Тимофеев С.С. Исследование причин неисправностей прецизионных пар трения и пути их устранения / С.С. Тимофеев, И.И. Федченко, Л.А. Тимофеева // Збірник наукових праць III науково-практичної конференції «Інноваційні технології на залізничному транспорті». – м. Тель-Авів. – 2012. – С. 48–50.

41. Тимофеев С.С. Влияние технологии поверхностного упрочнения на износостойкость деталей транспортного назначения / С.С. Тимофеев // Материалы 13-го Международного научно-технического семинара «Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте», 18–22 февраля 2013 г., Карпаты, г. Свалява-Киев, С. 193–194.

42. Тимофеев С.С. Повышение износостойкости плунжерных пар / С.С. Тимофеев, Л.И. Влезкова // Материалы 13-й международной научно-технической конференции «Инженерия поверхности и реновация изделий», 03–07 июня 2013 г., г. Ялта-Киев, С. 257–259.

43. Тимофеев С.С. Анализ технического состояния плунжерных пар / С.С. Тимофеев // Збірник наукових праць IV міжнародної науково-практичної конференції «Інноваційні технології на залізничному транспорті». – м. Париж, 2013. – С. 106–107.

44. Тимофеев С.С. Повышение качества колес цельнокатаных путем разработки состава покрытия / С.С. Тимофеев // Материалы IX международной

научно-практической конференции Вестник сертификации железнодорожного транспорта, май 2013. – №3/1. , г. Днепропетровск – С. 80–81.

АНОТАЦІЯ

Тимофеев С.С. Развитие научных основ повышения ресурса прецизионных деталей дизелей средств железнодорожного транспорта. – Рукопись.

Диссертация на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. – Українська державна академія залізничного транспорту МОН України, Харків, 2013.

Диссертация присвячена підвищенню ресурсу прецизійних деталей дизелів паливного насоса високого тиску (ПНВТ) засобів транспорту при виготовленні і ремонті шляхом удосконалення та розробки нових науково-технологічних засобів реновації їхньої поверхні.

У роботі, на основі аналізу апріорної інформації, експериментально-теоретичних досліджень встановлено фактори, характер і величина зносу прецизійних пар паливної апаратури. Була розроблена модель зміни технічного стану прецизійних пар і дано теоретичне обґрунтування впливу геометричних і фізико-механічних властивостей на безвідмовність паливної апаратури.

Встановлено найбільш ефективні технологічні рішення відновлення зношених деталей дизелів засобів залізничного транспорту з урахуванням величини та виду зносу на основі теоретичних і експериментальних досліджень та визначено шляхи підвищення їх зносостійкості з конкретних матеріалів після їх відновлення в умовах експлуатації. Наведено результати експлуатаційних випробувань та впроваджено у виробництво. Виконано економічний розрахунок.

Ключові слова: прецизійні деталі дизелів засобів залізничного транспорту, експлуатаційні властивості, зносостійкість, екологічно чисті ресурсозберігаючі технології, комплексна обробка.

АННОТАЦИЯ

Тимофеев С.С. Развитие научных основ повышения ресурса прецизионных деталей дизелей средств железнодорожного транспорта – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, МОН Украины, Харьков, 2013.

Диссертация посвящена научно-прикладной проблеме повышения эффективности ремонта прецизионных пар трения топливной аппаратуры транспортных дизелей путём выбора рациональных технологических параметров нанесения многокомпонентных покрытий на основе установленной связи между технологическими параметрами нанесения покрытий, структурой, механическими и эксплуатационными свойствами сформированных покрытий.

Получены и обоснованы закономерности изменения износостойкости и ресурса восстановленных пар трения от технологических показателей, которые определяют механизм износа многокомпонентных покрытий.

Обоснован методологический подход по выбору технологической системы получения многокомпонентных покрытий на основе обеспечения заданных функциональных свойств (геометрические, механические, износоустойчивость, ресурс), качества и стабильности получения покрытий, экономии ресурсов всех видов, безопасности производства и требований экологии.

Разработана математическая модель оценки влияния технологических показателей, которые учитывают эксплуатационные свойства покрытий, что позволяет разработать рациональные режимы, ингредиентный состав материала и технологию восстановления для показателей работоспособности плунжерных пар и прогнозировать их состояние в зависимости от эксплуатации.

Получены параметры формирования многокомпонентного покрытия при ионно-плазменной обработке, что приводит к образованию переходного термоупрочняющего слоя в его приповерхностной области, что позволяет исключить из технологического цикла восстановления плунжерных пар химико-термическую обработку за счёт использования бинарных и многокомпонентных материалов катодов, которые формируют покрытие с заданным распределением компонента по толщине, что обеспечивает повышение ресурса с заданной твёрдостью и износоустойчивостью.

Получены зависимости параметров технологических процессов восстановления изношенных плунжерных пар, которые дают возможность прогнозировать степень их дальнейшей эксплуатации.

Для практического применения разработаны закономерности износа деталей плунжерных пар топливной аппаратуры транспортных дизелей, восстановленных новыми методами и разработаны математические модели, которые позволяют прогнозировать их ресурс и надёжность в процессе эксплуатации.

На основе теоретических и эксплуатационных исследований разработаны и усовершенствованы методы, способы и технология восстановления прецизионных пар трения топливных насосов дизелей транспортного назначения, которые позволяют повысить эксплуатационные свойства восстановленных деталей путём внедрения разработанного методологического системного подхода, который включает комплексную технологию обработки с уменьшением количества технологических операций.

Разработана модель рациональных технологических решений восстановления работоспособности плунжерных пар за счёт формирования многокомпонентных покрытий с заданным распределением ингредиентов по толщине при неизменном составе ионного пучка, что позволяет увеличить износостойкость в 3 раза и как следствие – ресурс топливных насосов высокого давления (ТНВД) средств железнодорожного транспорта.

В результате анализа триботехнических характеристик плунжерных пар в условиях эксплуатации было доказано, что наиболее полно удовлетворяют условиям эксплуатации многокомпонентные покрытия, которые состоят из износостойкой

части (карбиды и нитриды бора) и антифрикционной (медь и дисульфид молибдена), формирование которых проходит в плазмообразующей среде. Эти технологические операции можно проводить как на ремонтных предприятиях (депо), так и при изготовлении на предприятиях железнодорожного транспорта.

Внедрение новых технологических методов и способов восстановления деталей плунжерных пар позволяет повысить эксплуатационную надежность восстановленных деталей (износостойкость, задиростойкость, приработки) в 1,5 раза.

Внедрение новых технологических методов и способов восстановления изделий позволит получить экономический эффект за счет увеличения срока службы деталей, уменьшения количества капитальных ремонтов, ликвидировать дополнительные внеплановые ремонты, а как результат сократить расходы на замену изношенных деталей и узлов на новые.

Ключевые слова: прецизионные детали дизелей средств железнодорожного транспорта, эксплуатационные свойства, износостойкость, экологически чистые ресурсосберегающие технологии, комплексная обработка.

ABSTRACT

Timofeyev S.S. Development of scientific bases of increasing resource diesels' precision parts of railway transport – Manuscript.

Dissertation for the Doctor of Technical Sciences degree in specialty 05.22.20 – Operation and repair transport's means – Ukrainian State Academy of Railway Transport, MES Ukraine, Kharkiv, 2013.

Dissertation is dedicated to resource improving of high pressure fuel pump diesels precision parts' of transport means in the manufacture and repairing by improving and developing new scientific and technological renovation of the surface.

Factors, the nature and magnitude of fuel equipment precision pairs depreciation have been established based on analysis of priori information, experimental and theoretical investigations in this work.

Model of changes technical condition of precision pairs has been found and theoretical substantiation of geometrical, physical and mechanical properties influence of the fuel system's operational safety has been given.

The most effective technology solutions of restoring worn parts of Railway Transport diesels taking into account the magnitude and type of wear based on theoretical and experimental investigations have been found and ways to improve their wear resistance of specific materials after their recovery in operating conditions have been identified. The results of performance tests were given and put into production. Economic calculation was performed.

Keywords: diesels' precision parts of Railway Transport, operating properties, wear resistance, ecologically-clean resource saving technologies, comprehensive treatment.

ТИМОФЄЄВ СЕРГІЙ СЕРГІЙОВИЧ

УДК 629.083

РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ
ПРЕЦИЗІЙНИХ ДЕТАЛЕЙ ДИЗЕЛІВ ЗАСОБІВ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

05.22.20- експлуатація та ремонт засобів транспорту

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск

доц. Федченко І.І.

Підписано до друку «12» вересня 2013 р.
Формат 60x90/16. Папір офсетний.
Умовн.-друк. арк. 1,9. Обл.-вид. арк. 2,0.
Замовлення № 391. Тираж 100 прим.

Видавництво УкрДАЗТ. Свідоцтво ДК № 2874 від 12.06.2007 р.
Друкарня УкрДАЗТ, 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.