

Міністерство освіти і науки України
Українська державна академія залізничного транспорту

КОНОВАЛОВ ПАВЛО ЄВГЕНОВИЧ

УДК 629.4:621.89

**ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ МОТОРНО-ОСЬОВИХ ПІДШИПНИКІВ
ТЕПЛОВОЗІВ ШЛЯХОМ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ЗМАЩЕННЯ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Лисіков Євген Миколайович,
Українська державна академія залізничного транспорту,
професор кафедри колії та колійного господарства

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Горобець Володимир Леонідович,
Дніпропетровський національний університет
залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна,
головний науковий співробітник галузевої науково-
дослідної лабораторії динаміки та міцності рухомого
складу

кандидат технічних наук, доцент
Черняк Юрій Васильович,
Державний економіко-технологічний університет
транспорту, завідувач кафедри «Тяговий рухомий склад
залізниць»

Захист відбудеться "24" червня 2013 року о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 при Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

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

Автореферат розісланий "24" травня 2013 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

А.В. Прохорченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Колісно-моторний блок (КМБ) є важливим агрегатом екіпажної частини, який реалізує силу тяги та забезпечує взаємодію тепловоза з елементами верхньої будови колії. Його технічний стан впливає не тільки на експлуатаційну надійність тепловоза, але безпосередньо пов'язаний з питанням забезпечення безпеки руху.

Значна частина позапланових зупинок тягового рухомого складу пов'язана з виходами з ладу КМБ, які становлять понад 25% загальної кількості відмов, причому значна їх частина обумовлена відмовами моторно-осьових підшипників (МОП). Через наднормативний знос вкладишів МОП тягових двигунів ЕД-118 при пробігу 210-240 тис. км до 70 % з них підлягає заміні. За статистикою несправності МОП виявлялися причиною 3-5% загальної кількості непланових ремонтів тепловозів. З врахуванням позапланових простоїв локомотивів, підприємства вимушені витратити на заміну одного комплекту МОП від 4,5 до 7 тис. грн, а їх річні збитки складають сотні тисяч гривень.

Таким чином, підвищення ресурсу вузла МОП тепловозів залишається актуальною задачею. Напрямки вирішення цієї задачі висвітлено у «Програмі оновлення тягового рухомого складу залізниць України на період до 2020 року», що затверджена наказом по Укрзалізниці № 1259 від 14.10.2008 р. на виконання розпорядження Кабінету Міністрів України (КМУ) №1155-р від 27.08.2008 р.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота відповідає концепції державної програми реформування залізничного транспорту України, яка затверджена постановою КМУ №651-р від 27.12.2006 р.; «Програмі оновлення локомотивного парку залізниць України на 2012-2016 роки», що затверджена постановою КМУ №840 від 01.08.2011 р. Наукові результати роботи «Розробка методу підвищення ресурсу моторно-осьових підшипників локомотивів за рахунок використання електричних полів» (№ ДР 0112U003581) отримані при виконанні господарчо-договірної науково-дослідної роботи відповідно до планів академії та Укрзалізниці. У виконанні вказаної науково-дослідної роботи автор брав безпосередню участь як виконавець.

Мета і задачі досліджень. Метою роботи є збільшення ресурсу моторно-осьових підшипників тепловозів за рахунок зменшення інтенсивності зносних ушкоджень їх робочих поверхонь шляхом вдосконалення системи змащення.

Для досягнення вказаної мети передбачено до вирішення такі задачі:

- провести аналіз існуючих методів підвищення ресурсу та визначити основні чинники, які впливають на швидкість зношування МОП тепловозів;
- встановити закономірність розподілу навантажень та особливості мастильного режиму на робочих поверхнях МОП залежно від витрат його ресурсу;
- дослідити закономірність зміни мастильної властивості осьової оливи через коефіцієнт змочування та швидкість зношування зразків, що випробовуються на машині тертя, залежно від впливу зовнішнього електростатичного поля та тривалості напрацювання оливи у системі змащення МОП;

- встановити залежність зміни діаметрального зазору МОП від коефіцієнтів впливу інтенсивності зношування, на основі чого доопрацювати метод визначення ресурсу цього вузла;

- розробити схему модернізації системи змащення та провести розрахунки ресурсу МОП тепловозів за запропонованим методом.

Об'єкт досліджень – процес змащувального режиму та зношування робочих поверхонь моторно-осьових підшипників тепловоза.

Предмет досліджень – ресурс моторно-осьових підшипників тепловоза.

Методи досліджень – теоретичні дослідження базуються на методі аналізу та узагальнення результатів досліджень, присвячених ресурсу МОП; у розрахунках застосовані методи класичної фізики, механіки, тріботехніки, теорії ймовірностей і математичної статистики.

При проведенні експериментальних досліджень використано методи планування експерименту, інструментального контролю, діагностичних перевірок та математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів. Вирішена наукова задача підвищення ресурсу моторно-осьових підшипників тепловозів, яка полягає у наступному.

вперше:

- встановлена емпірична залежність зношування експериментальних зразків моторно-осьових підшипників від часу напрацювання та електростатичної обробки осьової оливи;

- надана кількісна характеристика процесу природної втрати осьовою оливою частини своєї мастильної властивості за час роботи у системі змащення моторно-осьового підшипника;

доповнені:

- відомі дані щодо меж існування видів змащення на поверхнях тертя моторно-осьового підшипника залежно від величини діаметрального зазору та швидкості тепловоза;

- регресійна залежність між швидкістю тепловоза та вектором навантажень на поверхні вкладишів моторно-осьових підшипників,

доопрацьовано:

- метод визначення ресурсу моторно-осьового підшипника в частині врахування коефіцієнтів: вплив розташування мастильного вікна на гідродинамічні характеристики підшипника, тривалості напрацювання оливи у системі змащення та коефіцієнта, що залежний від того, піддається або не піддається олива електростатичній обробці.

Практичне значення одержаних результатів. Практичні результати роботи складають:

- технічне рішення стосовно модернізації системи змащення МОП тепловозів, яке складається зі способу раціональної подачі та пристрою електростатичної обробки осьової оливи (Патент на корисну модель UA 70541 B61C 17/00. – Бюл. №11, 11.06.2012);

- обґрунтування параметрів блока електростатичної обробки осьової оливи при виконанні господарчо-договірної науково-дослідної роботи (№ ДР 0112U003581);

- метод визначення ресурсу МОП в частині врахування трьох коефіцієнтів, що впливають на інтенсивність зношування, який в умовах депо дозволяє збільшити точність діагностики технічного стану цього вузла;

- теоретичні положення роботи, які застосовуються в навчальному процесі УкрДАЗТ та ППК при УкрДАЗТ при вивченні дисциплін "Ресурсозбереження на залізничному транспорті", "Засоби підвищення надійності машин і економії нафтопродуктів".

Особистий внесок здобувача. У роботах, опублікованих із співавторами, особисто автором були отримані такі розробки та наукові результати, які представлено до захисту: розроблено модель схеми навантаження опорних поверхонь МОП [1]; виявлено характеристику утворення гідродинамічного тиску та проведено розрахунки щодо несучої здатності масляного шару на опорних поверхнях МОП [2]; встановлено межі існування різних режимів змащення на поверхнях МОП залежно від величини діаметрального зазору та параметрів роботи вузла на різних швидкостях руху тепловоза [3]; надано кількісну оцінку втрат гідродинамічного тиску на поверхні тертя МОП [5]; обґрунтовано схему підведення оливи та визначено основні параметри системи змащення МОП [6]; визначено співвідношення адгезійної та полімолекулярної складової опорної поверхні в умовах граничного тертя [7].

Матеріали зазначених публікацій є результатом робіт, проведених в Українській державній академії залізничного транспорту.

Апробація результатів дисертації. Результати роботи доповідалися та обговорювалися на:

- міжнародній науковій конференції МехТрибоТранс – 2011 «Механіка и трибология транспортных систем» (Росія, м. Ростов-на-Дону, 2011 р.);

- десятій міжнародній науково-методичній конференції «Інноваційні напрямки розвитку технічного сервісу машин» Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка, секції «Транспортні технології» та «Системотехніка та технології лісового комплексу» (Україна, м. Харків, 2012 р.);

- 25-й міжнародній конференції «Перспективні комп'ютерні, керуючі та телекомунікаційні системи для залізниць України» (Україна, м. Харків, 2012 р.);

- на кафедрі «Колісні та гусеничні машини» Національного технічного університету «ХП» (Україна, м. Харків, 2012 р.).

Повністю результати дисертаційної роботи доповідалися в Українській державній академії залізничного транспорту за участю членів спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04.

Публікації. Основні наукові результати дисертації опубліковано в 6 статтях у фахових виданнях та 1 патенті на корисну модель. Крім того додаткове відображення наукових результатів дисертації містять 2 тези доповідей та 1 публікація.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, основних результатів і висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи складає 173 сторінки, у тому числі 142 сторінки основного тексту, 33 таблиці та 39 рисунків, список використаних джерел на 16 сторінках містить 141 найменування, 3 додатки на 15 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність дослідження, сформульовано мету та задачі дослідження, викладено наукову новизну і практичну цінність, надано загальну характеристику роботи.

Перший розділ присвячений аналізу експлуатаційної надійності та ресурсу МОП, як вузла, що суттєво впливає на надійність КМБ тепловоза та на безпеку руху залізницями взагалі.

Проблемі підвищення рівня експлуатаційної надійності КМБ присвячена значна кількість спеціальних досліджень. Дослідження та роботи В.О. Азаренка, О.І. Беляєва, І.В. Бірюкова, О.В. Бородіна, Г.Г. Головінова, Л.К. Добриніна, В.І. Євстратова, Д.В. Тарути М.О. Буше, М.О. Малоземова, Г.В. Шапошникова, Е.Д. Тартаковського, Є.С. Венцеля та ін. зробили значний внесок у її вирішення. Пропозиції, що містяться в них, стосуються підвищення зносостійкості поверхонь тертя шляхом використання сучасних триботехнологій, методів підготовки раціональної геометрії поверхонь тертя, а також застосування різноманітного комплексу антифрикційних присадок. Відомі дослідження успішно вирішили багато важливих сторін вказаної проблеми, проте значна її частина дотепер все ще потребує свого вирішення.

У загальній характеристиці вузла МОП розглянуто питання умов його роботи, особливостей конструкції системи змащення та способів подачі мастильного матеріалу. Недоліки систем змащення МОП полягають у недостатній продуктивності та ефективності схеми подачі мастильного матеріалу, що заважає утворенню на поверхні тертя сприятливих змащувальних режимів. Крім того, відомі концепції побудови вузлів МОП не розглядають можливості подолання проблеми недостатнього ресурсу шляхом покращення експлуатаційних властивостей осьових олив за рахунок їх обробки електричними полями, а резерви активізації таких властивостей в системах змащення МОП є недостатньо вивченими. На основі аналізу існуючих методів підвищення ресурсу та систем змащення МОП сформульовано мету і задачі власних досліджень.

У **другому розділі** проведено критичний аналіз методів існуючих досліджень, обґрунтовується напрям власного дослідження та викладається загальна методика його проведення. Для теоретичних досліджень застосовуються загальнонаукові методи, які ґрунтуються на принципах теорії підшипників ковзання, трибомеханіки та міжфазної взаємодії. Матеріали теоретичних досліджень пов'язуються з результатами випробувань фізичної моделі зношування МОП, отриманими емпіричними методами.

Ресурс R МОП, що вимірюється в кілометрах пробігу локомотива, розраховується за відомою формулою як відношення величини граничного зношування U до інтенсивності зношування I

$$R = U / I. \quad (1)$$

З формули (1) випливає, що при встановленій величині граничного зношування ресурс МОП визначається лише інтенсивністю зношування. Зношування відбувається у вигляді сукупності складних взаємопов'язаних процесів і обумовлено різними за своєю природою фізичними чинниками. Тому інтенсивність зношування пари тертя є несталою величиною. За результатами аналізу ступеня впливу на інтенсивність зношування поверхонь тертя МОП найбільш впливові чинники зведені до трьох груп:

$$I = \begin{cases} f_1(N_{mp}); f_1(\Delta; f_{mp}; MP); \\ f_2(\Gamma D); \\ f_3(MB); f_3(T; E), \end{cases} \quad (2)$$

де $N_{\delta\delta}$ - потужність сил тертя на поверхнях тертя МОП, Вт;

Δ - діаметральний зазор МОП, мм;

f_{mp} - коефіцієнт тертя;

MP - поточний вид мастильного режиму на поверхнях тертя МОП;

ΓD - гідродинамічна характеристика МОП, яка враховує взаємне розташування місця подачі оливи до пари тертя та локалізацію навантажень на вкладиш підшипника;

MB - поточна мастильна властивість осьової оливи, яка залежить від тривалості T її роботи у системі змащення та від впливу на неї електростатичної обробки E .

Поставлені у роботі задачі розв'язувалися у два етапи. На першому етапі за допомогою фізико-математичної моделі, розробленої на основі загальної теорії підшипників ковзання, відомими аналітичними методами досліджувалися функції $I = f_1(\Delta; f_{mp}; MP)$ та $I = f_3(\Gamma D)$. Визначалися місця локалізації навантажень на вкладиш і відносні величини швидкості зношування у всьому діапазоні тяги тепловоза та при різних діаметральних зазорах у МОП. Крім того, визначено величини питомого тиску та швидкості руху тепловоза, які мають бути адекватно відтвореними у модельному експерименті.

Підсумком першого етапу досліджень є визначення базової величини інтенсивності зношування $I_{\delta\delta}$

$$I_{\delta\delta} = f_1(\Delta; f_{mp}; MP) \text{ та } I_{\delta\delta} = f_2(\Gamma D). \quad (3)$$

На другому етапі експериментальними методами досліджувалася функція $I = f_2(T; E)$. Виявлялися показники зміни мастильної властивості осьової оливи з різним ступенем напрацювання за показником змочування нею поверхні тертя МОП. Крім того, у стендовому експерименті визначено швидкість масового зношування поверхні тертя фізичної моделі шляхом зважування експериментального зразка.

За результатами експериментів побудовано графіки залежності інтенсивності та швидкості зношування від процесів зміни мастильних властивостей осьової оливи за час експлуатації та внаслідок дії зовнішнього електростатичного поля. Після апроксимації графіків отримано аналітичні функції названих вище залежностей

$$\Delta = f(L) \text{ та } k_T; k_{ГД}; k_{ГД} = f(\Delta), \quad (4)$$

де Δ - величина діаметрального зазору у МОП, мм;

L - пробіг тепловоза, тис. км;

k_{ϕ} - коефіцієнт, що встановлює зв'язок параметрів зношування МОП з тривалістю напрацювання T осьової оливи у системі змащення;

k_E - коефіцієнт, залежний від того, піддається або не піддається олива електростатичній обробці;

$k_{\Delta\Delta}$ - коефіцієнт, що характеризує вплив розташування мастильного вікна відносно навантаженої зони на гідродинамічні характеристики підшипника.

Коефіцієнти впливу k_{Ti}, k_E розраховані як співвідношення поточної γ_i та умовної γ_0 величин швидкості зношування

$$k_i = \frac{\gamma_i}{\gamma_0}. \quad (5)$$

За умовну одиницю виміру швидкості зношування γ_0 прийнята та швидкість, яка характерна для зношування МОП при діаметральному зазорі $\Delta = 0,50$ мм та швидкості руху тепловоза 10 км/год.

Результати перших двох етапів дослідження використано для визначення ресурсу МОП. Основою розрахунку є базовий ресурс $R_{\text{баз}}$, величина якого має змінюватися у часі на кожній з елементарних ділянок зношування залежно від дії розглянутих вище коефіцієнтів впливу. Після інтегрування елементарних ділянок зношування, визначається величина зміни ресурсу МОП на певному пробігу тепловоза, за формулою

$$R = \frac{U}{I_{\text{баз}} \cdot k_{ГД} \cdot k_T \cdot k_E}. \quad (6)$$

Третій розділ присвячено теоретичним дослідженням підвищення ресурсу МОП за рахунок уповільнення процесів зношування матеріалів тертя, а основним напрямком досліджень є удосконалення системи змащення та активізація мастильних властивостей осьової оливи за рахунок її попередньої обробки накладеним електростатичним полем.

Згідно з розробленою фізико-математичною моделлю послідовно досліджуються навантаження, коефіцієнти тертя, визначаються вид і тривалість діючих на поверхні тертя МОП режимів змащення. Спираючись на результати цих

досліджень, розраховано питомі показники інтенсивності зношування матеріалів пари тертя МОП.

Для аналізу впливу факторів зовнішніх навантажень \hat{O}_f за розрахунковою схемою (рис. 1) у полярних координатах розглянуто сили та розраховано параметри навантажень на робочих поверхнях МОП.

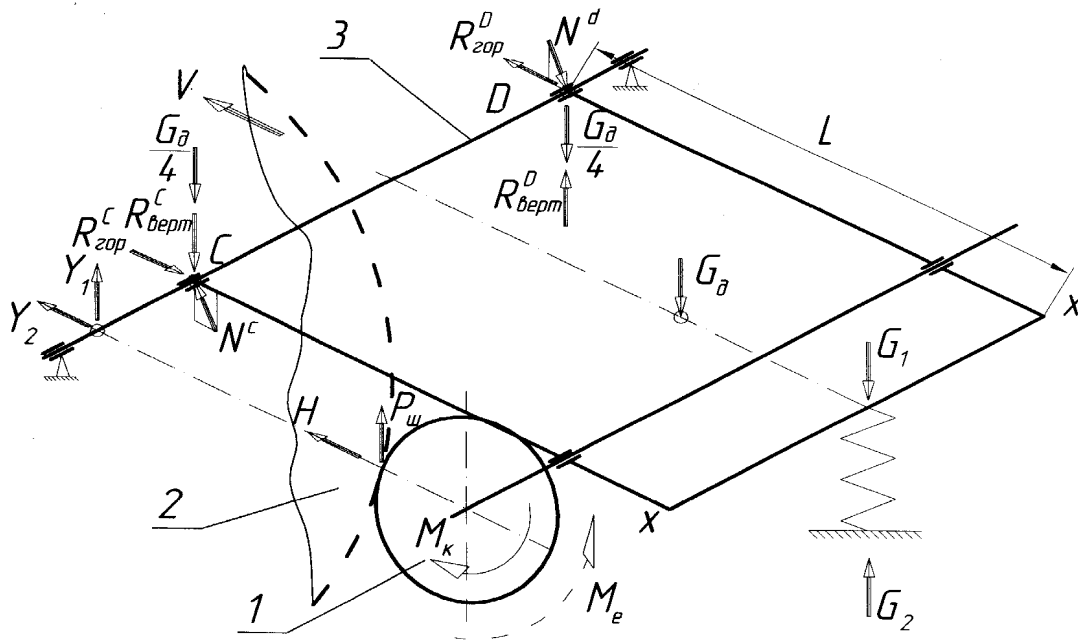


Рис. 1. Схема навантажень на робочі поверхні МОП тепловоза в режимі тяги при русі колісною парою вперед: C - МОП, розташований з боку тягового редуктора; D - МОП, розташований з боку колектора; P_0 та $-P_0$ - радіальні сили; H - розпирна сила; G_1, Y - сили реакції від моменту відносно осі 3; G_d - сила тяжіння від ваги тягового електродвигуна; M_e - електромагнітний реактивний момент; G_2 - сила, що компенсує електромагнітний момент.

Встановлено закономірності розподілу навантажень на розгортці поверхні вкладишів МОП (табл. 1, рис. 2) при різних швидкостях локомотива, які дозволили зробити такі висновки:

- тиск на робочих поверхнях вкладишів МОП має певні локальні зони, причому більшому завантаженню піддається нижній вкладиш;
- зона максимального тиску припадає на місце розташування мастильного вікна, що є нераціональним з точки зору утворення на поверхнях тертя гідродинамічного виду змащення;
- отримано залежність між швидкістю тепловоза та кутом φ дії і величиною навантаження N на вкладиші МОП.

На базі положень молекулярно-механічної теорії тертя і втомної природи зношування розглянуто характеристику змащувального режиму, який утворюється на поверхнях тертя МОП. Встановлено залежність товщини мастильного шару та виду змащування поверхонь МОП від швидкості локомотива (табл. 2).

Таблиця 1 - Залежності між швидкістю v (км/год) тепловоза та кутом φ (град) дії і величиною навантаження N (кН) на вкладиші МОП

Напрямок руху	Моторно-осьовий підшипник	
	C	D
тяговим електродвигуном попереду	$N = 51,000 - 0,430 \cdot v + 2,185 \cdot 10^{-3} \cdot v^2$	$N = 18,215 - 0,104 \cdot v + 1,852 \cdot 10^{-4} \cdot v^2$
	$\varphi = 128,48 - 0,22 \cdot v - 2,96 \cdot 10^{-3} \cdot v^2$	$\varphi = 331,37 - 2,97 \cdot 10^{-2} \cdot v - 7,41 \cdot 10^{-4} \cdot v^2$
тяговим електродвигуном позаду	$N = 36,851 - 0,376 \cdot v + 1,148 \cdot 10^{-3} \cdot v^2$	$N = 6,443 - 7,893 \cdot 10^{-3} \cdot v - 1,359 \cdot 10^{-4} \cdot v^2$
	$\varphi = 46,44 - 0,36 \cdot v + 1,11 \cdot 10^{-3} \cdot v^2$	$\varphi = 249,78 - 1,57 \cdot v + 9,44 \cdot 10^{-3} \cdot v^2$

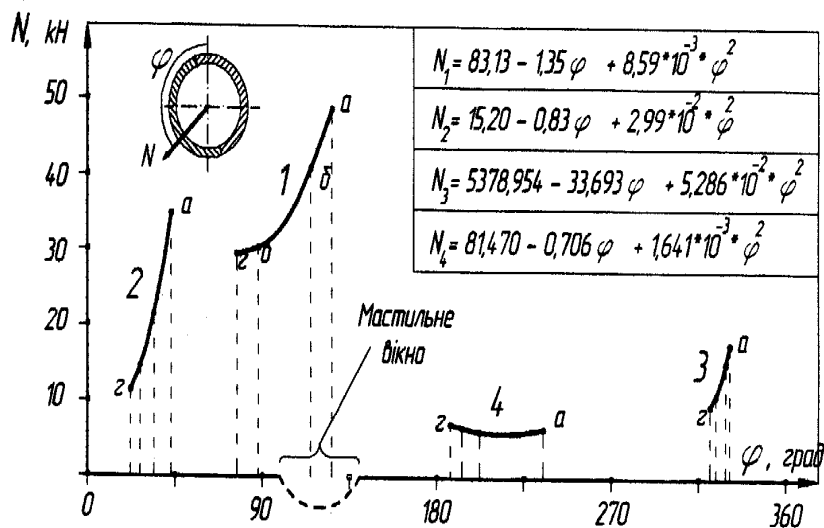


Рис. 2. Характеристика навантаження на розгортці поверхні вкладишів МОП: N та φ - величина та кут дії вектора навантаження відносно вертикалі; 1 та 2 - для підшипника C при русі тепловозу тяговим електродвигуном відповідно попереду та у зворотному напрямку; 3 та 4 - те саме для підшипника D ; $\dot{a}, \dot{a}, \dot{a}, \dot{a}$ - швидкість тепловоза відповідно 10, 40, 80 та 100 км/год

Комплексний аналіз навантажень і відповідних до них видів змащення поверхонь МОП дозволяє зробити такі висновки:

- найменш напружені умови роботи на поверхнях тертя МОП існують при величині діаметрального зазору $\Delta = 0,50$ мм;
- зі збільшенням діаметрального зазору область існування режиму рідинного тертя зменшується, а області дії граничного та змішаного тертя розширюються, що свідчить про більш напружені умови роботи підшипника;
- визначальну роль у формуванні того або іншого виду змащення відіграє величина діаметрального зазору. Залежно від її величини режим граничного та змішаного тертя діє в МОП від 30 до 100% всієї тривалості руху локомотива;

- додатковим чинником, який пришвидшує зношування поверхонь найбільш навантаженого МОП, є розташування мастильного вікна у навантаженої області вкладишу.

Розрахунки навантажень та аналіз змін видів мастильного режиму дали підставу для побудови гістограм відносної швидкості зношування поверхонь тертя МОП (рис. 3).

Таблиця 2 - Рівняння залежності товщини мастильного шару h (мкм) від швидкості v (км/год) тепловоза при різних діаметральних зазорах у підшипнику C

Діаметр. зазор, мм	Напрямок руху тепловоза	Граничні умови
	тяговим електродвигуном попереду	При $h < 10$ - граничний режим змащення; при $10 < h < 30$ - змішаний;
0,5	$h = 4,35 + 18,78 \cdot 10^{-2} \cdot v + 7,87 \cdot 10^{-4} \cdot v^2$	
1,0	$h = 6,11 - 12,75 \cdot 10^{-2} \cdot v + 34,58 \cdot 10^{-4} \cdot v^2$	
1,6	$h = 4,58 - 5,33 \cdot 10^{-2} \cdot v + 18,69 \cdot 10^{-4} \cdot v^2$	
2,0	$h = 1,88 - 2,86 \cdot 10^{-2} \cdot v + 8,18 \cdot 10^{-4} \cdot v^2$	при $h > 30$ - рідинний
	тяговим електродвигуном позаду	
0,5	$h = 13,93 - 6,49 \cdot 10^{-2} \cdot v + 7,47 \cdot 10^{-3} \cdot v^2$	
1,0	$h = 6,43 + 1,16 \cdot 10^{-2} \cdot v + 4,61 \cdot 10^{-3} \cdot v^2$	
1,6	$h = 2,26 + 0,12 \cdot v + 1,86 \cdot 10^{-3} \cdot v^2$	
2,0	$h = 1,02 + 7,13 \cdot 10^{-2} \cdot v + 2,05 \cdot 10^{-3} \cdot v^2$	

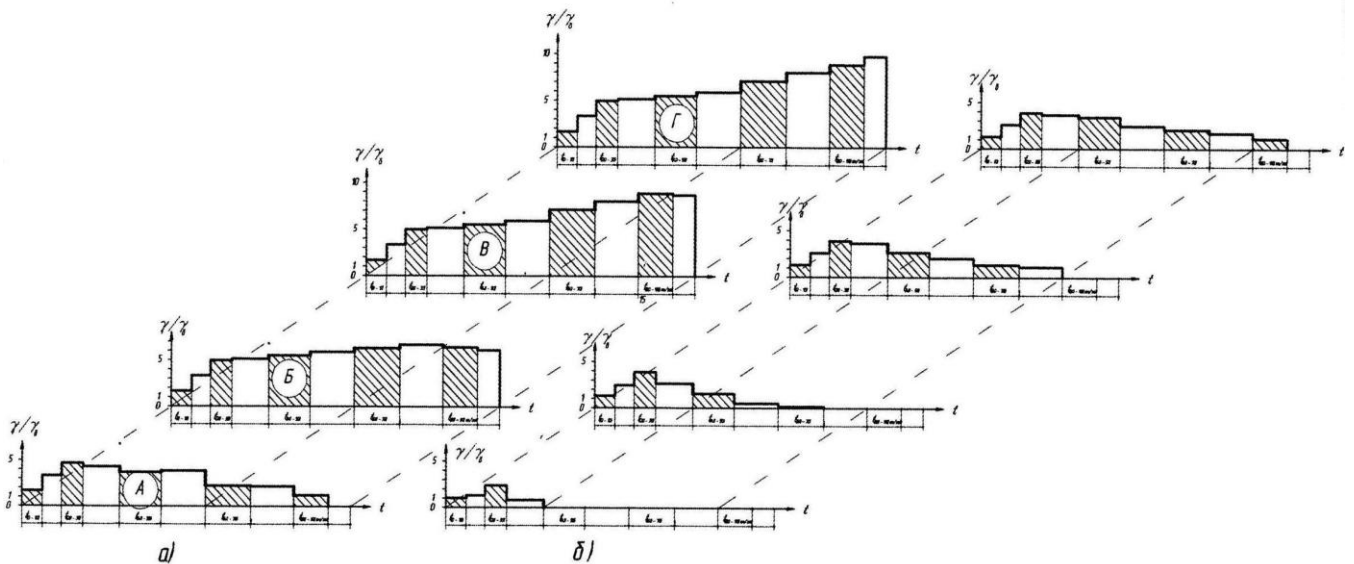


Рис. 3. Гістограми відносного зношування поверхонь тертя МОП: $\frac{\gamma_i}{\gamma_0}$ -

відносна швидкість зношування; t - тривалість руху тепловоза; $t_{(20-30)}$ - тривалість руху тепловоза зі швидкістю 20...30 км/год; А - при величині діаметрального зазору $\Delta = 0,50$ мм; Б - те саме при $\Delta = 1,00$ мм; В - те саме при $\Delta = 1,60$ мм; Г - те саме при $\Delta = 2,00$ мм; а) - при русі тепловоза тяговим електродвигуном попереду; б) - те саме тяговим електродвигуном позаду.

З гістограм можна зробити такі висновки:

- з підвищенням швидкості руху в межах дії граничного та змішаного режимів змащення зростають показники зношування поверхонь тертя МОП;
- експлуатаційне зростання величини діаметрального зазору призводить до розширення діапазону швидкостей руху, на яких діє режим граничного та змішаного тертя, загальним результатом чого є прискорення зношування робочих поверхонь МОП;
- найбільша швидкість зношування МОП відбувається під час руху тепловоза тяговим електродвигуном попереду, а її величина у 3,5 разу перевищує ту, що є характерною для руху тепловоза у зворотному напрямку;
- у МОП, які працюють в однаковому вантажно-швидкісному режимі, але зі збільшеними в межах допуску діаметральними зазорами, швидкість зношування поверхонь відносно базового рівня зростає від трьох до шести разів.

У **четвертому розділі** розглядається експериментальна фізико-хімічна модель дослідження змочувальної здібності осьової оливи з різним терміном служби, а також проводяться порівняльні дослідження зносної стійкості фізичної моделі пари тертя МОП після заміни штатного осьової оливи оливою, яка пройшла електростатичну обробку.

Мастильна властивість оливи оцінюється, зокрема, за показниками їх здатності до змочування поверхонь тертя. Експерименти зі змочування методом цифрової фотометрії проводилися з осьовою оливою у стані поставки та після напрацювання нею у системі змащування після пробігу тепловоза 75 та 150 тис. км. Крім того, вивчався вплив електростатичної обробки (ЕСО) осьової оливи на швидкість змочування.

Швидкість змочування оцінювалися відповідним коефіцієнтом k , який визначався як співвідношення площі змочування, яку займає крапля через 60 хвилин після нанесення на поверхню, і її площі в момент нанесення.

Експериментами встановлено, що незалежно від стану напрацювання під дією ЕСО змочувальні властивості осьової оливи зростають. Для оливи у стані поставки після ЕСО коефіцієнт змочування за час випробувань збільшується на 57% порівняно з тим самим показником для оливи без ЕСО. Після напрацювання оливою 150 тис. км ця різниця становить 30%.

Активізація процесу змочування під дією ЕСО є непрямою ознакою покращення мастильних властивостей осьової оливи. Для перевірки цієї гіпотези та встановлення кількісних характеристик змін мастильних властивостей оливи під дією ЕСО у другій частині експериментів проведено стендові випробування.

Метою стендових випробувань була оцінка швидкості зношування фізичної моделі пари тертя МОП в умовах застосування осьової оливи з різним ступенем напрацювання та впливу на цей процес ЕСО. Для створення умов тертя на фізичній моделі, адекватних умовам роботи пари тертя МОП, на підставі універсальних рівнянь подібності з урахуванням масштабного фактора визначено коефіцієнти для моделювання процесу у запланованому експерименті. Масштабний коефіцієнт моделі становив $C_1 = 4,20$.

Для моделювання обрано три робочих режими МОП тягового електродвигуна типу ЕД-118, на яких, за матеріалами попереднього розділу, спостерігаються

найбільші швидкості зношування. Експерименти проводилися на лабораторній установці, до складу якої входили пристрій подачі осьової оливи, пристрій для ЕСО та машина тертя СМТ-1.

За результатами експериментів отримано залежності швидкості зношування γ як функції потужності сил тертя і часу напрацювання осьової оливи на пробігу L тепловоза (рис. 4).

У п'ятому розділі наведено схему модернізації системи змащення та проведено розрахунки ресурсу МОП за методикою, поданою у другому розділі.

На основі залежностей (1) і (3) розраховано базовий ресурс МОП, тобто той умовний ресурс, який мав бути при врахуванні лише його діаметрального зазору. Для встановлення адекватності між теоретичною моделлю МОП та натурою за даними модельного експерименту з четвертого розділу роботи розраховано середню швидкість зношування, яка склала 0,439 мг/год. При наявній величині зношування $U=1,35$ мм і швидкості ковзання v у підшипнику, яка пропорційна середній швидкості руху 54 км/год, базовий ресурс МОП становить 375 тис. км пробігу тепловоза.

Для визначення поточних величин коефіцієнтів k_T та k_E за результатами модельного експерименту методом інтерполяції побудовано графік (рис. 5).

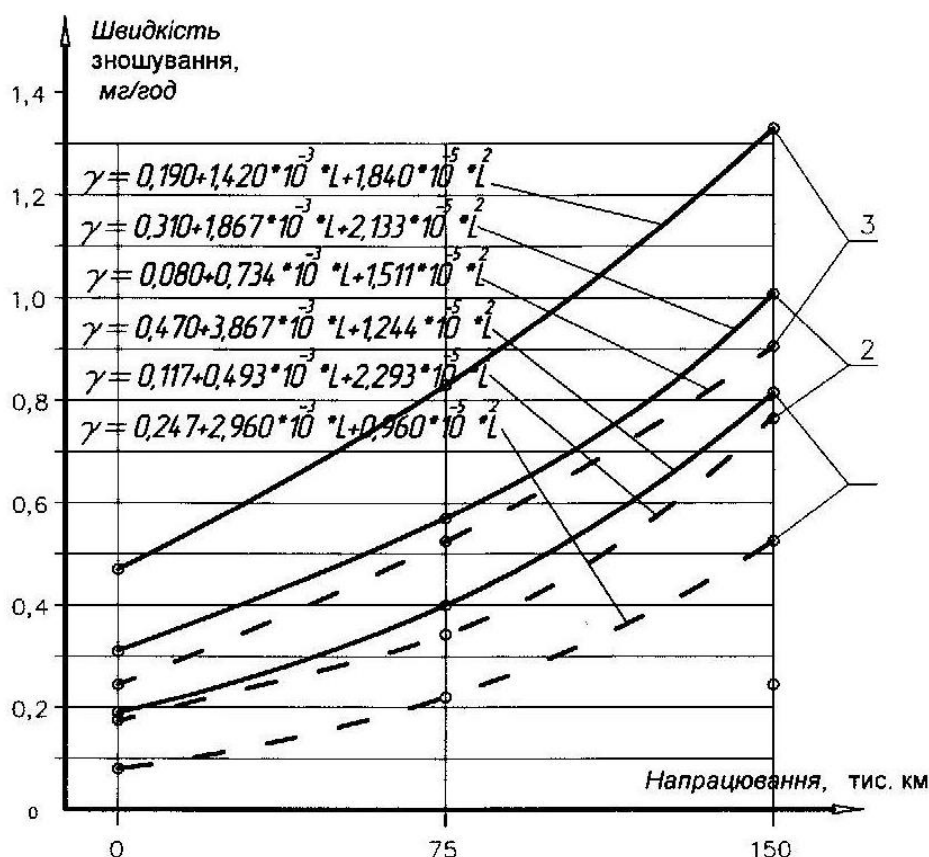


Рис. 4. Графік і рівняння залежності зношування зразків при однаковому рівні потужності сил тертя і застосуванні осьової оливи, яка має різну тривалість напрацювання: 1 – питома потужність сил тертя 0,138 Вт/мм²; 2 – те саме, 0,215 Вт/мм²; 3 – те саме, 0,247 Вт/мм²; « - » - олива без ЕСО; « - - » - олива після ЕСО.

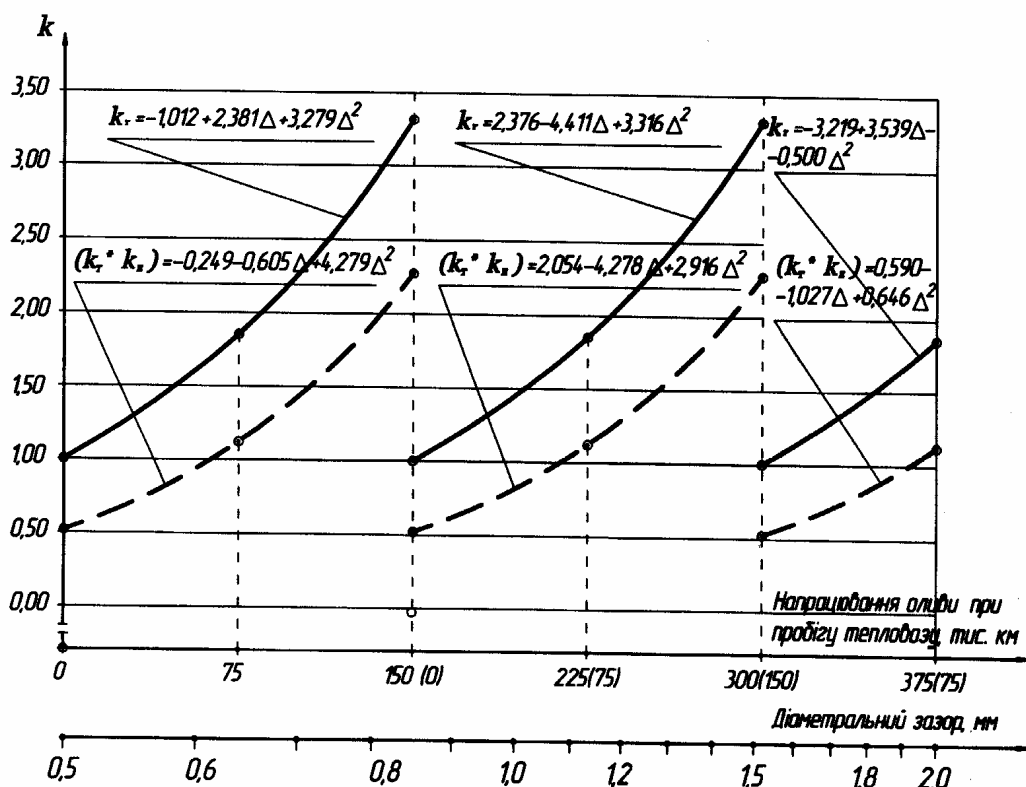


Рис. 5. Графік зміни коефіцієнтів k_T і k_E залежно від часу напрацювання осрової оливи і діаметрального зазору в МОП: « - » - олива без ЕСО; « - - » - олива після ЕСО.

Повне відпрацювання ресурсу МОП супроводжується двократною зміною осрової оливи після кожних 150 тис. км пробігу. Для оливи, що не піддавалася ЕСО (рис. 4), мінімальне значення інтенсивності зношування $k_{Ti} = 1,000$ відповідає початку експлуатації свіжої оливи, а максимальне - $k_{Ti} = 1,880$ - моменту її заміни.

Внаслідок застосування ЕСО осрової оливи, як видно з рис. 4, інтенсивність зношування поверхонь тертя знижується. Найбільший ефект спостерігається на оливі у стані поставки, електростатична обробка якої призводить до зниження інтенсивності зношування в 1,7 разу порівняно з варіантом використання тієї самої оливи, але без ЕСО. Із збільшенням тривалості напрацювання оливи відзначений ефект дещо слабшає, проте і до кінця терміну служби оливи загальна закономірність зниження швидкості зношування зберігається. Ослаблення ефекту ЕСО зі збільшенням напрацювання пояснюється деструкцією змащувального матеріалу, що призводить до зниження об'ємної концентрації полярних молекул.

У результаті апроксимації методом поліномів даних модельного експерименту з довірчою вірогідністю $p=0,95$ встановлено залежність між коефіцієнтами інтенсивності зношування k_T та k_E і діаметральним зазором у МОП. Рівняння апроксимуючих функцій наведено в табл. 3.

Таблиця 3 - Апроксимуючі функції для коефіцієнтів k_T та k_E

Монтажний діаметральний зазор $\Delta_m = 0,50$ мм			
Стан оливи		без застосування ЕСО	після застосування ЕСО
Рівняння функції	на ділянці пробігу 0-150 тис. км	$k_T = -0,755 + 4,150 \cdot \Delta - 1,278 \cdot \Delta^2$	$k_T, k_E = -1,111 + 3,970 \cdot \Delta - 1,139 \cdot \Delta^2$
	те ж 150-300 тис. км	$k_T = -0,694 + 2,195 \cdot \Delta - 0,318 \cdot \Delta^2$	$k_T, k_E = -1,041 + 2,078 \cdot \Delta - 0,297 \cdot \Delta^2$
	те ж 300-375 тис. км	$k_T = -0,016 + 0,355 \cdot \Delta + 0,175 \cdot \Delta^2$	$k_T, k_E = -0,614 + 0,573 \cdot \Delta + 0,113 \cdot \Delta^2$

Узагальнений порівняльний графік ресурсу МОП з вживаною нині та з різними варіантами модернізації системи змащення наведено на рис. 6. Апроксимуючі функції залежності ресурсу від величини діаметрального зазору розраховано з довірчою вірогідністю 0,95. З рис. 6 випливає, що залежно від варіанта побудови модернізованої системи змащення ресурс МОП зростає в середньому утричі.

За результатами проведених досліджень запропоновано схему модернізації системи змащення МОП, яка може бути вбудованою в існуючу систему тепловоза. Відмінності запропонованої модернізованої схеми подачі змащення від існуючої полягають в тому, що:

- нижній вкладиш виконано цільним, без змащувального вікна. Олива до підшипника подається за допомогою насоса у ненавантажену зону вкладиша, що створює кращі умови для циркуляції оливи крізь підшипник, сприяє кращій регуляції температури і утворенню гідродинамічного змащувального шару;
- безпосередньо перед надходженням із змащувального резервуара до поверхонь тертя осьова олива піддається ЕСО.

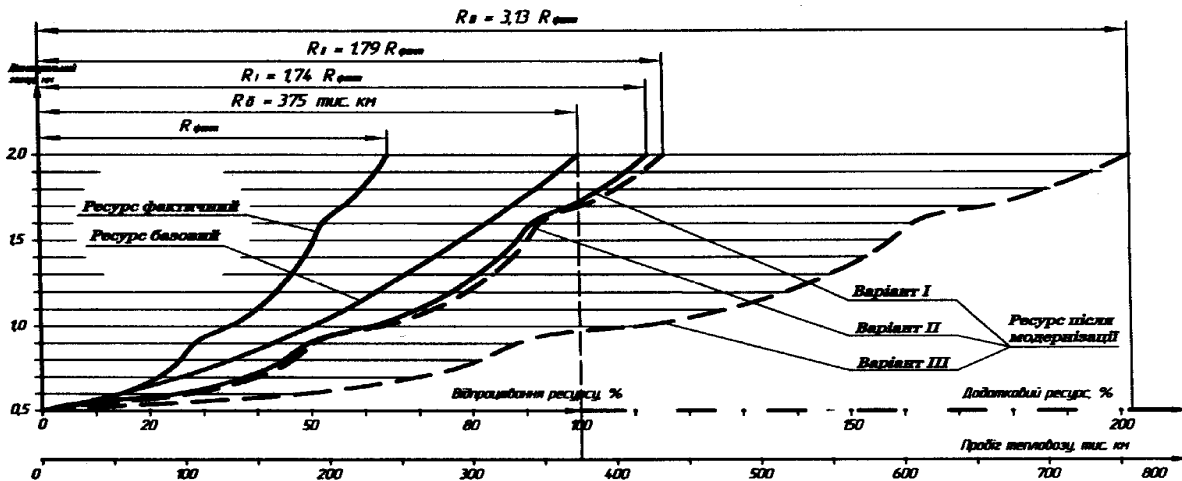


Рис. 6. Узагальнений графік ресурсу МОП з різними варіантами системи змащення

Ресурс МОП після модернізації системи змащення (750 тис. км) наближається до періодичності проведення капітального ремонту тепловоза. Річний економічний ефект від використання результатів досліджень становить біля 12 тис. грн на один локомотив.

ВИСНОВКИ

Вирішено науково-прикладне завдання підвищення ресурсу вузла моторно-осьового підшипника тепловоза за рахунок модернізації системи змащення, яка полягає у покращенні умов гідродинамічного змащення підшипника та в активізації мастильних властивостей осьової оливи зовнішнім електростатичним полем. Це дозволяє підвищити рівень безпеки руху, збільшити довговічність МОП, зменшити кількість їх ремонтів і підвищити техніко-економічні показники роботи тепловозів.

У рамках вирішеного завдання отримані такі результати.

1. Встановлено, що недостатня ефективність відомих методів підвищення ресурсу МОП значною мірою обумовлена недоліками систем змащення. По-перше, передбачена ними схема подачі оливи не враховує існування на поверхні вкладишів зон локалізації навантажень поблизу точки подачі оливи, що уповільнює перехід вузла до роботи в умовах гідродинамічного змащення. Іншою вадою є відсутність умов для підтримки якнайвищої мастильної властивості осьової оливи, внаслідок чого остання за термін служби оливи у системі змащення погіршується більш ніж утричі.

2. Уточнено розподіл навантажень на поверхнях вкладишів МОП. Аналіз показує, що вектор навантаження залежить від місця розташування підшипника, напрямку руху та швидкості тепловоза. Місця навантаження вкладишів мають в основному локальний характер, розосереджені по поверхні вкладишів кожного підшипника у двох різних зонах.

3. Конкретизовано дані щодо комплексного впливу основних фізичних чинників, які визначають швидкість зношування робочих поверхонь МОП. Запропоновано метод і алгоритм розрахунків, які дозволяють визначати темпи зношування та ресурс МОП.

4. Вперше надано кількісну характеристику процесу природної втрати осьовою оливою частини своєї мастильної властивості за час роботи у системі змащення та встановлено аналітичну залежність від нього темпу зростання зносних ушкоджень МОП. Вперше встановлено регресійні залежності та доведено, що методом уповільнення згаданого процесу та зношування підшипника є електростатична обробка осьової оливи, після якої:

- зростає адсорбційний потенціал оливи відносно поверхонь пари тертя: залежно від ступеня напрацювання коефіцієнт змочування для оливи після ЕСО збільшується у 1,6-2,9 рази;

- зменшується швидкість зношування пари тертя підшипника: величина зменшення залежить від ступеня напрацювання оливи і коливається у межах 1,5 - 2,0 рази.

5. Вдосконалено метод визначення ресурсу моторно-осьового підшипника, відповідно до якого основними чинниками впливу на інтенсивність зношування

розглядаються гідродинамічна характеристика підшипника та поточний стан мастильної властивості осьової оливи. Покращення гідродинамічної характеристики підшипника досягається тим, що на підставі встановленої закономірності розподілу навантажень на вкладиш запропоновано нову схему подачі оливи. Мастильна властивість залежить від тривалості роботи та структурного стану осьової оливи. Методом покращення мастильної властивості впродовж всього терміну служби осьової оливи є обробка її зовнішнім електростатичним полем.

6. Запропоновано модернізовану систему змащення, що вмонтовується в існуючу конструкцію системи змащування (Система змащування моторно-осьового підшипника локомотива: патент на корисну модель UA 70541 B61C 17/00. – Бюл. №11, 11.06.2012 р.). При використанні запропонованої системи змащення ресурс МОП зростає в середньому утричі, що значно перевищує орієнтовні показники, наведені у «Програмі оновлення тягового рухомого складу Укрзалізниці до 2020 р.». Річний економічний ефект, пов'язаний зі збільшенням ресурсу МОП тепловозів, становить близько 12 тис. грн на кожен тепловоз.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні праці

1. Астахов В. Н. Особенности нагружения поверхностей трения в моторно-осевых подшипниках локомотивов [Текст] / В. Н. Астахов, Е. Н. Лысиков, П. Е. Коновалов // 36. наук. пр. Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків, 2011. – Вип. 125. – С. 69–75.

2. Астахов В. Н. Особенности гидродинамической смазки на поверхностях трения моторно-осевых подшипников [Текст] / В. Н. Астахов, И. С. Грунык, П. Е. Коновалов // 36. наук. пр. Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків, 2011. – Вип. 127. – С. 152-159.

3. Астахов В. Н. Оценка режимов трения и смазки в подшипниках осевого подвешивания локомотивов [Текст] / В. Н. Астахов, Е. Н. Лысиков, П. Е. Коновалов // 36. наук. пр. / ДПТ. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 40. – С. 46-53.

4. Коновалов П. Е. Расчетная модель интенсивности изнашивания как функция диаметрального зазора в МОП [Текст] / П. Е. Коновалов // 36. наук. пр. Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків, 2012. – Вип. 129. – С. 173-178.

5. Коновалов П. Е. До питання гідродинамічного змащення моторно-осьових підшипників тепловозів [Текст] / П. Е. Коновалов, С. І. Зазгарський // 36. наук. пр. Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків, 2012. – Вип. 133. – С. 321-325.

6. Коновалов П. Е. Система змащування моторно-осьового підшипника локомотива / В. М. Астахов, С. М. Лисіков, С. В. Воронін, Є. В. Коновалов, П. Е. Коновалов, І. С. Грунік / Патент на корисну модель UA 70541 B61C 17/00. – Бюл. №11, 11.06.2012 р.

Праці апробаційного характеру

7. Астахов В. Н. Модель структуры опорной поверхности в режиме граничной смазки [Текст] / В. Н. Астахов, Е. Н. Лысиков, П. Е. Коновалов // Механика и трибология транспортных систем: материалы Междунар. науч. конф. МехТрибоТранс – 2011 (9-11 ноября 2011 г.). - Ростов/на Дону, 2011. – С. 37.

8. Коновалов П. Є. Алгоритм прогнозування ресурсу моторно-осьових підшипників локомотивів [Текст] / П. Є. Коновалов // Матеріали 25-ї міжнар. конф. «Перспективні комп'ютерні, керуючі та телекомунікаційні системи для залізниць України», - Алушта, 2012. – С. 92-93.

Додаткові праці

9. Лысыков Е. Н. Использование эффекта электрообработки жидких смазочных сред в тяжелых режимах работы подшипников [Текст] / Е. Н. Лысыков, С. В. Воронин, П. Е. Коновалов // 36. науч. пр. Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Харків, 2010. – Вып. 115. – С. 122-127.

АНОТАЦІЯ

Коновалов П.Є. Підвищення ресурсу моторно-осьових підшипників тепловозів шляхом модернізації системи змащення. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів. – Українська державна академія залізничного транспорту МОН України; Харків, 2013.

Метою роботи є вирішення науково-практичного завдання підвищення ресурсу моторно-осьових підшипників (МОП) вантажних тепловозів за рахунок застосування раціональних конструктивних параметрів системи змащення та покращення експлуатаційних властивостей змащувального середовища.

В дисертації запропоновано заходи з покращення ефективності роботи системи змащення МОП, що сприяє підвищенню надійності роботи колісно-моторного блока тепловоза та рівня безпеки залізничного руху взагалі.

Теоретично та експериментально доведено доцільність запропонованих заходів з реконструкції системи змащення МОП. Річний економічний ефект від модернізації системи змащення та подовження в 3 рази ресурсу моторно-осьових підшипників становить 12 тис. грн. на кожен тепловоз. Результати роботи впроваджено у локомотивному депо Мукачеве Львівської залізниці.

Ключові слова: моторно-осьовий підшипник, система змащення, ресурс, тепловоз, зношування, інтенсивність зношування, олива, мастильний режим, електростатична обробка.

АННОТАЦИЯ

Коновалов П.Е. Повышение ресурса моторно-осевых подшипников тепловозов путем модернизации системы смазки. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 – подвижной состав железных дорог и тяга поездов. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта МОН Украины, Харьков, 2013.

Диссертационная работа посвящена решению актуального научно-прикладного задания – повышению ресурса моторно-осевых подшипников (МОП) тепловозов путем применения рациональных параметров системы их смазки и улучшения эксплуатационных свойств смазочной среды.

Уровень технического состояния колесно-моторного блока в значительной степени определяется состоянием МОП, недостаточный ресурс которых является причиной внеплановых ремонтов и снижения уровня технической готовности локомотивов, из-за чего дороги в целом несут значительные убытки.

Несмотря на большое число научных исследований, проблема повышения ресурса МОП остается актуальной. Особую остроту она приобретает в связи с реализацией рассчитанной до 2020 г. Программы по расширенному капитальному ремонту и модернизации действующего парка грузовых локомотивов Укрзалізничці.

Одна из основных причин недостаточного ресурса МОП заключается в недостаточной эффективности работы системы смазки узла. Недостатки системы смазки заключаются в низкой продуктивности и нерациональной схеме подачи смазочного материала, что препятствует созданию на поверхностях трения узла МОП благоприятных смазочных режимов. Кроме того, в работе систем смазки МОП не предусмотрены меры, направленные на улучшение эксплуатационных свойств осевых масел.

Теоретические исследования интенсивности износных явлений на поверхностях трения МОП проведены в два этапа. На первом этапе составляется общая физико-математическая модель износа МОП, построенная на учете влияния на этот процесс группы из трех факторов. Исследуется качественная сторона средств повышения ресурса МОП, что позволяет получить предварительную, относительную оценку эффективности выбранных средств.

Согласно разработанной методике оценки ресурса последовательно исследуются нагрузки, определяются коэффициенты трения, виды и длительность действующих на поверхности трения МОП режимов смазки. На их основе рассчитаны предварительные, относительные показатели интенсивности износа материалов пары трения МОП.

Количественная оценка эффективности выбранного направления повышения ресурса определяется на втором, экспериментальном, этапе исследования с применением физической модели пары трения. Этому посвящены третий и четвертый разделы работы, в которых последовательно уточняется масштаб влияния на процесс изнашивания МОП того или иного фактора, выводятся эмпирические зависимости темпов износа от мощности нагрузки и продолжительности работы осевого масла в системе смазки.

Установлено, что определяющую роль в формировании того или иного режима смазки играет величина диаметрального зазора. В зависимости от него режим граничной и смешанной смазки действует от 30% до 100% продолжительности движения тепловоза. Таким образом, в течение всего этого времени на поверхностях МОП происходят износные процессы различной степени интенсивности.

Дополнительным фактором, приводящим к активизации износа, является расположение смазочного окна в наиболее нагруженной зоне вкладыша подшипника. Из-за этого потери гидродинамического давления на соответствующих скоростях движения тепловоза составляют 60-70%.

Экспериментальные исследования включали в себя изучение смачивающих свойств осевого масла и определение скорости изнашивания физической модели

пары трения МОП. Проводилось сравнение этих параметров при использовании осевого масла, подвергнутого электростатической обработке (ЭСО) и масла без обработки.

Отмечена активизация адсорбционных свойств осевого масла под влиянием ЭСО, что является признаком улучшения его противоизносных свойств. Последующие эксперименты на машине трения подтвердили такую гипотезу. Они позволили установить закономерности изменения процесса изнашивания под влиянием ЭСО осевого масла и вывести группу коэффициентов, количественно характеризующих влияние различных факторов на интенсивность процесса изнашивания и ресурс МОП.

Заключительный этап работы посвящен описанию системы смазки МОП после модернизации, составлению методики и расчету прогноза ресурса МОП, использующих две различные системы смазки. Установлено, что в результате модернизации системы ресурс МОП по отношению к существующей системе смазки возрастает в среднем в 3 раза.

Годовой экономический эффект от модернизации системы смазки МОП тепловоза и увеличения ресурса составляет 12 тыс. грн на каждый локомотив.

Материалы диссертационной работы внедрены в локомотивном депо Мукачево Львовской железной дороги.

Ключевые слова: моторно-осевой подшипник, система смазки, ресурс, тепловоз, износ, интенсивность изнашивания, масло, смазочный режим, электростатическая обработка.

THE ABSTRACT

Konovalov P. E. Diesel locomotive motor-axial bearings service life increase by means of lubricating system modernization. – Manuscript.

Dissertation to obtain the scientific degree of a candidate of technical sciences according to the speciality 05.22.07 – railway rolling stock and train traction. - Ukrainian state academy of railway transport, Department of education and science of Ukraine, Kharkiv, 2013.

The purpose of the given work is to solve scientific practical task of freight diesel locomotive motor-axial bearings service life increase at the expense of utilization of rational and constructive parameters of lubricating system and improvement of operational characteristics of lubricating medium.

Means as to the improvement of MAB lubricating system work efficiency that contributes to the reliability of a diesel locomotive wheel-motor unit and to the railway traffic safety in general has been offered in the dissertation.

The utility of the steps offered as to the reconstruction of MAB lubricating system has been proved both theoretically and experimentally. Annual economic effect from lubricating system modernization and increase of motor-axial bearings service life by 3 times makes 11,5 thousand HUA per each diesel locomotive. The results of the work have been introduced at locomotive depot Mukachevo of Lviv railway.

Key words: motor-axial bearing, lubricating system, service life, diesel locomotive, wear, wear rate, oil, lubrication rate, electrostatic treatment.

Коновалов Павло Євгенович

**ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ МОТОРНО-ОСЬОВИХ ПІДШИПНИКІВ
ТЕПЛОВОЗІВ ШЛЯХОМ МОДЕРНІЗАЦІЇ
СИСТЕМИ ЗМАЩЕННЯ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск

С.В. Воронін

Підписано до друку 22.05. 2013 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір офсетний.

Умовн. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,1.

Замовлення №199. Тираж 100 примірників.

Видавництво УкрДАЗТ, свідоцтво ДК №2874 від 12.06.2007 р.

Друкарня УкрДАЗТ

61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.