

**УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

Афанасов Георгій Михайлович

УДК 621.45.04

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МАСЛЯНОЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОВОЗУ
ВСТАНОВЛЕННЯМ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ОБРОБКИ МОТОРНИХ ОЛИВ
ЕЛЕКТРОСТАТИЧНИМ ПОЛЕМ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту Міністерства транспорту та зв'язку України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Лісіков Євген Миколайович, Українська державна академія залізничного транспорту, кафедра Коля та колійне господарство, професор.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Тартаковський Едуард Давидович, Українська державна академія залізничного транспорту, кафедра Експлуатація та ремонт рухомого складу, завідувач кафедри;

кандидат технічних наук

Косолапов Віктор Борисович, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, кафедра Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні машини та обладнання, доцент кафедри.

Захист відбудеться "17" червня 2010 року о 12⁰⁰ 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 " _____ " _____ 2010 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

А.В. Прохорченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Функціональні порушення в роботі тепловозів, обумовлені зносом найбільш навантажених елементів, насамперед їх дизелів, які викликають тривалі простої тепловозів в ремонті, ускладнюють експлуатацію і технічне обслуговування тепловозів.

Деталі тепловозних дизелів внутрішнього згорання працюють в жорстких умовах навантажень, які циклічно повторюються, у наслідок періодичних дій сил газів і сил інерції мас. Ці навантаження, в першу чергу, негативно впливають на знос деталей кривошипно-шатунного механізму, до яких відносяться поршень, поршневі кільця, пальці, шийки і вкладиші колінчастого вала.

Основною системою тепловозу, яка головним чином призначена для забезпечення зменшення зносу вузлів тертя тепловозних дизелів та підвищення їх ресурсу, є масляна система. Тому підвищення її ефективності є актуальним завданням.

Відомо багато робіт, присвячених підвищенню ефективності масляної системи тепловоза. Найбільш перспективним способом є поліпшення експлуатаційних характеристик змащувальних олив, які використовуються в масляній системі тепловоза. Одним з таких методів є встановлення в масляну систему пристрою для обробки моторних олив електростатичним полем.

Під впливом електростатичного поля на моторну оливу відбуваються такі явища:

- змінюється надмолекулярна структура молекул присадок, яка сприяє ефективному формуванню змащувальної плівки на поверхнях тертя;
- як наслідок, збільшується товщина та несуча здатність змащувальної плівки;
- на продуктах зносу інтенсифікується процес адсорбції молекул присадок і останні покривають їх оболонкою;
- продукти зносу, покриті оболонкою молекул присадок, заповнюють мікронерівності поверхонь тертя і, як наслідок, питомі навантаження зменшуються і тому підвищується ресурс кривошипно-шатунного механізму тепловозних дизелів.

Таке вирішення задачі не призводить до значних економічних витрат на експлуатацію тепловозів, а ефективність їх, згідно з відомостями, які наведені в літературі, не менше, а в деяких випадках більше вже існуючих методів і способів поліпшення експлуатаційних властивостей моторних олив, які використовуються в масляних системах тепловозів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дисертаційна робота відповідає програмі "Підвищення надійності і довговічності машин і конструкцій", яка затверджена в постанові Верховної Ради України №2750 від 16.10.92 з подальшими доповненнями і згідно з Концепцією і Програмою розвитку і модернізації залізничного транспорту України, затвердженими постановою Кабінету Міністрів України №651 від 27.12.2006; науковому напрямку Української державної академії залізничного транспорту, науково - дослідній роботі на тему «Розробка енергозберігаючої технології використання рідких мастильних матеріалів на залізничному транспорті» (№ДР 0107U000339).

Мета і завдання досліджень

Метою даної роботи є вирішення науково-практичної задачі підвищення ефективності масляної системи тепловозу встановленням пристрою для обробки моторних олив електростатичним полем.

Для досягнення вказаної мети необхідно вирішити такі завдання:

- Виконати аналіз роботи масляної системи і вузлів, які залежать від її роботи, в експлуатації та розробити спосіб підвищення ефективності її функціонування.

- Провести аналіз науково-дослідних робіт в області дії силових полів на експлуатаційні властивості моторних олив, при встановленні в масляну систему тепловозу пристрою для їх обробки електростатичним полем, та встановити головні параметри цих властивостей, що визначають ресурс тепловозних дизелів.

- Визначити залежність між інтенсивністю зношування поверхонь тертя кривошипно-шатунного механізму тепловозних дизелів та товщиною змащувального шару моторної оливи, обробленої та не обробленої електростатичним полем.

- Розробити модель, яка дозволяє встановити енергетичну оцінку взаємодії молекул присадок в моторних оливах в умовах дії на них силового поля поверхні тертя.

- Встановити закономірності зношування основних пар тертя тепловозних дизелів в умовах використання в масляній системі тепловозу пристрою для обробки моторних олив електростатичним полем.

- Визначити технічні параметри пристрою для обробки моторних олив тепловозних дизелів електростатичним полем, при яких спостерігається найбільша ефективність масляної системи, та розробити конструктивні рекомендації щодо зміни масляної системи тепловозу 2TE116.

- Виконати прогноз ресурсу тепловозних дизелів при удосконаленні масляної системи тепловозу.

- Оцінити економічну ефективність встановлення пристрою для обробки моторних олив тепловозних дизелів електростатичним полем в масляній системі тепловозу 2TE116.

Об'єкт досліджень – процес впливу обробки моторних олив електростатичним полем на ефективність масляної системи тепловозу.

Предмет досліджень – масляна система тепловозу, яка удосконалена пристроєм для обробки моторних олив електростатичним полем.

Методи досліджень – дослідження впливу обробки моторних олив електростатичним полем на ресурс тепловозних дизелів проводилися на базі теорії надійності, математичної статистики, методу системного аналізу, сучасних положень фізики, триботехніки, механіки.

При проведенні експериментальних досліджень використовувалися методи математичної статистики основ теорії планування і обробки експериментальних даних.

Наукова новизна одержаних результатів

1. Вперше доведено доцільність використання пристрою для обробки моторної оливи електростатичним полем в масляній системі тепловозу, що дозволяє

підвищити ефективність її роботи та загальний позитивний вплив на основні функції призначення масляної системи.

2. Встановлена аналітична залежність інтенсивності зношування поверхонь тертя кривошипно-шатунного механізму та товщини змащувальної плівки, утвореної молекулами присадки оброблених та необроблених моторних олів у масляній системі тепловозу електростатичним полем.

3. Вперше розроблена фізико-математична модель енергетичної оцінки взаємодії молекул присадок моторних олів в умовах дії на них силового поля поверхонь тертя, що дозволяє визначити зовнішнє навантаження, при якому спостерігається максимальний ефект підвищення ресурсу вузлів тертя тепловозних дизелів.

4. Вперше на основі лабораторних випробувань отримані емпіричні залежності:

- зміни товщини адсорбованої плівки від напруги, що подається на пристрій для обробки моторних олів електростатичним полем, в умовах обробки моторних олів електростатичним полем;

- зменшення швидкості зношування елементів пар тертя «шийка колінчастого вала-вкладиш підшипника» контактного навантаження, напруги, що подається на пристрій для обробки моторних олів електростатичним полем, та частоти обертів колінчастого вала в умовах обробки моторних олів електростатичним полем.

Практична цінність одержаних результатів

1. Розроблений пристрій для обробки моторних олів електростатичним полем та конструктивні рекомендації щодо зміни в масляній системі тепловозу 2ТЕ116 використано в локомотивному депо Лозова Південної залізниці при модернізації тепловозу 2ТЕ116. Удосконалення масляної системи тепловозу встановленням пристрою для обробки моторних олів електростатичним полем дозволяє підвищити ресурс деталей тепловозних дизелів.

2. Розроблено стенд для обробки моторних олів електростатичним полем з метою проведення лабораторних досліджень швидкості зношування елементів пар тертя тепловозних дизелів, який використовується в галузевій лабораторії хімотології Укрзалізниці при УкрДАЗТ.

3. Розроблений спосіб підвищення ефективності масляної системи тепловозу та модель прогнозування ресурсу тепловозних дизелів використовуються в навчальному процесі УкрДАЗТ та ІППК при УкрДАЗТ при вивченні дисциплін "Ресурсозбереження на залізничному транспорті", "Засоби підвищення надійності машин і економії нафтопродуктів", "Основи надійності та експлуатаційні матеріали для БКВРМ", "Експлуатація та ремонт будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин".

4. Результати досліджень можуть бути використані для удосконалення будь-яких змащувальних систем з метою підвищення ресурсу двигунів.

5. Економічний ефект від використання результатів досліджень складає 41201 грн на один локомотив.

Результати роботи підтверджуються відповідними актами та матеріалами впровадження.

Особистий внесок здобувача. В роботах, опублікованих із співавторами, особисто здобувачем були отримані такі розробки і наукові результати, представлені до захисту: розроблений механізм взаємодії молекул присадок, при якому можливо провести енергетичну оцінку їх взаємодії між собою [1], розроблена методика і проведені експериментальні дослідження механізму зношування кривошипно-шатунного механізму тепловозних дизелів при обробці моторних олив електростатичним полем [2], визначені раціональні режими обробки моторних олив тепловозних дизелів, при яких спостерігається найбільший ефект підвищення ресурсу кривошипно-шатунного механізму [3], визначена мінімальна несуча здатність граничної змащувальної плівки, сформованої поверхнево-активними речовинами на поверхнях тертя тепловозних дизелів [4].

Апробація результатів дисертації. Результати роботи доповідалися і обговорювалися:

- на 67–70-х міжнародних науково-технічних конференціях кафедр Української державної академії залізничного транспорту і фахівців залізничного транспорту і підприємств (м. Харків, 2005–2008);

- на міжнародній науково-технічній конференції "Rusnauka: наука и инновации" (м. Дніпропетровськ, 2007).

Повністю результати дисертаційної роботи доповідалися в Українській державній академії залізничного транспорту за участю членів спеціалізованої вченої ради та в Національному технічному університеті "Харківський політехнічний інститут".

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 4 наукові роботи в спеціалізованих виданнях, затверджених ВАК України, як фахові.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, основних результатів і висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг роботи складає 156 сторінок, зокрема 127 сторінок основного тексту, 23 таблиць і 43 рисунки за текстом, список використаних джерел на 18 сторінках, який містить 126 найменувань, і 4 додатків на 13 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, розкрито суть і стан задачі, сформульовано мету та завдання дослідження, викладено наукову новизну і практичну цінність, подано загальну характеристику роботи.

Перший розділ присвячений огляду та аналізу науково - дослідних робіт, які пов'язані з підвищенням ефективності масляних систем тепловозів, поліпшенням характеристик змащувальних олив з метою підвищення ресурсу дизелів.

Масляна система тепловозу призначена для створення необхідного тиску і підведення оливи до пар тертя дизелів, відведення тепла, а також частинок забруднень та частинок нагару з поверхонь тертя. При цьому основною функцією масляної системи тепловозу є забезпечення зменшення зносу вузлів тертя тепловозних дизелів та забезпечення їх ресурсу. Для того щоб задовольнити ці умови та забезпечити ефективність функціонування масляної системи тепловозу, вона повинна включати в себе як масляні насоси й фільтри, так і охолоджувальні

пристрої для забезпечення надійності роботи дизеля та його ресурсу. Насамперед ефективність функціонування масляної системи залежить від експлуатаційних характеристик моторних оливо.

Існують різні альтернативні засоби і методи підвищення ефективності масляної системи за рахунок покращення експлуатаційних характеристик моторних оливо, зокрема, гідродинамічне диспергування моторних оливо та використання пристроїв для дозованого введення в них протизношувальних присадок, але всі ці методи не набули широкого застосування в масляних системах тепловозів.

Одним з перспективних способів поліпшення характеристик оливо є використання силових полів, у тому числі електростатичних. Згідно з аналізом науково - дослідних робіт в цій галузі, шляхом дії електростатичного поля на рідкі змащувальні середовища в них відбуваються структурні перетворення, які сприяють ефективному формуванню моно- і полімолекулярної змащувальної плівки, що дозволяє знизити інтенсивність зношування поверхонь тертя.

На основі аналізу існуючих методів покращення експлуатаційних властивостей моторних оливо було сформульовано мету і завдання досліджень.

Другий розділ присвячений теоретичним дослідженням доцільності використання пристрою для обробки моторних оливо електростатичним полем в масляній системі тепловозу, що дозволяє підвищити ресурс тепловозних дизелів.

У роботі висунута гіпотеза, суть якої полягає в тому, що шляхом дії електростатичного поля змінюється структура моторної оливи в масляній системі, що дозволяє поліпшити її експлуатаційні характеристики, а отже, підвищити ресурс вузлів тертя кривошипно-шатунного механізму тепловозних дизелів.

Згідно з цією гіпотезою, на першому етапі визначено величину контактних навантажень, які виникають при роботі двигуна в парах тертя кривошипно-шатунного механізму.

Найбільше значення контактний тиск в парах тертя «кільце - гільза» і «колінчастий вал-вкладиш» в залежності від кута повороту колінчастого вала відповідно має $P_{к-г} = 46,54$ МПа, $P_{в-в} = 22,96$ МПа.

Ресурс кривошипно-шатунного механізму визначається інтенсивністю зношування його деталей. Тому, згідно з науково-дослідними роботами в галузі тертя та зношування (Крагельського, Флайшера, Федорова, Ахматова), отримана аналітична залежність інтенсивності зношування деталей кривошипно-шатунного механізму. Ця залежність має такий вигляд

$$I = \frac{A \cdot V^{-\frac{2}{5}} \cdot \mu^{-\frac{1}{6}} \cdot \bar{P}}{\ell_t \cdot h^2}, \quad (1)$$

де A – функція матеріалу контртіла і складу поверхнево-активних компонентів моторних оливо, а також мікронерівностей поверхонь;

V – швидкість ковзання поверхонь тертя;

μ – динамічна в'язкість моторної оливи;

\bar{P} – питоми тиск в парі тертя;

ℓ_t – енергетична щільність тертя;

h – товщина змащувальної плівки.

Згідно з залежністю (1), інтенсивність зношування при інших різних умовах визначається товщиною змащувальної плівки.

Наведений вираз (1) дозволяє провести порівнювальний аналіз інтенсивності зношування деталей кривошипно-шатунного механізму тепловозних дизелів як при обробці моторних олиив електростатичним полем, так і без неї. Тоді співвідношення інтенсивності зношування пар тертя при інших різних умовах ($A, V, \mu, \bar{P}, \ell_t$) має такий вигляд

$$\frac{I_n}{I_o} = \frac{h_1^2}{h_2^2}, \quad (2)$$

де I_n – інтенсивність зношування пар тертя при їх змащуванні необробленою моторною олиивою;

I_o – інтенсивність зношування пар тертя при їх змащуванні моторною олиивою обробленою електростатичним полем;

h_1 – товщина змащувальної плівки моторної олииви, обробленої електростатичним полем;

h_2 – товщина змащувальної плівки моторної олииви, не обробленої електростатичним полем.

Товщина змащувальної плівки залежить від силового поля поверхонь тертя деталей кривошипно-шатунного механізму тепловозних дизелів та від експлуатаційних властивостей моторних олиив. Визначення товщини змащувальної плівки теоретично є складною задачею, тому її доцільно визначити експериментальним шляхом.

Таким чином, співвідношення (2) дозволяє встановити інтенсивність зношування деталей кривошипно-шатунного механізму тепловозних дизелів, а в подальшому прогнозувати їх ресурс.

Несуча здатність змащувальної плівки на поверхнях тертя деталей кривошипно-шатунного механізму залежить не тільки від силового поля поверхонь тертя, а також від механізму взаємодії молекул присадок між собою, тобто енергії їх взаємодії.

Розкриття такої математичної моделі дозволяє зрозуміти фізичні явища, які визначають ресурс пар тертя деталей кривошипно-шатунного механізму. Товщина змащувальної плівки не зв'язана з її несучою здатністю і не розкриває механізм її формування та фізичні явища, пов'язані з контактним тиском, обумовленим режимами навантажень тепловозних дизелів.

Оскільки молекули присадки багатьма дослідженнями в галузі молекулярної фізики розглядаються, як диполі, то схему розташування їх можна подати у векторній формі (рис.1).

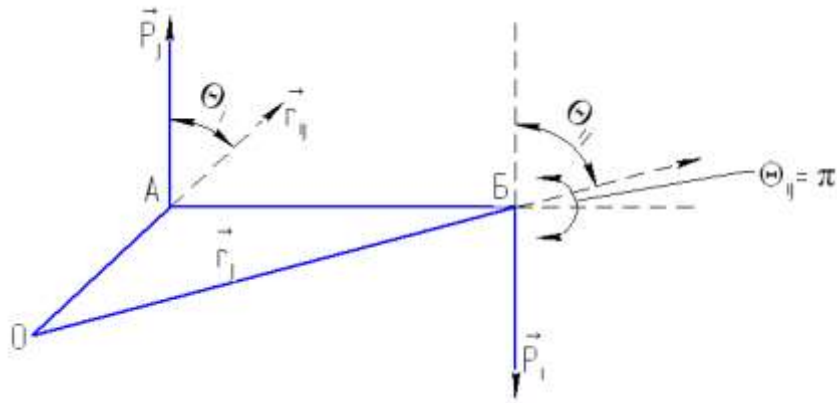


Рис. 1. Схема розташування (диполів) молекул присадки в системі координат

Тоді енергія двох диполів у векторній формі має такий вигляд

$$W_{ij} = -\vec{P}_i \cdot E_q(\vec{q}_j, \vec{r}_{ij}) = \frac{\vec{P}_i \cdot \vec{P}_j \cdot r_{ij}^2 - 3(\vec{r}_{ij} \cdot \vec{P}_i) \cdot (\vec{r}_{ij} \cdot \vec{P}_j)}{r_{ij}^5} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0}, \quad (3)$$

де q – заряд диполя;

\vec{P} – дипольний момент; $\vec{P} = q \cdot \vec{\ell}$;

\vec{r} – радіус – вектор, проведений з точки локалізації диполя у точку спостереження;

$r_{ij} = \vec{r}_i - \vec{r}_j$;

W_{ij} – енергія диполя \vec{P}_i в полі диполя \vec{P}_j ;

ϵ_0 – електрична постійна;

ϵ – відносна діелектрична проникність моторної оливи $\epsilon = 2$.

Така фізична модель дозволила провести енергетичний аналіз взаємодії двох молекул присадки для різних випадків спрямованості їх одна відносно іншої (рис.2).

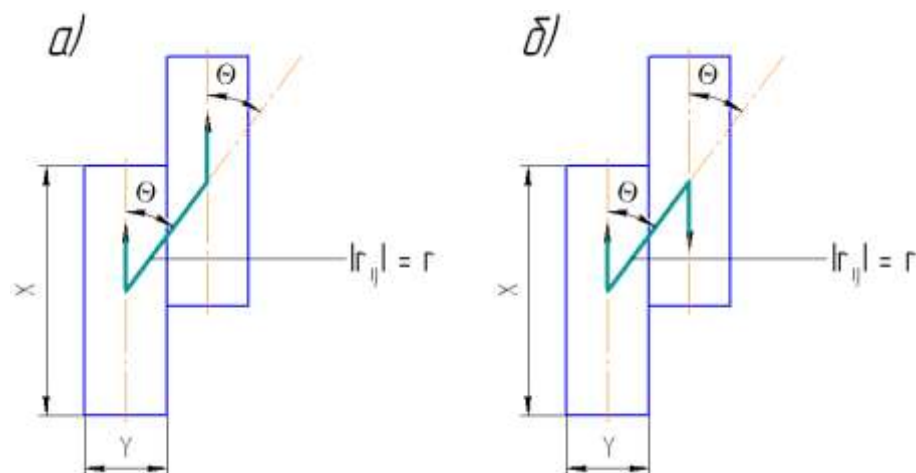


Рис. 2. Схема взаємодії двох молекул присадки під впливом силового поля поверхонь тертя:

а) спрямовані в один бік; б) спрямовані в різні боки

Позначимо $|\vec{r}_{ij}| = r$, тоді залежність (3) для випадку однаконо спрямованих диполів буде мати вигляд

$$W_{ij}^1 = \frac{p^2(1 - 3\cos^2 \Theta)}{r^3} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0}, \quad (4)$$

для випадку різноспрямованих диполів

$$W_{ij}^2 = \frac{p^2(3\cos^2 \Theta - 1)}{r^3} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0}, \quad (5)$$

Крім того, з рис. 2 видно, що $r = \frac{Y}{\sin \Theta}$, та $\Theta_{\min} = \arctg \frac{Y}{X}$

Проаналізувавши функції $W_{ij}^1, W_{ij}^2 = W_{ij}(\Theta)$ на екстремум в інтервалі кутів $\Theta = \Theta_{\min} \div \Theta_{\max}$, де $\Theta_{\max} = \pi - \Theta_{\min}$, визначили, що максимальні значення функції W_{ij}^1, W_{ij}^2 мають, відповідно, при кутах $90^\circ; 43,56^\circ$, а мінімальні значення при $43,56^\circ; 90^\circ$.

Згідно з теоретичними дослідженнями максимального значення енергія взаємодії досягає при куті 90° , тобто коли молекули розташовані під впливом зовнішнього навантаження паралельно.

Таке теоретичне обґрунтування на базі взаємодії молекул присадок дозволяє глибше розкрити природу несучої здатності змащувальної плівки в умовах обробки моторних олів електростатичним полем. Для цього була розроблена фізична модель взаємодії молекул присадок при їх адсорбції на поверхнях тертя кривошипно-шатунного механізму тепловозних дизелів.

Останнім етапом теоретичних досліджень було визначення мінімальної несучої здатності змащувальної плівки. При цьому під мінімальною несучою здатністю адсорбованого граничного шару молекул присадки матимемо на увазі величину зовнішнього навантаження, під впливом якого товщина шару стає критичною (залишається мономолекулярний шар), при якій матиме місце його механічне або теплове руйнування, що призводить до різкого підвищення інтенсивності зношування робочих поверхонь тертя тепловозних дизелів.

Розглянемо вплив зовнішньої сили N , обумовленої режимами навантажень тепловозного дизеля, на зміну енергії взаємодії молекул присадки при їх зсуві одна відносно іншої (рис.3).

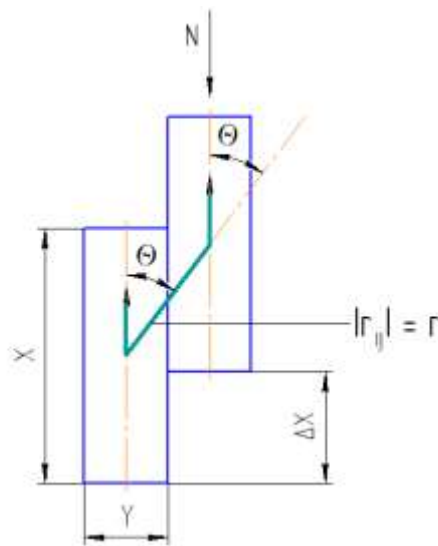


Рис. 3. Схема зсуву молекул під дією навантаження

Уявимо, що сила N (рис. 3) при зсуві молекули присадки на відстань ΔX здійснює роботу, величина якої буде рівна енергії їх взаємодії залежно від кута Θ

$$N \cdot \Delta X = \frac{p^2(1 - 3\cos^2 \Theta)}{r^3} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0}, \quad (6)$$

Тоді, підставивши $r = \frac{Y}{\sin \Theta}$ та $\Delta X = \frac{Y}{\operatorname{tg} \Theta}$ в рівняння (6), отримаємо таку залежність

$$N = \frac{p^2(1 - 3\cos^2 \Theta) \cdot \sin^3 \Theta \cdot \operatorname{tg} \Theta}{Y^4} \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0}, \quad (7)$$

Таким чином, розроблена фізико-математична модель на основі мінімуму енергії взаємодії молекул присадки дозволила оцінити несучу здатність змащувальної плівки для випадку відсутності деформації молекул, яка досягає 11 МПа. Такі умови можливо створити при розробленні тепловозних дизелів.

Третій розділ присвячений експериментальним дослідженням впливу обробки моторних олив масляної системи тепловозу на інтенсивність зношування пар тертя кривошипно-шатунного механізму їх дизелів.

Перший етап був присвячений визначенню товщини змащувальної плівки на поверхнях тертя, як без обробки моторної оливи електростатичним полем, так і з її обробкою. З цією метою був закладений класичний принцип вимірювання товщини змащувального шару, розроблений О.С. Ахматовим, але в модернізованому варіанті, де пластини були замінені на шари. Окрім цього, була розроблена гідравлічна станція для обробки моторної оливи електростатичним полем (рис. 4).

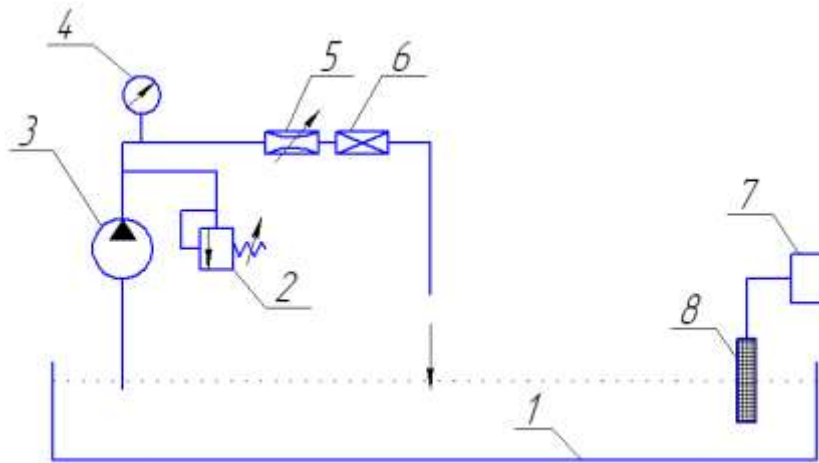


Рис. 4. Схема лабораторного станда для обробки моторних олив електростатичним полем:

- 1 – бак з оливою; 2 – запобіжний клапан; 3 – насос; 4 – манометр;
 5 – регульований дросель; 6 – пристрій для електростатичної обробки олив;
 7 – терморегулятор; 8 – нагрівальний елемент

При цьому кулі змащувалися моторною оливою М-14-В₂, яка широко використовується в масляних системах тепловозів.

Програма проведення експериментальних досліджень передбачала проведення двочинникового експерименту з обробкою моторної оливи електростатичним полем і без неї відповідно до теорії планування експериментальних досліджень.

Основними параметрами, які визначають процес режиму обробки, є напруга, що подається на електроди, і зазор між електродами.

Результати проведених експериментальних досліджень щодо товщини змащувальної плівки на поверхнях тертя наведені на рис. 5.

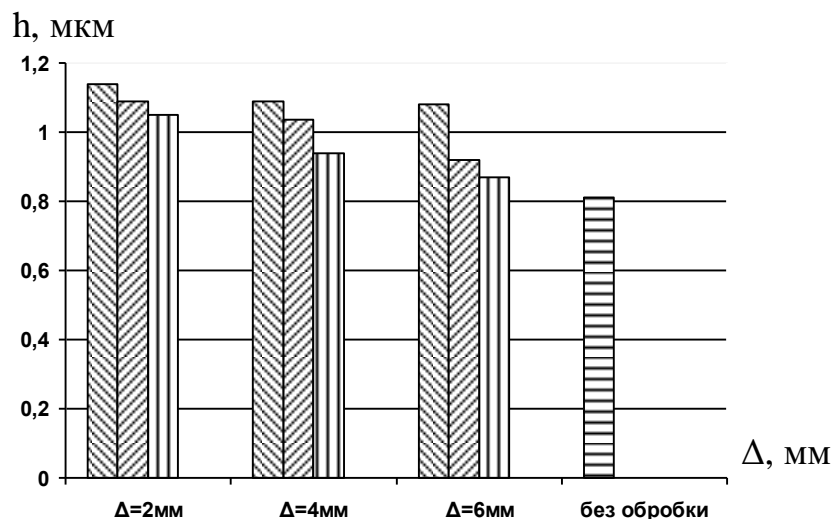


Рис. 5. Зміна товщини граничної змащувальної плівки в залежності від міжелектродного зазора і напруги:

- при напрузі 1000В; – при напрузі 1500В;
 – при напрузі 2000В; – без обробки

При дослідженні діапазону напруг на електродах і зазорів встановлено, що ефект зміни товщини складає для необробленої моторної оливи 0,8 мкм, а для обробленої 1,17 мкм. Це підтверджує основні теоретичні положення щодо інтенсивності зношування, оскільки її величина обернено пропорційна квадрату товщини змащувальної плівки, що сприяє підвищенню ресурсу.

Обробка результатів досліджень дозволила отримати емпіричні залежності зміни товщини змащувальної плівки моторної оливи від напруги, яка подавалася на електроди пристрою для обробки моторної оливи електростатичним полем (табл. 1) при різному значенні зазора між електродами.

Таблиця 1

Емпіричні залежності зміни товщини змащувальної плівки моторної оливи

Міжелектродний зазор, Δ , мм	Емпіричні залежності
2	$h = 8E-08U^2 - 0,0003U + 1,36$
4	$h = -2E-07U^2 + 0,0005U + 0,78$
6	$h = -8E-08U^2 + 0,0001U + 0,91$

Однак ці дослідження не є підтвердженням інтенсивності зношування, оскільки відсутнє навантаження.

Другий етап експериментальних досліджень був присвячений визначенню швидкості зношування пар тертя «колінчастий вал-вкладиш», а також «кільце-гільза», тому що швидкість зношування в першу чергу залежить від несучої здатності змащувальної плівки.

Головними параметрами, які визначають швидкість зношування були прийняті: контактний тиск, міжелектродний зазор, напруга на електродах, частота обертів вала.

Експериментальні дослідження швидкості зношування пари тертя «колінчастий вал-вкладиш» проводилися за допомогою спеціального лабораторного стенда (рис. 4) на машині тертя СМЦ-2 за схемою «колодка-ролик».

Матеріали зразків колодки і ролика вибиралися такими ж, як і матеріали, що використовуються для виготовлення пари тертя «колінчастий вал - вкладиш» дизелів тепловозів 10Д100 і 5Д49.

Результати зміни швидкості зношування без обробки моторної оливи електростатичним полем і з її обробкою наведені на рис. 6. Згідно з експериментальними даними швидкість зношування змінюється в широких діапазонах залежно від головних параметрів. При цьому максимальне значення зниження швидкості зношування спостерігається при нарузі на електродах 1000 В і міжелектродному зазорі 2 мм і таке зниження складає до 6 разів.

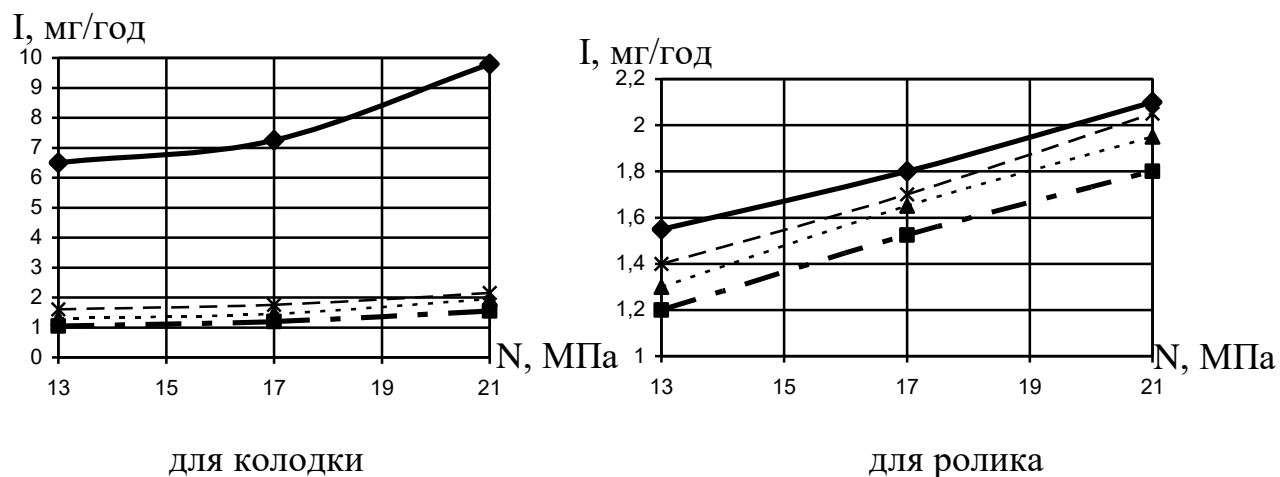


Рис. 6. Залежність швидкостей зношування пар тертя від напруги електростатичного поля і контактної навантаження при міжелектродному зазорі 2мм:

— без обробки; - - - - - напруга 2000 В;
 - напруга 1500 В; - . - . - напруга 1000 В

Після обробки експериментальних даних були отримані емпіричні залежності зміни швидкості зношування від напруги, що подається на пристрій, і контактних навантажень (табл. 2).

Таблиця 2

Емпіричні залежності зміни швидкості зношування

	Без обробки	
	для колодки	для ролика
	$I = 0,0563 N^2 - 1,5 N + 16,494$	$I = 0,0016 N^2 + 0,0156 N + 1,0828$
Напруга, U, В	З обробкою	
	для колодки	для ролика
	$I = 0,0031 N^2 - 0,0438 N + 1,0906$	$I = -0,0016 N^2 + 0,1281 N - 0,2016$
	$I = 0,0109 N^2 - 0,2906 N + 3,2297$	$I = -0,0016 N^2 + 0,1344 N - 0,1828$
	$I = 0,0047 N^2 - 0,1031 N + 2,1484$	$I = 0,0016 N^2 + 0,0281 N + 0,7703$

Кривошипно-шатунний механізм включає не тільки пару тертя «колінчастий вал-вкладиш», а також «кільце-гільза». Для перевірки основної гіпотези впливу електростатичного поля на швидкість зношування були проведені експериментальні дослідження на машині тертя МТЗІР (машина тертя зворотно-поступального руху). Результати цих досліджень в залежності від контактних навантажень наведені на рис. 7. При зміні структури моторної оливи обробкою її електростатичним полем швидкість зношування зменшується до 1,5 разу.

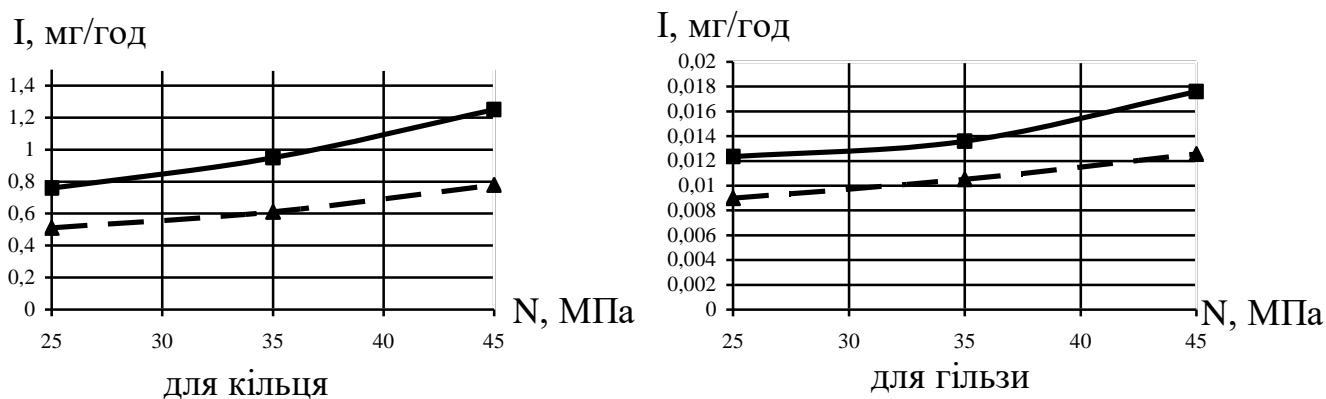


Рис. 7. Зміна швидкості зношування в залежності від величини контактного навантаження:

————— — без обробки; - - - - - — з обробкою

Таким чином, проведені експериментальні дослідження підтверджують, що ефект використання обробки електростатичним полем моторної оливи дозволяє зменшити швидкість зношування пар тертя кривошипно-шатунного механізму до 6 разів. Ці дані були закладені в основу прогнозування ресурсу дизелів тепловозів.

Проведемо порівняння експериментальних досліджень з теоретичними положеннями впливу обробки моторних оливи електростатичним полем на інтенсивність зношування I пар тертя кривошипно-шатунного механізму тепловозних дизелів (рис. 8).

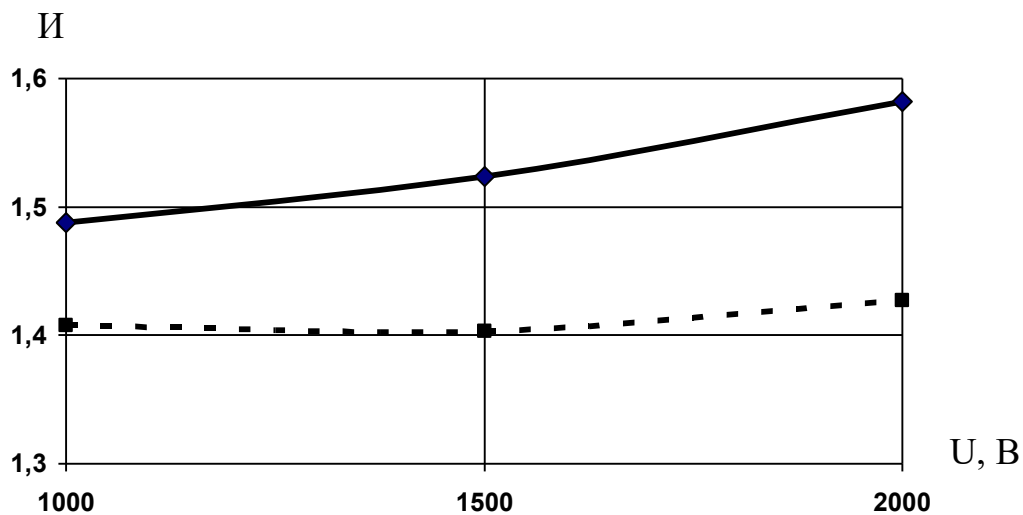


Рис. 8. Порівняння теоретичних та експериментальних досліджень впливу обробки моторних оливи електростатичним полем на співвідношення інтенсивності зношування пар тертя тепловозних дизелів у залежності від напруги, що подається на електроди:

————— — експериментальна крива; - - - - - — теоретична крива

Похибка результатів експериментальних та теоретичних досліджень складає близько 10–15%. Це обумовлено тим, що в процесі експлуатації тепловозних дизелів

не враховуються експлуатаційні властивості моторних олив у повному обсязі при їх обробці електростатичним полем.

Четвертий розділ присвячений удосконаленню масляної системи тепловозу 2ТЕ116 встановленням пристрою для обробки моторних олив електростатичним полем.

Для забезпечення максимальної ефективності обробки моторних олив електростатичним полем була розроблена методика вибору параметрів, до яких відносяться: кількість електродів, які забезпечують раціональний режим обробки моторних олив електростатичним полем, а також потужність пристрою.

Згідно з раніше проведеними дослідженнями, обробку моторних олив електростатичним полем необхідно здійснювати в повнопотоковому варіанті, тому пристрій доцільно, згідно з конструкцією масляної системи тепловоза, встановити після насоса.

Схема встановлення пристрою в масляну систему тепловоза 2ТЕ116 наведена на рис. 9.

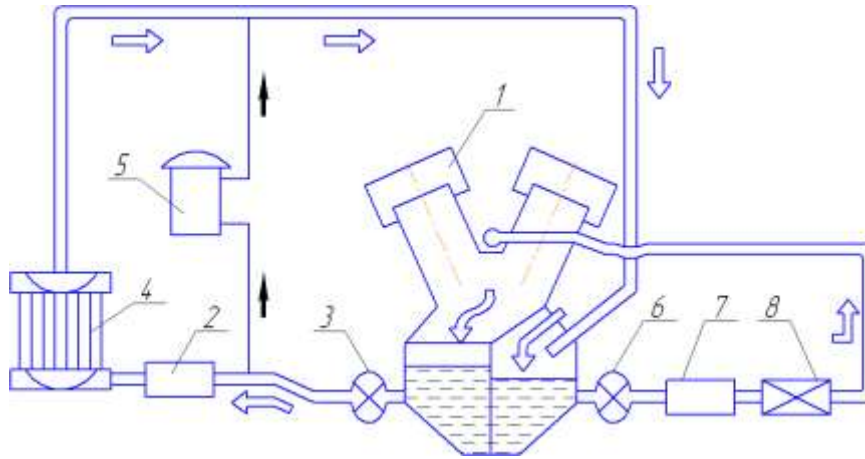


Рис. 9. Схема встановлення пристрою для обробки моторних олив електростатичним полем в масляну систему тепловоза 2ТЕ116:

- 1 – дизель; 2, 7 – фільтр грубого очищення; 3, 6 – масляний насос;
- 4 – охолоджувальний пристрій; 5 – фільтр тонкого очищення;
- 8 – пристрій для обробки моторних олив електростатичним полем.

Технічна характеристика пристрою для обробки моторних олив масляної системи тепловозу електростатичним полем наведена в таблиці 3.

Таблиця 3

Технічна характеристика пристрою для обробки моторних олив масляної системи тепловозу електростатичним полем

Найменування показника	Значення
Маса пристрою, кг	8,5
Кількість електродів, шт	82
Перепад тиску, атм	0,1
Потужність, яка споживається, Вт	28,4

У роботі наведена схема цього пристрою, а також його конструкція.

У п'ятому розділі наведена модель прогнозування ресурсу тепловозних дизелів при встановленні пристрою для обробки моторних олив електростатичним полем в масляну систему тепловозу.

Якщо вважати, що знос деталей кривошипно-шатунного механізму змінюється за класичним законом Лоренца, тоді знос на прогнозований момент часу можна подати у вигляді трьох складових: початковий знос, знос при сталому режимі, період катастрофічного зношування.

Тоді для сталого режиму можна прийняти лінійну залежність зносу кривошипно-шатунного механізму тепловозного дизеля, яка має вигляд

$$I = I(\tau_0) + I(\tau_1) \cdot \tau_{np}, \quad (8)$$

де $I(\tau_0)$ – початковий знос, тобто знос в період припрацювання;
 $I(\tau_1) \cdot \tau_{np}$ – знос на прогнозований період.

Визначення кривої зносу – надзвичайно важка задача і на сьогоднішній день в галузі тертя і зношування не вирішена в чистому вигляді, тому використовують експериментальні дослідження. Тоді з урахуванням раніше проведених експериментальних досліджень і зроблених допущень про пряmolінійність зносу в сталому режимі стосовно тепловозного дизеля був проведений розрахунок його ресурсу кривошипно-шатунного механізму залежно від пробігу з урахуванням зниження швидкості зношування за рахунок обробки моторної оливи електростатичним полем (рис. 10).

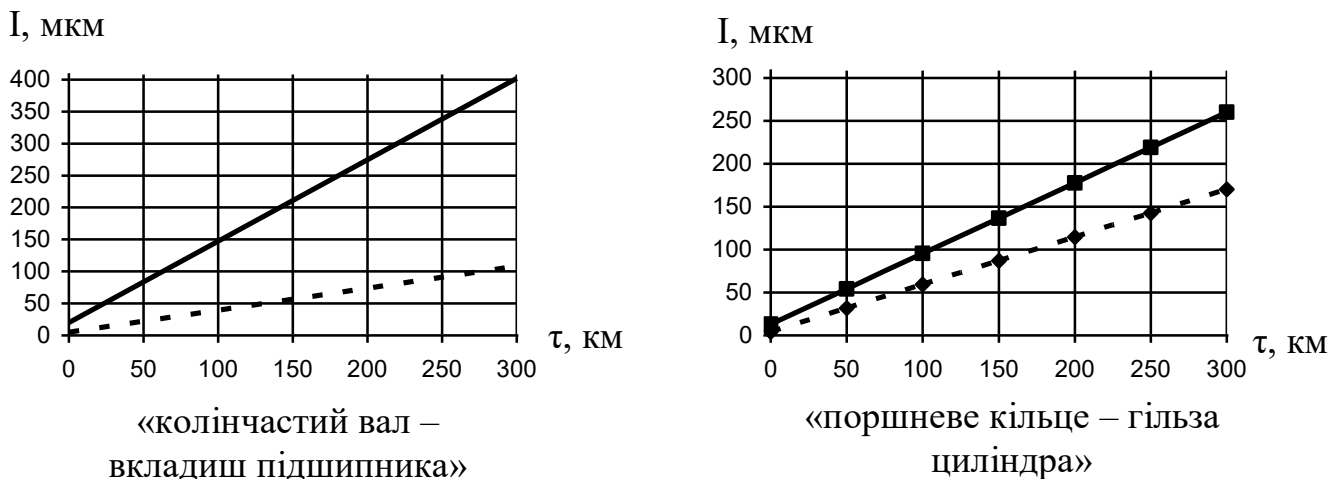


Рис. 10. Залежність зносу від величини пробігу до ТР-3:

— — без обробки; — з обробкою

При використанні електрообробки моторної оливи ресурс пар тертя тепловозних дизелів відповідно підвищується:

- «колінчастий вал-вкладиш» – до 3 разів;
- «кільце - гільза» – до 1,5 разу.

Ці дані підтверджують метод інтенсифікації адсорбційного процесу молекул присадок на поверхнях тертя.

Економічний ефект від вдосконалення масляної системи тепловозу встановленням пристрою для обробки моторних олив електростатичним полем, за рахунок зменшення витрат на ремонт деталей кривошипно-шатунного механізму дизелів, складає 41201 грн на один локомотив.

ВИСНОВКИ

На основі результатів теоретичних і експериментальних досліджень можна зробити наступні загальні висновки.

1. Згідно з аналізом роботи масляної системи та вузлів, які залежать від її роботи, встановлено, що її ефективність в значній мірі залежить від експлуатаційних властивостей моторних олив, які головним чином забезпечують ефект зменшення зношування вузлів тертя тепловозних дизелів, що забезпечує їх ресурс.

2. На основі аналізу науково-дослідних робіт найбільш перспективним способом збільшення ресурсу тепловозних дизелів є підвищення ефективності їх змащувальних систем встановленням пристрою для обробки моторних олив електростатичним полем. Під впливом електростатичного поля на структуру моторних олив у них відбуваються структурні перетворення, які сприяють ефективному формуванню граничної змащувальної плівки на поверхнях тертя тепловозних дизелів.

3. Ресурс кривошипно-шатунного механізму тепловозних дизелів визначається інтенсивністю зношування його поверхонь тертя. На основі основоположних робіт в галузі тертя встановлена аналітична залежність між товщиною адсорбованої плівки молекул присадок і інтенсивністю зношування елементів кривошипно-шатунного механізму при граничному режимі тертя. При цьому інтенсивність зношування прямо пропорційна питомій силі тертя і обернено пропорційна енергетичній щільності тертя та квадрату товщини змащувальної плівки.

4. Набула подальшого розвитку фізична модель, що дозволяє визначити енергію взаємодії молекул присадки для випадку відсутності деформації молекул. Енергія взаємодії в залежності від кута їх розташування має знаковмінний характер і змінюється в широкому діапазоні. В граничних адсорбованих шарах, найбільш наближених до поверхонь тертя, максимальне значення енергії тяжіння W_{ij} між молекулами присадки складає $0,2 \cdot 10^{-20}$ Дж при величинах кутів $43,56^\circ$ і $136,44^\circ$. Відповідно, в шарах, віддалених від поверхонь, $W_{ij} = 1 \cdot 10^{-20}$ Дж при величині кута 90° .

5. Згідно з експериментальними дослідженнями, за рахунок запропонованого способу обробки моторних олив електростатичним полем можна збільшити товщину захисної змащувальної плівки до 1,5 разу. Ці дані підтверджують основну гіпотезу щодо зниженню інтенсивності зношування і такий спосіб дозволяє поліпшити експлуатаційні властивості моторних олив, які використовуються в масляних системах тепловозів.

6. Експериментальні дослідження протизношувальних властивостей моторних олив при обробці їх електростатичним полем і без такої за критерієм швидкості

зношування підтверджують основні теоретичні положення. Згідно з цим дослідженням, швидкість зношування при обробці моторної оливи зовнішнім електростатичним полем в режимі граничного змащування знижується в порівнянні з не обробленою моторною оливою (для пари тертя «колодка – ролик» відповідно до 6 разів і до 1,3 разу, а для пари тертя «кільце гільза» до 1,6 разу).

7. Згідно з експериментальними даними, визначені раціональні режими обробки моторних олив електростатичним полем, при яких спостерігається максимальний ефект швидкості зношування. Такі параметри мають наступні значення: напруга, що подається на пристрій і яка складає 1000 В; величина струму не більше 200 мкА; зазор між електродами 2 мм. Крім того розроблена конструкція пристрою, а також місце його встановлення в масляну систему тепловозу 2ТЕ116.

8. Згідно з теоретичними та експериментальними дослідженнями впливу обробки моторних олив електростатичним полем, прогнозований ресурс пар тертя кривошипно-шатунного механізму підвищується: «колінчастий вал-вкладиш» до 3 разів, «кільце - гільза» до 1,5 разу.

9. Впровадження запропонованого способу підвищення ефективності масляної системи тепловозу 2ТЕ116 встановленням пристрою для обробки моторних олив електростатичним полем дозволяє отримати економічний ефект, який складає 41201 грн на один локомотив.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Афанасов Г.М. Взаємодія молекул ПАР моторних олив в адсорбційному шарі на поверхнях тертя двигунів внутрішнього згоряння/ Лисіков Є.М., Воронін С.В., Афанасов Г.М. // Тематичний випуск "Автомобіле - і тракторобудування": Зб. наук. праць / Вісник НТУ "ХПІ". - Харків: НТУ "ХПІ". – 2005. – Вип.13. – С.75–79.

2. Афанасов Г.М. Протизношувальні випробування моторної оливи для тепловозних дизелів при обробці електромагнітним полем / Є.М. Лисіков, С.В. Воронін, Г.М. Афанасов, С.В. Гусак// Підвищення ефективності перевантажувальних, будівельних і колійних робіт на транспорті: Зб.наук. праць. – Х.: УкрДАЗТ. – 2006. – Вип. 73. – С. 60–65.

3. Афанасов Г.М. Вплив обробки моторних олив електростатичним полем на знос пар тертя тепловозних дизелів / Є.М. Лисіков, Г.М. Афанасов // Удосконалення будівельних, колійних та перевантажувальних машин. – Харків: УкрДАЗТ. – 2008. – № 88. – С. 249–254.

4. Афанасов Г.М. Визначення мінімальної несучої здатності граничної змащувальної плівки, сформованої поверхнево-активними речовинами на поверхнях тертя тепловозних дизелів/ В. Шраменко, Г. Афанасов // Зб. наук. праць.- Харків: УкрДАЗТ.– 2008. – Вип.99. – С.91–96.

АНОТАЦІЯ

Афанасов Г.М. Підвищення ефективності масляної системи тепловозу встановленням пристрою для обробки моторних олив електростатичним полем. – 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; Харків, 2010 р.

Метою даної роботи є вирішення науково-практичної задачі підвищення ефективності масляної системи тепловозу встановленням пристрою для обробки моторних олив електростатичним полем.

В дисертації запропонована нова технологія покращення експлуатаційних характеристик моторних олив масляної системи тепловозу за рахунок обробки їх електростатичним полем з метою підвищення ресурсу дизелів.

Теоретично та експериментально доведено доцільність використання пристрою для обробки моторних олив електростатичним полем в масляній системі тепловозу. Економічний ефект від застосування нової технології складає 41201 грн на один локомотив. Результати роботи впроваджені у локомотивному депо Лозова Південної залізниці.

Ключові слова: масляна система, моторна олива, електростатичне поле, пари тертя, кривошипно-шатунний механізм, ресурс, змащувальна плівка.

АННОТАЦИЯ

Афанасов Г.М. Повышение эффективности масляной системы тепловоза установкой устройства для обработки моторных масел электростатическим полем. – 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; Харьков, 2010 г.

Диссертационная работа посвящена решению актуальной научно-прикладной задачи – повышению эффективности масляной системы тепловоза установкой устройства для обработки моторных масел электростатическим полем.

Масляная система тепловоза предназначена для создания необходимого давления и поступления моторного масла к парам трения дизелей, отвода тепла, а также частиц загрязнений и частиц нагара с поверхностей трения. При этом основной функцией масляной системы тепловоза является обеспечение снижения износа узлов трения тепловозных дизелей и их ресурса. В первую очередь эффективность функционирования масляной системы зависит от эксплуатационных характеристик моторных масел.

Существуют различные альтернативные способы и методы повышения эффективности масляной системы за счет улучшения эксплуатационных характеристик смазывающих масел, в частности, гидродинамическое диспергирование моторных масел и использование устройств, предназначенных для

дозированного введения в них противоизносных присадок, но все эти методы не нашли широкого применения в масляных системах тепловозов.

Эксплуатационные характеристики моторных масел можно улучшить путем изменения самой их структуры, воздействием на них электростатическим полем.

Теоретическим путем установлена аналитическая зависимость между интенсивностью изнашивания и главными ее параметрами, что позволяет в сравнительных вариантах прогнозировать ее изменение в зависимости от толщины смазочной пленки, и, как следствие, определить ресурс деталей кривошипно-шатунного механизма. Интенсивность изнашивания прямо пропорциональна удельной силе трения и обратно пропорциональна энергетической плотности трения квадрату толщины смазочной пленки.

Для раскрытия закономерностей механизма изнашивания была разработана физическая модель взаимодействия молекул присадок при их адсорбции на поверхностях трения под воздействием силового поля. Эта модель позволила оценить энергию взаимодействия молекул присадки и определить минимальную несущую способность смазочной пленки для случая, когда в парах трения кривошипно-шатунного механизма тепловозных дизелей образуется критическая толщина при отсутствии деформации молекул присадок.

Исследования разработанной физико-математической модели показали, что в зависимости от угла расположения молекул энергии их взаимодействия носят знакопеременный характер и изменяются в широком диапазоне. В граничных адсорбированных слоях, наиболее приближенных к поверхностям трения, максимальное значение энергии притяжения W_{ij} между молекулами присадки составляет $0,2 \cdot 10^{-20}$ Дж при величинах углов $43,56^\circ$ и $136,44^\circ$. Соответственно, в слоях, удаленных от поверхностей, $W_{ij} = 1 \cdot 10^{-20}$ Дж при величине угла $\frac{\pi}{2}$.

Согласно экспериментальным исследованиям, за счет предложенного способа интенсификации адсорбционного процесса при наложении внешнего электростатического поля можно увеличить толщину защитной пленки до 1,5 раза. Эти данные подтверждают основную гипотезу по снижению интенсивности изнашивания и такой способ позволяет улучшить противоизносные свойства моторных масел, которые используются в тепловозных дизелях.

Лабораторные исследования противоизносных свойств моторных масел на машинах трения при обработке электростатическим полем и без таковой по критерию скорости изнашивания подтверждают основные теоретические положения. Согласно этим исследованиям, скорость изнашивания при обработке моторного масла внешним электростатическим полем в режиме граничной смазки снижается по сравнению с необработанным моторным маслом (для пары трения «колодка – ролик» соответственно до 6 раз и до 1,3 раза, а для пары трения «кольцо гильза» до 1,6 раз).

Путем экспериментальных исследований определены режимы обработки моторных масел электростатическим полем, при которых наблюдается максимальный эффект скорости изнашивания. Эти параметры имеют следующие значения: напряжение, которое подается на устройство и составляет 1000 В; величина силы тока не больше 200 мкА; зазор между электродами 2 мм. Кроме того,

разработана конструкция устройства, а также место его установки в масляную систему тепловоза 2ТЭ116.

Расчет прогнозирования износа главных пар трения кривошипно-шатунного механизма дизелей при совершенствовании масляной системы тепловоза целесообразно производить по методологии, основанной на допущении связей износа во времени прямолинейной зависимостью, учитывая, что детали тепловозного дизеля работают в установившемся режиме. Поэтому с учетом ранее проведенных экспериментальных исследований и сделанных допущений о прямолинейности износа в установившемся режиме применительно к тепловозному дизелю был произведен расчет ресурса кривошипно-шатунного механизма в зависимости от пробега с учетом снижения скорости изнашивания за счет электрообработки моторного масла. При этом можно ожидать снижение износа пар трения кривошипно-шатунного механизма «коленчатый вал-вкладыш» до 3 раз «кольцо-гильза» до 1,5 раза при нормативном варианте ТР-3.

Экономический эффект от совершенствования масляной системы тепловоза установкой устройства для обработки моторных масел электростатическим полем, за счет снижения затрат на ремонт деталей кривошипно-шатунного механизма дизелей, составляет 41201 грн на один локомотив.

Материалы диссертационной работы внедрены в локомотивное депо Лозовая Южной железной дороги.

Ключевые слова: масляная система, моторное масло, электростатическое поле, пары трения, кривошипно-шатунный механизм, ресурс, смазочная пленка.

SUMMARY

Afanasov Georgiy Mihailovich. Efficiency increase of diesel locomotive oil system by device installation for engine oil processing by electrostatic field. - Manuscript

Candidate's Thesis in Technics, Speciality 05.22.07 - rolling stock of railways and hauling operation. - Ukrainian state academy of railway transport; Kharkov, 2010.

The aim of this thesis is the solution of theoretical and practical problem of diesel oil system efficiency increase by device installation for engine oil processing by electrostatic field.

The thesis deals with a new technology of operating characteristics improvement of engine oil of diesel locomotive oil system by means of its electrostatic field processing for the diesel engine life increasing. The use reasonability of diesel oil processing device by electrostatic field in the diesel locomotive oil system is proved theoretically and practically. The annual saving rate using new technology is 41201 hrn per one locomotive. The results of this thesis have been introduced in Lozova depot of Southern railway.

Key words: oil system, engine oil, electrostatic field, friction pair, connecting rod gear, resource, lubricating film.

Афанасов Георгій Михайлович

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МАСЛЯНОЇ СИСТЕМИ
ТЕПЛОВОЗУ ВСТАНОВЛЕННЯМ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ОБРОБКИ
МОТОРНИХ ОЛИВ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНИМ ПОЛЕМ**

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

А.О. Бабенко

Підписано до друку 11.05. 2010 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір офсетний.

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

Замовлення №229. Тираж 100 примірників.

Видавництво УкрДАЗТ, свідоцтво ДК №2874 від 12.06.2007р.

Друкарня УкрДАЗТ

61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.