

УДК 629.4 : 621.89

DOI: 10.15587/1729-4061.2018.120977

Отримані результати зміни експлуатаційних характеристик осьової оливи на різних етапах напрацювання та при застосуванні методу електростатичної обробки. Дослідження проводились на парі тертя «ролик – колодка», яка змочувалася осьовою оливою на різних режимах навантаження та ступенях напрацювання. Отримані залежності зносу експериментальних зразків при різних режимах навантаження, напрацювання оливи та ступеня електрообробки

Ключові слова: осьова олива, електростатична обробка, моторно-осьовий підшипник, колісно-моторний блок, швидкість зношування

Получены результаты изменения эксплуатационных характеристик осевого масла на разных этапах наработки и при использовании метода электростатической обработки. Исследования проводились на паре трения «ролик – колодка», которая смачивалась осевым маслом на различных режимах нагрузки и степенях наработки. Получены зависимости износа экспериментальных образцов при различных режимах нагрузки, наработки масла и степени электрообработки

Ключевые слова: осевое масло, электростатическая обработка, моторно-осевой подшипник, колесно-моторный блок, скорость изнашивания

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОЇ ОБРОБКИ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСЬОВОЇ ОЛИВИ

П. Є. Коновалов

Кандидат технічних наук*

E-mail: konovalovpavel1980@gmail.com

С. В. Воронин

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри*

E-mail: voronin.sergey@ukr.net

Д. В. Онопрейчук

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: dmytroonopriyчук@ukr.net

В. О. Стефанов

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: vstef@ukr.net

В. В. Пащенко

Кандидат технічних наук**

E-mail: wwpauk@gmail.com

Г. О. Радіонов

Кандидат військових наук**

E-mail: geshadocent2@gmail.com

В. О. Темніков

Кандидат військових наук

Кафедра експлуатації та ремонту автомобілів та бойових машин***

E-mail: temnikowiktor.ukraine@gmail.com

О. С. Онопрієнко**

E-mail: alex.vog@ukr.net

*Кафедра будівельних, колійних

та вантажно-розвантажувальних машин

Український державний університет залізничного транспорту
площа Фейєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61050

Кафедра тактики*

***Національна академія Національної гвардії України
майдан Захисників України, 3, м. Харків, Україна, 61001

1. Вступ

Залізничний транспорт займає одну з ключових ролей у підтримці стабільного розвитку економіки, в забезпеченні стабільної роботи всього транспортного комплексу будь-якої розвинутої сучасної держави. Але особливості темпів росту економіки країн колишнього СНД в останні

роки ускладнюють оновлення існуючого парку рухомого складу залізниць, що викликає темпи його старіння. Так, на початок 2008 року термін служби магістральних тепловозів досяг 20–29 років, а фізичний знос – рівня 83 %. Для електровозів ці показники склали 22–45 років і 89 % відповідно [1–3]. Тому питання вдосконалення конструкції рухомого складу залізниць, підвищення його

ефективності та експлуатаційної надійності набувають першочергового значення. Важливе місце серед діючих державних програм країн колишнього СНД відведено роботам з розширеного капітального ремонту та модернізації локомотивного парку. Вантажні і маневрові локомотиви віднесені в них до першочергових і перспективних завдань [1, 2, 4]. Особливу гостроту проблеми надають прийняті плани модернізації [1, 2] частини локомотивного парку, а також та обставина, що опорне підвищення подібного типу передбачається застосовувати на вантажних локомотивах нових серій [5]. Таким чином, дослідження, спрямовані на підвищення рівня експлуатаційної надійності та ресурсу вузлів тягового рухомого складу, залишаються актуальними й нині.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Колісно-моторний блок є важливим агрегатом екіпажної частини локомотивів, який забезпечує взаємодію локомотива з елементами верхньої будови колії. Його технічний стан характеризує не тільки експлуатаційну надійність локомотива, а й безпосередньо пов'язаний з питанням безпеки руху поїздів [6]. У більшій частині локомотивів, які забезпечують вантажні перевезення на Україні та в державах пострадянського простору, застосовується осьове підвищення тягових електродвигунів. Схема такої силової передачі за класифікацією [6] відповідає першому класу тягових приводів. В цьому випадку одна половина маси тягового електродвигуна (ТЕД) пружно спирається на раму візка, а інша жорстко, за допомогою моторно-осьових підшипників (МОП), спирається на вісь колісної пари.

Відмови тягового рухомого складу в 25 % випадків викликані несправностями колісно-моторного блоку, близько половини з яких обумовлені відмовами МОП [7]. На пробігу локомотиву в 1 млн. км трапляється 3–5 позапланових ремонтів із заміною вкладишів МОП [8]. Частка відмов МОП від загального числа тягових електродвигунів ЕД118А, що вийшли з ладу, становить 10 % [9].

Проблемі підвищення рівня експлуатаційної надійності КМБ присвячено багато спеціальних досліджень [10–12]. Пропозиції щодо її вирішення стосуються трьох основних напрямків. Зокрема пропонувалося підвищення зносостійкості поверхонь тертя шляхом використання сучасних триботехнологій [13, 14], нових матеріалів або методів підготовки поверхонь [15] та удосконалення конструкції елементів КМБ [16, 17]. Але застосування сучасних технологічних та конструктивних методів пов'язано із суттєвими економічними та фінансовими витратами та висуває низку нових вимог до організації роботи систем змащення та властивостей мастильних матеріалів. Тому оптимальним напрямком вирішення існуючої проблеми, на наш погляд, є пошук нових методів впливу на робочі характеристики змащувальних олиव.

Спроби розробки та застосування таких методів були запропоновані у низці наукових досліджень. Зокрема, у роботі [18] приводяться результати експериментів з обробки оливи ультразвуком в парі тертя «латунь – сталь» та «чавун – сталь». Результатом досліджень є зниження коефіцієнту тертя на 13–15 % для синтетичної оливи та 25–28 % для полусинтетичної оливи. Однак випробування не стосувалися означеної проблеми ресурсу МОП та відповідних матеріалів.

В роботах [19–21] авторами запропоновано введення в об'єм оливи модифікаторів тертя та магнітного наповнювача в якості присадки, але ця ідея неприйнятна в умовах специфіки роботи існуючих систем змащення МОП. Також слід відмітити дослідження в напрямку додавання в об'єм оливи структурно-чутливих рідко-кристалічних матеріалів [22] та глинястих мінералів [23] заради досягнення більш керованого та прогнозованого управління тертям трибосполучень. Але з тих же причин, які стосуються специфіки капілярної системи змащення МОП, вони не можуть бути застосовані для вирішення задач, що розглядаються в роботі.

Ще одним методом впливу на експлуатаційні властивості мінеральних олив є введення в якості добавки фулеренової сажі [24, 25]. Але успішна реалізація цієї пропозиції, в контексті вирішення питання недостатнього ресурсу МОП, також несумісна з умовами роботи капілярної системи змащення.

Означені вище методи успішно реалізовувалися для вирішення широкого спектра технічних завдань, але не можуть розглядатися для підвищення експлуатаційної надійності МОП. Виникнення цієї проблеми в першу чергу пов'язано з ефективністю роботи застосовуваних систем змащування та експлуатаційних характеристик осьової оливи. Існуюча капілярна система змащування виключає можливість додавання в оливу присадок чи модифікаторів. Тому вирішено було застосувати метод електростатичної обробки мінеральних олив.

Обробка оливи зовнішнім електростатичним полем [26, 27] сприяє руйнуванню міцелярних агрегатів та утворенню на поверхнях тертя міцного шару полярних молекул. Завдяки цьому підвищується адсорбційна активність полярно-активних молекул, збільшується товщина мастильного шару, та, відповідно, знижується інтенсивність зносу поверхонь тертя.

3. Ціль та задачі дослідження

Метою досліджень є визначення зміни експлуатаційних характеристик осьової оливи марки «Л» на різних етапах напрацювання при застосуванні методу електрообробки.

Для досягнення означеної мети були поставлені такі завдання:

- визначити швидкість зношування зразків в парі тертя «ролик – колодка» при застосуванні осьової оливи з різним ступенем напрацювання;
- визначити зміну швидкості зношування зразків при застосуванні електростатичної обробки осьової оливи на різних етапах напрацювання.

4. Матеріали та методи дослідження впливу електростатичної обробки осьової оливи на її експлуатаційні властивості

4.1. Досліджувальні матеріали та обладнання, що використовувались в експерименті

Дослідження проводили з наступними випробувальними матеріалами:

А) літня осьова олива марки «Л» (ГОСТ 610-72), яка застосовується в системі змащення МОП тепловозів. Осьова олива належить до групи мінеральних трансмісійних

олив. Фізико-хімічні показники осьових олив приведені у табл. 1. У випробуваннях використовувалася олива з різним ступенем напрацювання в системі змащення МОП: Олива в стані поставки, олива після часу напрацювання 75 тис. км., та 150 тис. км відповідно.

Ступінь напрацювання оливи (кількість годин роботи в системі змащення МОП) для проведення випробувань вибрано відповідно до нормативів міжремонтних періодів для магістральних тепловозів [28].

Таблиця 1

Основні фізико-хімічні показники осьових олив

Найменування показника	Норма для марки		
	Л (літньої)	З (зимової)	С (північної)
В'язкість: кінематична при 50 °С, сСт	42–60	≤ 22	12–14
динамічна (при температурі, °С), Па·с, не більше	150(–10)	600(–30)	0,2(0); 2500(–50)
Температура спалаху у відкритому тиглі, °С, не нижче	135	125	125
Температура застигання, не вище	–	–40	–55
Зміст водорозчинних кислот і лугів	відсутність		
Зміст механічних домішок, %, не вище	0,07	0,05	0,04
Вміст води, %, не більше	сліди	0,3	0,1
Зміст присадок	допускається введення до осьової оливи марки Л депресорної присадки		

Б) колодка і ролик, матеріали яких аналогічні матеріалам, що використовуються для виготовлення пари тертя «шійка осі – вкладиш» вузла МОП ТЕД-118Б, тобто сталь Ос. Л ГОСТ 4728-72 та бронза Бр. О4Ц4С17 (ГОСТ 613-79). Діаметр роликів складає 50 мм, ширина – 12 мм, ширина колодок – 10 мм. Шорсткість поверхні деталі аналогічна шорсткості поверхні тертя вкладищу МОП – $R_z = 7,5$ мкм.

Електрообробку оливи проводили за допомогою лабораторного пристрою з коаксіальним розташуванням електродів (рис. 1).

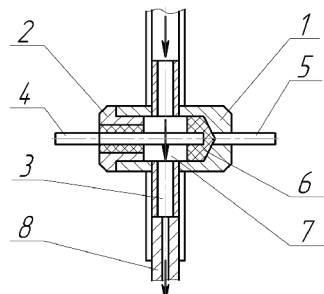


Рис. 1. Схема пристрою для обробки осьової оливи

Пристрій складається з корпусу 1 циліндричної форми, один кінець якого виконаний глухим, а інший закритий

фланцевим з'єднанням 2. До внутрішньої камери корпусу 1 з двох сторін проведено дві трубки 3: одна – для підведення оливи в камеру, а інша – для відводу оливи і подальшої її подачі до пари тертя.

Напруга до пристрою підводиться від електромережі через блок живлення високої напруги за допомогою електродів 4 і 5, ізольованих між собою діелектриком 6. Обробка оливи електростатичним полем відбувається в об'ємі внутрішньої камери 7, далі оброблена олива крізь трубку 3 та капіляр 8 надходить до пари тертя. Напруженість електричного поля – $E = 0,5 \cdot 10^6$ В/м.

Для випробування зразків використовувалася лабораторна установка, що складається з машини тертя СМТ-1, пристрою для електрообробки оливи та пристрою для подачі осьової оливи (рис. 2).

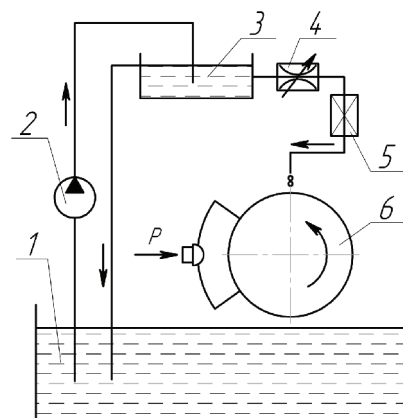


Рис. 2. Схема лабораторної установки для проведення модельного експерименту:
1 – резервуар; 2 – насос; 3 – камера; 4 – регулюючий дросель; 5 – пристрій ЕСО; 6 – ролик; 7 – колодка; 8 – зливний патрубок

З резервуара 1 насосом 2 олива подається до камери 3. Потім вона, проходячи крізь дросель 4 та пристрій ЕСО 5, краплинним способом надходить до поверхні ролика 6, до якого силою P притискається колодка 7. Надлишок оливи зливним патрубком 8 повертається до резервуару 1.

Ступінь напрацювання оливи (кількість годин роботи в системі змащення МОП) для проведення випробувань вибрано відповідно до нормативів міжремонтних періодів для магістральних тепловозів [28]. Знос зразків визначався зважуванням на аналітичних терезах ВЛА-200г-М з точністю 0,001 г.

4. 2. Методика визначення впливу електрообробки осьової оливи на експлуатаційні властивості

Мінімально необхідна повторність дослідів, фактичне значення і середньоквадратичне відхилення окремих вимірювань швидкості зношування визначалися за наступною методикою. Для визначення мінімально необхідної кількості дослідів проведено попередній розрахунок. Повторність дослідів визначалася шляхом десятиразового вимірювання швидкості зношування колодки. Потужність сил тертя в контакті «ролик – колодка» (режим навантаження) $P = 0,215$ Вт/мм². Ступінь напрацювання оливи еквівалентний $Z = 150$ тис. км пробігу тепловоза.

Результати вимірювань представлені в табл. 2.

Таблица 2

Результати попередніх випробувань для визначення мінімально необхідної кількості дослідів

№ дослідю	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Результати вимірювань втрати маси, мг за 240 хв.	1,06	1,08	1,07	1,05	1,06	1,09	1,07	1,05	1,08	1,09

За розрахункове значення швидкості зношування приймалося середньоарифметичне значення вибірки \bar{X} .

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}, \quad (1)$$

де X_1, X_2, \dots, X_n – результати окремих вимірювань; n – загальна кількість окремих вимірювань.

Після підстановки в (1) визначаємо: $\bar{X} = 1,07$ мг/год.

Середньоквадратичне відхилення результатів вимірювань

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}. \quad (2)$$

Середньоквадратичне відхилення окремих вимірювань швидкості зношування колодки за (2): $\sigma_x = 0,014$ мг/год.

Тоді згідно [25] мінімально необхідна повторність дослідів

$$n_{\min} \geq \frac{\sigma_x^2 \cdot t_{\text{кр}}^2}{\Delta^2 \cdot m_{\text{cp}}^2}, \quad (3)$$

де $t_{\text{кр}}$ – табличне значення коефіцієнта Стюдента: при заданій надійності результатів вимірювань, $P = 0,95$; $n = 10$, $t_{\text{кр}} = 2,26$ [30]; Δ – допустима відносна погрішність вимірювань, $\Delta = 0,02$; m_{cp} – середнє арифметичне значення результатів вимірювань, $m_{\text{cp}} = 1,07$.

Тоді мінімальна (3) повторність дослідів, $N_{\min} = 3$.

Експериментальні дослідження передбачали реалізацію двох двохфакторних експериментів, де функцією відгуку є швидкість зношування γ , яка, в свою чергу залежить від часу роботи оливи в системі змащення МОП – Z , та навантаження P .

Перший етап передбачав проведення двохфакторного експерименту з визначення швидкості зношування поверхонь тертя з параметром напрацювання оливи Z як незалежного фактору:

- а) олива з напрацюванням $Z = 0$;
- б) олива з часом напрацювання $Z = 75$ тис. км;
- в) олива з часом напрацювання $Z = 150$ тис. км.

Коефіцієнти моделювання [7]

процесу (табл. 3), що відповідає умовам тертя в МОП визначені за універсальними рівняннями подібності [31] з урахуванням масштабного фактора C_i . Коефіцієнт подібності $C_i = 4,20$.

Найбільші навантаження на МОП [10], а відповідно і величини швидкості зношування їх поверхонь, спостерігаються на швидкості тепловоза 10–20, 30–40 та 50–60 км/год (табл. 4).

Саме ці режими були обрані для моделювання на машині тертя СМТ-1.

Таблица 3

Коефіцієнти для моделювання процесу тертя у моторно-осьовому підшипнику на експериментальному зразку

Параметр подібності	Коефіцієнт перерахунку з моделі на натуру	Співвідношення параметрів моделі та натурн
1. Питоме навантаження	$C_p = 1$	$p_m = p_n$
2. Швидкість ковзання	$C_v = 1/C_l$	$v_m = v_n \cdot C_l$
3. Температура в зоні тертя	$C_\theta = 1$	$\theta_m = \theta_n$
4. Тривалість тертя	$C_t = C_l$	$t_m = t_n \cdot 1/C_l$
5. Коефіцієнт тепловіддачі	$C_\alpha = 1/C_l$	$\alpha_m = \alpha_n \cdot C_l$
6. Шорсткість поверхонь тертя	$C_h = C_l$	$R_{zm} = R_{zn} \cdot 1/C_l$

При швидкості локомотиву $V = 10–20$ км/год номінальний тиск в робочій зоні МОП складає $p = 1,33$ МПа. Цьому режиму відповідає швидкість ковзання моделі $v = 4,79$ м/с. Площа тертя колодки становить $S = 1,81 \cdot 10^{-4}$ м². Навантаження, що подається на колодку, складає $N = 263$ Н. Тривалість проведення кожного дослідю $t = 4$ год. Питома потужність сил тертя – $P = 0,138$ Вт/мм².

При швидкісному режимі $V = 30–40$ км/год, вкладиш підшипника піддається номінальному тиску $p = 1,05$ МПа. Швидкість ковзання моделі $v = 9,78$ м/с. Навантаження на колодку складає $N = 208$ Н. Питома потужність – $P = 0,215$ Вт/мм². Тривалість проведення кожного дослідю $t = 4$ год.

У швидкісному інтервалі локомотива $V = 50–60$ км/год, тиск в робочій зоні підшипника становить $p = 0,86$ МПа. Швидкість ковзання моделі $v = 14,36$ м/с. Навантаження на колодці – $N = 170$ Н. Питома потужність – $P = 0,247$ Вт/мм². Тривалість проведення кожного дослідю $t = 4$ год.

Таблица 4

Таблица відповідності параметрів оригінала і моделі

Параметр подібності при швидкості тепловозу, км/год	Параметр оригінала			Параметр моделі		
	10–20	30–40	50–60	10–20	30–40	50–60
1. Питоме навантаження, МПа	1,33	1,05	0,86	1,33	1,05	0,86
2. Частота обертання, об/с	1,68	3,36	5,04	1,68	3,36	5,04
3. Швидкість ковзання, м/с	1,14	2,28	3,42	4,79	9,78	14,36
4. Коефіцієнт тертя	0,1196	0,1182	0,1106	0,1196	0,1182	0,1106
5. Температура в зоні тертя, град. °С	58	74	80	58	74	80
6. Шорсткість поверхонь тертя R_2 , мкм	2,2/7,8			0,5/2,0		
7. Тривалість тертя, годин	4	8	8	4	8	8

Температура і об'єм оливи, що подається в зону тертя в одиницю часу, є величинами постійними.

Для моделювання режиму подачі осьової оливи до пари тертя «ролик-колодка» проведений розрахунок. Основою розрахунку є дані про товщину і об'єм мастильного шару, що розділяє поверхні МОП при різному швидкісному режимі. Розрахунок необхідного об'єму подачі оливи проведений для варіанту дії максимальної питомій потужності сил тертя $P = 0,247 \text{ Вт/мм}^2$.

У вказаному в табл. 4 швидкісному діапазоні на поверхнях тертя МОП переважає граничний режим тертя. Сумарна висота мікрошорсткостей поверхонь пари тертя моделі становить 2,5 мкм. Діаметр ролика – 50 мм, а довжина твірної поверхні – 157 мм. Площа змочування ролика при ширині 11,5 мм складає 1805,5 мм².

При товщині змащувального шару на поверхні моделі 5,0 мкм та швидкості обертання валу 3,36 об/с об'єм оливи, яка має подаватися в зону тертя, становить 30 мм³/с.

На цій підставі об'єм оливи, що подається в зону тертя приймаємо постійним для всіх експериментів – 30 мм³/с.

Рівні варіювання факторів [10] експериментів першого і другого етапів представлені в табл. 5.

Таблиця 5

Рівні варіювання факторів Z, P

Рівень	Код	X ₁ , (Z), тис. км	X ₂ , (P), Вт/мм ²
Нижній рівень	-1	0	0,215
Нульовий рівень	0	75	0,247
Верхній рівень	+1	150	0,138

Другий етап передбачав проведення двох факторного експерименту з тими ж факторами, що й на першому етапі, але перед подачею в пару тертя «вісь – підшипник» олива оброблювалась накладеним електростатичним полем, напруженістю $E = 0,5 \cdot 10^6 \text{ В/м}$. Напруга на електродах – 1000 В.

Ортогональний план експерименту [10] двох варіантів застосування осьової оливи представлений в табл. 6.

Таблиця 6

Ортогональний план експериментів

№ досліджу	X ₁	X ₂	Z, тис. км	P, Вт/мм ²
1	-1	-1	0	0,215
2	+1	-1	150	0,215
3	-1	+1	0	0,247
4	+1	+1	150	0,247
5	-1	0	0	0,138
6	+1	0	150	0,138
7	0	-1	75	0,215
8	0	+1	75	0,247
9	0	0	75	0,138

В першому варіанті випробувань до пари тертя подавалася олива без ЕСО. В другому варіанті використовувалася олива, що пройшла ЕСО.

5. Результати досліджень зносу зразків на машині тертя

Результати експериментальних досліджень приведені у табл. 7.

Таблиця 7

Ортогональний план експерименту і результати зносу випробувальних зразків

Серія дослідів	X ₁	X ₂	Z, тис. км	P, Вт/мм ²	Середня швидкість зношування колодки, мг/год	
					Олива без ЕСО	Олива після ЕСО
1	-1	-1	0	0,138	0,190 ± 0,016	0,080 ± 0,016
2	+1	-1	150	0,138	0,817 ± 0,021	0,530 ± 0,024
3	-1	+1	0	0,247	0,470 ± 0,016	0,247 ± 0,012
4	+1	+1	150	0,247	1,330 ± 0,016	0,907 ± 0,012
5	-1	0	0	0,215	0,310 ± 0,016	0,177 ± 0,012
6	+1	0	150	0,215	1,070 ± 0,016	0,767 ± 0,012
7	0	-1	75	0,138	0,400 ± 0,016	0,220 ± 0,016
8	0	+1	75	0,247	0,830 ± 0,024	0,523 ± 0,021
9	0	0	75	0,215	0,570 ± 0,016	0,343 ± 0,012

За результатами досліджень побудовані рівняння регресії. Вони відображають зміну швидкості зношування зразків при однаковому напрацюванні оливи, але режим навантаження та ступінь електрообробки є перемінними (табл. 8, 9).

Таблиця 8

Рівняння регресії швидкості зношування γ (мг/год).

Олива з однаковим напрацюванням. Різні режими навантаження

Напрацювання Z, тис. км	Питома потужність, P, Вт/мм ²	Рівняння регресії
0	0,138; 0,215; 0,247	$\gamma = 1,038 - 11,312 \cdot P + 36,667 \cdot P^2$
75	0,138; 0,215; 0,247	$\gamma = 1,932 - 20,022 \cdot P + 63,333 \cdot P^2$
150	0,138; 0,215; 0,247	$\gamma = 1,853 - 14,732 \cdot P + 51,333 \cdot P^2$

Таблиця 9

Рівняння регресії швидкості зношування γ (мг/год).

Олива з однаковим напрацюванням. Різні режими навантаження, після ЕСО

Напрацювання Z, тис. км	Питома потужність P, Вт/мм ²	Рівняння регресії
0	0,138; 0,215; 0,247	$\gamma = 0,124 - 1,365 \cdot P + 7,500 \cdot P^2$
75	0,138; 0,215; 0,247	$\gamma = 0,935 - 9,691 \cdot P + 32,250 \cdot P^2$
150	0,138; 0,215; 0,247	$\gamma = 0,410 - 0,597 \cdot P + 10,500 \cdot P^2$

Залежність, приведена в табл. 7–9, ілюструється графіками на рис. 3.

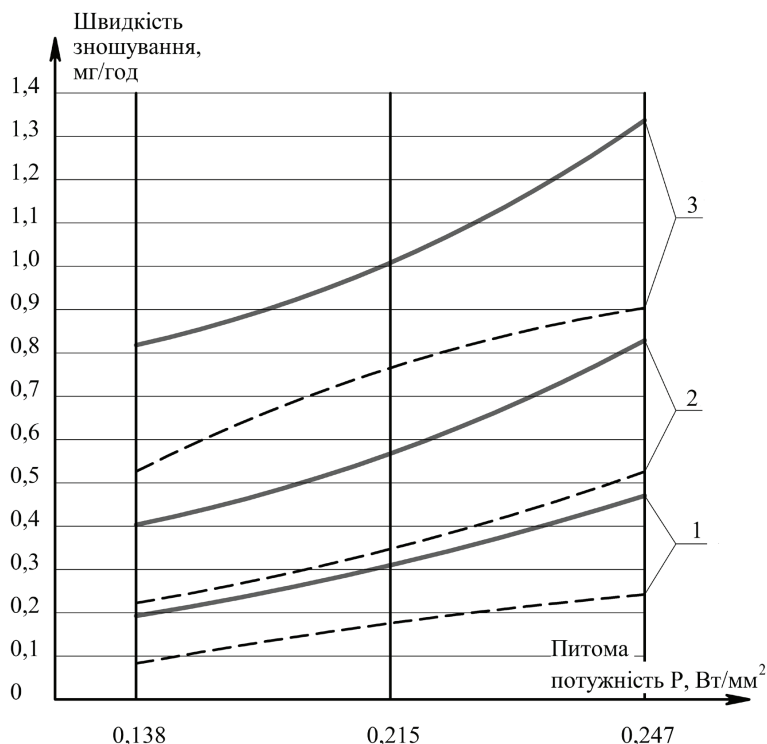


Рис. 3. Графік залежності зносу зразків при застосуванні осьової оливи, яка має однакове напрацювання, але працює в різних режимах навантаження (питомій потужності) («—» – олива без електростатичної обробки; «- - -» – олива після проведення електростатичної обробки):
 1 – олива в стані поставки; 2 – олива, що має напрацювання 75 тис. км;
 3 – олива, що має напрацювання 150 тис. км

За результатами експериментальних випробувань (табл. 7), отримані рівняння регресії (табл. 10, 11). Рівняння описують зміну швидкості зношування зразків при однакових режимах навантаження, але варіюються час напрацювання та застосування ЕСО. Відповідні графіки приведені на рис. 4. З графіків на рис. 4 можна зробити висновок, що по мірі збільшення напрацювання

оливи в МОП при однаковому режимі навантаження швидкість зношування зразків зростає. Після проведення ЕСО швидкість зношування знижується, при чому для оливи в стані поставки цей показник досягає 1,92 рази. Відповідно для оливи з напрацюванням 75 тис. км цей показник становить 1,61 рази, а для оливи з напрацюванням 150 тис. км – 1,47 рази.

Таблиця 10

Рівняння регресії швидкості зношування γ (мг/год).
 Олива без ЕСО, однакові режими навантаження, різне напрацювання

Питома потужність P, Вт/мм²	Напрацювання Z, тис. км	Рівняння регресії
0,138	0; 75; 150	$\gamma = 0,190 + 1,420 \cdot 10^{-3} \cdot Z + 1,840 \cdot 10^{-5} \cdot Z^2$
0,215	0; 75; 150	$\gamma = 0,310 + 1,867 \cdot 10^{-3} \cdot Z + 2,133 \cdot 10^{-5} \cdot Z^2$
0,247	0; 75; 150	$\gamma = 0,470 + 3,867 \cdot 10^{-3} \cdot Z + 1,244 \cdot 10^{-5} \cdot Z^2$

Таблиця 11

Рівняння регресії швидкості зношування γ (мг/год).
 Однакові режими навантаження, різне напрацювання. Олива після ЕСО

Питома потужність P, Вт/мм²	Напрацювання Z, тис. км	Рівняння регресії
0,138	0; 75; 150	$\gamma = 0,080 + 0,734 \cdot 10^{-3} \cdot Z + 1,511 \cdot 10^{-5} \cdot Z^2$
0,215	0; 75; 150	$\gamma = 0,177 + 0,493 \cdot 10^{-3} \cdot Z + 2,293 \cdot 10^{-5} \cdot Z^2$
0,247	0; 75; 150	$\gamma = 0,247 + 2,960 \cdot 10^{-3} \cdot Z + 0,960 \cdot 10^{-5} \cdot Z^2$

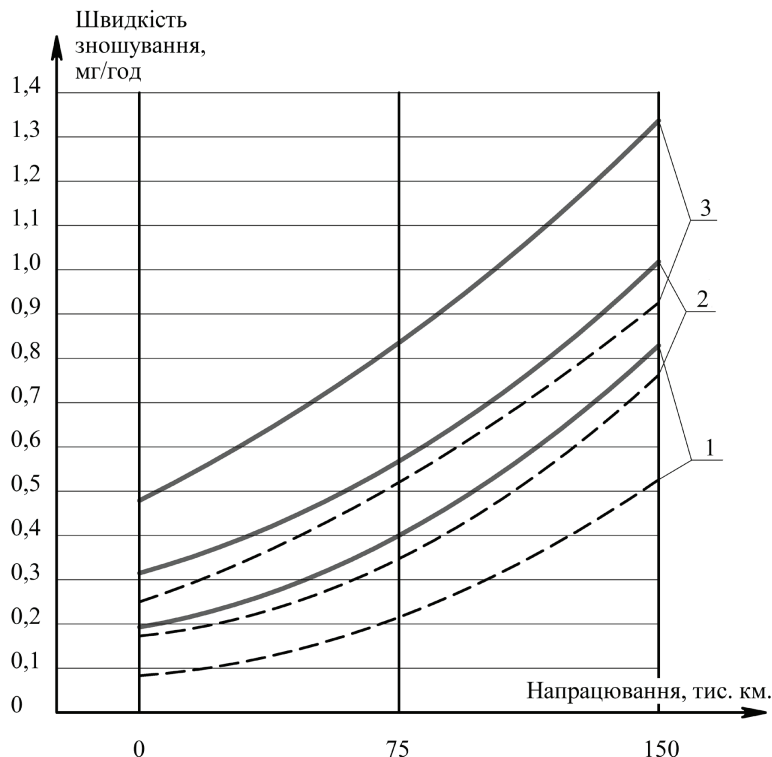


Рис. 4. Графік залежності зносу зразків при однаковому навантаженні і застосуванні осьової оливи, яка має різну тривалість напрацювання («—» — олива без електростатичної обробки; «- - -» — олива після електростатичної обробки): 1 — навантаження (питома потужність) 0,138 Вт/мм²; 2 — те саме, 0,215 Вт/мм²; 3 — те саме, 0,247 Вт/мм²

6. Обговорення результатів дослідження впливу електростатичної обробки на експлуатаційні характеристики осьової оливи

Проведені експериментальні випробування являють собою продовження низки досліджень, спрямованих на вивчення впливу електричних полів на експлуатаційні характеристики робочих рідин. Для покращення робочих властивостей осьової оливи, що впливають на ресурс МОП, нами було обрано відомий метод ЕСО, який не застосовувався раніше для вирішення означеної проблеми. Обробка оливи зовнішнім електростатичним полем [26, 27] призводить до руйнування в її об'ємі значної кількості міцелярних агрегатів. Внаслідок цього в об'ємі, в тому числі і в надповерхневих шарах, встановлюється стабільно висока концентрація полярних молекул, які існують у мономерному стані. Завдяки цьому підвищується адсорбційна активність полярно-активних молекул, збільшується товщина мастильного шару, та, відповідно, знижується інтенсивність зносу поверхонь тертя. В контексті існуючої проблеми ресурсу МОП, для її вирішення нами вперше запропоновано застосування методу ЕСО осьової оливи. Результати роботи підтверджують висновки попередніх наукових досліджень [21, 26, 27] щодо позитивного впливу ЕСО на експлуатаційні якості мінеральних оливи.

Серед недоліків роботи можна назвати обмежений діапазон температурних режимів, при яких проводилися дослідження, та застосування лише однієї марки осьової оливи «Л». Розширення температурних режимів, відповідно до нормативних вимог роботи оливи марок «Л» та «З», могли б дати набагато ширше уявлення про ефективність застосування запропонованого методу. В подаль-

шому планується проведення досліджень з урахуванням означених вище недоліків.

Результати проведених досліджень в подальшому можуть бути використані для комплексу заходів, спрямованих на вдосконалення існуючих систем змащення МОП та очікуваного підвищення надійності роботи КМБ тепловозів.

7. Висновки

1. Було визначено швидкість зношування зразків в парі тертя «ролик – колодка» при застосуванні осьової оливи з різним ступенем напрацювання. Для цього було проведено експериментальні дослідження на машині тертя із встановленням втрати ваги дослідними зразками. Встановлено, що ступінь напрацювання осьової оливи у системі змащення МОП негативно впливає на ступінь її протизносною властивості. Із збільшенням потужності сил тертя швидкість зношування зразків монотонно зростає. Погіршення стану мастильних властивостей оливи позначається на зростанні у 3–4 рази темпів зносу поверхонь МОП. При однаковій потужності сил тертя швидкість зношування зразків зростає у міру збільшення часу напрацювання оливи, а характер такої залежності близький до лінійного.

2. Було визначено швидкість зношування зразків в серії експериментів, ідентичних дослідів на першому етапі, але олива піддавалась ЕСО. Гіпотеза щодо поліпшення мастильних властивостей осьової оливи після ЕСО знайшла підтвердження в ході випробувань фізичної моделі сполучення МОП на машині тертя. Встановлено, що при використанні осьової оливи, яка пройшла ЕСО, швидкість зношування експериментальних зразків зменшується. Рівень зниження швидкості зношування залежить від

тривалості роботи оливи у системі змащення. Найбільше зниження швидкості зношування в 1,92 рази відзначається для свіжої оливи. Для стану оливи після пробігу локомотиву 75 тис. км зниження становить близько 1,68 рази і для оливи в кінці терміну її служби темпи зниження швидкості зношування складають приблизно 1,47 рази.

Зниження інтенсивності зношування пари тертя при використанні зовнішнього електричного поля обумовлено збільшенням товщини і несучої здатності граничного мастильного шару внаслідок зростання адсорбційної активності полярно-активних молекул осової оливи по відношенню до матеріалів пари тертя.

Література

1. Сергиенко Н. И. Решение проблемы подвижного состава железных дорог Украины через взаимодействие государственного и частного секторов экономики // Локомотив-информ. 2010. № 6. С. 40–46.
2. Сергиенко Н. И. Подвижной состав железных дорог Украины: состояние и перспективы // Локомотив-информ. 2011. № 6. С. 15–24.
3. Калабухін Ю. Є. Аналіз сучасного стану тягового рухомого складу залізниць України // Локомотив-информ. 2008. № 11. С. 4–5.
4. Про затвердження програми оновлення локомотивного парку залізниць України на 2012–2016 роки // Збірник урядових актів України. 2011. № 61. С. 7–8.
5. Руководство по техническому обслуживанию и текущему ремонту тепловозов 2ТЭ116. ТЭ116 ИО. М., 2004. 406 с.
6. Бирюков И. В., Беляев А. И., Рыбников Е. К. Тяговые передачи электроподвижного состава железных дорог. М.: Транспорт, 1986. 256 с.
7. Азаренко В. А., Германов А. Н. Повышение надежности моторно-осевых подшипников локомотивов // Вестник ВНИИ железнодорожного транспорта. 1988. № 2. С. 36–40.
8. Винклер Ф. Роль обслуживания и ремонта тепловозов в современных условиях // Локомотив-информ. 2008. № 2. С. 24–26.
9. Орлов Ю. А., Янов В. П. Базовая платформа для российских электровозов нового поколения // Локомотив-информ. 2010. № 3. С. 7–9.
10. Коновалов П. Є. Фізична модель зношування моторно-осевого підшипника тепловоза // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2013. Т. 1, № 7 (61). С. 25–29. URL: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/9320/8089>
11. Study of the predominant defect development in rails of underground systems after preventive grinding and lubrication / Voronin S., Skoryk O., Stefanov V., Onoprychuk D., Korostelov Y. // MATEC Web of Conferences. 2017. Vol. 116. P. 03005. doi: 10.1051/mateconf/201711603005
12. Research into frictional interaction between the magnetized rolling elements / Voronin S., Hrunyk I., Stefanov V., Volkov O., Onoprychuk D. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 5, Issue 7 (89). P. 11–16. doi: 10.15587/1729-4061.2017.109523
13. Балабин В. Н., Какоткин В. З. Применение современных триботехнических технологий в локомотивном хозяйстве // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. 2007. С. 168–173.
14. Коваленко Д. М. Використання новітніх матеріалів для підвищення строку життєвого циклу тягових електричних двигунів маневрових тепловозів: зб. наук. пр. // Українська державна академія залізничного транспорту. 2006. Вип. 72. С. 169–175.
15. Новое поколение моторно-осевых подшипников тяговых электродвигателей локомотивов из материала Романит-Н / Романов С. М., Романов Д. С., Найш Н. М. и др. // Залізничний транспорт України. 2002. № 4. С. 16–20.
16. Бородин А. В., Тарута Д. В. Подшипниковый узел колесно-моторного блока: свидетельство на полезную модель № 27943. МКИ F16C19/00. заявл. 17.07.2002; опубл. 27.02.2003, Бюл. № 6.
17. Бородин А. В., Тарута Д. В. Принудительная система смазывания моторно-осевых подшипников электродвигателя локомотива: пат. № 2255253 РФ. МКИ F16C33/10. опубл. 27.06.2005. Бюл. № 18.
18. Ultrasonic machining of engine lubricating oil during tribotechnical testing / Simdyankin A. A., Uspensky I. A., Pashchenko V. M., Starunsky A. V. // Journal of Friction and Wear. 2017. Vol. 38, Issue 4. P. 311–315. doi: 10.3103/s1068366617040134
19. Bolotov A. N., Novikov V. V., Novikova O. O. The Research of Tribotechnical Characteristics of Nanostructured Magnetic Lubricating Oils with Various Dispersive Media // Academic Journal. 2017. Vol. 38, Issue 2. P. 107–113.
20. Improving the efficiency of lubricants by introducing friction modifiers for tracked vehicles under stationary conditions of friction / Dmitrichenko N. F., Milanenko A. A., Savchuk A. N., Bilyakovich O. N., Turitsa Y. A., Pavlovskiy M. V., Artemuk S. I. // Journal of Friction and Wear. 2016. Vol. 37, Issue 5. P. 441–447. doi: 10.3103/s1068366616050044
21. Voronin S. V., Dunaev A. V. Effects of electric and magnetic fields on the behavior of oil additives // Journal of Friction and Wear. 2015. Vol. 36, Issue 1. P. 33–39. doi: 10.3103/s1068366615010158
22. Ermakov S. F. Effect of lubricants and additives on the tribological performance of solids. Part 2. Active friction control // Journal of Friction and Wear. 2012. Vol. 33, Issue 3. P. 217–223. doi: 10.3103/s106836661203004x
23. Improvement of performance of lubricating materials with additives of clayey minerals / Lyubimov D. N., Dolgopолов K. N., Kozakov A. T., Nikolskii A. V. // Journal of Friction and Wear. 2011. Vol. 32, Issue 6. P. 442–451. doi: 10.3103/s1068366611060092
24. Effect of fullerene black additives on boundary sliding friction of steel counterbodies lubricated with mineral oil / Tochil'nikov D. G., Kupchin A. N., Lyashkov A. I., Ponyaev S. A., Shepelevskii A. A., Ginzburg B. M. // Journal of Friction and Wear. 2012. Vol. 33, Issue 2. P. 94–100. doi: 10.3103/s1068366612020122

25. Voronin S. V., Suranov A. V., Suranov A. A. The effect of carbon nanoadditives on the tribological properties of industrial oils // Journal of Friction and Wear. 2017. Vol. 38, Issue 5. P. 359–363. doi: 10.3103/s1068366617050130
26. Повышение ресурса технических систем путем использования электрических и магнитных полей: монография / Александров Е. Е., Кравец И. А., Лысиков Е. Н. и др. Х.: НТУ «ХПИ», 2006. 544 с.
27. Лысиков Е. Н., Воронин С. В., Коновалов П. Е. Использование эффекта электрообработки жидких смазочных сред в тяжелых режимах работы подшипников: зб. наук. пр. // Українська державна академія залізничного транспорту. 2010. Вип. 115. С. 122–127.
28. Інструкція ЦТ-0060 з використання мастильних матеріалів на тяговому рухомому складі залізниць України. К.: Держ. адмін. залізн. транспорту України, 2003. 54 с.
29. Сиденко В. М., Грушко И. М. Основы научных исследований. Харьков: Высш. школа, 1977. 287 с.
30. Браун Э. Д., Евдокимов Ю. А., Чичинадзе А. В. Моделирование трения изнашивания в машинах. М.: Машиностроение, 1982. 191 с.

Досліджено взаємозв'язок між конструкційно-технологічними параметрами колектора та режимами транспортування молока до молокопроводу. Запропонована конструкція двосекційного колектора. Отримана математична модель, яка пов'язує інтенсивність молоковіддачі з технологічними параметрами розробленого колектора, залежно від режимів доїння. Встановлено раціональні співвідношення між конструкційним об'ємом молочної камери колектора та діаметром молочного шланга

Ключові слова: градієнт тиску, дросельний отвір, швидкість доїння, подача повітря, якість молока

Исследована взаимосвязь между конструкционно-технологическими параметрами коллектора и режимами транспортировки молока к молокопроводу. Предложена конструкция двухсекционного коллектора. Получена математическая модель, которая связывает интенсивность молокоотдачи с технологическими параметрами разработанного коллектора, в зависимости от режимов доения. Предложены рациональные соотношения между конструкционным объемом молочной камеры коллектора и диаметром молочного шланга

Ключевые слова: градиент давления, дросельное отверстие, скорость доения, подача воздуха, качество молока

УДК 637.125:637.131

DOI: 10.15587/1729-4061.2018.121537

ВСТАНОВЛЕННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙНО- ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КОЛЕКТОРА ДОЇЛЬНОГО АПАРАТА

Г. А. Голуб

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри
Кафедра тракторів, автомобілів і біоенергосистем*

E-mail: gagolub@mail.ru

О. В. Медведський

Кандидат технічних наук, старший викладач
Кафедра процесів, машин і обладнання в агроінженерії
Житомирський національний агроекологічний університет
Старий бульвар, 7, м. Житомир, Україна, 10008

E-mail: aleksmedvedsky@gmail.com

В. І. Ачкевич

Інженер, Директор
Компанія «Аврора-сервіс»
вул. Народного ополчення, 1, м. Київ, Україна, 03151

E-mail: achkevych@gmail.com

О. М. Ачкевич

Кандидат технічних наук
Кафедра механізації тваринництва*

E-mail: achkevych@gmail.com

*Національний університет біоресурсів
і природокористування України

вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, Україна, 03041

1. Вступ

На доїльний апарат покладена надскладна біотехнологічна функція в системі машинного доїння корів –

виведення із вимені утвореного молока. При цьому, основні виконавчі дії покладено на доїльні стакани. Безпосередній контакт з організмом тварини вимагає врахувати анатомічну будову чвертей вимені. Реалізацією