

8. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений [Текст] / Р. Гонсалес, Р. Вудс. - Москва: Техносфера, 2005. - 1072 с.
9. Чжен П. Управление отрывом потока/ П. Чжен : Пер. с англ. - М. : Мир, 1979. - 552 с.
10. Ручное огнестрельное оружие бесшумного боя. Приборы снижения уровня звука выстрела для автоматов. Проектирование и экспериментальная отработка / Коновалов Н. А., Пилипенко О. В., Скорик А. Д., Кваша Ю. А., Коваленко В. И. - Днепропетровск : НАН Украины и НКА Украины, Институт технической механики, 2008. - 303с.

**Abstract**

*The article continues the study of the gas-dynamic processes in internal channels, using the polarization interferometer with birefringent Wollaston prisms. For the first time, we have received the visualization patterns of the flow in the channels of the flat transparent model of the devices with multiple expansion of flow in pulsed mode and we have held the frame-by-frame digital processing. The features of the flow in an input cavity were detected and the trajectory of emission of the diaphragm parts was visualized. We have improved the structure of the attachment point of the blow-out diaphragm of impact unit to regulate the intensity of the pulse. The structure of the blow-out diaphragm, which does not damage the optical glass, was suggested. The visualization methods helped to expand the experimental opportunities of study of flows in complex internal channels. The results of the study can be used in experimental studies of items flow by gas under different conditions*

**Keywords:** *visualization, pulsed processes, flat transparent model, polarization interferometer, blow-out diaphragm*

**Представлена фізична модель з визначення швидкості зношування моторно-осьового підшипника тепловоза. Наведені результати експериментів, з яких випливає, що застосування електростатичного зовнішнього поля для обробки осьової оливи сприяє зменшенню швидкості зношування пари тертя. Цей ефект дозволяє намітити шляхи модернізації системи змащення для збільшення ресурсу моторно-осьового підшипника**

**Ключові слова:** *фізична модель, моторно-осьовий підшипник тепловозу, ресурс, швидкість зношування*

**Представлена физическая модель для определения скорости изнашивания моторно-осевого подшипника тепловоза. Приведены результаты экспериментов, из которых следует, что применение электростатического внешнего поля для обработки осевого масла способствует уменьшению скорости износа пары трения. Этот эффект позволяет наметить пути модернизации системы смазки для увеличения ресурса моторно-осевого подшипника**

**Ключевые слова:** *физическая модель, моторно-осевой подшипник тепловоза, ресурс, скорость изнашивания*

УДК 629.4; 621.89

# ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ ЗНОШУВАННЯ МОТОРНО- ОСЬОВОГО ПІДШИПНИКА ТЕПЛОВОЗА

**П.Є. Коновалов**

Асистент

Кафедра будівельних, колійних та вантажно-розвантажувальних машин  
Українська державна академія залізничного транспорту  
пл. Фейєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61050  
Контактний тел.: (057) 730-10-72  
E-mail: Kaf\_SPPRM&.ukr.net

## 1. Вступ

Дослідження стосується екіпажної частини тягового рухомого складу залізниць, а саме, вузла осьового підвішування електродвигуна вантажного тепловозу 2ТЕ116. Незадовільний ресурс та несправності моторно-осьових підшипників (МОП) є причиною до 5% від загальної кількості заходів локомотивів на непланові ремонти, що обумовлює значні витрати підприємств. Крім того, приналежність цього вузла до числа тих,

що визначають безпеку руху на залізницях, потребує збільшення ресурсу та підвищення рівня надійності його роботи.

## 2. Аналіз літературних джерел та постановка проблеми

Незважаючи на те, що проблемі підвищення надійності та збільшення ресурсу МОП присвячена значна кількість робіт, вона все ще залишається актуаль-

ною. Особливу гостроту проблемі надає значний фізичний знос та запланована модернізація частини локомотивного парку Укрзалізниці, а також те, що подібний тип підвішування передбачається застосовувати на вантажних тепловозах нових серій.

Вирішення цієї проблеми багато в чому пов'язане з ефективністю роботи застосовуваних систем змащування МОП та експлуатаційних характеристик осьової оливи. Здатність мінеральних мастил запобігати металевому контакту поверхонь тіл тертя визначається наявністю в його об'ємі полярно-активних молекул, які шляхом адсорбції утворюють на поверхнях тертя полімолекулярний мастильний шар [1]. В процесі експлуатації концентрація полярно-активних молекул в об'ємі мастила поступово знижується, а здатність молекул утворювати молекулярні асоціати зводить до мінімуму можливість утворення ефективною граничної плівки на поверхнях тертя. Зниження товщини мастильного шару може привести до катастрофічного зносу поверхонь тертя.

Суттєвим резервом покращення протизносних властивостей осьової оливи [1], який уповільнює процес втрати мастильним середовищем своєї якості, є електростатична обробка (ЕСО).

Обробка оливи зовнішнім електростатичним полем призводить до руйнування в її об'ємі значної кількості мицелярних агрегатів. Внаслідок цього в об'ємі оливи і в приповерхневих шарах, встановлюється стабільно висока концентрація полярних молекул, які існують у мономерному стані. Завдяки цьому збільшується товщина мастильного шару, що є необхідною передумовою для зниження інтенсивності зносу поверхні тертя [1] та підвищення ресурсу сполучення.

Отже, одним з напрямків збільшення ресурсу МОП є модернізація системи змащення шляхом включення до її складу пристрою ЕСО осьової оливи. Ефективність будь-яких заходів щодо модернізації можна довести проведенням модельного експерименту з визначення інтенсивності зношування поверхонь тертя.

### 3. Мета і задачі дослідження

Метою дослідження є визначення ефективності впливу електростатичної обробки на протизносні властивості. В ході дослідження вирішувалися наступні задачі:

- розробити фізичну модель зношування МОП;

- визначити швидкість зношування моделі при застосуванні осьової оливи з різним ступенем напрацювання, а також в умовах застосування, або відсутності ЕСО оливи.

### 4. Модельний експеримент та результати дослідження

В модельному експерименті слід відтворити такі умови і режими тертя, при яких результат зношування, отриманий на експериментальному зразку (моделі), мав би однозначний зв'язок зі зношуванням, властивим роботі фактичного вузла МОП (натури). Для створення умов тертя на моделі, адекватних умовам роботи натури, на підставі універсальних рівнянь подібності [2] визначені коефіцієнти для фізичного моделювання процесу (табл. 1). Масштабний коефіцієнт подібності становив  $C_1 = 4,20$ .

Таблиця 1

Коефіцієнти для відтворення процесу тертя МОП на фізичній моделі

Параметр подібності	Коефіцієнт перерахунку з моделі на натуру	Співвідношення параметрів моделі та натури
1. Питоме навантаження	$C_p = 1$	$P_m = P_n$
2. Швидкість ковзання	$C_v = 1/C_1$	$v_m = v_n \cdot C_1$
3. Температура в зоні тертя	$C_\theta = 1$	$\theta_m = \theta_n$
4. Тривалість тертя	$C_t = C_1$	$t_m = t_n \cdot 1/C_1$
5. Коефіцієнт тепловіддачі	$C_\alpha = 1/C_1$	$\alpha_m = \alpha_n \cdot C_1$
6. Шорсткість поверхонь тертя	$C_h = C_1$	$R_{zm} = R_{zn} \cdot 1/C_1$

Режими роботи МОП та приведені за допомогою масштабного коефіцієнту параметри фізичної моделі надані у табл. 2.

Дослідження проводилися на лабораторній установці, яка моделює роботу пари «вкладиш - шийка осі» вузла опорно-осьового підвішування тягового електродвигуна ЕД 118Б.

Установка складається з пристрою для подачі осьової оливи, пристрою для обробки оливи зовнішнім електростатичним полем та доопрацьованої машини тертя типу СМТ-1.

Таблиця 2

Таблиця відповідності параметрів оригінала і моделі

Параметр подібності при швидкості руху тепловозу, км/год	Оригінал			Модель		
	15	35	55	15	35	55
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 зовнішнього тертя	0,1196	0,1182	0,1106	0,1196	0,1182	0,1106
5. Температура в зоні тертя, град. С <sup>0</sup>	58	74	80	58	74	80
6. Шорсткість поверхонь тертя (шийка/вкладиш), R <sub>z</sub>	2,2/7,8			0,5/2,0		

**Таблиця 4**

Ортогональний план експериментів

№ досліджу	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	L, тис. км	P, Вт/мм <sup>2</sup>
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

Для моделювання на установці обрано три робочі режими МОП (табл. 2), на яких характерні найбільші зносіві ушкодження [3]. Змащення проводилося осьовою оливою марки «Л». Температура і об'єм оливи, що подається до зони тертя за одиницю часу, є постійними величинами.

Ступінь напрацювання оливи (кількість годин роботи в системі змащення МОП) для проведення випробувань вибирався відповідно до нормативів міжремонтних періодів для магістральних тепловозов.

Матеріали та параметри робочої поверхні випробувальних зразків (колодки і ролика) аналогічні тим, що застосовуються для виготовлення пари тертя «шійка осі - вкладиш» вузла МОП ТЕД-118Б. Діаметр роликів складає 50 мм, ширина – 12 мм, ширина колодок – 10 мм.

Знос зразків визначався методом встановлення втрати ними маси за час випробувань. Зважування зразків проводилося за допомогою аналітичних терезів ВЛА-200г-М з точністю 0,001 г з доведенням зразків до постійної маси. Швидкість зношування встановлювалася як частка від ділення величини зносу до часу випробувань.

Програмою експериментальних досліджень передбачалося проведення двох етапів двох факторних експериментів, в яких функцією відгуку розглядалася швидкість зношування  $\gamma$  в залежності від ступеня напрацювання оливи Z та потужності P сил тертя.

На першому етапі передбачалося проведення двох факторного експерименту з визначення швидкості зношування фізичної моделі при застосуванні осьової оливи без ЕСО.

Термін напрацювання оливи у системі змащення оцінювався відповідним пробігом L тепловозу за трьома показниками:

- а) олива свіжа в стані поставки - L = 0 ;
- б) після часу напрацювання осьовою оливою, еквівалентного пробігу тепловозу L = 75 тис. км;
- в) те ж після напрацювання L = 150 тис. км.

На другому етапі проводився двох факторний експеримент з визначення швидкості зношування поверхонь тертя з тими ж факторами, що й на першому етапі, проте олива безпосередньо перед подачею в зону тертя піддавалася ЕСО. Напруженість поля E = 0.5·106 В/м.

Рівні варіювання факторів експериментів першого і другого етапів представлені в табл. 3.

**Таблиця 3**

Рівні варіювання факторів L, P

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

Ортогональний план експерименту з визначення зношування зразків для двох варіантів застосування осьової оливи представлений в табл. 4.

Результати експериментальних досліджень згідно плану (табл. 4) приведені в табл. 5.

За результатами експериментальних даних отримані рівняння регресії, що описують закономірності зміни швидкості зношування фізичної моделі при однаковому напрацюванні оливи, але при варіюванні рівня потужності сил тертя, а також за наявності або відсутності ЕСО осьової оливи (табл. 6, 7).

За даними табл. 5 побудовано графіки (рис. 1). Графіки показують, що при застосуванні осьової оливи, яка пройшла ЕСО, швидкість зношування моделі зменшується.

Рівень зниження швидкості зношування залежить від тривалості служби оливи у системі змащення.

Найбільше зниження швидкості зношування (більш ніж в два рази) спостерігається для свіжої оливи (рис. 1), після напрацювання оливою 75 тис. км зниження складає близько 1,68 рази і для оливи в кінці терміну її роботи темпи зниження швидкості зношування складають приблизно 1,47 рази.

**Таблиця 5**

Ортогональний план і результати експерименту

Серія дослідів	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	L, тис. км	P, Вт/мм <sup>2</sup>	Середній знос колодки, мг/год	
					олива без ЕСО	олива без 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

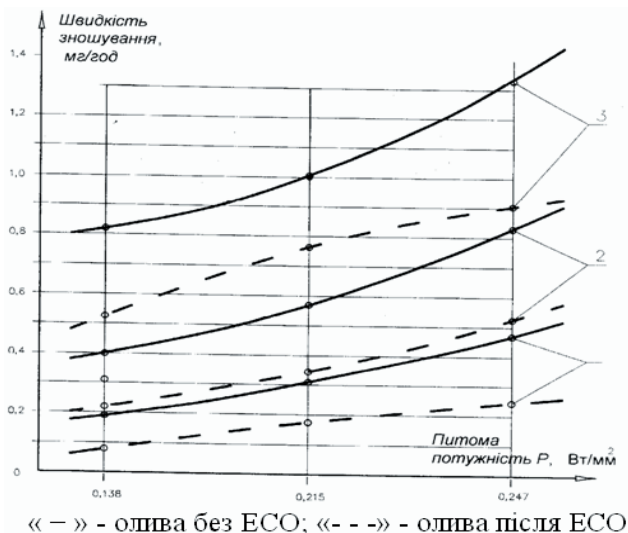


Рис. 1. Графік залежності швидкості зносу моделі в умовах різної питомої потужності сил тертя: 1 – для свіжої оливи; 2 – для оливи з напрацюванням 75 тис. км; 3 – те ж – 150 тис. км

Крім того, за експериментальними даними з табл. 5 розраховані рівняння регресії (табл. 8, 9), що описують закономірності зміни швидкості зношування моделі при однаковому рівні потужності сил тертя, але при варіюванні терміну напрацювання, а також за наявності або відсутності ЕСО осьової оливи. Графіки, що відбивають вказану залежність, приведені на рис. 2.

Таблиця 6

Рівняння регресії результатів експериментів з визначення швидкості зношування моделі при застосуванні осьової оливи без ЕСО при різній потужності сил тертя

Напрацювання L, тис. км	Питома потужність P, Вт/мм <sup>2</sup>	Рівняння регресії, щодо швидкості зношування $\gamma$
0	0,138; 0,215; 0,247	$\gamma = -0,60 + 40,74 \cdot P - 370,37 \cdot P^2$
75	0,138; 0,215; 0,247	$\gamma = -0,60 + 49,07 \cdot P - 370,37 \cdot P^2$
150	0,138; 0,215; 0,247	$\gamma = -1,08 + 103,89 \cdot P - 1111,11 \cdot P^2$

Таблиця 7

Рівняння регресії результатів експериментів з визначення швидкості зношування моделі при застосуванні осьової оливи, яка пройшла ЕСО, при різній потужності сил тертя

Напрацювання L, тис. км	Питома потужність P, Вт/мм <sup>2</sup>	Рівняння регресії, щодо швидкості зношування $\gamma$
0	0,138; 0,215; 0,247	$\gamma = -0,66 + 40,93 \cdot P - 462,96 \cdot P^2$
75	0,138; 0,215; 0,247	$\gamma = -0,39 + 27,78 \cdot P - 138,89 \cdot P^2$
150	0,138; 0,215; 0,247	$\gamma = -1,81 + 135,00 \cdot P - 1666,67 \cdot P^2$

Таблиця 8

Рівняння регресії результатів експериментів з визначення швидкості зношування моделі в умовах однакової потужності сил тертя при застосуванні осьової оливи без ЕСО, яка має різне напрацювання

Питома потужність P, Вт/мм <sup>2</sup>	Напрацювання L, тис. км	Рівняння регресії, щодо швидкості зношування $\gamma$
0,138	0; 75; 150	$\gamma = 4,38 \cdot 10^{-9} L^2 + 5,38 \cdot 10^{-5} L + 0,185$
0,215	0; 75; 150	$\gamma = 1,13 \cdot 10^{-8} L^2 + 6,25 \cdot 10^{-5} L + 0,400$
0,247	0; 75; 150	$\gamma = 6,25 \cdot 10^{-10} L^2 + 1,27 \cdot 10^{-4} L + 0,815$

З графіків на рис. 2 випливає, що при однаковій потужності сил тертя швидкість зношування зразків зростає у міру збільшення часу напрацювання оливи без ЕСО, а характер такої залежності близький до лінійного. При застосуванні тієї ж оливи, що пройшла ЕСО, швидкість зношування знижується. Найбільший рівень зниження (в 1,9 рази) зафіксовано стосовно свіжої оливи. Зі збільшенням терміну напрацювання оливи цей показник поступово зменшується і в кінці терміну її служби становить близько 1,6-1,65.

Таблиця 9

Рівняння регресії результатів експериментів з визначення швидкості зношування моделі в умовах однакової потужності сил тертя при застосуванні осьової оливи, що пройшла ЕСО, яка має різне напрацювання

Питома потужність P, Вт/мм <sup>2</sup>	Напрацювання L, тис. км	Рівняння регресії, щодо швидкості зношування $\gamma$
0,138	0; 75; 150	$\gamma = 3,13 \cdot 10^{-9} L^2 + 4,12 \cdot 10^{-5} L + 0,080$
0,215	0; 75; 150	$\gamma = 6,88 \cdot 10^{-9} L^2 + 4,87 \cdot 10^{-5} L + 0,220$
0,247	0; 75; 150	$\gamma = 1,13 \cdot 10^{-8} L^2 + 1,43 \cdot 10^{-4} L + 0,525$

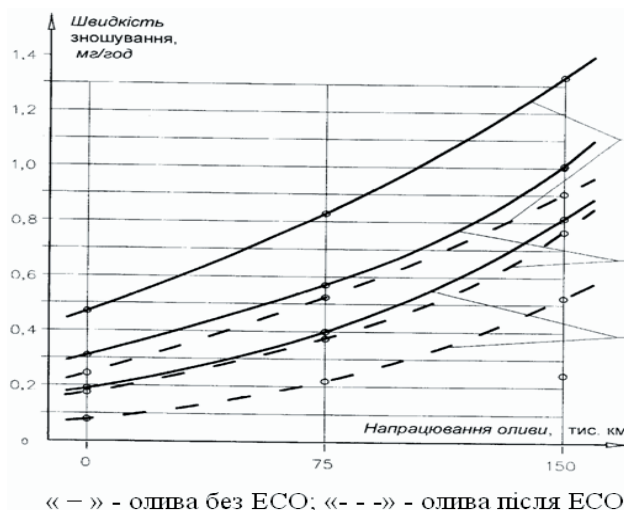


Рис. 2. Графік залежності швидкості зносу зразків при застосуванні осьової оливи з різним терміном напрацювання: 1 – питома потужність сил тертя 0,138 Вт/мм<sup>2</sup>; 2 – те ж – 0,215 Вт/мм<sup>2</sup>; 3 – те ж – 0,247 Вт/мм<sup>2</sup>

Таким чином, отримані матеріали (рис. 1, 2 і табл. 8,9) демонструють зниження швидкості зношування фізичної моделі, як наслідок застосування ЕСО осьової оливи.

Вони дозволяють намітити шляхи модернізації системи змащення з метою збільшення ресурсу МОП вантажних тепловозів.

## 5. Висновки

1. Експериментами на фізичній моделі встановлено, що зі збільшенням часу напрацювання осьової оливи у системі змащення тепловозу її властивості за ознаками протизносної дії поступово погіршуються.

Доведено, що при використанні осьової оливи, яка пройшла ЕСО, швидкість зношування експериментальних зразків зменшується.

2. Рівень зменшення швидкості зношування залежить від тривалості роботи оливи у системі змащення. Найбільше зниження швидкості зношування (у два рази) відзначається для свіжої оливи, для оливи після пробігу локомотиву 75 тис. км зниження становить близько 1,68 рази і для оливи в кінці терміну її роботи зниження швидкості зношування складають приблизно 1,47 рази.

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

4. Отримані результати дозволяють вважати, що завдання підвищення ресурсу МОП може бути вирішене на шляху модернізації системи змащення, зокрема, введенням до її складу пристрою для електростатичної обробки осьової оливи.

## Література

1. Лысыков, Е. Н. Надмолекулярные структуры жидких смазочных сред и их влияние на износ технических систем [Текст] / Е. Н. Лысыков, В. Б. Косолапов, С. В. Воронин. – Х.: ЭДЭНА, 2009. – 274 с.
2. Браун, Э. Д. Моделирование трения изнашивания в машинах [Текст] / Э. Д. Браун, Ю. А. Евдокимов, А. В. Чичинадзе. - М.: Машиностроение, 1982. – 191с.
3. Коновалов, П. Е. Расчетная модель интенсивности изнашивания как функция диаметрального зазора в МОП [Текст] / П. Е. Коновалов // Зб. наук. пр. / Укр. держ. акад. залізнич. трансп. – Х., 2012. – Вип. 129. – С.173-178.

### Abstract

*The article presents a physical model to determine the rate of wear of a motor-axial bearing of a locomotive.*

*The rate of wear of the model was determined in dependence with the term of operation and presence or absence of the electrostatic processing of the axial oil. It was determined that with the increase of an operation time of the axial oil in the lubricating system, its wear-resistant properties gradually deteriorate. It was proved that the use of the axial oil, which had passed ECO, reduces the rate of wear of the experimental samples.*

*The level of reduction of the wear rate depends on the duration of the oil operation in the lubricating system.*

*The largest reduction in the rate of wear (two times) is notable for new oil; the reduction for oil after locomotive's kilometrage of 75 thousand km is about 1.68 times; for oil at the expiration date the reduction of wear is approximately 1.47 times.*

*The results permit to identify ways of modernization of the lubricating system to increase the resource of the motor-axial bearing*

**Keywords:** *physical model, motor-axial bearing of a locomotive, resource, rate of wear*