

УДК 621.89

ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВИПРОБУВАННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОЇ ОБРОБКИ МОТОРНОЇ ОЛИВИ

Д-р техн. наук С. В. Воронін, канд. техн. наук В. О. Стефанов,
асп. О. С. Харківський

OPERATING TESTS OF THE DEVICE FOR ELECTROSTATIC ENGINE OIL TREATMENT

D. Sc. (Tech.) S. Voronin, PhD (Tech.) V. Stefanov,
postgraduate student O. Kharkivskyi

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.200.2022.262678>

Анотація. У статті наведено матеріали експлуатаційних випробувань удосконаленого пристрою для електростатичної обробки напівсинтетичної моторної оливи EXTRA DI 10W-40 при її роботі в системі змащування дизельного двигуна Д-240 колісного трактора МТЗ-82. Наведено конструктивні особливості та технічні характеристики удосконаленого пристрою, місце його встановлення в систему змащування двигуна і підключення до бортової мережі машини. Наведено результати випробувань пристрою за критеріями впливу електростатичної обробки на окремі характеристики дизельного двигуна і трибологічні характеристики моторної оливи.

Ключові слова: дизельний двигун, система змащування, пристрій, моторна олива, електростатична обробка, напрацювання.

Abstract. The article presents the materials of operational tests of the improved device for electrostatic treatment of semi-synthetic motor oil EXTRA DI 10W-40 during their operation in the lubrication system of the diesel engine D-240 wheeled tractor MTZ-82. Since the testing of the device consisted of two stages, the main part of the article consists of two interrelated parts, which show the main results for each stage. The first part presents the design features and technical characteristics of the advanced device, as well as the place of its installation in the engine lubrication system and connection to the onboard network of the machine. Particular attention in describing the design of the device is paid to its differences from previous counterparts, namely the presence of stepwise regulation of the output voltage level and the presence of protection of the oil from electric breakdown. The second part of the article presents the test results of the device according to the criteria of the influence of electrostatic treatment on the characteristics of the diesel engine and some performance properties of engine oil. When disclosing the effect of electrostatic oil treatment on engine characteristics, the article presents data on changes in oil pressure in the main line of the lubrication system and changes in compression in the engine cylinders as the engine speed increases. When disclosing the effect of electrostatic treatment on the performance properties of engine oil, data on changes in the tribological characteristics of the oil, namely the diameter of the wear spot, with its different operating time in the engine lubrication system. The diameter of the wear spot was installed on a four-ball friction machine according to the method described in GOST 9490-75. According to this method, the values of the diameter of the wear spot for the engine oil during its operation in the engine lubrication system without the use of electrostatic treatment, as well as with the use of such treatment in the built-in device. The final part of the article presents an analysis of

the results, conclusions and practical recommendations for the application of the proposed improved device in the lubrication systems of diesel engines of self-propelled vehicles.

Keywords: *diesel engine, lubrication system, device, engine oil, electrostatic treatment, operating time.*

Вступ. Головним агрегатом будь-якої самохідної машини є її силова енергетична установка. Загальновідомо, що в більшості технологічних і транспортних самохідних машин залізничної, будівельної та сільськогосподарської галузі як силова установка застосовуються дизельні двигуни. Саме тому надійність самохідних машин переважно визначається надійністю дизельного двигуна, показники якої необхідно підтримувати в експлуатаційних умовах на заданому рівні протягом тривалого терміну роботи. Для забезпечення заданого рівня надійності технологічних і транспортних машин в умовах експлуатації слід дотримуватись традиційних обов'язкових заходів з технічного обслуговування та ремонту дизельних двигунів, а також застосовувати якісні паливо-мастильні матеріали. Однак, якщо експлуатуючі підприємства ставлять за мету підвищення економічної ефективності машин, традиційних заходів недостатньо. Ключову роль при досягненні такої мети мають методи підвищення надійності двигунів в експлуатації, які можуть бути впроваджені шляхом всебічного дослідження характеристик двигунів. Одним з таких методів є метод покращення трибологічних характеристик моторних оливо шляхом їхньої безперервної електростатичної обробки [1-3]. Така обробка виконується у спеціальних вбудованих пристроях, призводить до уповільнення зношування деталей двигуна, при цьому вона може бути реалізована без суттєвої зміни конструкції системи змащування. Оскільки уповільнення зношування досягається через вплив на характеристики моторної оливи, експлуатаційні випробування пристроїв мають складатись із випробувань як характеристик двигуна, так і

експлуатаційних властивостей оливи при різному напруженні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Фундаментальні основи впливу електричних полів на трибологічні властивості рідких мастильних матеріалів вперше були викладені в монографії [1], де вказано, що при орієнтаційній поляризації молекул із постійним електричним дипольним моментом процес їхньої адсорбції на поверхнях тертя інтенсифікується, що призводить до зростання товщини граничної мастильної плівки, внаслідок чого зменшується інтенсивність зношування. Робота [1] має суто теоретико-експериментальний характер, у ній розглядається вплив електричного поля на мінеральні гідравлічні оливи, вона не містить відомостей щодо випробувань двигунів внутрішнього згорання при обробці моторних оливо. Хоча треба відзначити, що ця робота є базисною, з точки зору розроблення підходів до практичної реалізації методу електричної обробки оливо. Подальший розвиток фізичних основ впливу електричного поля на трибологічні характеристики оливо із присадками наведено в статті [2]. У цій роботі показано, що на мастильну здатність оливо із присадками впливають процеси агрегації присадок під впливом зовнішнього електричного поля, що призводить до формування рідкокристалічної граничної плівки пошарової будови. Головною відмінністю результатів роботи [2] від роботи [1] є встановлення факту формування різних за товщиною та несучою здатністю плівок при різній напруженості електричного поля. Тобто додається суттєва вимога до практичної реалізації методу електричної обробки оливо, яка полягає в необхідності регулювання величини напруженості поля, залежно від типу та

концентрації присадок в оливі. Цей факт також підтверджується результатами роботи [3]. У цілому роботи [1-3] дають фізичні основи для створення пристроїв електричної обробки олив у системах змащування машин, однак самі не містять таких практичних даних.

При розробленні пристроїв для електростатичної обробки олив дизельних двигунів треба спиратись також на результати робіт [4-7] і відомості з патенту [8]. Так, у роботах [4, 5] наведено загальний вигляд і характеристики пристрою для циркуляційної системи змащування та визначено основні вихідні дані для проєктування. У роботах [6, 7] встановлено певні діапазони раціональних режимів обробки нафтових олив електричним полем. Однак інформація про параметри пристрою з робіт [4, 5] і патенту [8], а також дані робіт [6, 7] не містять відомостей щодо параметрів і реалізації захисту оливи від електричного пробою як фактора, що призводить до деструкції оливи.

Виходячи з аналізу робіт, спрямованих на дослідження та реалізацію методу електричної обробки технічних олив, можна сформулювати такі основні напрями удосконалення пристрою для електростатичної обробки моторних олив дизельних двигунів: на підставі робіт [1-3, 9] – забезпечення регулювання рівня вихідної напруги як величини, що визначає напруженість електростатичного поля між електродами; робіт [4, 5, 7] – забезпечення автоматичного захисту від електричного пробою оливи.

Визначення мети та завдання дослідження. Метою дослідження є обґрунтування основних параметрів удосконаленого пристрою для електростатичної обробки моторної оливи та встановлення впливу такої обробки на окремі характеристики дизельного двигуна протягом експлуатації і трибологічні характеристики оливи з різним напрацюванням у двигуні.

Для досягнення поставленої мети проводились експлуатаційні випробування

пристрою на двигуні, у яких вирішувались такі завдання:

- розроблення удосконаленого пристрою та його встановлення в систему змащування двигуна Д-240 колісного трактора МТЗ-82;

- вимірювання компресії в циліндрах двигуна і тиску в головній магістралі протягом випробувань із заданою періодичністю;

- оцінювання трибологічних характеристик моторної оливи (за величиною середнього діаметра плями зносу на чотирикульковій машині) із різним напрацюванням у системі змащування.

Основна частина досліджень

Розроблення удосконаленого пристрою. Пристрій, що розробляється, призначений для встановлення в систему змащування дизельного двигуна Д-240 колісного трактора МТЗ-82, обраного як фізичну модель самохідної машини. Передбачається безперервна робота пристрою протягом напрацювання трактора на другій частині випробувань. За рекомендаціями, наведеними в роботах [4, 5, 6], основними вихідними даними для розроблення є:

- номінальна продуктивність масляного насоса – $0,001 \text{ м}^3/\text{с}$ (60 л/хв);

- робоча температура оливи – $90 \text{ }^\circ\text{C}$;

- олива напівсинтетична EXTRA DI 10W-40, густина $890 \text{ кг}/\text{м}^3$, кінематична в'язкість при $100 \text{ }^\circ\text{C}$ – $14,4 \text{ мм}^2/\text{с}$;

- електрична напруга в бортовій мережі – 12 В ;

- взаємне розташування електродів – коаксіальне.

Пристрій складається з блока обробки оливи, вбудованого в систему змащування, та електронного блока керування, який живиться від електричної мережі.

Основними параметрами блока обробки оливи є діаметри електродів, довжина зони обробки, кількість електродних пар. Вказані параметри слід підбирати з умови забезпечення

мінімального гідравлічного опору при ламінарній течії, а також з умови забезпечення необхідної швидкості потоку оливи в зоні обробки, яка, за рекомендаціями роботи [1], складає 6 м/с.

Загальна площа перерізу між електродних просторів визначається як

$$S = \frac{Q_n}{v}, \quad (1)$$

де Q_n – номінальна продуктивність масляного насоса, м³/с;

v – раціональна швидкість потоку оливи, м/с.

Площа одного між електродного простору для коаксіального розташування

$$S_i = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}, \quad (2)$$

де D – внутрішній діаметр зовнішнього електрода, м;

d – діаметр внутрішнього електрода, м.

Користуючись залежностями (1) і (2) кількість електродних пар пристрою визначається як відношення

$$k = \frac{S}{S_i} \quad (3)$$

Кількість електродних пар визначена вище лише за умови забезпечення потрібної швидкості потоку. Однак необхідно виконати перевірку конструктивних параметрів за величиною гідравлічних втрат. Основними будуть лінійні втрати тиску, що без урахування ексцентриситету визначаються за залежністю

$$\Delta p = \frac{6Q_n \mu L}{\pi k r \delta^3}, \quad (4)$$

де μ – динамічна в'язкість оливи, Пас;

L – довжина зони обробки, м;

n – кількість електродних пар;

r – радіус внутрішнього електрода, м;

δ – коаксіальний зазор, м.

Прийнятним вважається перепад тиску не більше 5 % номінального тиску оливи в головній магістралі двигуна. Розрахунки параметрів блока обробки виконувались у середовищі Mathcad, а кінцеві значення наведено в табл. 1. Загальний вигляд виготовленого блока обробки наведено на рис. 1.

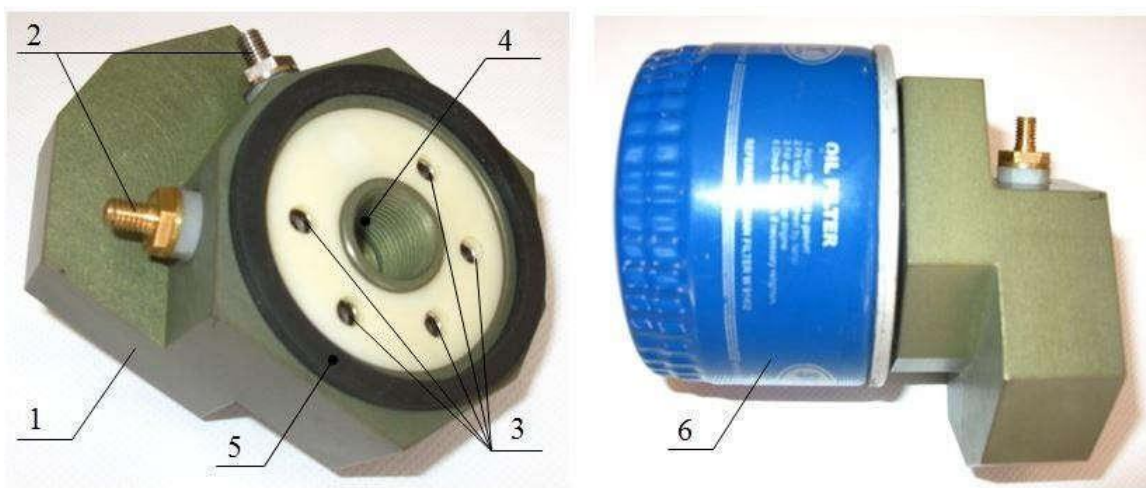


Рис. 1. Загальний вигляд блоку обробки:

1 – корпус; 2 – нарізні контакти; 3 – канали входу оливи в зони обробки;
4 – центральний канал виходу оливи; 5 – ущільнювальне кільце; 6 – фільтр

Таблиця 1

Розрахункові параметри, покладені в конструкцію блока обробки

Параметр	Значення
1. Довжина зони обробки L , м	0,01
2. Кількість електродних пар n , од.	5
3. Втрати тиску Δp , МПа	0,011

Для зменшення ваги корпус блока обробки виготовлений зі сплаву Д16Т, деталі електроізоляції – із поліаміду з температурою розм'якшення не менше 150 °С, що є оливістийким і не змінює механічних характеристик при одночасній дії температури і оливи.

Електронний блок керування виконує декілька функцій. Основною функцією є перетворення (збільшення) напруги бортової мережі 12 В на напругу живлення, що подається на блок обробки. В удосконаленому пристрої, що розроблявся, блок керування має дві суттєві відмінності.

По-перше, у ньому реалізоване ступінчасте регулювання рівня вихідної напруги (рис. 2), встановлене відповідно до результатів досліджень [9]. По-друге, блок керування має захист за електричним струмом на кожному рівні вихідної напруги. Струм обмежений за величиною $5 \times 200 \mu\text{A}$, що виключає електричний пробій оливи з деструкцією [10], а також виключає коротке замикання при імовірному потраплянні струмопровідного елемента в зазор між електродами. Технічна характеристика блока керування наведена в табл. 2.

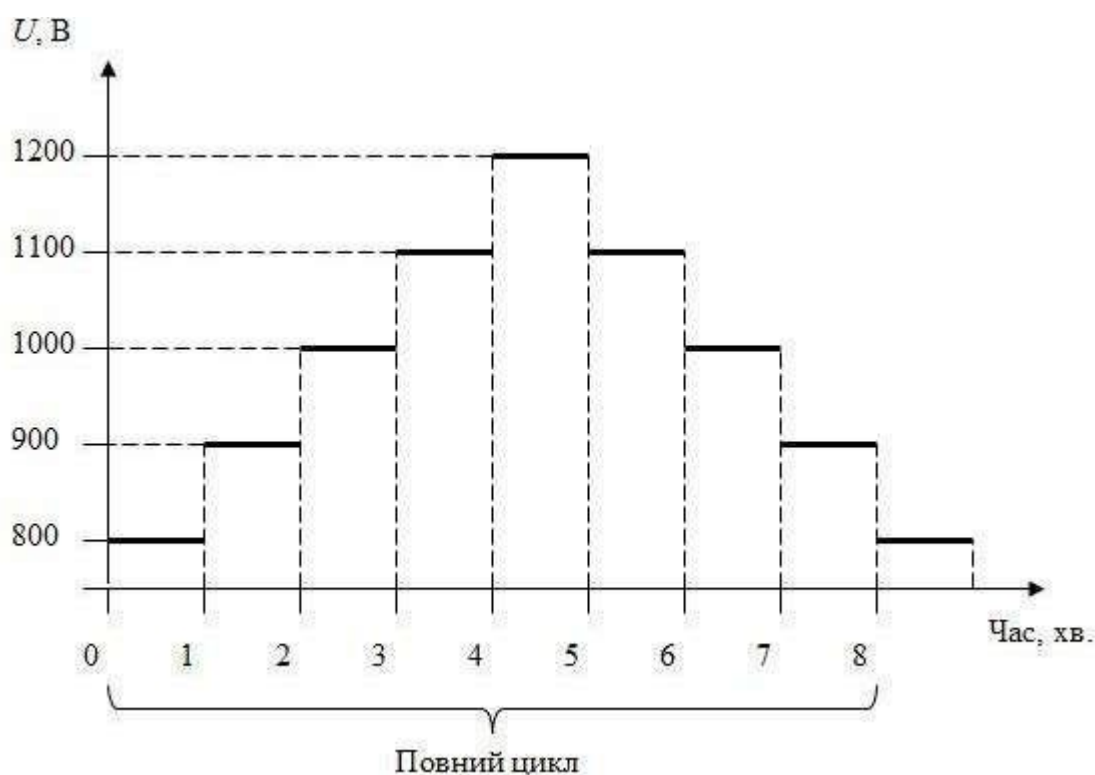


Рис. 2. Циклограма рівня вихідної напруги

Технічна характеристика блока керування

Параметр	Значення
1. Напруга живлення, В	10...30
2. Вихідна напруга, В	800...1200
3. Струм обмеження, А	10^{-3}

Блок обробки оливи вбудовується в систему змащування двигуна між блоком циліндрів і фільтром оливи, а саме встановлюється на місце фільтра оливи, а фільтр кріпиться на відповідному

посадковому місці блока обробки (рис. 3, а). Блок керування монтується в кабіні машиніста, підключається до бортової мережі в коло бортового живлення через запобіжник 2 А (рис. 3, б).



а



б

Рис. 3. Пристрій, змонтований на тракторі МТЗ-82:
а – блок обробки оливи в системі змащування двигуна Д-240;
б – блок керування в кабіні машиніста

Після виконання робіт з монтажу пристрою виконувались перевірки його працездатності: перевірялись наявні течії мастила по ущільненнях блока обробки, а також працездатність блока керування відповідно до встановленої програми. Після перевірки працездатності пристрій був уведений у роботу відповідно до прийнятої програми випробувань.

Програма експлуатаційних випробувань. Випробування проводились протягом чотирьох років, з січня 2018 по грудень 2021 р. Перед початком випробу-

вань був виконаний капітальний ремонт двигуна та проведено його регламентне обкатування. Вимірювання характеристик двигуна почалось з кінця березня 2018 р.

Програма випробувань складалася з двох етапів.

Етап 1. Вимірювання характеристик двигуна і моторної оливи без вмонтованого пристрою. Вимірювання тривали до кінця грудня 2019 р. Включали періодичні вимірювання компресії в циліндрах, тиску оливи в головній магістралі та трибологічних характеристик оливи з

різним напрацюванням. Компресію і тиск оливи вимірювали під час виконання ТО із заміною оливи через кожні 300 мото-год напрацювання, при цьому вимірювали вказані характеристики як на відпрацьованій оливі перед заміною, так і на свіжій оливі після заміни. Відбір проб оливи виконували в проміжних точках напрацювання через 150 мото-год і в кінцевих точках через 300 мото-год при заміні.

Етап 2. Вимірювання характеристик двигуна і моторної оливи після монтажу та

введення в експлуатацію розробленого пристрою. Вимірювання тривали до кінця грудня 2021 р. Включали періодичні вимірювання компресії в циліндрах, тиску оливи в головній магістралі та трибологічних характеристик оливи з різним напрацюванням в умовах електростатичної обробки оливи. Періодичність вимірювань і відбору проб оливи співпадала з періодичністю, встановленою на першому етапі.

Загальна хронологія виконання робіт наведена на рис. 4.

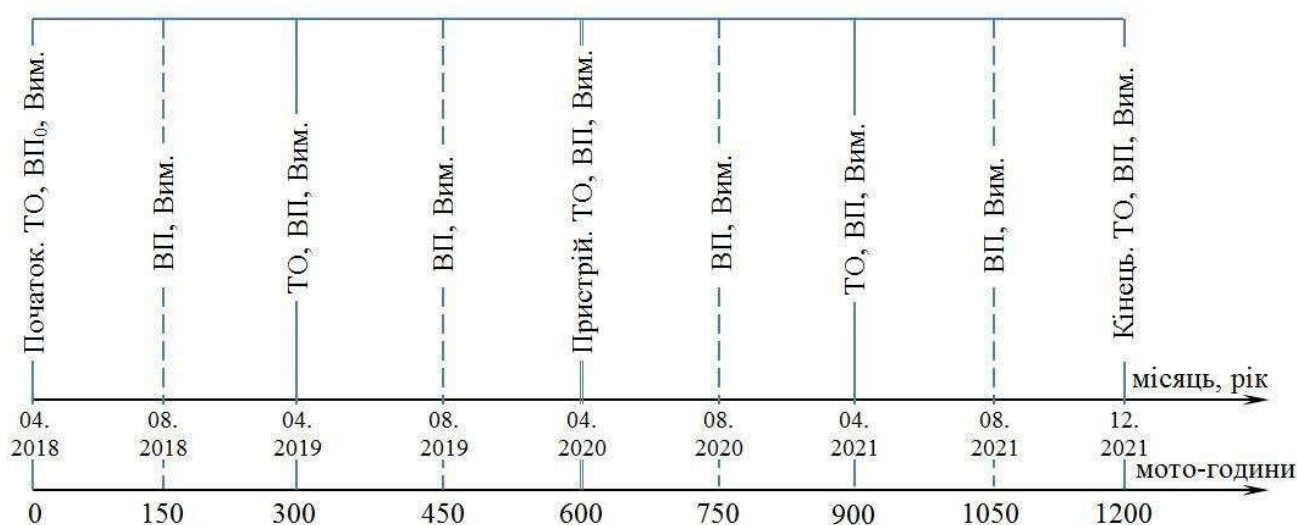


Рис. 4. Хронологія проведення випробувань:

ТО – технічне обслуговування з заміною оливи; ВП₀ – відбір проби свіжої оливи; ВП – відбір проби оливи з напрацюванням; Вим. – виконання вимірювань компресії та тиску оливи

Періодичність виконання заміни оливи 300 мото-год регламентується вимогами з експлуатації машини. Фактичні значення напрацювання в кожній точці виконання робіт мають відхилення на рівні ± 20 мото-год від значень, наведених на рис. 4.

Вимірювання компресії в циліндрах двигуна та тиску оливи в головній магістралі. Під терміном компресія в статті розуміється максимальний тиск стиснення повітря в камері згорання двигуна при обертанні колінчастого вала стартером без

впорскування та згорання паливної суміші. При нормальній роботі поршневих кілець (без залягання в канавках поршня) на величину компресії, окрім конструктивних параметрів, впливають ступінь зносу кілець і гільзи, а також товщина та несуча здатність граничної мастильної плівки на поверхнях контактуючих деталей. Оскільки електростатична обробка впливає саме на параметри граничної мастильної плівки, то через ці параметри вона буде впливати й на величину компресії.

Для вимірювання компресії у випробуваннях застосовувався компресометр Profline 31020-1 з діапазоном вимірювань 0–70 бар і ціною поділки в 1 бар. При максимальній нормативній компресії в циліндрах двигуна Д-240 27...28 атм обраний вимірювальний прилад має достатню точність. Вимірювання в кожній точці напрацювання двигуна виконувались за однакових умов: температура двигуна 40 °С; частота обертання колінчатого вала стартером складала приблизно 200 хв⁻¹.

Методика визначення компресії мала таку послідовність:

- прогрів двигуна до робочої температури 90 °С;
- зупинка двигуна та демонтаж форсунки відповідного циліндра;
- монтаж компресометра через спеціальний штуцер;
- очікування охолодження двигуна до температури 40 ±2 °С;
- вимірювання при прокручуванні стартером протягом 5 с або до завершення зростання тиску на манометрі.

Результати вимірювань компресії наведені на рис. 5, періодичність вимірювань відповідала хронології на рис. 4.

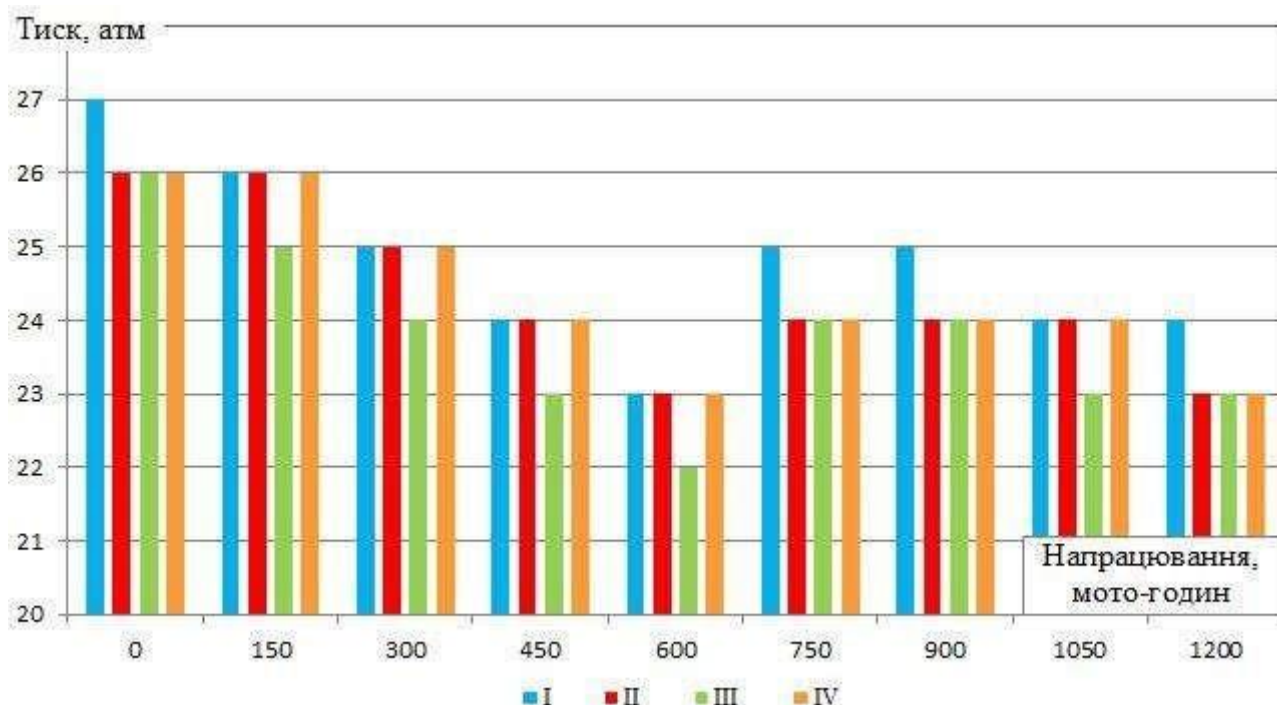


Рис. 5. Результати вимірювань компресії в циліндрах двигуна (кольором і римськими цифрами позначені номери циліндрів)

За даними рис. 5 видно, що компресія в циліндрах двигуна поступово зменшується з початку випробувань з напрацюванням машини. Так, при напрацюванні 600 мото-год середня компресія зменшилася з 26,25 до 22,75 атм. Цей темп зменшення компресії відповідає роботі трактора в штатному режимі без вмикання пристрою. При вмиканні пристрою, що від-

булося по закінченню ТО на 600 мото-год, динаміка зміни компресії дещо інша. Проміжні вимірювання на напрацюванні 750 мото-год показали збільшення компресії з 22,75 до 24,25 атм. Таке збільшення говорить про формування на поверхнях більш товстої граничної мастильної плівки з підвищеною несучою здатністю. Подальше напрацювання машини призводить до

повільного зменшення компресії, але темп такого зменшення нижчий, ніж при роботі машини без електростатичної обробки оливи. Уповільнення темпу зменшення компресії пов'язано, на нашу думку, з уповільненням зношування деталей циліндро-поршневої групи двигуна при застосуванні електростатичної обробки моторної оливи, що узгоджується з результатами попередніх досліджень.

Окрім деталей циліндро-поршневої групи відповідальними деталями двигуна, знос яких залежить від мастильної здатності моторної оливи, є підшипники ковзання кривошипно-шатунного та газорозподільного механізмів. Ці підшипники працюють більшу частину часу в умовах гідродинамічного мащення, а їхній підвищений знос має місце при граничному мащенні в моменти пуску та зупинки двигуна. Зі зношуванням деталей, особливо вкладишів, поступово зростає зазор у підшипнику, як наслідок, зменшується рівень тиску оливи в головній напірній масляній магістралі. Саме тому у випробуваннях виконувались вимірювання цього тиску як опосередкованого критерію рівня зношування вказаних деталей двигуна.

Для вимірювання тиску оливи в головній магістралі застосовувався манометр вібростійкий, за ДСТУ EN 837-1:2004, з діапазоном вимірювань 0 – 6 бар, ціною ділення 0,1 бар і відносною похибкою 1,6 %. Частота обертання колінчастого вала контролювалась цифровим контактним тахометром DT-2235B з діапазоном вимірювань 5...20000 хв⁻¹, дискретністю 0,1 хв⁻¹ і відносною похибкою 0,05 %. Вимірювання в кожній точці напрацювання двигуна виконувались за однакових умов: температура двигуна 90 °С; номінальна частота обертання колінчастого вала 2500 хв⁻¹; частота обертання колінчастого вала на холостих обертах 800 хв⁻¹.

Методика визначення тиску оливи мала таку послідовність:

– прогрів двигуна до робочої температури 90 °С;

– налаштування на робочому двигуні обертів холостого ходу колінчастого вала на рівень 800±10 хв⁻¹;

– вимірювання тиску оливи на холостому ходу;

– налаштування на робочому двигуні обертів колінчастого вала на рівень 2500±20 хв⁻¹;

– вимірювання тиску оливи на номінальних обертах.

У точках напрацювання машини, у яких виконували заміну оливи, тиск вимірювався двічі – на відпрацьованій і свіжій оливі. Результати вимірювань тиску в головній магістралі наведені на рис. 6, періодичність вимірювань відповідала хронології на рис. 4. У точці з напрацюванням 600 мото-год тиск відпрацьованої і свіжої оливи вимірювався до включення пристрою в роботу.

Аналіз отриманих даних, наведених на рис. 6, дозволяє стверджувати, що тиск оливи протягом напрацювання машини поступово зменшується як для свіжої оливи, так і оливи з напрацюванням. Це пов'язано в тому числі зі зростанням зазорів у підшипниках ковзання двигуна внаслідок зношування поверхонь тертя. Максимальні значення тиску отримані для свіжої оливи на номінальних обертах вала (рис. 6, крива 2), мінімальні – для відпрацьованої оливи на холостих обертах (рис. 6, крива 3).

Зменшення тиску оливи з напрацюванням, порівняно зі свіжою оливою за однакових обертів, пояснюється зменшенням в'язкості оливи, особливо для точок виконання ТО-300, 600, 900 та 1200 мото-год, які відповідають повному відпрацюванню оливою свого призначеного ресурсу.

Легко побачити, що після введення в роботу пристрою для електростатичної обробки характер зміни тиску оливи в часі змінюється в бік падіння швидкості зменшення тиску (рис. 6, криві 1-4), починаючи з напрацювання 750 мото-год. Одночасно з цим відмічається інше явище, а саме певне збільшення тиску за однакових умов після 150 год роботи пристрою. Таке

явище, на нашу думку, пов'язане з трьома процесами: зростання товщини граничної мастильної плівки на поверхнях тертя; зростання в'язкості моторної оливи та зменшення інтенсивності зношування

деталей тертя внаслідок дії на оливу електростатичного поля. Такі міркування не суперечать результатам попередніх досліджень, наведених у роботах [1-3].

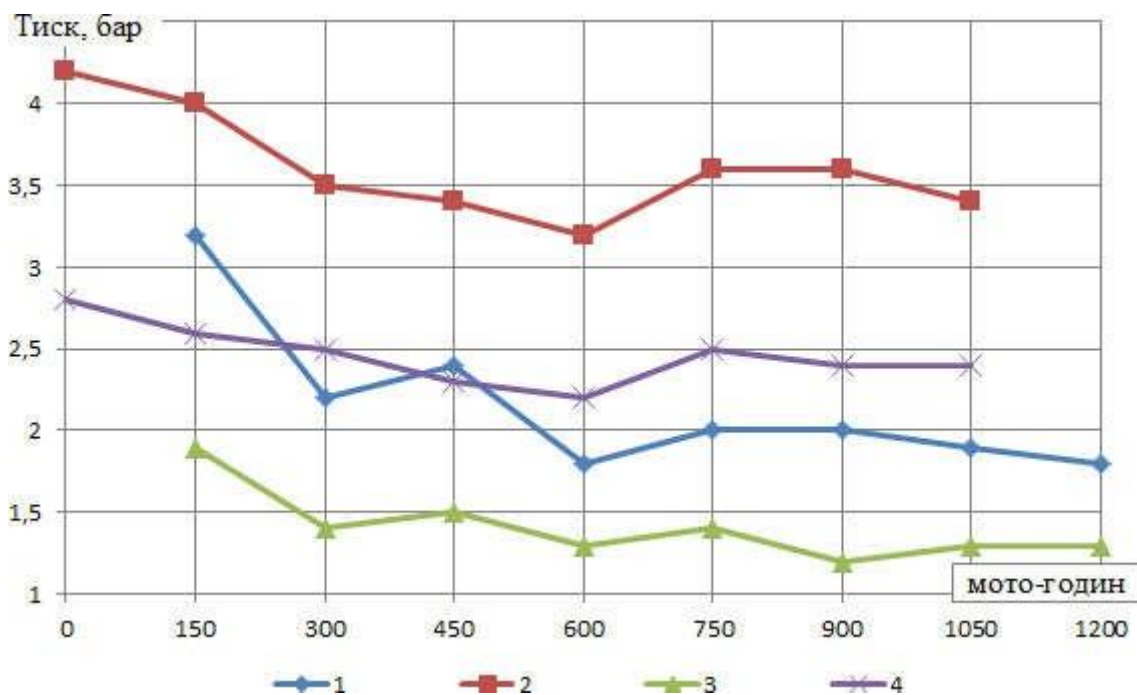


Рис. 6. Результати вимірювань тиску оливи в головній магістралі двигуна:

- 1 – олива з напрацюванням на номінальних обертах; 2 – свіжа олива на номінальних обертах; 3 – олива з напрацюванням на холостих обертах; 4 – свіжа олива на холостих обертах

Оцінка трибологічних характеристик моторної оливи. Паралельно з вимірюваннями характеристик двигуна випробування передбачали відбір проб оливи, лабораторний аналіз трибологічних характеристик цих проб, а також випробування моделей деталей тертя на зносостійкість при змащуванні моторною оливою з різним напрацюванням у двигуні. У цій статті зупинимося на обговоренні результатів лише лабораторного аналізу трибологічних характеристик проб оливи.

Випробування проводились за методикою, наведеною в ГОСТ 9490. Цей нормативний документ регламентує визначення чотирьох показників трибологічних характеристик оливи: середній діаметр

плями зносу; критичне навантаження; індекс задиру; навантаження зварювання. У наших випробуваннях досліджувався лише середній діаметр плями зносу d_c при 196 Н як показник протизношувальної характеристики оливи. Такий вибір обґрунтований тим, що електростатична обробка оливи інтенсифікує процес фізичної адсорбції молекул присадок, тобто переважно впливає на протизношувальну властивість оливи. У випробуваннях була використана машина тертя галузевої науково-дослідної лабораторії «Хімотологічна» при кафедрі машинобудування та технічного сервісу машин Українського державного університету залізничного транспорту (рис. 7).



Рис. 7. Чотирикулькова машина тертя:

1 – електродвигун; 2 – пульт керування; 3 – місце встановлення чаші з кульками та випробувальною оливою; 4 – важіль; 5 – кінцевий вимикач двигуна; 6, 7 – захисний кожух (опора) вузла тертя і вала; 8 – набір ваг; 9 – таблиця відповідності плеча навантаження та маси ваги на важелі до навантажувального ряду з ГОСТ 9490; 10 – станина; 11 – високовольтне джерело живлення; 12 – лабораторний пристрій для обробки оливи

Головною відмінністю методики вимірювань було забезпечення в лабораторних умовах електростатичної обробки проб оливи, відібраних з машини починаючи з напрацювання 750 мото-год. Це дало змогу відтворити реальні умови роботи оливи в системі змащування дизельного двигуна, коли олива безперервно обробляється електростатичним полем. Обробку виконували в спеціальному лабораторному пристрої 12, що живиться від високовольтного джерела 11 (рис. 7).

Результати випробувань трибологічних характеристик проб моторної оливи

подано у вигляді порівняльної діаграми починаючи зі зразка свіжої оливи з нульовим напрацюванням (рис. 8).

Як показали лабораторні випробування, зі зростанням напрацювання трибологічні характеристики оливи погіршуються, про що свідчить нелінійне зростання середнього діаметра плями зносу. Наприклад, для оливок з максимальним напрацюванням 300 мото-год без електростатичної обробки діаметр плями зносу складає 0,61 та 0,62 мм, що в 1,69...1,72 рази більше, ніж для свіжої оливи. Це є логічним, оскільки присадки спрацьовуються та відбувається деструкція

молекул базової оливи. Це також є характерним для оливи при застосуванні електростатичної обробки, але приріст діаметра плями зносу дещо зменшується. Наприклад, при проміжному напрацюванні обробленої оливи 150 мото-год (750 та 1050 мото-год напрацювання машини) значення плям зносу складають 0,38 та 0,39 мм, а для необробленої оливи з таким самим напрацюванням – 0,45 та 0,46 мм. При максимальному напрацюванні

обробленої оливи 300 мото-год (900 і 1200 мото-год напрацювання машини) значення плям зносу складають 0,56 та 0,57 мм, а для необробленої оливи з таким самим напрацюванням – 0,61 та 0,62 мм. Ці дані свідчать про уповільнення темпу погіршення протизношувальної властивості оливи при її електростатичній обробці, а також підтверджують дані попередніх випробувань щодо уповільнення темпу зношування деталей тертя двигуна.

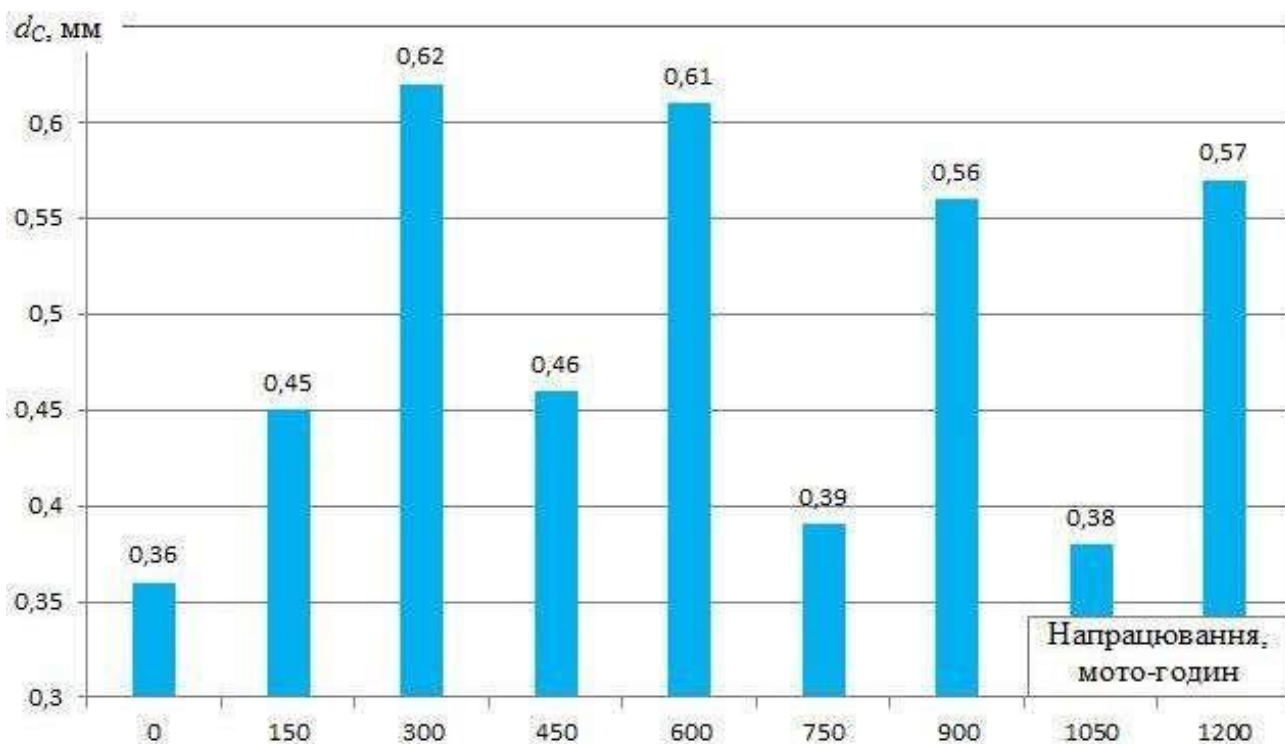


Рис. 8. Результати вимірювань середнього діаметра плями зносу кульок на чотирикульковій машині для проб оливи з різним напрацюванням

Висновки

1. Конструкція удосконаленого пристрою для електростатичної обробки, що підлягав випробуванням, передбачає наявність ступінчастого регулювання рівня вихідної напруги та обмеження величини струму в колі блока обробки, що б дало можливість підтримати раціональну напруженість електричного поля в зоні обробки оливи, а також унеможливити

електричний пробій оливи, як фактор лавиноподібної деструкції молекул.

2. Електростатична обробка моторної оливи призводить до зростання компресії в циліндрах двигуна в середньому на 6,5 % і зростання тиску оливи в головній магістралі на 5...11 % залежно від напрацювання оливи у двигуні. Такі дані говорять про утворення на поверхні деталей граничної мастильної плівки зі збільшеною товщиною та несучою здатністю.

3. При введенні удосконаленого пристрою в роботу після напрацювання машини в 600 мото-год спостерігалось уповільнення темпу зменшення компресії в циліндрах і тиску оливи в головній магістралі порівняно з темпом їх зменшення при роботі двигуна в штатному режимі – від 0 до 600 мото-год, що вказує на уповільнення темпу зношування деталей циліндро-поршневої групи та підшипників ковзання двигуна.

4. Електростатична обробка позитивно впливає на трибологічні характеристики моторної оливи, а саме на її протизно-

шувальні властивості. Встановлене зменшення діаметра плями зносу на 15 % для оливи з проміжним напрацюванням 150 мото-год і 8 % для оливи з максимальним напрацюванням 300 мото-год. Такі дані корелюються з даними щодо уповільнення темпу зношування деталей двигуна, а також опосередковано вказують на можливість збільшення строку служби оливи у двигуні, однак цей висновок потребує підтвердження шляхом досліджень повного спектра експлуатаційних властивостей оливи.

Список використаних джерел

1. Повышение ресурса технических систем путем воздействия электрическими и магнитными полями / Е. Е. Александров, И. А. Кравец, Е. Н. Лысиков и др. Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. 544 с.
2. Воронін С. В. Розробка трибофізичних основ мастильної здатності рідкокристалічних присадок до базових олив. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2015. Т. 3, № 7(75). С. 53-57. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.44389.
3. Voronin S. Dunaev A. Effects of electric and magnetic fields on the behavior of oil additives. *Journal of Friction and Wear*. 2015. Vol. 36. № 1. P. 33-39.
4. Лысиков Е. Н., Воронин С. В. Повышение ресурса гидравлического оборудования путем использования электрических полей. *Вісник Донбаської державної машинобудівної академії*. Краматорськ: ДДМА, 2010. № 1(18). С. 176-181.
5. Третьяков И. Г., Миронов Е. А. Исследование влияния электромагнитного поля на эксплуатационные свойства масел. *Сб. науч. тр.* Киев: КИИГА, 1989. С. 84-89.
6. Лысиков Е. Н. Влияние электростатической обработки рабочих жидкостей на интенсивность износа пар трения гидроприводов. *Вестник Харьковского государственного автомобильно-дорожного технического университета*. Харьков: РИО ХГАДТУ, 2000. Вып. 12-13. С. 75-78.
7. Investigation of electrostatic charging mechanisms in oil lubricated tribo-contacts / T. Harvey, R. Wood, G. Denuault, H. Powrie. *Tribology International*. 2002. № 35. P. 605-614.
8. Пристрій обробки рідких змащувальних матеріалів на вуглеводневій основі: пат. № 72366 Україна, МПК С10G 71/00. № u201203748; заявл. 28.03.2012; опубл. 10.08.2012, Бюл. № 15.
9. Чигринов В. Г. Ориентационные эффекты в нематических жидких кристаллах в электрическом и магнитном полях. *Кристаллография*. 1982. Т. 27. С. 404-430.
10. Поплавко Ю. М. Физика диэлектриков: учеб. пособ. для ВУЗов. Киев: Вища школа, 1980. 400 с.

Воронін Сергій Володимирович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри машинобудування та технічного сервісу машин Українського державного університету залізничного транспорту.
ORCID iD: 0000-0001-8443-3222. Тел.: +38(095)500-81-59. E-mail: voronin.sergey@ukr.net.

Стефанов Володимир Олександрович, кандидат технічних наук, доцент кафедри машинобудування та технічного сервісу машин Українського державного університету залізничного транспорту.

ORCID iD: 0000-0002-7947-2718. Тел.: +38(068)819-84-27. E-mail: vstef@ukr.net.

Харківський Олександр Сергійович, аспірант кафедри машинобудування та технічного сервісу машин Українського державного університету залізничного транспорту. ORCID iD: 0000-0002-1222-9422.

Тел.: +38(050)026-48-20. E-mail: kharsanya2806@gmail.com.

Voronin Serhii, Dr. Sc. (Tech.), professor, Head of the Department of Mechanical Engineering and Technical Service of Machines, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0001-8443-3222.

Tel. +38 (095)500-81-59. E-mail: voronin.sergey@ukr.net.

Stefanov Volodymyr, PhD (Tech), associate professor, Department of Mechanical Engineering and Technical Service of Machines, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0002-7947-2718.

Tel. +38 (068)819-84-27. E-mail: vstef@ukr.net.

Kharkivskiyi Oleksandr, postgraduate student, Department of Mechanical Engineering and Technical Service of Machines, Ukrainian State University of Railway Transport. ORCID iD: 0000-0002-1222-9422.

Tel. +38(050)026-48-20. E-mail: kharsanya2806@gmail.com.

Статтю прийнято 14.06.2022 р.