

І.Л. Трофімов

ПІДВИЩЕННЯ ТРИБОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПАЛИВНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ЕЛЕКТРИЧНИМ ПОЛЕМ

Національний авіаційний університет, м. Київ

Обґрунтовано підвищення протиспрацювальних властивостей паливно-мастильних матеріалів електричним полем. Експериментально встановлено закономірності впливу електричного поля на трибологічні властивості авіапалива ТС-1 та оливи М-20/5040 (виробника „Азмол”).

Вступ

Необхідність забезпечення високої надійності та економічності сучасних машин і механізмів безпосередньо пов'язана з підвищенням якості паливно-мастильних матеріалів (ПММ). Розроблення нових методів підвищення протиспрацювальних властивостей ПММ є актуальним науково-прикладним завданням сучасної трибології.

Надійність паливних та гідравлічних агрегатів в значній мірі залежить від безвідмовної роботи пар тертя, які виконують функції чутливих елементів автоматичних регулюючих пристроїв, витісних елементів насосів, розподільчих елементів гідроприводів і інших, не менш важливих вузлів. Внаслідок підвищеного зношування, руйнування і заклинювання пар тертя виникають відмови гідроагрегатів, з'являється необхідність завчасного зняття таких агрегатів з експлуатації. Специфічність цих пар тертя потребує критичного підходу в питанні застосованості до них існуючих уявлень відносно впливу мастильних середовищ, механічних властивостей матеріалів, шорсткості спряжених поверхонь, швидкості їх відносного переміщення.

На сьогодні вимоги до мастильних середовищ, режиму і властивостей їх роботи в різних умовах визначають необхідність підвищення протиспрацювальних властивостей ПММ та пошуку нових напрямів і методів для цього. У зв'язку з різким подорожчанням природних ресурсів відновлення та підвищення протиспрацювальних властивостей палив і олів є актуальною науково-технічною задачею. Підвищення протиспрацювальних властивостей ПММ є одним з пріоритетних напрямів підвищення надійності роботи машин і механізмів.

Питання щодо впливу електричного поля на протиспрацювальні властивості ПММ залишається відкритим. Саме тому було прийнято рішення оцінити ступінь впливу електричного поля на вуглеводневі рідини, випробовуючи протиспрацювальні властивості деяких ПММ.

Таким чином, у межах широкої наукової і практичної проблеми забезпечення високого рівня триботехнічних властивостей ПММ та надійності деталей механічної техніки постала актуальна науково-технічна задача підвищення протиспрацювальних властивостей ПММ електричним полем і дослідження закономірностей його впливу на пари тертя.

Постановка завдання

Метою роботи було підвищення протиспрацювальних властивостей ПММ шляхом встановлення закономірності впливу електричного поля на протиспрацювальні властивості ПММ та величину їх поверхневого натягу.

Об'єкт дослідження – взаємодії сил електричного поля з вуглеводневими середовищами та процес підвищення протиспрацювальних властивостей ПММ.

Предмет дослідження – закономірності впливу електричного поля на формування протиспрацювальних властивостей ПММ.

Аналіз досліджень та публікацій

Аналіз літературних джерел показує активну зацікавленість науковців стосовно експериментальних і теоретичних досліджень з підвищення протиспрацювальних властивостей пар тертя та досліджень впливу електричного поля на зміну стану і властивостей робочих рідин.

Дослідженню основних положень з підвищення протиспрацювальних властивостей ПММ присвячені роботи Бершадського Л.І., Буля М.О., Гаркунова Д.М., Костецького Б.І., Матвеевського Р.М. Питання мастильної здатності, вивчення трибологічних властивостей ПММ і трибохімічних реакцій викладені в сучасних роботах Аксьонова О.Ф., Запорожця В.В., Заславського Ю.С., Куксьонової Л.І., Кравця І.А., Мнацаканова Р.Г., Рапопорта Р.С., Рибакіної Л.М., Стельмаха О.У., Тернової Т.В., Фукса Г.І. та ін.

Аналіз робіт [1–3] показує, що проблема підвищення протиспрацювальних властивостей ПММ розглядалася неодноразово. У вказаних ро-

ботах за основу відновлення відпрацьованих мастильних матеріалів брались різноманітні технологічні операції, засновані на фізичних, фізико-хімічних і хімічних процесах з метою видалення з них продуктів старіння і забруднення. У праці [2] особливу увагу звернуто на рішення таких важливих проблем, як: захист від корозійно-механічного зношування, захист від корозії і окислення, опір ПММ до виникнення піни, збереження експлуатаційних характеристик в широкому діапазоні температур.

У роботі [4] показано, що одним із способів підвищення експлуатаційних властивостей ПММ виступає їх електрофізичне оброблення, яке відбувається при пропусканні палива через магнітне поле при одночасному накладенні високочастотного електромагнітного поля з частотою, рівною частоті прецесії протонів в даному магнітному полі. Авторами цієї праці встановлено, що електрофізичне оброблення дизельного палива зменшує часову та питому витрати палива на 2–4% при всіх частотах обертання колінчатого валу, хоч найбільший ефект спостерігався в режимі холостого ходу (часова витрата палива зменшилась на 8–12%). При дослідженні протиспрацювальних властивостей дизельних палив Л-0,2-40 і Л-0,5-40 було встановлено, що електрофізичне оброблення приводить до зменшення зношування пари тертя сталі ШХ 15 при терті ковзання на 40–45% і 33–38% відповідно.

Низкою дослідників доведено, що при обробленні палива електричним полем на його краплі, окрім молекулярних сил, які визначають їх міцність, діють також аеродинамічні та електричні сили, направлені в протилежну сторону і умовно понижуючі поверхневий натяг краплі, що приводить до більш тонкого розпилення палива, кращого згоряння і, як наслідок, пониження токсичності відпрацьованих газів [4–5]. Доведено, що вплив електромагнітного поля на воду, моторні оливи і робочі рідини викликає зміни їх поверхневого натягу, в'язкості та густини [5]. Зроблено припущення, що значна зміна режиму течії (збільшення числа кількості крапель і зменшення їх розмірів) відбувається за рахунок пониження поверхневого натягу в результаті накладення на ПММ зовнішнього електричного поля високої напруженості.

Нашим колективом було сконструйовано, виготовлено та апробовано пристрій для підвищення протиспрацювальних властивостей ПММ [6], який характеризується компактністю, простотою застосування, низькою вартістю виготовлення. Для правильної реалізації указанного пристрою було розроблено принципово новий метод підвищення протиспрацювальних властивостей ПММ, який дозволяє швидко, на якісно новому рівні підвищувати протиспрацювальні властивості палив та олів [7].

На сьогодні в Україні широко використовують такі відомі та сертифіковані методи випробувань протиспрацювальних властивостей ПММ, як метод визначення протиспрацювальних характеристик ПММ на чотирикульковій машині тертя (ГОСТ 9490) [8] та метод визначення протиспрацювальних характеристик ММ на машині тертя SRV (ASTM D 5706-97) [9]. Відомо, що випробування на чотирикульковій машині тертя мають такі переваги, як: достатня однорідність поверхонь тертя робочих елементів машини у відношенні якості поверхні, розмірів і твердості, а також те, що в процесі випробувань майже не відбувається зміна умов, у яких знаходиться мастильна плівка [8].

Розробленій нами методиці досліджень протиспрацювальних властивостей ПММ [10] притаманні всі указані переваги. Але, у разі випробувань ПММ на чотирикульковій машині, при терті однорідних твердих сферичних поверхонь отримують не значну величину зношування. У разі випробування ПММ, які мають високі проти-зносні властивості, величина зношування є дуже малою і для одержання оптимального для заміру п'ятна контакту потрібно або подовжувати шлях тертя, або суттєво збільшувати швидкість ковзання чи навантаження. Також у цьому випадку замірювання середнього п'ятна контакту нижніх кульок займає достатній час та вимагає від дослідника точності виконання замірів.

У разі, коли твердий матеріал третється по м'якому, зокрема за схемою «циліндр–площина», отримуємо пару тертя, яка є більш наближеною до реальної та моделює трибоспряження «вал–втулка». Величина зношування (лінійна, об'ємна, за масою) є більшою, порівняно з напрацюванням двох однакових за твердістю зразків. У цьому випадку вимірювання величини зношування стає більш простішим з використання звичайних профілометрів та мікрометрів і не займає багато часу.

Для порівняння протиспрацювальних властивостей двох досліджуваних ПММ цілком достатньо вяснити при змашуванні яким з них одержано більшу чи меншу величину зношування.

У нашому випадку головною метою було порівняння протиспрацювальних властивостей ПММ у стані поставки та оброблених електричним полем. Для цього мастильні середовища повинні подаватися до пари тертя відразу після оброблення електричним полем, що спонукало до удосконалення конструкції відомої машини тертя [10].

Відповідно до поставлених завдань об'єктами дослідження були вибрані базові середовища: авіапаливо ТС-1, дизельне паливо, моторна олива М-20/5040.

Дослідження протиспрацювальних властивостей ПММ, оброблених електричним полем, було проведено за власною розробленою методикою [10], за схемою «циліндр–площина» з трибок-

тактом по твірній циліндра, матеріал зразків «сталь 9ХС– латунь ЛС59-1». Методику досліджень реалізовано на приладі тертя типу «ПТ-4Ц» та пояснено схемою випробувань ПММ, яку надано на рис. 1. До обертально-рухомого контрзразка – циліндра притискається плоский зразок з заданим нормальним навантаженням у визначеному рідкому середовищі. У результаті тертя робоча поверхня зразка зношується, і утворюється вироблення у вигляді лунки. Після випробування на зразку вимірюються геометричні розміри вироблення і розраховуються параметри лінійної та об'ємної інтенсивності зношування.

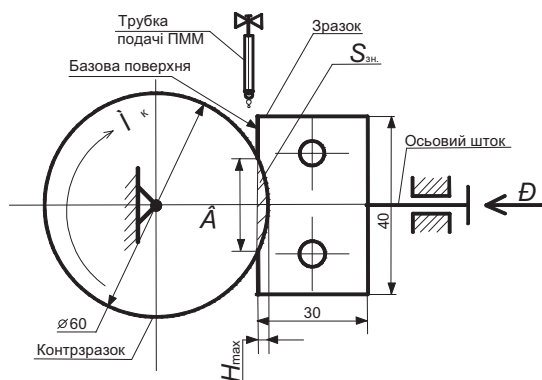


Рис. 1. Схема випробувань протиспрацювальних властивостей ПММ, реалізована на приладі тертя «ПТ-4Ц»

Для дослідження впливу електричного оброблення ПММ на зміну коефіцієнта тертя використано комплекс для вивчення трибологічних характеристик ПММ, який розроблено і запатентовано науковцями Національного авіаційного університету [11] та сертифіковано в Україні. Технічні умови комплексу дозволяють робити фотографічні знімки та відеозйомку поверхневих перетворень у динамічному режимі.

Методика визначення поверхневого натягу крапель обраних ПММ зводиться до методу визначення максимального тиску для продавлювання бульбашки повітря крізь капіляр, який занурено в досліджувану рідину (ГОСТ 6867-77).

Експериментально встановлено вплив електричного поля на протиспрацювальні властивості ПММ та на величину їх поверхневого натягу. Одержано закономірності впливу електричного поля на зменшення величин зношування випробуваних зразків. Результати основних експериментів оброблено за допомогою комп'ютерної техніки та викладено у вигляді графічних залежностей.

Результати дослідження коефіцієнта тертя викладено в графічних залежностях (рис. 2–3).

Встановлено, що зі збільшенням напруженості електричного поля знижується коефіцієнт тертя ковзання (рис. 2). Це можна пояснити

збільшенням рухливості частин молекул, викликане дробленням крупних, малорухливих молекул ПММ за допомогою електричного поля.

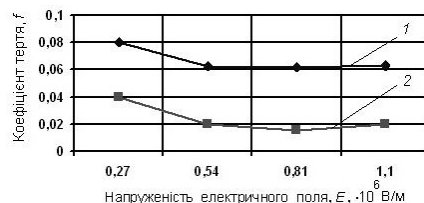


Рис. 2. Залежність коефіцієнта тертя в трибоспряженні «сталь ШХ15 « фотографічне скло» від напруженості електричного поля при швидкості ковзання $v=0,6$ м/с: 1 – в авіапаливі ТС-1; 2 – в оливі М-20/5040

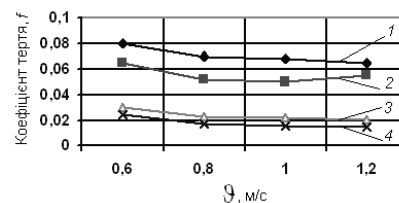


Рис. 3. Залежність коефіцієнта тертя сталі ШХ15 від швидкості ковзання при питомому навантаженні $P=5$ кг/см²: 1 – в авіапаливі ТС-1 у стані поставки; 2 – в авіапаливі, обробленому електричним полем протягом 1 год за напруги $U=2000$ В та напруженості поля $E=1,1 \cdot 10^6$ В/м; 3 – в оливі М-20/5040 у стані поставки; 4 – в оливі М-20/5040, обробленій електричним полем протягом 1 год за напруги $U=2000$ В та напруженості поля $E=1,1 \cdot 10^6$ В/м

Встановлено зниження коефіцієнта тертя сталі ШХ15 із зростанням швидкості ковзання. При цьому коефіцієнт тертя у разі змащування контакту авіапаливом ТС-1 та оливою М-20/5040, обробленими електричним полем відповідно є у 1,3 та 1,4 разу меншим, порівняно з коефіцієнтом тертя, заміряним у цих ПММ у стані поставки (рис. 3). Зниження коефіцієнта тертя можна пояснити зменшенням величини поверхневого натягу ПММ у разі їх оброблення електричним полем та зменшенням вандервальсових сил між мастильними середовищами та поверхнями тертя.

У разі випробувань протиспрацювальних властивостей ПММ за розробленою методикою, у якості мастильного середовища було обрано авіапаливо ТС-1, як модель мастильного середовища, що має низькі протизносні і реологічні властивості та, напевне, забезпечує граничне тертя. Встановлено, що характер залежностей об'ємного зношування від шляху тертя при різних швидкостях ковзання та різних нормальних навантаженнях для зразків, напрацьованих в базовому авіапаливі ТС-1 та обробленому електричним полем є подібним, однак є і суттєві відмінності (рис. 4–5):

– по-перше, за однакових значень швидкостей ковзання величини об'ємного зношування зразків, напрацьованих у обробленому електрич-

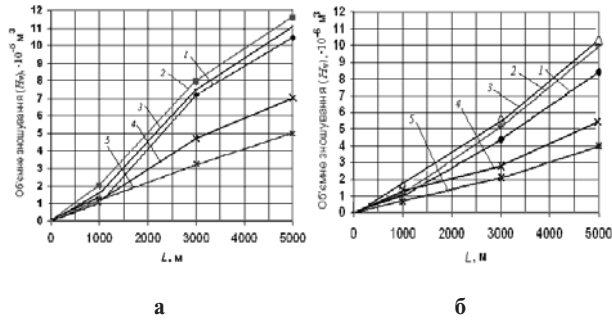


Рис. 4. Залежність величини об'ємного зношування від шляху тертя під час дослідження протизносних властивостей базового авіапалива ТС-1 (а) та авіапалива ТС-1 (б), обробленого електричним полем протягом однієї години за напруги $U=2000$ В та напруженості поля $E=0,27 \cdot 10^6$ В/м, при нормальному навантаженні $P=10$ кг: 1 – $\vartheta=0,550$ м/с; 2 – $\vartheta=0,847$ м/с; 3 – $\vartheta=1,38$ м/с; 4 – $\vartheta=2,196$ м/с; 5 – $\vartheta=3,36$ м/с

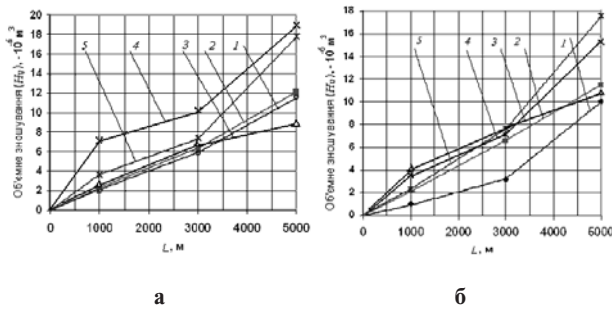


Рис. 5. Залежність величини об'ємного зношування від шляху тертя під час дослідження протизносних властивостей базового авіапалива ТС-1 (а) та авіапалива ТС-1 (б), обробленого електричним полем протягом однієї години за напруги $U=2000$ В та напруженості поля $E=0,27 \cdot 10^6$ В/м, при швидкості ковзання $J=0,847$ м/с: 1 – $P=10$ кг; 2 – $P=15$ кг; 3 – $P=20$ кг; 4 – $P=25$ кг; 5 – $P=30$ кг

ним полем авіапаливі ТС-1, є у 1,2–1,4 разів меншими, ніж для зразків, напрацьованих у базовому авіапаливі. А за однакових значень нормальних навантажень об'ємне зношування зразків, напрацьованих у обробленому електричним полем авіапаливі ТС-1, є, в середньому, у 1,2 разу меншим ніж для зразків напрацьованих у базовому авіапаливі;

– по-друге, підвищене зношування для зразків, напрацьованих у базовому авіапаливі ТС-1, розпочинається при значеннях швидкості ковзання 0,55–1,38 м/с за сталого нормального навантаження, для зразків, напрацьованих у обробленому електричним полем авіапаливі, – при 0,84–1,38 м/с. Відбувається збільшення зони сталої зносостійкості, яке призводить до розширення діапазону нормальної роботи деталей при підвищенні швидкостей ковзання.

Дослідження впливу електричного поля на величину поверхневого натягу ПММ підтвердили гіпотезу щодо її зниження у разі оброблення ПММ електричним полем. Результати експериментів наведено в таблиці.

Експериментально встановлено, що для авіапалива ТС-1 поверхневий натяг порівняно з вимірами у базовому середовищі та після оброблення електричним полем зменшився у 1,3 разу і зі збільшенням напруженості електричного поля, величини поверхневого натягу авіапалива ТС-1 зменшується більш інтенсивно.

Висновки

У разі здійснення експериментальних досліджень одержано такі результати:

– встановлено, що зі збільшенням напруженості електричного поля знижується коефіцієнт тертя ковзання;

– у разі змащування контакту авіапаливом ТС-1 та оливою М-20/5040 обробленими електричним полем, коефіцієнт тертя зменшився відповідно у 1,3 та 1,4 рази, порівняно з коефіцієнтом тертя, заміреним у цих ПММ у стані поставки;

– за однакових значень швидкостей ковзання величини об'ємного зношування зразків, напрацьованих у обробленому електричним полем авіапаливі ТС-1, є у 1,2–1,4 разів меншими, ніж для зразків, напрацьованих у базовому авіапаливі;

– за однакових значень нормальних навантажень об'ємне зношування зразків, напрацьованих у обробленому електричним полем авіапаливі ТС-1, є в середньому у 1,2 рази меншим, ніж для зразків, напрацьованих у базовому авіапаливі;

– величина поверхневого натягу після оброблення електричним полем для авіапалива ТС-1 зменшилася у 1,3 рази.

Вимірювання поверхневого натягу крапель досліджуваних середовищ

Назва	Вимірювання різниць висот досліджуваної та еталонної рідин в манометричній трубці			Значення поверхневого натягу, $\sigma \cdot 10^{-3}$, Н/м
	ΔH_x , м	$\Delta H_{ст}$, м	$\Delta H_x / \Delta H_{ст}$	
Вода (еталон)	–	–	–	еталон (72,75)
Авіапаливо ТС-1	0,15	0,401	0,374	27,19
Авіапаливо ТС-1*	0,124	0,401	0,309	22,5

Примітка: * – палива оброблялись протягом однієї години електричним полем в розробленому пристрої за $U=500$ В, $E=0,27 \cdot 10^6$ В/м

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Повышение* ресурса технических систем путём использования электрических и магнитных полей / Александров Е.Е., Кравец И.А., Лыиков Е.П., Соловьев О.В., Тропина А.А. – Харьков: НТУ „ХПИ”, 2006. – 544 с.
2. *Кравец И.А.* Ремонтная регенерация трибосистем. – Т.: Изд-во Бережанского агротехнического института, 2003. – 284 с.
3. *Смазочные материалы и проблемы экологии* / А.Ю. Евдокимов, И.Г. Фукс, Т.Н. Шабалина, Л.Н. Багдасаров. – М.: ГУП Изд-во Нефть и газ, 2000. – 424 с.
4. *Влияние электрофизического воздействия на эксплуатационные свойства дизельного топлива* / В.И. Морозов, Я.Е. Белоконь, А.И. Окоча, С.Т. Усатенко // Исследования процессов подготовки, применения и контроля качества авиаГСМ и спецжидкостей. – К.: КНИГА, 1992. – С.94-98.
5. *Баженов Ю.В., Микипорис Ю.А., Павлов А.Н.* Трибоэлектризация масла и дизельного топлива / Трение и смазка в машинах и механизмах: Научно-технический и производственный журн. – М.: Машиностроение. – 2006. – Вып.10. – С.24-27.
6. *Пат. 31878 Україна.* МПК (2006) F02M 27/00. Пристрій для оброблення діелектричних паливно-мастильних матеріалів / І.Л. Трофімов, О.М. Зубченко, І.А. Кравец. – № 31878; Заявл. 13.12.2007; Опубл. 25.04.2008. Бюл. № 8. – 4 с.
7. *Трофімов І.Л.* Метод підвищення експлуатаційних властивостей мастильних матеріалів дією електростатичного поля / Вісник Нац. технічного ун-ту України „КПІ”. Сер. Машинобудування. – 2008. – Вип. № 53/2008. – Ч.1 – С.134-144.
8. *ГОСТ 9490-75.* Матеріали смазочніе жидкіе и пластичніе. Метод определения трибологических характеристик на четырехшариковой машине. – Введ. 01.01.78. – М.: Изд-во стандартов, 1975. – 16 с.
9. *ASTM D 5706-97.* Standard Test Method for Determining Extreme Pressure Properties of Lubricating Greases Using A High-Frequency, Linear-Oscillation (SRV) Test Machine. 1715 Dell Avenue, Campbell, CA 95008, USA, 2002.
10. *Бурикін В.В., Трофімов І.Л., Захарчук В.П.* Дослідження протиспрацювальних властивостей палив оброблених електричним полем за схемою трибоконтакту «циліндр – площа» / Породоразрушающий и металообрабатывающий инструмент - техника и технология его изготовления и применения // Сборник науч. труд. Института сверхтвёрдых материалов им. В.Н. Бакуля НАНУ. – № 14/2011. – С.602-608.
11. *Свирид М.М., Паращанов В.Г., Онищенко А.В.* Комплекс для дослідження триботехнічних параметрів вузла тертя // Проблеми тертя та зношування. – 2006. – Вип.45. – 204 с.

Надійшла до редакції 12.12.2012