

## ПІДВИЩЕННЯ ТРИБОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПАЛИВНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ЕЛЕКТРИЧНИМ ПОЛЕМ

Національний авіаційний університет, м. Київ

*Обґрунтовано підвищення протизносних 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 протизносних 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 застосовуваності 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 протизносних властивостей ПММ та пошуку нових напрямів і методів для цього. У зв'язку з різким подорожчанням природних ресурсів, відновлення та підвищення протизносних властивостей палив і олів є актуальною науково-технічною задачею. Підвищення протизносних властивостей ПММ є одним з пріоритетних напрямів підвищення надійності роботи машин і механізмів.

Питання щодо впливу електричного поля на протизносні властивості ПММ залишається відкритим. Саме тому було прийнято рішення оцінити ступінь впливу електричного поля на вуглеводневі рідини, випробовуючи протизносні 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 наукова технічна задача підвищення протизносних властивостей ПММ електричним

полем та дослідження закономірностей його впливу на пари тертя.

**Постановка завдання.** Метою роботи було підвищення протизносних властивостей ПММ шляхом встановлення закономірності впливу електричного поля на протизносні властивості ПММ та величину їх поверхневого натягу.

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

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

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

Дослідженню основних положень з підвищення протизносних 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., Рібакової Л.М., Стельмаха О.У., Тернової Т.В., Фукса Г.І. та ін.

Аналіз робіт [1-3] показує, що проблема підвищення протизносних властивостей ПММ розглядалася неодноразово. У вказаних роботах 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. В 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.

В праці [4] показано, що одним із способів підвищення експлуатаційних властивостей ПММ виступає їх електрофізична обробка, яка 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 електрофізична обробка дизельного палива зменшує часову та питому витрати палива на 2-4% при всіх частотах обертання колінчатого валу, хоча найбільший ефект спостерігався в режимі холостого ходу (часова витрата палива зменшилась на 8-12%). При дослідженні протизносних властивостей дизельних палив Л-0,2-40 і Л-0,5-40 було встановлено, що електрофізична обробка приводить до зменшення зношування пари тертя сталі ШХ 15 при терті ковзання на 40-45% і 33-38% відповідно.

Рядом дослідників доведено, що при обробці палива електричним полем на його краплі,

окрім молекулярних сил, що 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 згорання і, як наслідок, пониженню 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 протизносних властивостей ПММ [6], який характеризується компактністю, простотою застосування, низькою вартістю виготовлення. Для правильної реалізації указанного пристрою було розроблено принципово новий метод підвищення протизносних властивостей ПММ, який дозволяє швидко на якісно новому рівні підвищувати протизносні властивості палив та олів [7].

На сьогодні в Україні широко використовують такі відомі та сертифіковані методи випробувань протизносних властивостей ПММ, як метод визначення протизносних характеристик ПММ на чотирьох кульковій машині тертя (ГОСТ 9490) [8] та метод визначення протизносних характеристик ММ на машині тертя SRV (ASTM D 5706-97) [9]. Відомо, що випробування на чотирьох кульковій 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 протизносних властивостей ПММ [10] притаманні всі указані переваги. Але, у разі випробувань ПММ на чотирьох кульковій машині, при терті однорідних твердих сферичних поверхонь отримують не значну величину зношування. У разі випробування ПММ, які володіють високими протизносними властивостями, 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 треться 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 протизносних властивостей двох досліджуваних ПММ цілком достатньо в'яснити при змащуванні яким з них одержано більшу чи меншу величину зношування.

У нашому випадку головною метою було порівняння протизносних властивостей ПММ у стані поставки та оброблених електричним полем. Для цього мастильні середовища повинні подаватися до пари тертя відразу після обробки 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 протизносних властивостей ПММ, оброблених електричним полем, було проведено за власне розробленою методикою [10], за схемою «циліндр – площина» з трибоконтактом 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 подано 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.

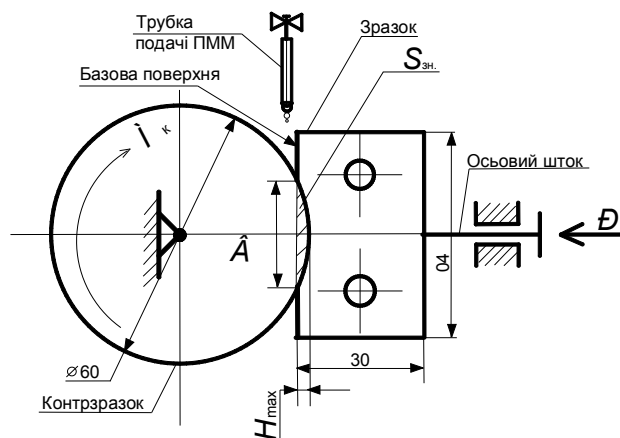


Рис. 1. Схема випробувань протизносних властивостей ПММ, реалізована на приладі тертя «ПТ-4Ц»

Для дослідження впливу електричної обробки 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 відео зйомку 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 протизносні властивості ПММ

та на величину їх поверхневого натягу. Одержано закономірності впливу електричного поля на зменшення величин зношування випробувальних 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).

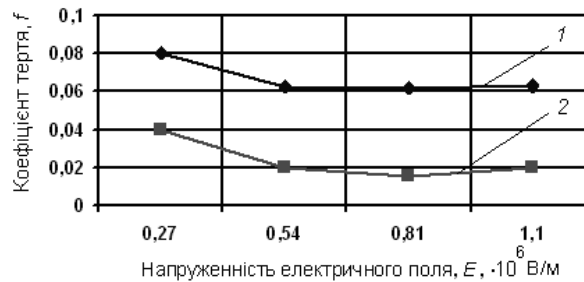


Рис. 2. Залежність коефіцієнта тертя в трибоспряженні «сталь ШХ15 – фотографічне скло» від напруженості електричного поля при швидкості ковзання  $v = 0,6$  м/с: 1 – в авіапаливі ТС-1; 2 – в оливі М-20/5040

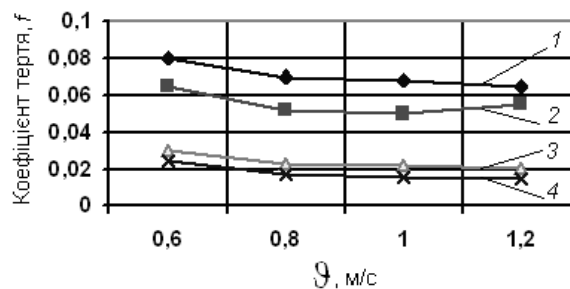


Рис. 3. Залежність коефіцієнта тертя сталі ШХ15 від швидкості ковзання при питомому навантаженні  $P = 5$  кг/см<sup>2</sup>: 1 – в авіапаливі ТС-1 у стані поставки; 2 – в авіапаливі обробленому електричним полем протягом 1 години за напруги  $U = 2000$  В та напруженості поля  $E = 1,1 \cdot 10^6$ 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

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.

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 в 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 вандерваальсових сил між мастильними середовищами та поверхнями тертя.

У разі випробувань протизносних властивостей ПММ за розробленою методикою, у якості мастильного середовища було обрано авіапаливо ТС-1, як модель мастильного середовища, що володіє низькими протизносними і реологічними властивостями 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 електричним 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.

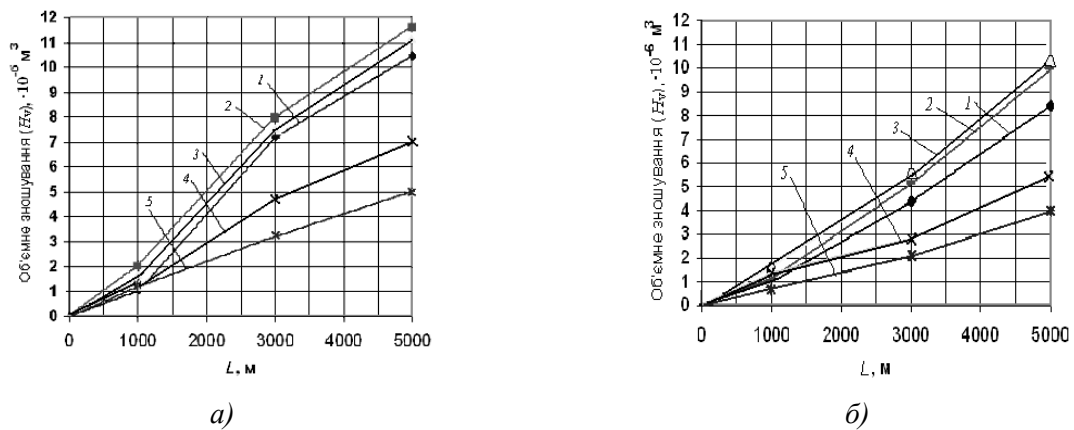
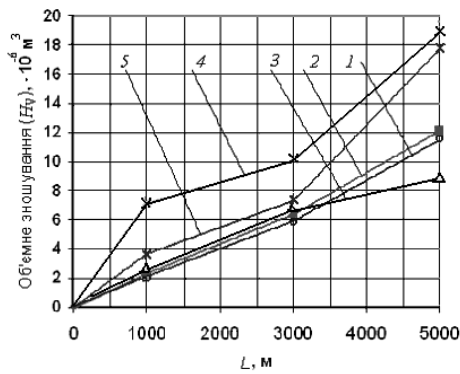


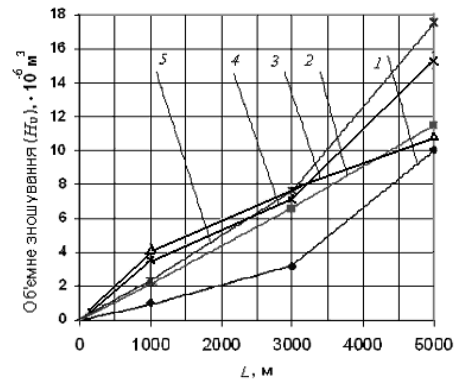
Рис. 4. Залежність величини об'ємного зношування від шляху тертя під час дослідження протизносних властивостей базового авіапалива ТС-1 (а) та авіапалива ТС-1 (б) обробленого електричним полем протягом однієї години за напруги  $U = 2000$  В та напруженості поля  $E = 0,27 \cdot 10^6$  В/м, при нормальному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

Дослідження впливу електричного поля на величину поверхневого натягу ПММ підтвердили гіпотезу щодо її зниження у разі оброблення ПММ електричним полем. Результати експериментів наведено в табл. 1.

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.



a)



б)

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  $\mathcal{Q} = 0,847$  м/с: 1 –  $P = 10$  кг; 2 –  $P = 15$  кг; 3 –  $P = 20$  кг; 4 –  $P = 25$  кг; 5 –  $P = 30$  кг

Таблиця 1

**Вимірювання поверхневого натягу крапель досліджуваних середовищ**

Назва	Вимірювання різниць висот досліджуваної і еталонної рідин в манометричній трубці			Значення поверхневого натягу, $\sigma \cdot 10^{-3}$ , Н/м
	$\Delta H_x$ , м	$\Delta H_{ет}$ , м	$\frac{\Delta H_x}{\Delta H_{ет}}$	
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

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

**Висновки.** У разі проведення 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 разу порівняно з коефіцієнтом тертя заміряним в 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 разу меншим ніж для зразків напрацьованих у базовому авіапаливі;
- величина поверхневого натягу після оброблення електричним полем для авіапалива ТС-1 зменшилася у 1,3 разу.

## Список літератури

1. *Повышение ресурса технических систем путём использования электрических и магнитных полей* / Е.Е. Александров, И.А. Кравец, Е.П. Лысиков, О.В. Соловьев, А.А. Тропина. – Харьков: НТУ „ХПИ”, 2006. – 544 с.
2. *Кравец И.А.* Ремонтная регенерация трибосистем. – Т.: Издательство 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 Издательство «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.: КИИГА, 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 журнал. – М.: «Машиностроение», 2006. – Вып. 10. – С. 24 – 27.
6. *Пат. 31878 Україна.* МПК (2006) F02M 27/00. Пристрій для обробки діелектричних паливно-мастильних матеріалів / І.Л. Трофімов, О.М. Зубченко, І.А. Кравець. – № 31878; заявл. 13.12.2007; опубл. 25.04.2008. Бюл.№ 8, 2008р.
7. *Трофімов І.Л.* Метод підвищення експлуатаційних властивостей мастильних матеріалів дією електростатичного поля / Вісник Національного технічного університету України „КПІ” (Машинобудування), – 2008. – вип. №53/2008, ч.1 – С. 134–144.
8. *ГОСТ 9490-75.* Материалы смазочные жидкие и пластичные. 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 протизносних властивостей палив оброблених електричним полем за схемою трибоконтакту «циліндр - площина» / Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения // Сборник научных трудов Института сверхтвёрдых материалов им. В.Н. Бакуля НАНУ, – №14/2011. – С. 602-608.
11. *Комплекс для дослідження триботехнічних параметрів вузла тертя* / М.М. Свирид, В.Г. Парашанов, А.В. Онищенко // Проблеми тертя та зношування. – К.: НАУ, 2006. – Вип. 45. – 204 с.

«Поступила в редакцію»