

ОСОБЛИВОСТІ ВИПРОБУВАННЯ МОТОРНИХ ОЛИВ КЛАСУ LOWSAPS ДЛЯ ПОТУЖНИХ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ EURO 6

Дмитриченко М.Ф., доктор технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, dmitrichenko@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0003-4223-1838

Міланенко О.А., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, milanmasla@gmail.com, orcid.org/0000-0002-8197-5277

Савчук А.М., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, tolik_savchuk@ukr.net, orcid.org/0000-0001-5460-4879

Глухонець А.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, hanti@i.ua, orcid.org/0000-0002-1183-6722

Туриця Ю.О., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, yuliya_tur@ukr.net, orcid.org /0000-0002-2205-0426

Куш О.І., кандидат технічних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, kushch_oleksiy@bigmir.net, orcid.org /0000-0001-7147-9803

Косенко М.І., Національний транспортний університет, Київ, Україна, kosenko171194@gmail.com, orcid.org /0000-0002-5155-1828

FEATURES OF TESTING LOWSAPS MOTOR OILS FOR POWERFUL EURO 6 DIESEL ENGINES

Dmytrychenko M.F., doctor of technical science, National Transport University, Kyiv, Ukraine, dmitrichenko@ntu.edu.ua, orcid.org/0000-0003-4223-1838

Milanenko A.A., associate professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, milanmasla@gmail.com, orcid.org /0000-0002-8197-5277

Savchuk A.N., associate professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, tolik_savchuk@ukr.net, orcid.org/0000-0001-5460-4879

Hlukhonets A.A., associate professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, orcid.org/0000-0002-1183-6722

Turitsa Y.A., associate professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, yuliya_tur@ukr.net, orcid.org /0000-0002-2205-0426

Kushch O.I., associate professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, kushch_oleksiy@bigmir.net, orcid.org /0000-0001-7147-9803

Kosenko M.I., National Transport University, Kyiv, Ukraine, kosenko171194@gmail.com, orcid.org/0000-0002-5155-1828

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Для створення сучасних моторних оливи для потужних дизельних двигунів, оснащеними системами рециркуляції відпрацьованих газів (EGR), селективного каталітичного відновлення (SCR) і протисажевими фільтрами (DPF), які відповідають екологічним нормам EURO 6, потрібно проведення спеціальних триботехнічних випробувань. Дані оливи відносяться до Low Saps моторних оливи, що мають беззольний пакет присадок з сульфатною зольністю до 1,0%, знижену кількість фосфору до 0,12%, сірки до 0,4% для запобігання полірування хонінгувальної поверхні внутрішньої стінки циліндра дизелю та забрудненню систем нейтралізації відпрацьованих газів. З урахуванням таких жорстких вимог, відповідні моторні оливи повинні забезпечувати максимальні протизношувальні і антифрикційні властивості, що відповідають рекомендаціям Ultra High Performance Diesel (UHPD) згідно стандартів ACEA E6 для LowSaps оливи і ACEA E7 для оливи зі збільшеним інтервалом заміни.

Викладення невирішених питань.

Оскільки в Україні ще не велися і не ведуться спеціальні випробування на відповідність міжнародним стандартам ACEA E6/E7 щодо створення моторних оливо класу EURO 6, пропонується розглянути методику спеціальних триботехнічних досліджень на трибометрі CSM Instruments SA (Швейцарія). Згідно запропонованій методики, на трибометрі були встановлені кращі протизношувальні і антифрикційні властивості спеціальних беззольних ZnFree трибопакетів для змащування дизелів класу EURO 6.

Постановка завдання.

Важливим чинником підвищення техніко-економічних показників транспортних засобів є покращення триботехнічних параметрів пар, зокрема, покращення антифрикційних та протизношувальних властивостей трибосполучень.

Цілком очевидним є вплив якісного стану мастильних матеріалів на ресурс контактних поверхонь пар тертя. Структурно, більшість сучасних марок моторних та трансмісійних оливо, окрім базової основи (мінеральної або синтетичної), включають пакети присадок різного функціонального призначення. Комплексне вирішення задач щодо оптимізації періоду раціонального використання мастильних матеріалів, покращення їх експлуатаційних властивостей при залученні відповідних модифікаторів тертя дозволяє підвищувати надійність вузлів та агрегатів транспортних засобів.

Отже концепція полягає в оптимальному виборі триботехнічних властивостей мастильних матеріалів які використовуються в сучасних механізмах.

Викладення основного матеріалу.

Для дослідження триботехнічних властивостей мастильних матеріалів, зокрема моторних оливо, проведено комплексні лабораторні випробування на трибометрі CSM Instruments SA (рис. 1).

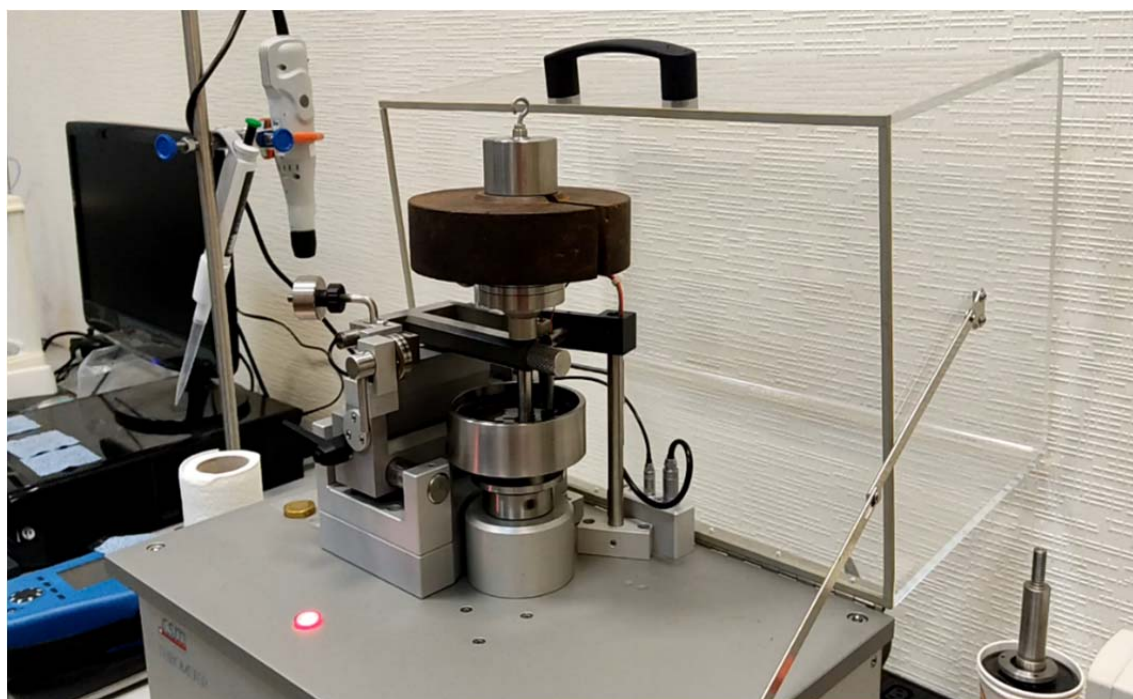


Рисунок 1 – Загальний вигляд трибометру CSM Instruments SA

Figure 1 – General view of the tribometer CSM Instruments SA

При цьому, були використані наступні зразки:

зразок №1 – I-40A – нейтральна базова олива мінерального походження;

зразок №2 – I-40A+0,6% модифікатора тертя на основі дітіофосфату цинку (ДФЦ);

зразок №3 – I-40A+0,05% беззольного (Zn-Free) модифікатора тертя на основі фосфідно-сульфідних сполук.

В якості досліджуваного матеріалу було обрано кульку діаметром $D=6$ мм зі сталі 304. Температура дослідження $t = 20^{\circ}\text{C}$ та 70°C . Вертикальне навантаження = 59,03 Н. Вологість повітря – 75%.

Кількість надходження елементів зношування (об'ємний знос) визначається за різницею (ΔH) середніх значень.

Антифрикційні властивості (коефіцієнт тертя) визначаються за числовим значенням f .

Експеримент проводився з метою визначення об'ємного зносу та коефіцієнту тертя в залежності від пробігу впродовж 7500 м. Для оптимальної достовірності отриманих результатів було зроблено 7 паралельних вимірювань. За середніми значеннями проводилася відповідна вибірка результатів.

1) Визначення протизношувальних характеристик модифікаторів тертя.

Для комплексного підвищення триботехнічних властивостей мастильних матеріалів використовуються модифікатори тертя для покращення протизношувальних і антифрикційних властивостей мастильних матеріалів.

З трьох зразків найбільша інтенсивність надходження елементів зношування (об'ємний знос) характерно для базової оливи I-40A без присадок (рис 2, крива 1), що є закономірним процесом, оскільки базова олива не містить протизношувальних і антифрикційних присадок.

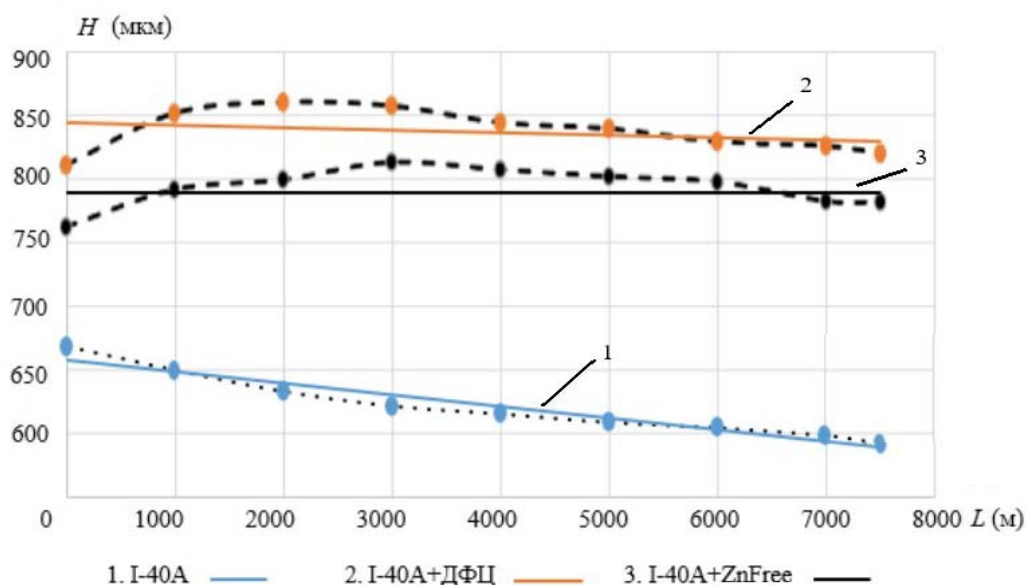


Рисунок 2 – Залежність об'ємного зносу від пробігу при $t = 20^{\circ}\text{C}$ для досліджуваних зразків
Figure 2 – Dependence of volumetric wear on mileage at $t = 20^{\circ}\text{C}$ for the studied samples

Крива 3 має більш пологіу характеристику по надходженню елементів зношування в порівнянні з кривою 2, що пояснює кращі протизношувальні властивості беззолної присадки, що не містить цинк.

З трьох зразків найбільша інтенсивність надходження елементів зношування (об'ємний знос) при локальному нагріві оливи до 70°C (робоча температура важконавантажених трансмісій) характерна для базової оливи I-40A без присадок (рис. 3 крива 1). При локальному нагріві до 70°C інтенсивність надходження елементів зношування значно збільшується в порівнянні з температурою при 20°C , що пояснюється відсутністю захисних плівок в базовій оливі I-40A (рис. 3).

Крива 3 має більш пологіу характеристику надходження елементів зношування в порівнянні з кривою 2, що пояснює кращі протизношувальні властивості беззолної присадки, що не містить цинк, в умовах локального нагріву до 70°C .

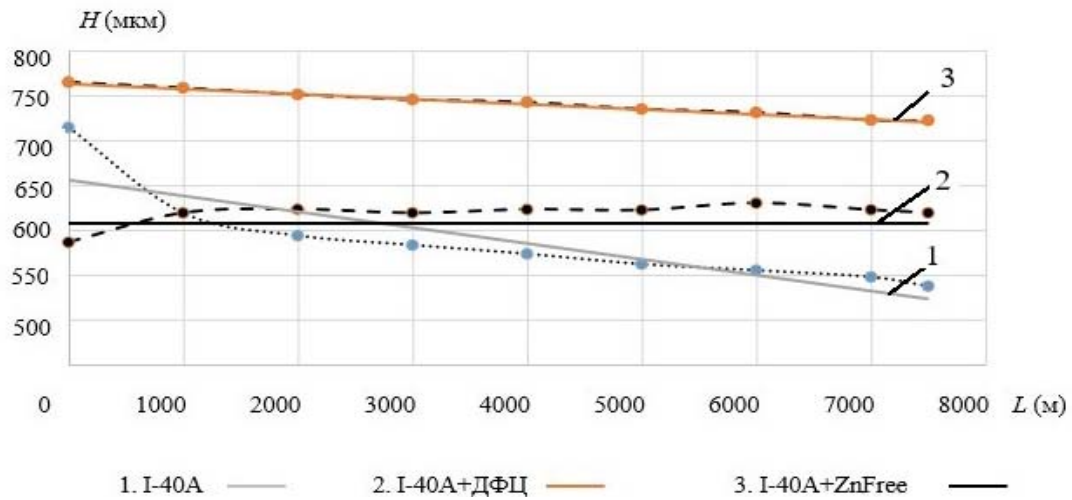


Рисунок 3 – Залежність об’ємного зносу від пробігу при $t=70^{\circ}\text{C}$ для досліджуваних зразків
 Figure 3 – Dependence of volumetric wear on mileage at $t=70^{\circ}\text{C}$ for the studied samples

Результати дослідження є важливими, оскільки органічні сполуки на основі сульфідів та фосфідів проявляють кращі протизношувальні властивості як при $t = 20^{\circ}\text{C}$, так і при локальному нагріві оливи до 70°C (робоча температура важконавантажених трансмісій), не зважаючи на те, що дані присадки містять мінімальну кількість фосфору й сірки, не містять металовмісні сполуки і, тому, можуть бути рекомендовані для змащування вузлів ЦПГ ДВЗ, що відповідають вимогам EURO6. Дані двигуни оснащені системою рециркуляції відпрацьованих газів EGR, селективними каталізаторами SCR та сажевими фільтрами, тому отримані результати поліпшених протизношувальних властивостей є важливими щодо створення моторних оливи типу LowSaps.

2) Визначення антифрикційних характеристик модифікаторів тертя.

З трьох зразків найбільший початковий коефіцієнт тертя характерний для базової оливи I-40A без присадок (рис. 4, крива 1) та зразка 2 з ДФЦ (рис. 4, крива 2). Тобто, антифрикційні властивості зразка 3 (рис. 4, крива 3) має найменший початковий коефіцієнт тертя, що пояснює кращі антифрикційні властивості при $t=20^{\circ}\text{C}$.

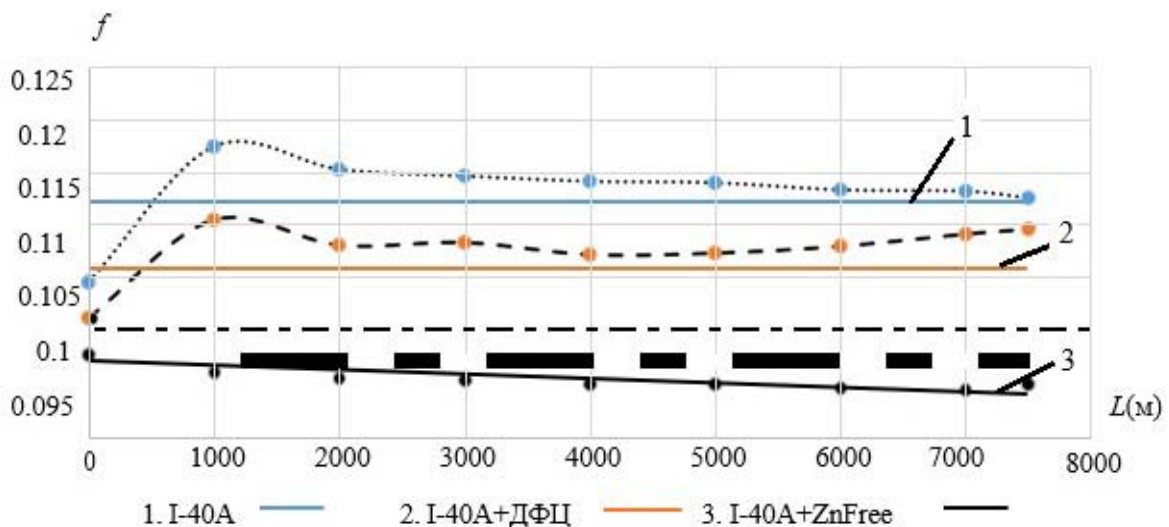


Рисунок 4 – Залежність коефіцієнту тертя від пробігу при $t=20^{\circ}\text{C}$ для досліджуваних зразків
 Figure 4 – The dependence of the coefficient of friction on the run at $t=20^{\circ}\text{C}$ for the studied samples

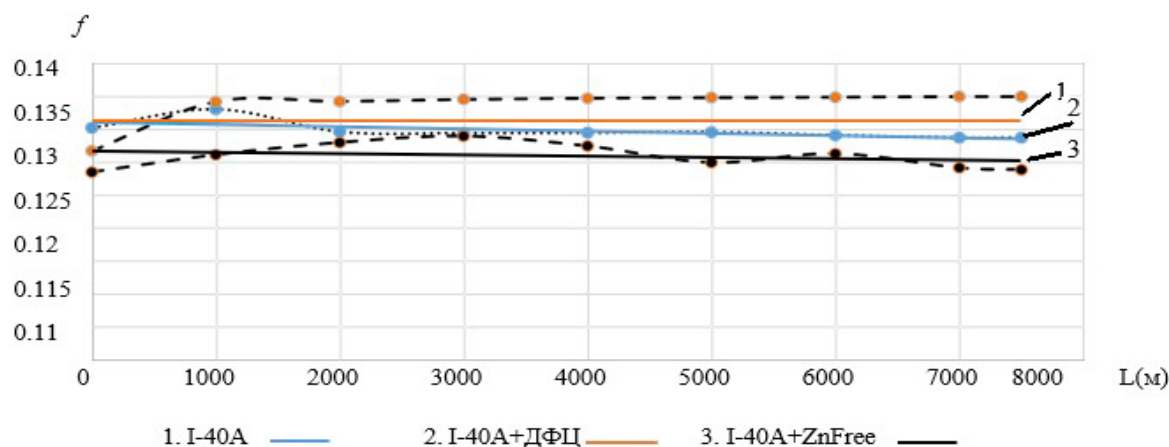


Рисунок 5 – Залежність коефіцієнту тертя від пробігу при $t=70^{\circ}\text{C}$ для досліджуваних зразків
 Figure 5 – The dependence of the friction coefficient on the run at $t=70^{\circ}\text{C}$ for the studied samples

Крім того, спостерігається поступове зменшення коефіцієнту тертя впродовж пробігу 7500 м для зразка 3, на відміну від зразків 1 та 2, де спостерігається поступове збільшення коефіцієнту тертя. Таким чином, можна зробити висновок про те, що зразок 3 з беззольною присадкою має кращі антифрикційні властивості при $t=20^{\circ}\text{C}$ не тільки в початковий період, а й впродовж всього часу пробігу.

З трьох зразків найбільший початковий коефіцієнт тертя характерний для базової оливи I-40A без присадок та з присадкою ДФЦ (рис. 5, криві 1 і 2) при локальному нагріві оливи до 70°C (робоча температура важконавантажених трансмісій). Мінімальний початковий коефіцієнт тертя фіксується для зразку №3 (рис. 5, крива 3), який містить беззольний (Zn-Free) модифікатор тертя, що пояснюється кращими антифрикційними властивостями.

В подальшому, при локальному нагріві оливи до 70°C (робоча температура важконавантажених трансмісій) впродовж всього часу пробігу, спостерігається стабілізація антифрикційних властивостей для всіх зразків.

Головним чинником стабілізації коефіцієнту тертя для усіх зразків при локальному нагріві оливи до 70°C (робоча температура важконавантажених трансмісій) впродовж всього часу пробігу, є створення, при таких умовах, оптимальної еластогідродинамічної плівки, яка позитивно впливає на антифрикційні властивості.

Висновок. Встановлені кращі потизношувальні й антифрикційні властивості зразка, що містить сульфідно-фосфідні сполуки та не містить металорганічні сполуки (цинк) дають можливість розробляти по запропонованій методиці спеціальні моторні оливи LowSAPS для двигунів EURO 6 з кращими триботехнічними характеристиками, які оснащені системами нейтралізації відпрацьованих газів і, таким чином, запобігати поліруванню хонінгувальної сітки внутрішньої стінки втулки робочого циліндру ДВЗ і забрудненню систем нейтралізації зольними відкладеннями.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Підвищення надійності транспортних засобів шляхом застосування модифікаторів тертя: монографія / М.Ф.Дмитриченко, О.А.Міланенко, О.М.Білякович та інш. К.: НТУ. – 2017. – 104с.
2. Триботехнічні характеристики мастильних матеріалів в умовах експлуатації машин і механізмів: монографія / М.Ф.Дмитриченко, О.М.Білякович, А.М.Савчук та інш. – К.: НТУ.-2016. – 124 с.
3. Dmitrichenko, N.F., Bilyakovich, O.N., Savchuk, A.N., Milanenko, A.A., Turitsya, Y.A. The Effect of Rheological Parameters on the Tribotechnical Characteristics of Modified I-40A Oil. Journal of Friction and Wear, 39(2) (2018), p. 164-168.

4. Dmitrichenko, N.F., Milanenko, A.A., Hluhonets, A.A., Minyaylo, K.N. A technique for forecasting the durability of rolling bearings and the optimum choice of lubricants under flood-lubrication and oil-starvation conditions. *Journal of Friction and Wear*, 38(2), 2017, p. 126-131.

5. Dmitrichenko N.F., Savchuk A.N., Milanenko O.A., Turytsia Yu.O. Method of determining the lubricating and antifriction characteristics of oils based on estimating their rheological characteristics under nonstationary conditions of lubrication. *Journal of Friction and Wear*, 37(1), 2016, p. 146-150.

6. Dmitrichenko, N.F., Milanenko, A.A., Savchuk, A.N., Bilyakovich, O.N., Turitsa, Y.A., Pavlovskiy M.V. Improving the efficiency of lubricants by introducing friction modifiers for tracked vehicles under stationary conditions of friction. *Journal of Friction and Wear*, 37(2), 2016, p. 441-447.

7. Дмитриченко М.Ф., Міланенко О.А., Туриця Ю.О., Міняйло К.М. Науковий твір «Методика визначення оптимальної клнцентрації наномодифікатора в універсальних моторно-трансмiсійних оливах» (Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 64565 дата реєстрації 21.03.2016).

REFERENCES

1. Improving the reliability of vehicles by using friction modifiers: monograph / M.F. Dmitrichenko, A.A. Milanenko, A.M. Bilyakovich and others. K.: NTU. – 2017.- 104s 2. Suslov A.G. Technological support of the state parameters of the surface layer parts. M. Machinery. 1987. 208p. (ukr)

2. Tribotechnical characteristics of oil materials in the minds of the operation of machines and mechanisms: monograph / M.F. Dmitrichenko, O.M. Bilyakovich, A.M. Savchuk and others. – K.: NTU. – 2016. – 124 p. (ukr)

3. Dmitrichenko, N.F., Milanenko, A.A., Hluhonets, A.A., Minyaylo, K.N. A technique for forecasting the durability of rolling bearings and the optimum choice of lubricants under flood-lubrication and oil-starvation conditions. *Journal of Friction and Wear*, 38(2), 2017, p. 126-131. (rus)

4. Dmitrichenko, N.F., Milanenko, A.A., Hluhonets, A.A., Minyaylo, K.N. A technique for forecasting the durability of rolling bearings and the optimum choice of lubricants under flood-lubrication and oil-starvation conditions. *Journal of Friction and Wear*, 38(2), 2017, p. 126-131. (rus)

5. Dmitrichenko N.F., Savchuk A.N., Milanenko O.A., Turytsia Yu.O. Method of determining the lubricating and antifriction characteristics of oils based on estimating their rheological characteristics under nonstationary conditions of lubrication. *Journal of Friction and Wear*, 37(1), 2016, p. 146-150. (rus)

6. Dmitrichenko, N.F., Milanenko, A.A., Savchuk, A.N., Bilyakovich, O.N., Turitsa, Y.A., Pavlovskiy M.V. Improving the efficiency of lubricants by introducing friction modifiers for tracked vehicles under stationary conditions of friction. *Journal of Friction and Wear*, 37(2), 2016, p. 441-447. (rus)

7. Dmitrichenko M.F., Milanenko O.A., Turitsa Yu.A., Minyailo K.M. Scientific work "Method of determining the optimal concentration of a nanomodifier in universal motor-transmission oils" (Certificate of registration of copyright for the work No. 64565 registration date 03/21/2016). (ukr)

РЕФЕРАТ

Дмитриченко М.Ф. Управління екологічною безпекою мегаполісу / М.Ф.Дмитриченко, О.А.Міланенко, А.М.Савчук, О.О.Глухонець, Ю.О.Туриця, О.І.Куш, М.І.Косенко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53).

Стаття присвячена визначенню об'ємного зносу та коефіцієнту тертя в залежності від пробігу автомобіля. Для комплексного підвищення триботехнічних властивостей мастильних матеріалів використовуються модифікатори тертя для покращення протизношувальних і антифрикційних властивостей мастильних матеріалів. Пропонується розглянути методику спеціальних триботехнічних досліджень на трибометрі CSM Instruments SA (Швейцарія). Згідно запропонованій методики, на трибометрі були встановлені кращі протизношувальні і антифрикційні властивості спеціальних беззольних ZnFree трибопакетів для змащування дизелів класу EURO 6. Результати дослідження є важливими, оскільки органічні сполуки на основі сульфідів та фосфідів проявляють кращі протизношувальні властивості як при $t = 20^{\circ}\text{C}$, так і при локальному нагріві оливи до 70°C , не зважаючи на те, що дані присадки містять мінімальну кількість фосфору й сірки, не містять металовмісні сполуки і, тому, можуть бути рекомендовані для змащування вузлів циліндро-

поршневої групи (ЦПГ) двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ), що відповідають вимогам EURO6. Дані двигуни оснащені системою рециркуляції відпрацьованих газів EGR, селективними каталізаторами SCR та сажевими фільтрами, тому отримані результати поліпшених протизношувальних властивостей є важливими щодо створення моторних олив типу LowSaps. Визначено, що головним чинником стабілізації коефіцієнту тертя для усіх зразків при локальному нагріві оливи до 70°C (робоча температура важконавантажених трансмісій) впродовж всього часу пробігу, є створення, при таких умовах, оптимальної еластогідродинамічної плівки, яка позитивно впливає на антифрикційні властивості. Встановлені кращі протизношувальні й антифрикційні властивості зразка, що містить сульфідно-фосфідні сполуки та не містить металорганічні сполуки (цинк) дають можливість розробляти по запропонованій методиці спеціальні моторні оливи LowSAPS для двигунів EURO 6 з кращими триботехнічними характеристиками, які оснащені системами нейтралізації відпрацьованих газів і, таким чином, запобігати поліруванню хонінгувальної сітки внутрішньої стінки втулки робочого циліндру ДВЗ і забрудненню систем нейтралізації зольними відкладеннями.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МОТОРНА ОЛИВА, ТЕМПЕРАТУРА, МАСТИЛЬНИЙ МАТЕРІАЛ, АНТИФРИКЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ, КОЕФІЦІЄНТ ТЕРТЯ, ЗНОС, ТРАНСМІСІЯ, ПРИСАДКА.

ABSTRACT

Dmytrychenko M.F., Milanenko A.A., Savchuk A.N, Hlukhonets A.A., Turitsa Y.A., Kushch O.I., Kosenko M.I. Features of testing lowsaps motor oils for powerful euro 6 diesel engines. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

The article is devoted to the determination of volumetric wear and friction coefficient depending on the vehicle mileage. For a comprehensive increase in the tribological properties of lubricants, friction modifiers are used to improve the antiwear and antifriction properties of lubricants. It is proposed to consider the methodology of special tribotechnical studies on the CSM Instruments SA (Switzerland). According to the proposed method, the best antiwear and antifriction properties of special ashless ZnFree tribopackages for lubricating diesel engines of the EURO 6 class. The results of the study are important, since organic compounds based on sulfides and phosphides exhibit the best antiwear properties both at $t = 20^{\circ}\text{C}$ and at local heating of the oil to 70°C , despite the fact that these additives contain a minimum amount of phosphorus and sulfur, which do not contain metal-containing compounds and, therefore, can be recommended for lubricating units of the cylinder-piston group (CPG) of internal combustion engines (ICE) that meet EURO6 requirements. These engines are equipped with an EGR system, selective SCR catalysts and particulate filters, so the results of improved anti-wear properties are important for the creation of LowSaps type engine oils. It has been determined that the main factor in stabilizing the friction coefficient for all samples during local heating of the oil to 70°C (operating temperature of heavily loaded transmissions) throughout the entire run time is the creation of an optimal elasto-hydrodynamic film under such conditions, which positively affects the antifriction properties. The established preferred sweat-seeking and anti-friction properties of a sample containing sulfide-phosphide compounds and not containing organometallic compounds (zinc) make it possible to develop special LowSAPS engine oils for EURO 6 engines with the best tribotechnical characteristics, which are equipped with such systems, using the proposed method. Thus, to prevent polishing of the honing mesh of the inner wall of the sleeve of the working cylinder of the internal combustion engine and contamination of the neutralization systems with ash deposits.

KEY WORDS: ENGINE OIL, TEMPERATURE, OIL MATERIAL, ANTIFRICTION PROPERTIES, GEAR COEFFICIENT, DRIFT, TRANSMISSION, ADDITIVE.

АВТОРИ:

Дмитриченко Микола Федорович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua, тел. (044)2808203, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к. 318, orcid.org/0000-0003-4223-1838

Міланенко Олександр Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: milanmasla@gmail.com, тел. (044)2801886, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к.102, orcid.org/0000-0002-8197-5277

Савчук Анатолій Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: tolik_savchuk@ukr.net, тел. (044)2801886, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к.102, orcid.org/0000-0001-5460-4879

Туриця Юлія Олександрівна, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: yuliya_tur@ukr.net, тел. (044)2801886, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к.102, orcid.org/0000-0002-2205-0426

Кушч Олексій Іванович, кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, доцент кафедри «Виробництво, ремонт та матеріалознавство», e-mail: kushch_oleksiy@bigmir.net, тел. (044)2801886, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к.102, orcid.org/0000-0001-7147-9803

Косенко Максим Ігорович, аспірант, Національний транспортний університет, Київ, Україна, 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, к.102, e-mail: kosenko171194@gmail.com, tel. 0669708998, orcid.org/0000-0002-5155-1828

AUTHORS:

Dmytrychenko Mukola F., Ph.D., Engineering (Dr.), National Transport University, professor department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: dmitrichenko@ntu.edu.ua, tel. (044)2808203, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko str., 1, of. 318, orcid.org/0000-0003-4223-1838

Milanenko Aleksandr A., associate professor, National Transport University, associate professor department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: milanmasla@gmail.com, tel. (044)2801886, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko str., of. 102, orcid.org/0000-0002-8197-5277

Savchuk Anatoliy N, associate professor, National Transport University, associate professor department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: tolik_savchuk@ukr.net, tel. (044)2801886, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko str., of. 102, orcid.org/0000-0001-5460-4879

Turitsa Yuliya A., associate professor, National Transport University, associate professor department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: yuliya_tur@ukr.net, tel. (044)2801886, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko str., 1, of. 102, orcid.org/0000-0002-2205-0426

Kushch Aleksey I., associate professor, National Transport University, associate professor department of Manufacturing repair and materialoved, e-mail: kushch_oleksiy@bigmir.net, tel. (044)2801886, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko str., 1, of. 102, orcid.org/0000-0001-7147-9803

Kosenko Maxim Igorovich, master's degree, postgraduate student, NTU, Ukraine, 01010, Kyiv, Omelyanovicha-Pavlenko str. 1, of. 102, e-mail: kosenko171194@gmail.com, tel. 0669708998, orcid.org / 0000-0002-5155-1828

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гуменчук М.І., кандидат технічних наук, доцент, Національний транспортний університет, Київ, Україна.

Тамаргазін О.А., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій аеропортів факультету літальних апаратів Національного авіаційного університету.

REVIEWERS:

Gumenchuk M.I., associate professor, National Transport University, Ukraine, Kyiv.

Tamargazin A.A., doctor of technical sciences, professor, head of the airport technology department of the faculty of aircraft of the National aviation university.