

УДК 629.08

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.170-176](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.170-176)

Д.О. Макаренко, доц., канд. техн. наук, О.Д. Деркач, доц., канд. техн. наук,
Є.С. Муранов, асп., М.М. Івашкович

*Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна
e-mail: flymakd@gmail.com*

Вплив мастильних матеріалів на довговічність трибоспряжень

Викладені результати лабораторних досліджень щодо впливу мастильних матеріалів різних виробників на довговічність трибоспряжень. Дослідженнями не зафіксовано значної різниці, за середньою величиною моменту тертя, при терті в середовищі різних моторних олиव. При цьому, при мащенні моторною оливою Xado зафіксовано більшу сталість моменту тертя, у порівнянні з роботою в середовищі оливи ZIC. Встановлено, що інтенсивність лінійного зносу, за умови тертя в середовищі оливи Xado на 17,7 % менша у порівнянні з мащенням оливою ZIC.

мастильні матеріали, довговічність трибоспряжень, моторна олива, інтенсивність зносу, момент тертя

Постановка проблеми. Відомо, що дві третини відмов механізмів і машин пов'язано зі зміною розмірів та форм їх трибоспряжень внаслідок зносу [1]. Тому одним із завдань при їх створенні є підвищення довговічності. До методів, що вирішують це завдання є використання змащувальних матеріалів, у тому числі спеціально оброблених [2, 3].

Сьогодні, кожен виробник моторних олив використовує певний набір присадок, які повинні забезпечувати зменшення сили тертя, захист поверхонь від корозії, відведення продуктів зносу та ін. Кожен виробник олив для двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) позиціонує свою продукцію, як еталон, що дозволяє найкраще захистити трибоспряження від інтенсивного зношування та підвищити їх довговічність. При цьому, вартість моторних олив одного класу в'язкості може суттєво відрізнятись. Тому, для визначення їх реальної ефективності необхідно виконувати дослідження за допомогою спеціального обладнання та устаткування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Підвищення довговічності механізмів і машин забезпечується: конструкторськими, технологічними та експлуатаційними методами. В деяких випадках може бути застосований симбіоз декількох методів одночасно. При цьому, кожен метод має переваги та недоліки. Розробка нових та удосконалення існуючих конструкцій трибоспряжень та систем їх захисту від зовнішнього середовища дозволяє значно підвищення довговічність [4-6]. Проте, кінцева висока вартість одержаного продукту є стримуючим фактором його широкого застосування в конструкціях механізмів та машин. Одним із шляхів підвищення довговічності трибоспряжень є нанесення зносостійких покриттів [7, 8] і зміцнення поверхневих шарів деталей гартуванням чи цементуванням [8-11]. Якість і властивості одержаних таким методом поверхонь залежать від технологічного обладнання та режимів виробництва. Крім цього, реалізація таких методів також потребує значних капіталовкладень. Крім названих методів підвищення довговічності значного розповсюдження набуло використання різноманітних змащувальних матеріалів, в тому числі спеціально оброблених [2, 12] та із уведеними в них різноманітних модифікаторів тертя [3, 13-14]. При цьому, виробники моторних олив вже зараз вводять різноманітні наповнювачі в свої продукти задля підвищення

довговічності трибоспряжень. Їх ефективність під час експлуатації ДВЗ складно оцінити. Це пов'язано з тим, що кожен індивідуальний автомобіль експлуатується за різних умов та режимів навантаження. Тому важливим та актуальним питанням залишається визначення впливу різноманітних моторних оливок на трибоспряження та їх режими роботи.

Постановка завдання. Метою досліджень є визначення впливу моторних оливок на режими роботи та довговічність трибоспряжень. Для досягнення мети виконували такі завдання: визначення режимів роботи та довговічності трибоспряжень при мащенні різними оливами, обґрунтувати доцільність використання моторних оливок відповідної марки.

Методики досліджень.

Дослідження трибологічних властивостей деталей трибоспряжень з при терті зі змащуванням оливою виконували на машині тертя СМТ-1 за методикою [3]. Показники потенціометра КСП-2 фіксувалися на спеціальному діаграмному папері ГОСТ 7826-75. Випробування виконували за схемою «диск – колодка». Радіус зразка становив $R = 0,025$ м. Перед проведенням експериментальних досліджень виконували попереднє припрацювання поверхонь тертя трибоспряження до утворення плями контакту площею не менше 85% від площі проекції. Припрацювання виконували за таких режимів роботи: тиск – 3 МПа, лінійна швидкість ковзання – 0,785 м/с. Режими випробування: тиск 5 МПа – перші 10 хв роботи, в подальшому – 7 МПа; лінійна швидкість ковзання – 1,5 м/с.

Коефіцієнт тертя ковзання визначали за формулою:

$$f = \frac{M_{\text{кр}}}{P \cdot \Delta}, \quad (1)$$

де $M_{\text{кр}}$ – крутний момент, що виникає на диску, Н·м;

P – навантаження на зразок, Н;

Δ – крок паперу, м. Для всіх дослідів однаковий, $\Delta = 0,0025$ м.

Дослідження температури в околі тертя. Температуру трибоспряжень в околі тертя визначали за допомогою логера температури Easy Logger USB. Вказаний прилад дозволяє фіксувати температуру в безперервному автоматичному режимі до 72 годин з інтервалом 1 с. Логер налаштовувався через персональний комп'ютер, і в подальшому працював в автоматичному режимі. Після завершення фіксації температури його під'єднували знову до ПК та зчитували результати у зручному вигляді (таблиця, графік).

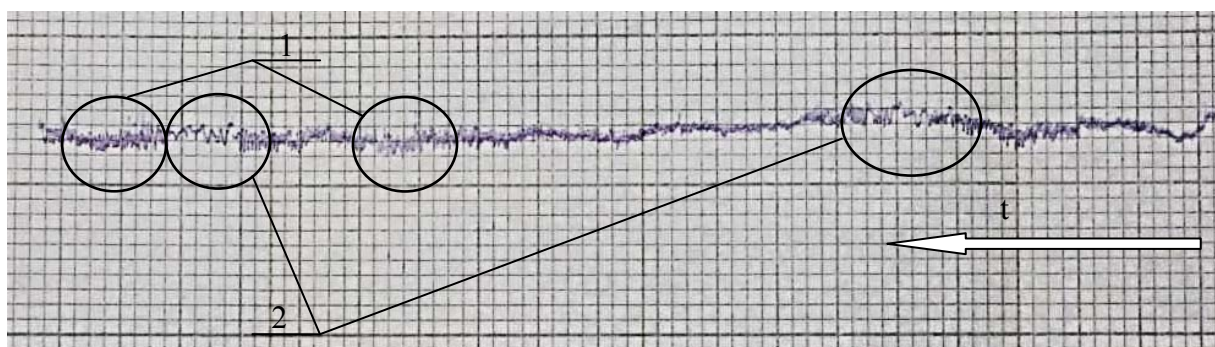
Визначення величини зносу. Величину масового зносу визначали за допомогою аналітичних терезів ВЛР-200, точність яких становила 0,0002 г. Терези обов'язково перед початком вимірювань встановлювали за рівнем горизонтально та виконували налаштування на 0 (калібрування). Визначення зносу виконували у такій послідовності: зразки протирали спиртом та зважували до випробування на тертя та знос; пари тертя після дослідження очищали від залишків мастила та повторно зважували; різницю між початковою масою (до дослідження) та кінцевою масою (після дослідження) приймали як величину зносу за масою.

Металографічні дослідження поверхонь тертя до і після тертя виконували за допомогою мікроскопу МБИ-6, обладнаного окулярною камерою, під'єднаною до персонального комп'ютера. Дослідження поверхонь виконувалось зі збільшенням $\times 400$.

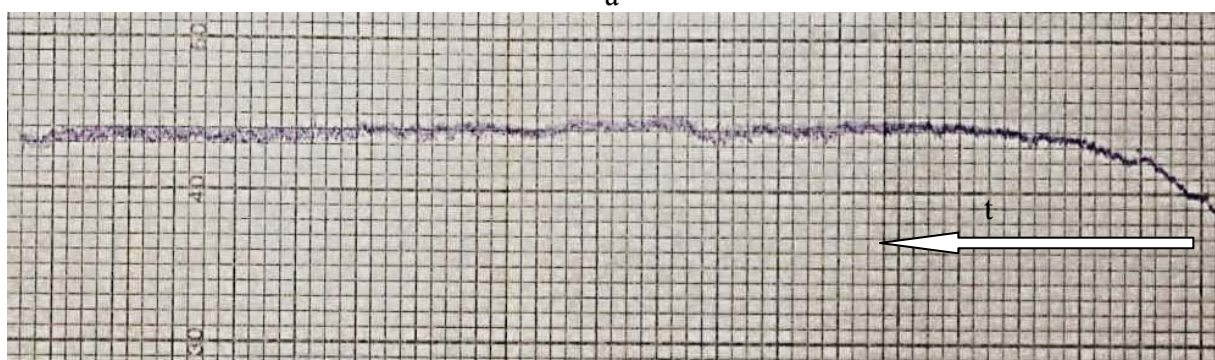
Результати лабораторних досліджень. *Дослідження трибологічних властивостей.* Зміна моменту тертя від тривалості експерименту і його характер при терті трибоспряжень в середовищі моторних оливок ZIC X5 та Xado наведено на рис. 1. Характерна періодична зміна моменту тертя при змащуванні оливою ZIC X5 зони 1 та 2

рис. 1а. У зонах 1 на рис. 1а спостерігається значні протилежно направлені зміни моменту тертя. Такий режим тертя вказує на незначну здатність мастила щодо стабільності роботи при встановленому режимі тертя та може бути причиною збільшення інтенсивності зношування трибоспряження. В результаті чого можливе зменшення їх довговічності за рахунок нестабільного режиму експлуатації. У зонах 2 рис. 1а момент тертя має значну амплітуду, проте його зміна відбувається плавно. При цьому момент тертя в середній частині проведення експерименту мав більш стабільні показники, але тривалість такого режиму незначна – всього від 5 до 15 хв. Величина моменту тертя при сталому режимі становила – 1,13 Н·м.

На початку експерименту (рис. 1б) при мащенні мастилом Xado спостерігається збільшення моменту тертя, що кардинально відрізняється від результатів трибологічних досліджень мастила ZIC X5. В подальшому спостерігається поступове зменшення моменту тертя і його стабілізацію. При цьому, необхідно звернути увагу на стабільність моменту тертя без різкого та короткочасного його зменшення чи збільшення. Це дозволяє зробити висновок щодо кращого режиму тертя при використанні вказаного мастильного середовища. Середнє значення моменту тертя при сталому режимі тертя становить – 1,15 Н·м. Значної різниці за середньою величиною моменту тертя при терті з використанням різних моторних мастил не зафіксовано, проте при використанні мастила марки Xado режим тертя носив більш сталий характер.



а



б

а – мащення оливою ZIC X5, б – мащення оливою Xado

Рисунок 1 – Динаміка моменту тертя в залежності від тривалості експерименту

Джерело: розроблено автором

Дослідження температури в околі тертя. Температура в околі тертя є одним із важливих параметрів, який необхідно контролювати при роботі трибоспряжень. Під час експерименту зафіксовано декілька незначних пікових значень температури в зоні тертя при мащенні оливою ZIC X5. Зафіксована динаміка збільшення температури –

поступова, максимальне значення температури в зоні тертя – 84,5 °С. Встановлено, що максимальна температура в зоні тертя при використанні моторної оливи Xado – 90,0 °С. Динаміка зростання температури схожа із попередніми приведеними результатами – поступова.

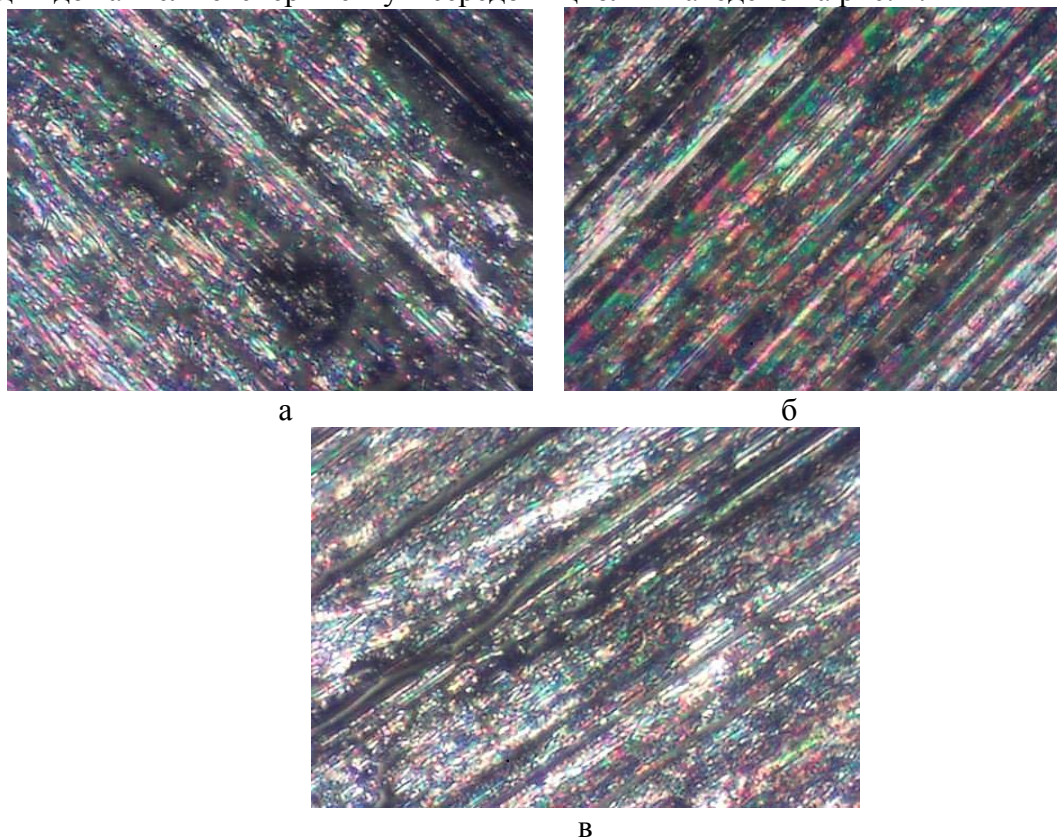
Визначення величини зносу. Встановлено, що інтенсивність лінійного зносу менша при використанні оливи Xado на 17,7 % у порівнянні з моторною оливою ZIC X5 (табл. 1). Одержані результати свідчать про можливість підвищення довговічності трибоспряджень застосуванням моторної оливи марки Xado.

Таблиця 1 – Режими та результати дослідження величини зносу

Марка моторного мастила	Лінійна швидкість ковзання м/с	Тиск, МПа	Момент тертя (сталій режим), Н·м	Інтенсивність зносу, г/м
Zic X5(10W40)	1,5	7,0	1,13	1,97E-07
Xado (10W40)	1,5	7,0	1,15	1,62E-07

Джерело: розроблено автором

Металографічні дослідження поверхонь тертя. Мікрофото поверхонь тертя колодки до та після експерименту в середовищі олів наведено на рис. 2.



а – після притирання; б – при терті в середовищі оливи ZIC X5; в – при терті в середовищі оливи Xado
Рисунок 2 – Металографія поверхні тертя (колодка)

Джерело: розроблено автором

Аналізуючи мікрофото поверхні тертя колодки (рис. 2) до та після проведення експерименту можна зробити висновок, що кількості пошкоджень на поверхні в цілому без кардинальних змін. Однонаправлені світлі лінії є місцями безпосереднього контакту двох тіл, що труться. Темні смужки на фото – це борозни (заглиблення) на поверхні

тертя. Після проведення експерименту при мащенні моторною оливою Xado на поверхні тертя колодки зафіксовано незначні накопичення в борознах та на їх периферіях (рис 2, в). Це пояснюється присутністю у складі оливи ревіталізатору.

Висновки. Встановлено, що момент тертя при використанні обраних моторних олив за обраних режимів тертя трибоспряження відрізняється незначно, 1,13 Н·м та 1,15 Н·м відповідно для ZIC X5 та Xado. При цьому, слід зазначити, що при мащенні моторною оливою Xado зафіксовано більшу сталість моменту тертя, у порівнянні з роботою в середовищі оливи ZIC. Інтенсивність лінійного зносу при використанні оливи Xado на 17,7 % менша у порівнянні з мащенням оливою ZIC. Встановлено, що динаміка підвищення температури – поступова, максимальні значення температури в околі тертя склали – 84,5 °C та 90,0 °C за умови мащення оливи ZIC та Xado відповідно. Таким чином, можна зробити висновок, що застосування моторної оливи Xado підвищує довговічність трибоспряжень.

Список літератури

1. Костецкий, Б.И. Трение, смазка и износ в машинах. К.: Техніка, 1970. 396 с.
2. Аулін В.В., Кузик О.В., Мартиненко О.Д. Вплив модифікування композиційних моторних олив магнітним полем на триботехнічні характеристики робочих поверхонь деталей. *Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка*. 2011. Вип. 118. С. 268-273.
3. Деркач О.Д., Харченко Б.Г., Кабат О.С., Макаренко Д.О., Міщенко Г.Я. Дослідження захисного шару, утвореного силікато-фулереновим геомодифікатором. *Вісник ХНТУСГ імені Петра Василенка*. 2014. Вип. 146. С. 246-250.
4. Блезнюк В.М., Гладченко В.Я., Лобанов О.П. Підвищення строку служби підшипників ковзання гичкозбиральних машин конструкторсько-технологічним методом. *Науковий вісник НУБіП України*. 2010. Вип.144. Ч.5. С. 275-278.
5. Балицький О.І., Колесніков В.О., Еліаш Я. Дослідження руйнування ненаводнених та наводнених сплавів в умовах тертя кочення. *Проблеми тертя та зношування. наук.-техн. зб.* К.: НАУ, 2012. Вип. 58. С. 32–37. URL: <https://www.researchgate.net/publication/331516536>
6. Кусий Я.М. Науково-прикладні основи технологічного успадкування параметрів якості для забезпечення експлуатаційних характеристик виробів: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.08. Нац. ун-т «Львів. Політехніка». Львів, 2021. 44 с.
7. Василенко І.Ф. Підвищення довговічності валів посівних машин композиційними покриттями. Автореферат дис. канд. техн. наук. Кіровоград, 2001. 16 с.
8. Аулін В.В. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості деталей та робочих органів сільськогосподарської техніки: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.04. Хмельницький, 2015. 36 с.
9. Мак-Мак Н.Е., Рябикіна М.А., Чейлях А.П. Влияние цементации и закалки от различных температур на износостойкость и шероховатость изношенной поверхности конструкционных сталей. *Проблеми тертя та зношування*. 2015. Вип. 4 (69). С. 75-81.
10. Погребна Н.Е., Куцова В.З., Котова Т.В. Способы зміцнення металів: навч. посіб. Дніпро: НМетАУ, 2021. 89 с.
11. Чейлях А.П., Рябикіна М.А., Мак-Мак Н.Е. Связь износостойкости, шероховатости поверхности и параметров закалки цементованных конструкционных сталей. *Вісник ПДТУ: зб. наук. праць*. 2017. Вип. 34. С. 30-39.
12. Аулін В.В. Вплив модифікуючих фізичних полів на структуру та реологічні властивості композиційної моторної оливи. *Проблеми трибології (Problems of tribology)*. 2012. № 4. С. 28-33.
13. Диха О.В., Аулін В.В., Лисенко С.В., Гриньків А.В. Вплив режиму мащення на триботехнічні характеристики поверхні спряжень деталей дизелів. *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту*. С. 218-241.
14. Аулін В.В., Лисенко С.В., Кузик О.В. Керування характеристиками і властивостями моторних олив комбінованим модифікуванням. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2014. Вип. 148. С. 148-155.

References

1. Kostetskiy, B.I. (1970). *Trenye, smazka i iznos v mashynakh* [Friction, lubrication and wear in machines] Kyiv: Tekhnika [in Russian].
2. Aulin V.V. & Kuzyk O.V., Martynenko O.D. (2011). Vplyv modyfikuvannya kompozytsiinykh motornykh olyv mahnitnym polem na trybotekhnichni kharakterystyky robochykh poverkhon detalei [Influence of modification of composite motor oils by magnetic field on tribotechnical characteristics of working surfaces of details]. *Visnyk KhNTUSH imeni Perta Vasylenka – Bulletin of the KhNTUSG named after Pert Vasylenko, Issue 118*, 268-273 [in Ukrainian].
3. Derkach, O.D., Kharchenko, B.H., Kabat, O.S., Makarenko, D.O. & Mishchenko, H.Ia. (2014). Doslidzhennia zakhysnoho шару, utvorenoho sylikato-fulerenovym heomodyfikatorom [Investigation of the protective layer formed by silicate-fullerene geomodifier]. *Visnyk KhNTUSH imeni Perta Vasylenka – Bulletin of the KhNTUSG named after Pert Vasylenko, Issue 146*, 246-250 [in Ukrainian].
4. Blezniuk, V.M., Hladchenko, V.Ia. & Lobanov, O.P. (2010). Pidvyshchennia stroku sluzhby pidshypanykiv kovzannia hychkozbyralnykh mashyn konstruktorsko-tehnolohichnym metodom [Increase of service life of sliding bearings of hook-harvesting machines by a design and technological method]. *Naukovyi visnyk NUBiP Ukrainy – Scientific bulletin of NUBiP of Ukraine, Issue 144/5*, 275-278 [in Ukrainian]
5. Balytskyi, O.I., Kolesnikov, V.O. & Eliash, Ya. (2012). Doslidzhennia ruinuvannya nenavodnennykh ta navodnennykh splaviv v umovakh tertia kochennia [Investigation of fracture is non hydrogenated and hydrogenated alloys under conditions of rolling friction]. *Problems of Friction and Wea – Friction and wear problems. sci. and tech. coll.,. Issue 58*, 32-37. <https://www.researchgate.net/publication/331516536> [in Ukrainian]
6. Kusyi, Ya.M. (2021). *Naukovo-prykladni osnovy tekhnolohichnoho uspadkuvannya parametriv yakosti dlia zabezpechennia ekspluatatsiinykh kharakterystyk vyrobiv* [Scientific and applied bases of technological inheritance of quality parameters to ensure the performance characteristics of products]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Lviv Polytechnic National University. Lviv [in Ukrainian]
7. Vasylenko, I.F. (2001) Pidvyshchennia dovhovichnosti valiv posivnykh mashyn kompozytsiiny my pokryttiamy [Increasing the durability of the shafts of sowing machines composite coatings]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kirovograd State Technical University. Kirovohrad [in Ukrainian].
8. Aulin, V.V. (2015). Trybofizychni osnovy pidvyshchennia znosostiikosti detalei ta robochykh orhaniv silskohospodarskoi tekhniki [Tribophysical bases of increase of wear resistance of details and working bodies of agricultural machinery]. *Extended abstract of of Doctor's thesis*. Kirovograd State Technical University. Kirovohrad [in Ukrainian].
9. Mak-Mak, N.E., Riabykina, M.A. & Cheiliakh, A.P. (2015). Vliyanie tsementatsii i zakalki ot razlichnykh temperatur na iznosostoykost i sherohovatost iznoshennoy poverhnosti konstruktsionnykh staley. [The influence of carburizing and hardening from different temperatures on the wear resistance and roughness of the worn surface of structural steels]. *Problemy tertia ta znoshuvannya – Friction and wear problems, Issue4 (69)*, 75-81 [in Russian].
10. Pohrebna, N.E., Kutsova, V.Z. & Kotova, T.V. (2021). *Sposoby zmitsnennia metaliv* [Methods of strengthening metals]. Dnipro: NmetAU. [in Ukrainian]
11. Cheiliakh, A.P., Riabykina, M.A. & Mak-Mak, N.E. (2017). Svyaz iznosostoykosti, sherohovatosti poverhnosti i parametrov zakalki tsementovannykh konstruktsionnykh staley [Relationship between wear resistance, surface roughness and hardening parameters of carburized structural steels]. *Visnyk PDTU – Bulletin of PDTU, Issue 34*, 30-39 [in Russian].
12. Aulin, V.V. (2012). Vplyv modyfikuiuchykh fizychnykh poliv na strukturu ta reolohichni vlastyivosti kompozytsiinoi motornoj olyvy [Influence of modifying physical fields on the structure and rheological properties of composite motor oil]. *Problems of tribology – Problems of tribology, 4*, 28-33 [in Ukrainian]
13. Dykha, O.V., Aulin, V.V., Lysenko, S.V. & Grinkiv, A.V. (2018). Vplyv rezhymu mashchennia na trybotekhnichni kharakterystyky poverkhni spriazhen detalei dyzeliv [Influence of lubrication mode on tribotechnical characteristics of the interface surface of diesel parts]. *Innovative technologies for the development and efficiency of transport*, 218-241 [in Ukrainian]
14. Aulin, V.V., Lysenko, S.V. & Kuzyk, O.V. (2014). Keruvannya kharakterystykamy i vlastyivostiamy motornykh olyv kombinovany modyfikuvanniam [Management of characteristics and properties of motor oils by combined modification]. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainiskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transport – Collection of scientific works of the Ukrainian State Academy of Railway Transport, Issue 148*, 148-155 [in Ukrainian]

Dmytro Makarenko Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Oleksii Derkach**, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Yevhen Muranov**, post graduate, **Mykola Ivashkovich**

Dnipro State Agricultural and Economic University, Dnipro, Ukraine

Influence of Lubricants on the Durability of Tribocouples

The aim of the research is to determine the influence of motor oils on operating modes, durability of tribocouples and substantiation of expediency of use of motor oils of corresponding brands.

A study of the tribological properties of motor oils from different manufacturers. Characteristic features of friction moment change during lubrication with ZIC and Xado oils have been studied. During friction in the ZIC oil environment, significant oppositely directed changes in the moment of friction (oscillation) were recorded, which indicates an unstable friction mode. At the beginning of the experiment, a gradual increase in the friction moment when lubricating tribocouples with Xado oil was recorded. Studies of the dynamics of temperature in the friction zone depending on the lubricating medium are performed. It was found that the maximum temperature in the friction zone was when using Xado and ZIC engine oil - 90.0 °C and 84.5 °C, respectively. The value of wear intensity of steel-steel tripods depending on the engine oil of different manufacturers is determined. An analysis of micrographs of surfaces before and after the experiment was performed. It is established that the amount of damage to the surface friction as a whole without drastic changes. Unidirectional light lines are the places of direct contact between two friction bodies. After the experiment with lubrication with Xado engine oil on the friction surface of the pad recorded minor accumulations in the grooves and on their peripheries.

It was found that the moment of friction when using the selected motor oils for the selected modes of friction of the tribocouples differs slightly, 1.13 N · m and 1.15 N · m, respectively, for ZIC X5 and Xado. At the same time, it should be noted that when lubricating with Xado engine oil, a higher constancy of the friction moment was recorded, compared to working in ZIC oil environment. It is established that the dynamics of temperature rise is gradual. The intensity of linear wear when using Xado oil is 17.7% lower compared to lubrication with ZIC oil. Thus, it can be concluded that the use of Xado motor oil can increase the durability of tribocouples.

lubricants, durability of tribocouples, engine oil, wear intensity, friction moment

Одержано (Received) 10.05.2022

Прорецензовано (Reviewed) 18.05.2022

Прийнято до друку (Approved) 30.05.2022

УДК 631.36

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).2.176-185](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).2.176-185)

Е. Б. Алієв, проф., д-р техн. наук, ст.досл., **М. О. Лінко**, асп.

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна

e-mail: niklinko21@gmail.com

О. Ю. Алієва, наук. співр.

Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України, м. Запоріжжя, Україна

e-mail: aliev@meta.ua

Симуляція процесу експандованого приготування кормів

Процес формування експандатів в експандері з точки зору фізики процесу зводиться до пресування суміші твердої (зернові компоненти), рідкої (у вигляді вологи) і газоподібної (пар) фаз шнековим робочим органом крізь формуючу насадку під дією зовнішнього джерела тепла. З точки зору математичного описання, зазначений процес є складним і тому його можна описати комп'ютерними методами моделюванням. Проведена симуляція процесу експандованого приготування кормів в програмному пакеті Star CCM+ дає передумови для обґрунтування діапазону раціональних параметрів експандера.

корм, експандати, моделювання, симуляція, тиск, швидкість, щільність

© Е.Б. Алієв, М.О. Лінко, О.Ю. Алієва, 2022